МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

Сборник трудов
Том 2

Томск
18-22 апреля 2011 г.

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0
С568

С568 XVII Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т.2. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.- 480 с.

Сборник содержит доклады XVII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии». Все статьи разделены по секциям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения; материаловедение; информатика и управление в технических системах; физические методы в науке и технике; контроль и управление качеством; теплоэнергетика; дизайн и технология обработки материалов; наноматериалы, нанотехнологии и новая энергетика; круглый стол “философия техники”; круглый стол “проблемы организации научно-технического творчества молодежи”.

Сборник представляет интерес для специалистов, исследователей в сфере материаловедения, машино- и приборостроения, энергетики, контроля и управления качеством, а также по проблемам НИРС в вузах.

УДК 62.001.5 (063)

Материалы предоставлены в авторской редакции

ISBN 0-7803-8226-9

©Томский политехнический университет, 2011

СОСТАВ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ

1.Чубик П.С.	д.т.н., профессор, ректор ТПУ, председатель оргкомитета
2.Власов В. А.	д.ф.-м.н., профессор, проректор по НРиИ, сопредседатель оргкомитета
3. Шепотенко Н.А.	к.ф-м.н., начальник УМАД НУ
4.Зольникова Л. М.	начальник отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь
5. Негруль В.В.	к.ф.-м.н., начальник отдела ЦТТ НУ
6.Сидорова О.В.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
7.Кайрова Н.Н.	эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
8.Сивков А.А.	д.т.н., профессор кафедры ЭСС ЭНИН, председатель секции №1
9.Хрущев Ю.В.	д.т.н., профессор кафедры ЭСС ЭНИН, сопредседатель секции № 1
10.Колчанова В. А.	к.т.н., доцент кафедры ТОЭ ЭНИН, сопредседатель секции № 1
11.Силушкин С.В.	ст.преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции №2
12.Темник А. К.	к.т.н., зав. отделом ИНК, сопредседатель секции №2
13. Губарев В.А.	к.ф.-м.н., доцент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 2
14. Мойзес Б. Б.	к.т.н., доцент кафедры АРМ ИК, председатель секции №3
15.Ефременков Е.А.	к.т.н., доцент кафедры ТАМП ИК, сопредседатель секции №3
16.Соколов А. П.	к.т.н., доцент кафедры ТПМ ИПР, сопредседатель секции №3
17.Муравлев О. П.	д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции №4
18.Дементьев Ю.Н.	к.т.н., доцент, зав. каф. ЭПЭО ЭНИН, сопредседатель секции №4
19.Усачева Т.В.	к.т.н., доцент кафедры ЭМКМ ЭНИН, сопредседатель секции № 4
20.Евтушенко Г.С.	д.т.н., профессор, зам. директора ИНК , председатель секции №5
21.Пеккер Я. С.	к.т.н., профессор, зав. каф. БМК СибГМУ, сопредседатель секции 5
22.Аристов А.А.	к.т.н., доцент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 5
23.Киселева Е.Ю.	к.т.н., ассистент кафедры ПМЭ ИНК, сопредседатель секции № 5
24.Зенин Б.С.	к.т.н., доцент кафедры ММС ИФВТ, председатель секции № 6
25.Егоров Ю.П.	к.т.н., доцент кафедры МТМ ИФВТ, сопредседатель секции № 6
26.Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент кафедры ММС ИФВТ, сопредседатель секции № 6
27.Мельников А.Г.	к.т.н., зав. кафедрой МТМ ИФВТ, сопредседатель секции № 6
28. Рудницкий В.А.	к.т.н., доцент кафедры ИКСУ ИК, сопредседатель секции № 7
29.Алексеев А.С.	ассистент кафедры ИКСУ ИК, сопредседатель секции № 7
30. Аврамчук В.С.	к.т.н., доцент кафедры АиКС ИК, сопредседатель секции № 7
31.Потылицын А.П.	д.ф.-м.н., проф., зав. кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8
32.Вергун А.П.	д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТИ, сопредседатель секции № 8
33.Гоголев А.С.	к.ф-м.н., н.с. кафедры ПФ ФТИ, сопредседатель секции № 8
34.Кулешов В.К.	д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9
35.Бразовский В.В.	к.т.н., докторант ИНК, зам. председателя секции № 9
36.Калиниченко А.Н.	ст. преподаватель каф. ФМПК ИНК, зам. председателя секции № 9
37.Заворин А.С.	д.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСиПГУ ЭНИН, председатель секции №10
38.Беляев Л.А.	к.т.н., доцент, зав. кафедрой АТЭС ЭНИН, сопредседатель секции № 10
39.Тайлашева Т.С.	к.т.н., ст. преп. кафедры ПГСиПГУ ЭНИН, сопредседатель секции №10
40.Кухта М.С.	д.ф.н., профессор кафедры АРМ ИК, председатель секции № 11
41.Серяков В.А.	ассистент кафедры АРМ ИК, сопредседатель секции № 11
42.Дронов В.В.	инженер кафедры АРМ ИК, сопредседатель секции № 11
43.Громов А.А.	д.т.н., профессор кафедры ТСН ИФВТ, председатель секции 12
44.Митина Н.А.	к.т.н., доцент кафедры ТСН ИФВТ, сопредседатель секции 12
45.Степанов А.А.	д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»
46.Громов А. А.	д.т.н., профессор, зам. проректора по НРиИ, председатель Круглого стола «Мобильность молодых ученых и развитие международных научных связей»
47.Решетова А.А.	к.т.н., начальник отдела ОМИП НУ, сопредседатель Круглого стола Мобильность молодых ученых и развитие международных научных связей»

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

1. **Зольникова Л.М**., нач. отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, ученый секретарь конференции
2**. Сидорова О.В**., эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
3. **Сивков А.А**., д.т.н., проф. кафедры ЭСПП ЭНИН, председатель секции № 1
4. **СилушкинС.В**., ст.преп. кафедры КИСМ ИК, председатель секции № 2
5. **Мойзес Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры АРМ ИК, председатель секции № 3
6. **Муравлев О.П**., д.т.н., профессор кафедры ЭМКМ ЭНИН, председатель секции № 4
7. **Евтушенко Г.С**., д.т.н., профессор, зам.директора ИНК, председатель секции № 5
8. **Зенин Б.Б**., к. т. н., доцент кафедры ММС ИФВТ, председатель секции № 6
7. **Рудницкий В.А**., к. т. н., доцент кафедры ИКСУ ИК, председатель секции № 7
8. **Потылицын А.П**., д.ф.- м.н., профессор, зав.кафедрой ПФ ФТИ, председатель секции № 8
9. **Кулешов В.К**., д.т.н., профессор кафедры ФМПК ИНК, председатель секции № 9
10.**Заворин А.С**., к.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГСиПГУ ЭНИН, председатель секции 10
11.**Кухта М.С**., д.ф.н., профессор каф. АРМ ИК, председатель секции № 11
12.**Громов А.А**., д.т.н., профессор каф. ТСН ИФВТ, председатель секции 12

СЕКЦИЯ 5

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТУБЕРКУЛЕЗА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Агафонов В.Ю., Баланцев Г.А.
Научный руководитель: Баланцев Г.А., к.т.н., доцент
Северный (Арктический) федеральный университет, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17
E-mail: frongon@yandex.ru

Многие годы в Архангельской области успешно функционирует централизованная противотуберкулезная служба, ядром которой является ГУЗ «Областной клинический противотуберкулезный диспансер». Диспансер активно сотрудничает с Областной больницей УФСИН, а в городах и районах области работает сеть координаторов – 26 участковых фтизиатров. С развитием информационных технологий возникла необходимость создания единой информационной системы, которая бы обеспечивала мониторинг туберкулеза на всей территории Архангельской области.

С начала 2000-х годов Областной клинический противотуберкулезный диспансер рассматривал возможности автоматизации на базе различных программных продуктов, как внедряемых Министерством здравоохранения, так и собственной разработки.

В полной мере вопрос удалось решить лишь в декабре 2009 г., когда была внедрена автоматизированная система (АС) inIT-TB. Накопленные в период с 2005 по 2009 г. данные о случаях заболевания туберкулезом были автоматически перенесены в новую систему.

АС inIT-TB является многоуровневой автоматизированной системой. В её состав входят сервер системы управления базами данных Firebird 2.1, функционирующий на платформе OpenSUSE Linux 11, клиентское приложение, работающее в среде Microsoft Windows на компьютерах, входящих в локальную вычислительную сеть противотуберкулезного диспансера. В 2010 г. были разработаны рабочие места для регистратуры, лаборатории, докторов. К ноябрю 2010 г. было закончено создание Web-модуля, выполняющегося на сервере приложений Glassfish 3. Web-модуль обеспечивает доступ к данным и возможность их ввода через глобальную сеть Internet с компьютеров Областной больницы УФСИН. Структура автоматизированной системы приведена на рис.1.

Клиент АС inIT-TB для Win32 использует для доступа к данным библиотеку FIBPlus, разработанную компанией Devrace, web-приложение – JayBird JCA/JDBC driver. Формирование отчетов осуществляется с использованием MS Excel.

Для защиты персональных данных больных от несанкционированного доступа в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации в декабре 2010 года приобретен программный комплекс VipNet Custom, обеспечивающий шифрование данных, передаваемых через сеть Internet. На 2011 г. запланировано обеспечение доступа к web-модулю с рабочих мест районных координаторов – участковых фтизиатров.

Рис.1. Структура автоматизированной системы inIT-TB

АС inIT-TB позволяет осуществлять ввод и анализ данных о случаях заболевания туберкулезом, схемах и результатах лечения, бактериологических анализах, результатах лучевой диагностики, а так же описание рентген снимков. Весь состав сведений в АС inIT-TB отображается и редактируется в нескольких рабочих местах, предназначенных для специалистов, выполняющих определенные функции. Это позволяет автоматизировать весь процесс. Так при подозрении на туберкулёз, больной будет внесён в базу данных в рабочем месте «Прикрепленный

контингент», предназначенном для работников регистратуры. Регистратор запишет его на приём к врачу, и эта запись появится в базе данных. Таким образом, даже если диагноз туберкулёза не подтвердится, запись о его посещении туберкулёзного диспансера сохраниться. Далее врачом будут назначены анализы, дата проведения и результаты которых будут вноситься в разделе «Лаборатория». Как только лаборант внесёт сведения об анализах, все врачи, имеющие доступ к базе данных, как через клиентское приложение, так и через web-модуль, смогут использовать их для постановки точного диагноза. В случае подтверждения диагноза туберкулёза, вся информация о последующем лечении так же будет вводиться и храниться в АС inIT-TB, постоянно накапливая массив данных для их дальнейшего анализа. Все вносимые данные имеют связь с конкретным пациентом, в перспективе планируется ведение электронной карты лечения больного туберкулезом.

Оформление клиентского приложения (рис.2.) и web-модуля системы выполнены таким образом, чтобы новому пользователю было легко освоить данную программу даже без посторонней помощи. А для определения границ доступа специалистов к возможности ввода, редактирования и просмотра данных, и для запрета доступа посторонним лицам существует система паролей.

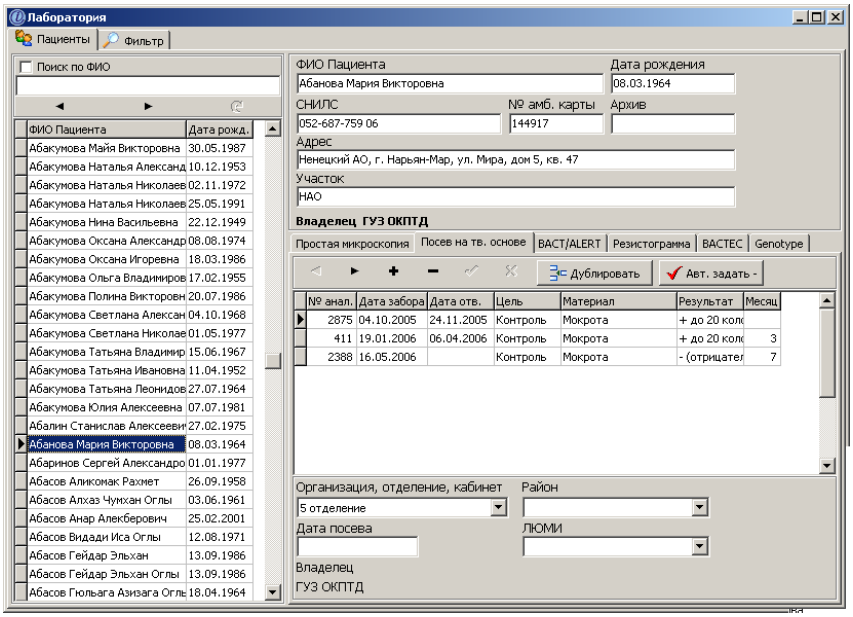


Рис.2. Рабочее место «Лаборатория»

Большую роль играет АС inIT-TB при анализе полученных данных. Во-первых, данная система позволяет автоматизировать создание форм утверждённых Минздравсоцразвития России, а именно форм 2-ТБ, 7-ТБ, 8-ТБ, 10-ТБ, формы №8, утверждённой Росстатом, и международных форм по регистрации заболеваемости туберкулёзом, рекомендованных Всемирной организацией здравоохранения. Во-вторых, АС inIT-TB позволяет сформировывать регистрационные журналы, что облегчает задачу работников противотуберкулёзного диспансера и снижает вероятность возникновения ошибок. И, наконец, в-третьих, созданный программный продукт позволяет отбирать данные в выборку по широкому спектру критериев, например адрес, место работы, дата регистрации туберкулёза, дата смерти и др. Совокупность всех перечисленных выше возможностей, предоставляет пользователям значительный потенциал для научно-исследовательской и аналитической деятельности. Так врачи противотуберкулёзного диспансера смогли проследить динамику регистрации новых случаев различных видов туберкулёза, эффективных и неэффективных курсов химиотерапии и выделить прерывание приёма медикаментов и позднюю регистрацию случаев туберкулёза как основные причины неуспешного лечения туберкулёза.

Подводя итог, следует отметить, что подобная автоматизированная система является первой в России, она удобна и надёжна в использовании, точность и качество полученных с помощью АС inIT-TB статистических данных проверены в течение двух лет использования, а результаты анализа этих данных позволяют эффективно отслеживать ситуацию заболеваний туберкулёзом в Архангельской области.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СРЕДСТВАМИ И МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Александров А.В., Кабакова А.В.
Научный руководитель: Иванников В.П., д.т.н., профессор
Ижевский государственный технический университет, 426069, Россия, г.Ижевск, ул.Студенческая, д.7
E-mail: sunanniv@mail.ru

Рентгеновское изображение характеризуется тем, что имеющиеся на нем возмущения (локальные значения интенсивности, связанные с заболеванием) невелики, но “усредненное” описание рассматриваемой физической системы (флюорограммы) достаточно хорошо отражает ее реальное поведение, и использование при анализе изображений детерминистических законов (причинно-следственных связей) вполне оправданно и, поэтому, широко используется в диагностике заболеваний. Вместе с тем, на некоторых рентгеновских снимках локальные значения интенсивности, связанные с заболеванием могут оказаться значительными, и, несмотря на детерминистский характер изменения состояния системы данные отклонения, которые применительно к аналоговому изображению интерпретировать как случайные (стохастические) невозможно, при преобразовании изображения в цифровую форму представления, с позиций статистического анализа это уже представляется возможным. Сложное непредсказуемое поведение физической системы (называемое в дальнейшем стохастическим) в этом конкретном случае обусловлено «случайными» изменениями ее параметров (локальной интенсивности под влиянием заболевания, характером протекания заболевания, развитием в организме человека разнообразных «неустойчивостей» под влиянием внешних воздействий – отсутствием или наличием лекарств, питания и т.п.). Все эти факторы, говоря физическим языком, приводят к развитию «в системе» так называемого детерминированного хаоса, то есть, к стохастизации сигналов и структур, характеризующих поведение и состояние системы. Для изучения же процессов стохастизации чаще всего привлекаются разнообразные вероятностные подходы. В основе таких подходов лежат методы статистического анализа случайных величин и функций. Часто они сводятся к определению таких характеристик как плотность распределения вероятностей, математическое ожидание, дисперсия, моменты высоких порядков, автокорреляционные функции, спектральные плотности. При проведении статистического анализа широко используются элементы математической статистики, включающие теорию выборок, оценки доверительных интервалов, проверку статистических гипотез, способы аппроксимации экспериментальных данных. Указанные методы и подходы давно стали традиционными и весьма подробно описаны во многих руководствах. Наряду с ними в последние годы получили распространение и некоторые менее известные способы обработки сигналов и структур, основанные, в частности, на фрактальном, мультифрактальном анализах и вейвлет-преобразованиях. Отличительная особенность этих способов состоит в том, что они наряду с глобальными характеристиками стохастических процессов (получающихся в результате использования процедуры усреднения по большим временным интервалам), позволяют вскрыть особенности их локальной структуры.

При преобразовании рентгеновского изображения в цифровую форму представления формируется модель Марковского случайного процесса, так как вероятность того, что значение оптической плотности изображения в любой заданной точке $X(t_i)$ достигнет определенного значения при заданном $X(t_{i-1})$ ($t_{i-1} < t_i$), зависит только от t_{i-1} и t_i, а не от поведения $X(t)$ при $t < t_{i-1}$. Любой же сигнал X(t) со стандартным отклонением σ, если его приращение $\Delta X = X(t_2) - X(t_1)$, $t_2 > t_1$, имеет гауссовское распределение [1], характеризуемое выражением

$$P(\Delta X < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(t_2 - t_1)^H}} \cdot \cdot \int_{-\infty}^{x} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{u}{\sigma(t_2 - t_1)^H}\right)^2\right) du, \qquad (1)$$

А его дельта-дисперсия равна

$$E\left[(X(t_2) - X(t_1))^2\right] = \sigma^2 |t_2 - t_1|^{2H}, \quad (2)$$

Входящий в (1) и (2) параметр H ($0<H<1$) называется параметром Херста. Если входящий в (1) параметр Херста $0 < H < 1$, то поверхность, характеризующая изменение величины X, представляет собой случайный фрактал. При этом фрактальная размерность $D_ф$ рассматриваемой поверхности, определенная методом ее покрытия сферами или кубами [2], связана с параметром Херста H соотношением

$$D_ф = 3 - H, \qquad (3)$$

Линии уровня фрактальных изображений (линии сканирования) также будут иметь фрактальную форму. Их размерность определяется выражением $D_ф = 2 - H$.

В основе большинства используемых на практике методов оценки фрактальной размерности изображений лежит соотношение (3). Входящий в (3) параметр Херста H может быть определен по аналогии с процедурой его определения при обработке сигналов, исходя из поведения дельта-дисперсии или структурной функции приращения исследуемой двумерной величины.

С точки зрения исследования характера распределения оптической плотности на рентгеновском изображении будем, использовать для исследуемой величины обозначение X. В трехмерном пространстве (x,y,X) распределение величины X будет формировать некую поверхность весьма сложной формы с многочисленными случайно расположенными, с точки зрения преобразования изображения в цифровую форму представления, впадинами и возвышенностями. В работе [3] показано, что и рентгеновское изображение, при этом, может быть описано как случайный процесс с непрерывным временем, поскольку при сканировании изображения каждый его элемент, путем оптико-электронного преобразования, кодируется в цифровом виде и заносится в память компьютера в виде «битовой карты» - матрицы, хранящей значения элементов изображения (пикселов). Каждый пиксел полутонового изображения может кодироваться различным количеством бит, что определяет количество возможных полутонов. При этом, однобитовое (1 бит на 1 пиксел) можно считать вырожденным полутоновым (бинарное изображение), способным передать лишь 2 полутона (чёрный и белый, например). Множество всех возможных полутонов называют уровнями серого, не зависимо от того, полутона какого цвета или его оттенка передаются. Важно указать лишь направление отсчёта. Допустим, начальному коду (то есть "0" в десятичной системе счисления) ставим в соответствие черный цвет, а конечному (то есть "255" в десятичной системе счисления) — белый цвет. Остальные 254 кода будут соответствовать оттенкам серого: от очень темного, близкого к черному, до очень светлого, близкого к белому. Поэтому, с достаточной для многих прикладных задач точностью, любое полутоновое изображение можно рассматривать как аналоговый стохастический сигнал X(t) при tЄT предоставленный последовательностью случайных величин $X(t_1)$, …, $X(t_n)$ для приближенного описания которого можно использовать различные конечномерные функции распределения [3]. Вместе с тем, следует иметь в виду, что реальные оптические изображения могут проявлять фрактальные свойства лишь в ограниченной области изменения оптической плотности. Ширина этой области (области скейлинга) является характеристикой степени фрактальности изображения. Если область скейлинга невелика (например, лишь в несколько раз превосходит элементарный шаг дискретизации, следует при анализе изображения указывать на слабость проявления фрактальных признаков. Пусть I – целое число, характеризующее смещение точки, в которой определяется величина X, а элементарный шаг изменения величины I – это шаг дискретизации изображения, то очевидно, что в бинарном представлении (m=2) фрактальные признаки не проявляются; в полутоновом, например, с m=8; проявляются слабо; с m=24 - лучше, а с m = 255 – хорошо.

Таким образом, чем выше качество преобразования полутонового изображения в цифровую форму представления, тем сильнее проявляются его фрактальные признаки.

При проведении медицинских диагностических исследований данные наблюдений, как правило, получают в виде временных рядов некоторых параметров, или в виде фото и видеоизображений, и временных рядов фото и видеоизображений. Следует заметить, что это далеко не полный перечень данных, к которым применимы методы энтропийно-фрактальной параметризации и идентификации, в результате которых получают интуитивно понятные параметры, характеризующие текущее физическое состояние объекта исследований и позволяющие разрабатывать содержательные количественные характеристики классификации заболеваний. А временные ряды таких параметров позволяют решать задачи прогнозирования будущих состояний, и влекут за собой необходимость проведения исследований и разработки безопасных средств, систем и комплексов по обеспечению информационной безопасности.

Список литературы

1. Короленко П.В. и др. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования: Учебное пособие / П.В. Короленко, М.С. Маганова, А.В. Меснянкин; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына. – М., 2004. – 82 с.

2. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991.- 374 с.

3. Фрактальный анализ рентгенограмм/ В.П.Иванников, В.В.Белых, Р.Т.Суфиянов, В.А.Степанов // Вестник ИжГТУ.- 2009.- №3.- С.150-154.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕФЛЕКСОТЕРАПИИ

Андреев А.П.
Научные руководители: Лисицына Л.И., д.т.н., профессор, Белавская С.В., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: lexus198707@mail.ru

В последние несколько десятилетий медицина характеризуются фармакологической перенасыщенностью, при этом следует учитывать, что лечение медикаментозными препаратами имеет ряд противопоказаний и вызывает зачастую довольно серьезные побочные эффекты. В связи с этим немедикаментозные методики лечения, к которым относится, например, рефлексотерапия, приобретают все возрастающую актуальность. Одной из разновидностей рефлексотерапии является сонопунктура [1] – воздействие на акупунктурные точки звуковыми сигналами различного тона. Звуковые сигналы используются во многих областях медицины (стоматологии, урологии, гастроэнтерологии, психотерапии и др.), не только для оздоровления, но и общего укрепления, например, в рефлексотерапии [2].

В работах последних лет показано, что увеличение числа воздействующих на биологически активные точки (БАТ) факторов с пространственным и временным совмещением увеличивает терапевтическую эффективность [3]. Это делает разработку многофункциональных устройств рефлексотерапии с сочетанным воздействием важной задачей для медицинской электроники.

При разработке подобных устройств с конструкторской точки зрения сложной задачей является разработка рабочего органа, обеспечивающего комплексное воздействие. Многофункциональный зонд должен включать в себя несколько узлов воздействия и обладать при этом небольшими габаритами.

В данной работе предложена конструкция рабочего органа многофункционального устройства для рефлексотерапии, обеспечивающего пространственное и временное совмещение пяти воздействующих факторов: звуковых колебаний (частота – от 2 до 5 кГц, мощность – не более 30 – 40 дБ), лазерного излучения (мощность – не более 1 мВт, длина волны – 0,63 – 0,65 мкм) и теплового излучения (температура рабочего торца зонда – не более 45 ºС, время нагрева рабочего торца – не более 30 с), магнитного поля (индукция – не более 1 мТл, частота – от 10 до 100 Гц), электрических колебаний (частота гармонического сигнала – от 0 до 100 Гц, амплитуда – не более 15 В). Параметры рабочего зонда: диаметр рабочего торца – не более 2 мм, то есть сравнимый с диаметром БАТ, длина – 120…150 мм, максимальный диаметр зонда – 10…12 мм, форма зонда должна обеспечивать возможность визуализации биологически активной точки. Влияние узлов друг на друга при их одновременной работе должно быть минимальным.

Наиболее сложным узлом зонда является звуковой, представляющий собой электромагнитный телефон со звуковым концентратором, выполненным в виде стальной трубки. Данный излучатель обеспечивает необходимую для сонопунктуры [2] полосу частот и интенсивность. Концентратор также является активным электродом и передатчиком тепла к кожному покрову в области БАТ от нагревательного элемента. Этим элементом является спираль, расположенная на концентраторе вблизи его рабочего торца. Для нагрева спирали до необходимой температуры достаточно несколько секунд. Потребляемый спиралью ток составляет 170 мА. Для магнитного воздействия на концентраторе расположена обмотка (число витков около 500). Для обеспечения возможности визуализации БАТ его наконечник имеет конусообразную форму. В тыльной части корпуса расположен источник лазерного излучения, которое доставляется к рабочему торцу по световоду. Эскиз конструкции зонда представлен на рис. 1.

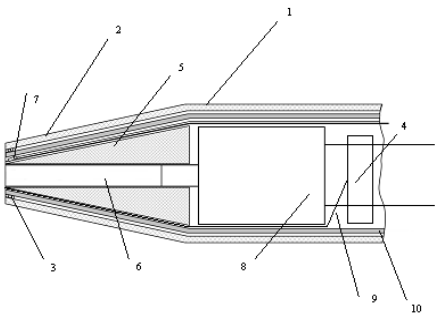


Рис. 1 – Эскиз многофункционального зонда

По приведенному эскизу видно, что зонд содержит пластмассовый корпус 1 с конусообразным наконечником 2, направленные источники теплового 3 и светового 4 излучения, индуктор 5, трубчатый элемент 6, термодатчик 7, звуковой излучатель 8, световод 9, активный электрод 10. Индифферентный электрод вынесен за пределы рабочего зонда.

Первичные исследования разработанного зонда показали соответствие его параметров техническому заданию. Кроме того, исследовано

распределение используемых физических полей по глубине и по поверхности биологических тканей при воздействии данным устройством. Показано, что распределение полей соответствует требованиям рефлексотерапии.

На разработанную конструкцию многофункционального зонда получено решение о выдаче патента на полезную модель [4].

В данной работе также приведены результаты исследований, проведенных с помощью разработанного многофункционального зонда. Цель исследований состоит в выявлении влияния звуковых колебаний на электрическое сопротивление кожного покрова человека. Известно, что данный параметр используется во многих методиках диагностики состояния организма и свидетельствует об общем состоянии человека.

Воздействие на кожный покров осуществлялось звуковыми колебаниями с частотами, соответствующими нотам первой октавы. Интенсивность воздействия составляла 30 дБ и определялась с помощью цифрового мультиметра MS-8209. В связи с тем, что сопротивление различных зон кожного покрова может значительно различаться, для изучения характера изменения сопротивления используется нормированное отношение $\Delta R/R_0$, где ΔR – изменение сопротивление после воздействия, а R_0 – сопротивление кожного покрова до воздействия. Показания прибора фиксировались через 30 секунд после начала замера для исключения переходных процессов в кожном покрове, который предварительно обезжиривался спиртом. Затем проводился сеанс звукового воздействия, после чего сопротивление измерялось вновь. Измерения проводились двухэлектродным методом с помощью цифрового мультиметра DT890B$^+$ с величиной измерительного тока около 40 нА.

Исследования проводились на нескольких испытуемых. На рисунке 2 приведены зависимости относительного изменения сопротивления кожного покрова от длительности воздействия для каждой из используемых нот на одном из испытуемых.

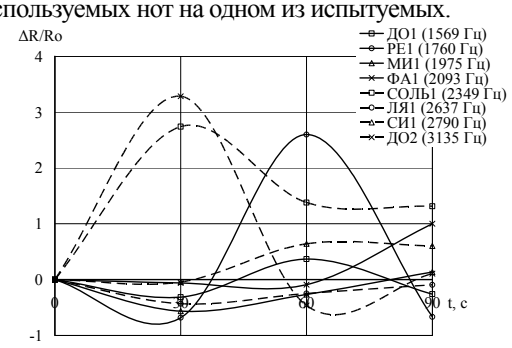


Рис. 2 – Зависимость относительного изменения сопротивления кожного покрова одного испытуемого от времени воздействия для разных нот

На рисунке 3 приведены зависимости $\Delta R / R_O$ от частоты звукового воздействия при 30 (а), 60 (б) и 90 (в) секундах воздействия для двух испытуемых. На рис. 3 (а, б, в) можно заметить максимальные пики изменения сопротивления на разных частотах.

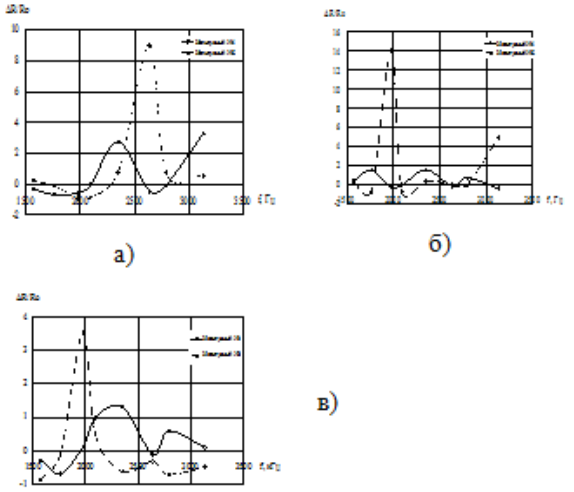


Рис. 3. Зависимость относительного изменения сопротивления кожного покрова двух испытуемых от частоты звукового сигнала для времен воздействия 30 с. (а), 60 с. (б) и 90 с. (в)

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать некоторые выводы.

1. Влияние звуковых сигналов различных нот на сопротивление кожного покрова различно.

2. Зависимости изменения сопротивления от частоты (ноты) звуковых сигналов для различных испытуемых близки по характеру (имеется ярко выраженный максимальный пик на определенной частоте).

Необходимо отметить, что данные результаты получены пока на нескольких испытуемых, и необходимо продолжать набор данных на большем количестве испытуемых. Однако полученные данные уже можно использовать при разработке методик и устройств для рефлексотерапии.

Список литературы

1. Самосюк И.З., Лысенюк В.П. Акупунктура (Медицинская энциклопедия). – М.: АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2004.

2. Белавская С. В., Лисицына Л. И., Яковлев А. С. и др. Анализ излучателей и режимов звуковых воздействий, использующихся в современной медицинской практике. // Материалы МНТК «Информатика и проблемы телекоммуникаций». – Новосибирск: СОМАИ. 2002. – С. 152 – 156.

3. Райгородский Ю.М., Серянов Ю.В., Лепилин А.В. Форетические свойства физических полей и приборы для оптимальной физиотерапии в урологии, стоматологии и офтальмологии. – Саратов: Изд-во Саратовского ун-та. 2000.

4. Решение о выдаче патента по заявке № 2010144267/14. Андреев А.П., Белавская С.В., Лисицына Л.И., Яковлев А.С. Устройство для рефлексотерапевтического воздействия. 28.10.2010.

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Баранов В.Н., Квашнина С.И., Кузяков О.Н.
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 62500, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского,38
E-mail: kafedra-bmt@mail.ru

Современная медицина требует, чтобы врачи не только владели сугубо медицинскими знаниями, но и умели работать со сложнейшим лечебным и диагностическим оборудованием, могли использовать достижения физики, электроники, информатики. Достижения медицины, телекоммуникаций и информатики позволили создать единую виртуальную систему - всемирный распределенный медицинский интеллект, позволяющий облегчить деятельность медицинского персонала, полно и своевременно информировать пациентов, осуществить доставку высококвалифицированных медицинских услуг пациенту, вне зависимости от расстояния. Кроме того, информационные технологии необходимы для проведения медицинских видеоконференций, ведения учебной деятельности (лекции, семинары, групповые занятия, научные дискуссии, обсуждения), обмена информацией организационно-методического характера. К элементам, образующим рынок информационных услуг относятся потребители (ЛПУ, отдельные врачи, другие работники здравоохранении, пациенты), производители (ЛПУ, научные, учебные и другие организации, отдельные медицинские работники и преподаватели, готовые поделиться знаниями) и поставщики – это вышеуказанные производители или организации, созданные для предоставления телемедицинских услуг – провайдеры. Четвертым элементом является товар – услуга по диагностированию, консультированию, лечению больных и обучению медицинских работников информационным технологиям. Одним из препятствий на пути распространения информационных технологий в России, в том числе и в Тюменской области мы бы назвали недостаточную готовность и умение врачей пользоваться компьютерной техникой. Большинство врачей не готовы работать с компьютерами и иногда не видят в них необходимости. На самом же деле, в современных условиях, использование информационных медицинских технологий является необходимым шагом развития здравоохранения, когда к консультации нескольких врачей подключается и новый участник – сверхмощная электронная диагностическая система. Поэтому ближайшими помощниками для медицинского персонала и других работников сферы здравоохранения могли бы явиться инженеры выпускники кафедры кибернетических систем ТюмГНГУ. Специалисты, которых готовит кафедра по специальности «Биотехнические системы и технологии» могут активно играть на рынке информационных технологий здравоохранения. Они могут явиться разработчиками аппаратуры, программного обеспечения, технологий, стандартов, услуг по ремонту и сопровождению телемедицинских и других информационных комплексов, сетей, центров. Базой для такой деятельности является высокопрофессиональная подготовка инженеров ведущими профессорами докторами, кандидатами технических и медицинских наук по дисциплинам: 1 курс - «Инженерная и компьютерная графика», «Информатика»; 2 курс - «Электротехника»; 3 курс - «Электроника и микропроцессорная техника», «Моделирование биологических процессов и систем», «Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий»; 4 курс «Телекоммуникационные системы передачи и обработки информации», «Методы обработки биомедицинских сигналов и данных»,

Рис.1. Профессора кафедры КС. Квашнина С.И. и Баранов В.Н.

«Управление в биологических и медицинских системах», «Медицинские приборы, аппараты, системы и комплексы», «Системный анализ и принятие решений», «Компьютерная обработка изображений», «Компьютер-ные технологии в медико-биологических исследованиях», «Автоматизация обработки экспериментальных

данных», «Конструирование и техника производства приборов и аппаратов», «Диагностическая аппаратура», «Автоматизация медико-биологических систем и комплексов», «Автоматизированные системы в здравоохранении», «Проектирование программного обеспечения», «Биотелеметрия и телемедицина»; 5 курс «Методы и системы анализа медицинских изображений», «Теория биотехнических систем», «Лазерные измерительные приборы и системы», «Узлы и элементы медицинской техники», «Обслуживание и ремонт медицинской техники», «Сетевые технологии в медицине». В связи с переходом ТюмГНГУ на Болонскую систему обучения студентов, предусматривающую двухуровневые ступени образовательного процесса (бакалавриат и магистратуру), повышаются требования к образовательному процессу как к будущим бакалаврам, так и магистрам. Особое внимание уделяется более тесной связи с практическим здравоохранением в ЛПУ. Из года в год повышается потребность в наших выпускниках. И если только единичные выпускники первого выпуска были трудоустроены по своей специальности, то третьего – последнего выпуски их было уже более 50% (рис.2).

Рис.2. На защите дипломных проектов

В 2011 году в ТюмГНГУ будет открыт приём на бакалавриат по направлению подготовки бакалавров 201000.63 – «Биотехнические системы и технологии». В средних учебных образовательных учреждениях (школах, колледжах и гимназиях) ведется просветительская работа среди учащихся с ознакомлением сущности открывающейся специальности. Заинтересованность в таких специалистах выразил ряд ЛПУ, таких как ООО «Нилта», ООО «Медицинский научно-производственный центр «Фазер»», ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» ОАО «Медтехника». Мы считаем, что организация набора на бакалавриат по указанному направлению будет, своего рода, залогом формирования специалистов так необходимых для практического здравоохранения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В МЯГКИХ ТКАНЯХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЯХ

Батухтин К.С.
Научный руководитель: Устюжанин В.А., к.т.н
Читинский государственный университет, 672039, Чита, ул. Александро-Заводская, 30
E-mail: batuhtin88@yandex.ru

Одними из наиболее распространенных видов травм являются термические поражения. При этом оценка степени поражения весьма субъективна: по цвету эпидермиса и дермы, характеру пузырей, по выраженности и распространенности отека, состоянию болевой чувствительности. Все перечисленные признаки зависят от внешних условий, общего состояния пострадавшего, применявшихся лекарственных средств, и могут быть поняты не верно, что в случае тяжелых поражений может привести к весьма нежелательным последствиям, вплоть до летального исхода.

Перспективной методикой оценки считаются импедансные исследования, в частности, электроимпедансная спектрометрия. Для расчета рабочих характеристик прибора и создания алгоритмов обработки данных необходимы модели изменения проводимости тканей при поражениях. Для живой ткани классической считается модель Рубенштейна (рис. 1).

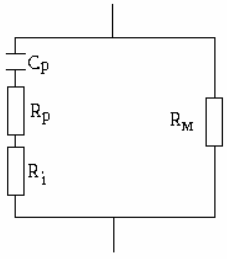


Рис. 1 Эквивалентная электрическая схема биологического объекта, где C_p - поляризационная

емкость, R_p - поляризационное сопротивление R_i - сопротивление цитоплазмы, $R_м$ - сопротивление межклеточной жидкости

Поляризационные явления на границе раздела - мембране обуславливают возникновение поляризационного сопротивления R_p и емкости C_p. R_p и C_p зависят от проницаемости и статической емкости мембраны. Последовательно с R_p и C_p включено сопротивление R_i - сопротивление собственно цитоплазмы. При условии, что основная часть ионов клетки находится в свободном состоянии, можно считать R_i сопротивлением электролитов. Емкость, поляризационное сопротивление и сопротивление цитоплазмы включены параллельно с сопротивлением межклеточной жидкости $R_м$. В данной схеме C_p и R_p являются частотозависимыми элементами, а R_i и $R_м$ частотонезависимыми.

Был проведен анализ процессов, происходящих в мягких тканях при термических поражениях различной степени тяжести, и выявлены изменения, оказывающие наибольшее влияние на проводимость.

Струп – область, имевшая непосредственный контакт с термическим агентом, полностью некротировавшие ткани (наблюдается только при тяжелых поражениях). Из-за разрушения клеточных мембран, этот участок не будет иметь реактивной составляющей импеданса, модель сводится к активному сопротивлению. Номинал будет зависеть от конкретных условий – сухой струп или влажный, его размеры и плотность.

Отек – накопление в тканях межклеточной жидкости. При отеке будет снижаться сопротивление межклеточной жидкости R_M, следовательно, будет уменьшатся активная составляющая импеданса.

Обезвоживание – наблюдается при отморожениях IV степени. Уменьшается объем межклеточной и внутриклеточной жидкости. Соответственно растет активное сопротивление межклеточной жидкости и цитоплазмы. Кроме того, из-за уменьшения жизнеспособности клеток, изменяются поляризационные свойства клеточных мембран, что ведет к уменьшению реактивной составляющей.

Повреждение кровеносных сосудов – наблюдается при обморожениях. Уменьшение объема циркулирующей крови ведет к гипоксии в тканях, жизнеспособность клеток снижается, следовательно уменьшается емкостное сопротивление. Именно гипоксия является основной причиной некроза отмороженных тканей.

Пузыри с жидкостью - имеют низкое активное сопротивление.

Воспалительный процесс – оказывает комплексное влияние на проводимость, уменьшаются как активная, так и реактивная составляющие. При I - II степени поражения наблюдается по всей площади, при более высоких степенях - в области демаркационного вала.

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что изменения, наблюдаемые в ткани, влияют только на характеристики отдельных элементов, не меняя общий характер проводимости. Эквивалентную схему можно использовать такую же, как для неповрежденной ткани, но с измененными номиналами элементов.

Наиболее сильные изменения наблюдаются при некрозе ткани. В этом случае эквивалентная схема сводится к активному сопротивлению.

В случае прохождения зондирующего тока одновременно через некротировавшую ткань и через поврежденный, но еще живой, участок, эквивалентная схема будет представлять собой последовательное соединение сопротивления и эквивалентной схемы живого участка (Рис. 2).

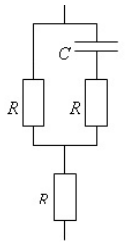


Рис. 2 Эквивалентная схема для участка, включающего живую и некротировавшую ткань

Для разрабатываемой модели была выбрана наиболее простая схема проведения измерений (рис. 3). В данной схеме происходит регистрация сигнала на границе объекта вызванного прохождением через него зондирующего тока, одновременно с ним регистрируется сам сигнал на выходе источника зондирующего воздействия.

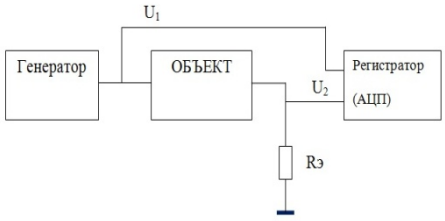


Рис. 3 Схема измерения

На рисунке 2 Rэ – эталонное (известное сопротивление), регистрация сигнала осуществляется многоканальным высокоскоростным АЦП. Ток, протекающий через объект и Rэ, одинаков.

Естественно, для определения импеданса нет необходимости вести измерение процессов в реальном времени, достаточно измерить амплитудные значения напряжения и силы тока, что не требует использования дорогой элементной базы, но нас не интересует значение импеданса

только на определенной частоте, нас интересует зависимость сопротивления биологического объекта от частоты зондирующего тока. Конечно, можно использовать несколько генераторов зондирующего тока различной частоты, и коммутировать их на исследуемый объект, но при этом измерения для каждой из частот будут разнесены во времени. Как известно, сопротивление биологического объекта меняется во времени, поэтому измерения полученные таким образом не могут быть коррелированны. Используя сигнал, состоящий из нескольких частотных составляющих, и средств обеспечивающих достаточную скорость регистрации такого рода сигнала, можно решить данную проблему, а также сократить время измерения при исследовании такого рода зависимости.

Для создания модели решено было использовать программу Multisim.

Модель представлена на рисунке 4., здесь в сигналы каждого из генераторов складываются, таким образом, зондирующий ток имеет сложную форму, с известными гармоническими составляющими.

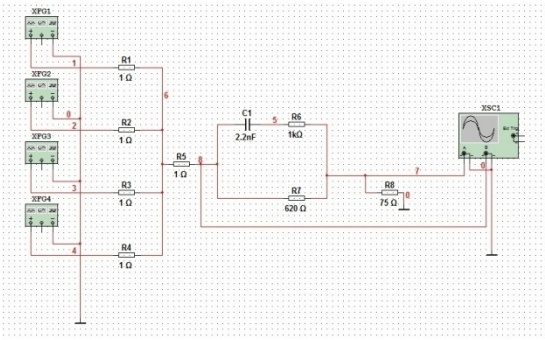


Рис. 4 Модель, использующая сигнал сложной формы, представляющий собой сумму вырабатываемых сигналов генераторами XFG1, XFG2, XFG3, XFG4 с частотами 50, 150, 350, 500 кГц (номиналы для неповрежденной ткани)

Эквивалентная схема ткани выполнена на элементах C1, R6 и R7. Изменяя схему и номиналы элементов можно моделировать различные варианты поражения и отслеживать изменения проводимости объекта. Влияние пульсовой волны на проводимость ткани в данной модели не учитывалось, что справедливо для случая быстрых измерений.

С помощью программы производится одновременная регистрация напряжения на границах эквивалентной схемы замещения. Пакет Multisim позволяет сохранять данные работы схемы в файл. Файлы, характеризующие работу схем, импортируются в пакет прикладных программ предназначенных для решения задач технических вычислений – MatLab, где проводится статистический анализ сигнала, строятся АЧХ и ФЧХ, рассчитывается импеданс на каждой из гармоник.

Список использованной литературы:

1. Котельников В.П. Отморожения. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.

2. Парамонов Б.А., Порембский Я.О., Яблонский В.Г. Ожоги: Руководство для врачей. – Спб.: СпецЛит, 2000. – 480 с.

3. Биофизика /Б.Н. Тарусов, В.Ф. Антонов, Е.В. Бурлакова и др.: М.: Высшая школа, 1968. – 468 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСКОРЕНИЯ РАСТВОРЕНИЯ КАМНЕЙ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И МЕДИКАМЕНТОЗНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ

Гайдышева Е.В., Киселева Е.Ю.
Научный руководитель: Солдатов А.И., к.т.н., доцент
ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
634050 г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: eka.kiselyova@gmail.com

Данная работа особенно актуальна в настоящее время в связи с широким распространением желчнокаменной болезни среди населения (ЖКБ).

Необходимость в избавлении больного от ЖКБ продиктована не только возникающими приступами желчных колик, но и опасностью возникновения тяжелых осложнений, которые могут потребовать срочного оперативного вмешательства, а при длительном течении основного заболевания - развитием рака желчного пузыря.

Рисунок 1 – Желчный пузырь с конкрементами

Несмотря на существование различных методов лечения желчнокаменной болезни, в нашей стране в большинстве случаев эту болезнь лечат с помощью хирургических операций, что всегда травматично и опасно. Возникает потребность во введении новых методов лечения ЖКБ.

В настоящее время существуют следующие методы нехирургического лечения ЖКБ []:

- Пероральная литолитическая терапия.
- Контактная литолитическая терапия.
- Экстракорпоральная ударно-волновая литотрипсия.

Пероральная литолитическая терапия.

При таком лечении пациент принимает лекарственные препараты, содержащие урсодезоксихолевую кислоту, которые, снижают содержание холестерина в желчи за счет торможения его синтеза в печени и увеличивают содержание желчных кислот в желчи. В результате желчь теряет литогенность и наступает растворение камней. Недостатком данной методики является то, что длительность лечения составляет 2-3- года.

Контактное растворение желчных камней.

Сущность метода заключается в непосредственном введении препарата в желчный пузырь. При наличии конкрементов в желчном пузыре пациенту выполняется пункция пузыря под рентгенологическим или ультразвуковым контролем.

Но поскольку желчный пузырь не удаляется, то, как и при вышеописанном методе, частота рецидивов достигает 50-60%.

Экстракорпоральная ударноволновая литотрипсия.

Суть данной методики заключается в дроблении камней вследствие воздействия на него ударной ультразвуковой волны. Однако, после дробления камней в желчном пузыре возникают осколки, которые могут препятствовать нормальному выведению желчи путем закупорки желчевыводящих протоков.

Целью данной работы является исследование возможности ускорения растворения холестериновых конкрементов желчного пузыря под действием ультразвука с использованием медикаментозного воздействия препаратом, содержащим урсодезоксихолевую кислоту.

Для реализации поставленной цели работы было произведено исследование растворения конкрементов из желчного пузыря под действием ультразвукового и медикаментозного воздействия.

В качестве исследуемых конкрементов использовались холестериновые камни, извлеченные из желчного пузыря человека хирургическим путем.

Для контролирования изменения размеров были проведены измерения максимальных диаметров камней. Измерения проводились с помощью штангенциркуля в начале исследования и через каждые 30 минут исследования.

Так как исследования проводились на холестериновых камнях, то для медикаментозного воздействия была выбрана урсодезоксихолевая кислота. Урсодезоксихолевая кислота в больших концентрациях содержится в таком препарате как УРСОСАН.

Холестериновые камни в ходе эксперимента помещались в модель желчного пузыря, представляющую собой презерватив для ультразвукового исследования, наполненный 10 мл воды и 250 мг урсодезоксихолевой кислоты, содержащейся в одной капсуле препарата УРСОСАН. Модель желчного пузыря помещалась в еще один презерватив (для моделирования многослойности структуры организма человека), наполненный водой, который в свою очередь опускался в ультразвуковую ванну с 300 мл воды.

В качестве жидкости наполняющей ультразвуковую ванную применяется вода, так как скорость распространения ультразвука в воде соизмерима со скоростью распространения ультразвука в теле человека

(скорость распространение ультразвука в воде 1480, в печени 1549м/с, кровь 1570 м/с, жир 1450 м/с) [].

В качестве «золотого стандарта» использовались данные полученные от камня, не подвергавшемуся ультразвуковому воздействию, только медикаментозному. Контрольный экземпляр, камень диаметром 10мм, был помещен в аналогичную модель желчного пузыря, но на него не было оказано ультразвуковое воздействие.

Контрольный камень перешел в состояние мелкодисперсной пыли за 78 часов. Такое достаточно быстрое растворение камня можно объяснить наличием в модели постоянной концентрации препарата, что в реальных условиях не наблюдается.

В ходе исследования было обнаружено, что камень при постоянном ультразвуковом воздействии уменьшает свои размеры в зависимости от начального диаметра, от 40% до 93,5%. Такой разброс выходных данных предположительно связан с различной структурой камней. В состав камней входит не только холестерин, но известь и кальций которые затрудняют процесс растворения камня.

В итоге было исследовано 5 камней диаметра от 3.1 до 55мм и построены зависимости изменения диаметра камня от времени медикаментозного и ультразвукового воздействия.

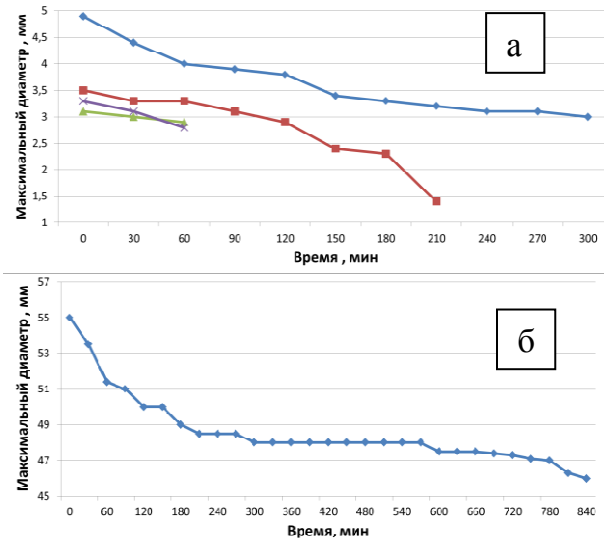


Рисунок 2 – Графики времени изменения размеров конкрементов желчного пузыря во времени: а – камни диаметром до 5 мм, б – камень диаметром 55 мм.

Видно, что ускорение процесса растворения холестериновых камней в модели желчного пузыря сильно зависят от диаметра и состава камня. Камни небольшого диаметра при ультразвуковом и медикаментозном воздействии распадаются на мелкодисперсную пыль достаточно быстро. У холестериновых камней имеющих кальциевое или известковое ядро растворяется только холестериновая оболочка, ядро при дальнейшем воздействии не изменяется.

Также доказана возможность применения ультразвука в качестве дополнительного средства при медикаментозном лечении желчнокаменной болезни.

Также следует заметить, что времена растворения камней в организме человека будут другими в связи с тем, что концентрация препарата в модели желчного пузыря неизменна, а в организме человека концентрация постоянной быть не может быть в связи с обменом веществ и циркуляцией желчи.

Список литературы.

1. Галеев М.А., Тимербулатов В.М., Гарипов Р.М., Верзакова И.В. Желчнокаменная болезнь и холецистит. – М.: МЕДпресс-информ, 2001. – 280 с.

2. Болотина И.О., Солдатов А.И., Цехановский С.А. Применение ультразвука в медицине: учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2009. – 205 с.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МОРФОМЕТРИИ ГРАНУЛ ПРЕДСЕРДНОГО НАТРИЙУРЕТИЧЕСКОГО ПЕПТИДА НА ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОФОТОГРАФИЯХ КАРДИОМИОЦИТОВ УШКА ПРАВОГО ПРЕДСЕРДИЯ БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ КАРДИОМИОПАТИЕЙ

Гутор С.С., Сафонова А.В.
Научные руководители: Шилов Б. В., к.м.н., доцент, Казаков В.А., к.м.н., доцент
ГОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития, 634050, г.Томск, Московский тракт, 2
E-mail: gutorser@yandex.ru

Несмотря на прогресс в терапевтическом лечении хронической сердечной недостаточности (ХСН), ежегодная смертность в общей популяции оптимально леченых пациентов составляет более 20% [1]. Наиболее частая причина развития ХСН – ишемическая кардиомиопатия (ИКМП) - имеет во много раз более злокачественное течение, чем дилатационная и гипертрофическая кардиомиопатия [1]. У части таких больных развивается ремоделирование левого желудочка. В таких случаях единственным способом лечения этих больных становится хирургическое вмешательство. Однако в 14-40% случаев у больных ИКМП в отдаленном послеоперационном периоде происходит возврат гемодинамических и анатомических показателей сердца к исходным дооперационным значениям (повторное ремоделирование), что клинически проявляется прогрессированием ХСН. Поиск предикторов повторного ремоделирования на дооперационном этапе является актуальнейшей проблемой современной кардиологии и кардиохирургии. В область поиска предикторов попадает и электронно-микроскопическое исследование кардиомиоцитов ушка правого предсердия (УПП), некоторые показатели которого при использовании количественных методов исследования могут обладать высоким прогностическим потенциалом. Электронная микроскопия обладает большой информативностью, однако имеет ряд отрицательных качеств, связанных с ручной обработкой изображения:

- высокие временные затраты;
- высокие трудовые затраты;
- высокая систематическая погрешность.

Цифровые методы обработки изображений и их автоматизация используются для снижения отрицательных качеств методики и позволяет использовать результаты электронной микроскопии как в научных целях, так и в клинике.

Создание инструмента, помогающего исследователям получать прецизионные количественные характеристики на основе изучения электронных микрофотографий, является на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

В доступной нам англо- и русскоязычной литературе описание морфометрии электронно-микроскопических фотографий чаще всего ограничивается общими фразами, например, «применяли морфометрический метод подсчета гранул» или «была проведена морфометрия» без указания программных средств, на которых она была осуществлена. В единичных случаях встречаются ссылки на коммерческие программные продукты, например, Image-Pro Plus analysis software, TVIPS [2], SerialEM [3], TOM, Utrecht suite. Однако данные программные продукты имеют ряд отрицательных свойств:

- работают только под OS Microsoft Windows (XP/2k);
- чаще всего имеют небольшой базовый набор функций;
- продаются вместе с микроскопами;
- имеют высокую стоимость (от 80 т.р.).

Принципиально отличается от таковых программа ImageJ [4], которая является кроссплатформенной, распространяется по лицензии GNU и не привязана к системе получения изображения. Пользователи и разработчики ImageJ составляют огромное сообщество, в котором доступна любая информация.

ImageJ – это программа для обработки изображений, написанная на Java, которая получила свое начало от проекта NIH “Image” для Macintosh и является ее продолжением, что обусловливает ее авторитетность среди западных ученых. Она является одной из самых быстрых в мире программой по обработке изображений [4]. В ImageJ представлен широкий инструментарий для анализа изображений, включая выделение «регионов интереса», измерение площади, длины, измерение угла, среднее, стандартное отклонение, обведение контура, гистограммы и другие. Все функции анализа и обработки учитывают множество параметров. Разработка ImageJ проектируется с открытой архитектурой, что обеспечивает ее расширяемость Java плагинами и удобство их разработки.

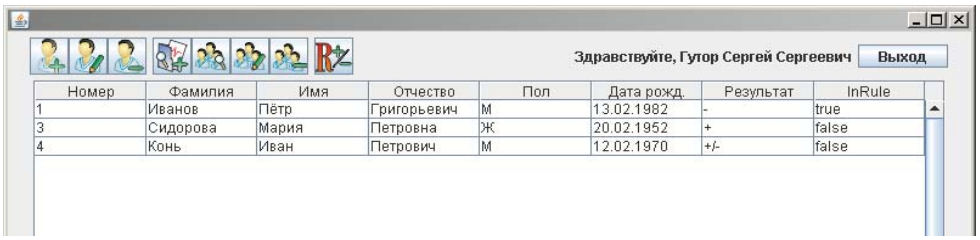


Рис. 1 Интерфейс программы

Это стало причиной использования данного средства для написания нашей программы. Мы использовали язык программирования Java и библиотеку классов ImageJ. Для разработки использовали среду Eclipse Galileo, для хранения информации - MySQL server 5.1, для статистической обработки – R-project.

Основной задачей работы является разработка алгоритма и автоматизация подсчета гранул предсердного натрийуретического пептида (ПНУП) на электронных микрофотографиях кардиомиоцитов УПП для предсказания отрицательной послеоперационной динамики больных ИКМП.

Суть разрабатываемого алгоритма заключается в нахождении объектов на изображении по набору параметров, уникально их определяющих, последующей морфометрии найденных объектов и определении послеоперационной динамики. Предлагается следующий алгоритм:

1. «Препарирование» (улучшение качества) изображения (коррекция контрастности и подавление шумов).
2. Нахождение и удаление артефактов (порог и анализ частиц), используя параметры характеризующие размер и форму изучаемых объектов.
3. Нахождение в области интереса гранул пептида на основе характеристик формы частиц и их окраски (порог, разделение частиц, анализ частиц).
4. Морфометрия найденных частиц (измерение каждой частицы и сохранение параметров в переменных).
5. Статистический отсев выпадающих результатов.

Написанная нами программа, помимо реализации данного алгоритма в автоматическом режиме, позволяет хранить всю полученную информацию структурированно, с указанием изображения, на котором найдены гранулы и пациентов, которым данные изображения принадлежат. Это обусловливает осуществление основной функции программы - предсказание послеоперационной динамики у больных ИКМП. Данная функция реализована гибко, с возможностью указать пациентов, которые лежат в основе создания правила классификации.

Работа с программой не представляет собой больших трудностей благодаря несложному интуитивно понятному интерфейсу (Рис. 1) и степени автоматизации морфометрии гранул.

Работа с программой проходит по следующему алгоритму:

- эксперт вносит данные пациента, после чего, указывает месторасположение электронных микрофотографий миокарда УПП;
- программа проводит морфометрию указанных изображений;
- эксперт указывает, к какой группе относится данный пациент, тем самым участвует в формировании правила разделения;
- если правило сформировано, то программа предоставляет возможность автоматически определить послеоперационную динамику, в зависимости от сформированного правила в системе на момент определения.

Вывод: Разработанный нами программный комплекс для автоматизированной морфометрии гранул предсердного натрийуретического пептида на электронных микрофотографиях кардиомиоцитов ушка правого предсердия больных ишемической кардиомиопатией позволяет:

- получить количественные характеристики электронных микрофотографий в автоматическом режиме;
- выбрать пациентов, которые будут использоваться для генерации решающего правила;
- определить характер послеоперационной динамики по созданному в системе правилу.

Автоматизация морфометрии гранул предсердного натрийуретического пептида на электронных микрофотографиях кардиомиоцитов ушка правого предсердия больных ишемической кардиомиопатией позволяет снизить высокие временные затраты, высокие трудовые затраты и высокую систематическую погрешность, связанные с ручной обработкой изображения.

Литература:

1. Беленков Ю.Н. Эпидемиологические исследования сердечной недостаточности: состояние вопроса / Ю.Н. Беленков, В.Ю. Мареев, Ф.Т. Агеев // Consilium Medicum. -2002. –том 4, N3
2. The TVIPS homepage: http://www.tvips.com
3. The Boulder Laboratory for 3D Electron Microscopy of Cells: http://bio3d.colorado.edu
4. The ImageJ homepage: http://imagej.nih.gov/

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНЫХ ПРОБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ

Жогло Е.В., Аристов А.А., Рафальский А.С.
Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zhoglo@sibmail.com

Система гемостаза является одной из важнейших систем, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность организма человека. Она представляет собой совокупность большого числа механизмов, обеспечивающих сохранение жидкого состояния крови, предупреждение и остановку кровотечений, а также целости кровеносных сосудов. Нарушение функциональных взаимосвязей между этими механизмами может привести к тяжелым патологическим состояниям организма, заключающимся или в повышенной кровоточивости, или во внутрисосудистом тромбообразовании. Именно поэтому так важно вовремя и правильно диагностировать любые нарушения системы гемостаза.

Эффективное лечение критических состояний невозможно без диагностики и коррекции существенных патологических сдвигов во всех компонентах системы гемостаза [1]. Оперативная диагностика нарушений и контроль за гемостатической, антитромботической и фибринолитической терапией должны быть максимально доступными и надежными. Следовательно, выбираемые методы должны давать информацию как о процессе свертываемости в целом, так и об активности отдельных звеньев системы гемостаза.

Поэтому сегодня в области современной лабораторной диагностики наблюдается тенденция развития и внедрения инструментальных методов исследования состояния системы гемостаза. Это прежде всего связано с возможностью оперативной оценки функционального состояния данной системы и взаимодействия ее отдельных звеньев, простотой исполнения и экономичностью.

Решая задачи повышения информативности инструментальных методов, для исследования системы гемостаза на кафедре Промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ был предложен и апробирован метод фотометрирования капельных образцов биожидкостей (рис.1) [2], а также техническое устройство, реализующее его. Для реализации данного метода используется система, состоящая из источника излучения расположенного под каплей и приёмника излучения, который располагается над каплей соосно источнику. Установка, сконструирована таким образом, чтобы обеспечить необходимый температурный режим для оптимальных условий протекания исследуемых процессов и высокий уровень влажности. Полное описание экспериментальной установки содержится в патенте РФ на ПМ [3].

Данная схема исследования предполагает наличие зависимости величины тока фотометрического канала от оптических свойств просвечиваемой среды, а они в свою очередь, определяются физическими и физико-химическими процессами, протекающими в пробе.

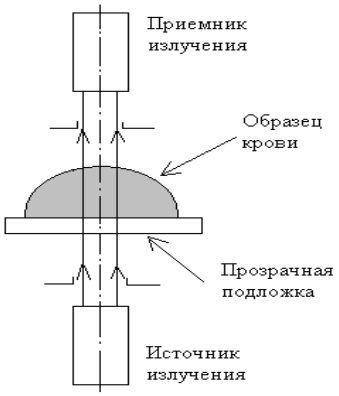


Рис.1 Схема реализации метода фотометрирования капельной пробы, расположенной на прозрачной гидрофобной поверхности.

К упомянутым процессам относится и процесс свертывания крови, т.е. образования фибриновых нитей, в результате чего появляется сгусток нерастворимого стабильного фибрина и наблюдается общее помутнение исследуемой среды. Вследствие этого изменяется значение светопропускания. Величина данного изменения определяется концентрацией соответствующих плазменных факторов свертываемости, а также наличием в крови ингибиторов этих факторов и антикоагулянтов (гепарин, гирудин и др.).

На первом этапе лабораторной диагностики для уточнения направленности нарушений необходимо провести исследования, отражающие состояние целых звеньев системы гемостаза. Для этого существует набор рекомендуемых тестов, традиционно называемых скрининговыми: АПТВ (активированное парциальное тромбопластиновое время), протромбиновое время, тромбиновое время и/или фибриноген.

В качестве экспериментальных исследований нами было выбрано измерение протромбинового времени. Протромбиновое время – это время образования сгустка фибрина в плазме при добавлении к ней хлорида кальция и тканевого стандартизированного тромбопластина. Протромбиновое время характеризует активность так называемого протромбинового комплекса (факторов свертываемости V, VII, X и собственно протромбина - фактора II). Результат исследования выражают в секундах (протромбиновое время), которое в норме равно 15-20 секунд.

Для определения протромбинового времени использовался техпластин-тест, для которого применялся набор реагентов фирмы «Технология-Стандарт».

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. По стандарту, описанному в инструкции к набору, проводилась подготовка реагентов к анализу (техпластина - лиофильно высушенной тромбопластин-кальциевой смеси и контрольной плазмы - лиофильно высушенного пула плазмы крови не менее чем от 20 здоровых людей). Затем данные реагенты смешивались в соотношении 2:1 (две части техпластина и одна часть плазмы), анализируемые образцы формировались в виде капель объемом 20 мкл, после чего проводилось их фотометрирование в течение двух минут на описанной выше исследовательской установке.

Нами были проведены исследования возможности определения протромбинового времени путем оценки изменения оптических свойств анализируемых капельных образцов в процессе образования фибринового сгустка. Время свертывания определялось путем анализа кривых, характеризующих динамику изменения выходного напряжения фотоэлектронного преобразователя (ФЭП). В результате экспериментов были получены зависимости (рис.2.):

Рис.2. Динамика изменения выходного напряжения фотоэлектронного преобразователя в процессе образования фибринового сгустка.

Представленная на рисунке кривая имеет четко выраженный пик на 19-ой секунде, что соответствует фактическому значению протромбинового времени для используемой контрольной плазмы. Затем наблюдается уменьшение выходного напряжения ФЭП, что связанно с уменьшением светопропускания через исследуемый капельный образец в ходе общего помутнения среды при образовании сгустка.

Также было решено провести сравнение изменений оптических свойств капельных образцов при использовании нормальной и патологической плазм (рис.3.).

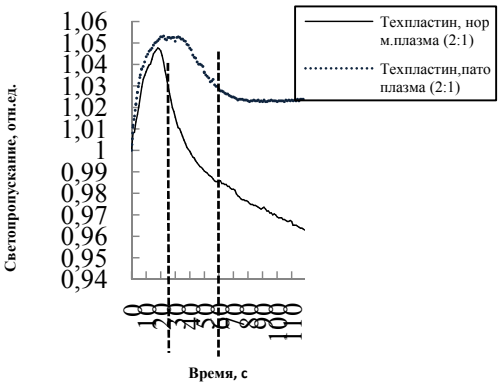


Рис.3. Динамики изменения светопропускания через капельные образцы при использованием нормальной и патологической плазм.

Из приведенных зависимостей видно, что положение пика на кривой, построенной для патоплазмы, смещено вправо относительно пика на кривой для нормальной плазмы. Действительно, патоплазма содержит меньшую концентрацию факторов свертываемости, а значит, процесс образования фибринового сгустка протекает менее интенсивно, т.е. протромбиновое время больше.

Таким образом, экспериментальные исследования показали возможность определения протромбинового времени в капельных образцах путем их фотометрирования. Данный метод обладает существенными достоинствами по сравнению с известными скрининговыми тестами, которые заключаются в использовании малых объемов биологического материала и реагентов (объем пробы составляет около 20 мкл), а также в возможности наблюдать динамику процесса свертываемости.

Конечно, необходимо отметить, что данный метод требует накопления достаточно большого клинического материала, а также дальнейших серьезных исследований.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (г/к П817 от 24.05.2010).

Литература:

1. Баркаган З.С., Момот А.П. Диагностика и контролируемая терапия системы гемостаза. М.: Ньюдиамед, 2001. - 296 с.

2. Аристов А.А Биотехническая система экспресс-оценки процесса оседания эритроцитов в микрообъемах./ А.А. Аристов, Я.С. Пеккер, Н.В. Рязанцева// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск: Изд. ТПУ, 2006

3. Патент на ПМ № 47526 Российская Федерация, МПК7 G 01 N 33/00. Устройство для оценки физических свойств биологических жидкостей/ А. А. Аристов (Россия). – № 2005104329/22; заявл. 17.02.2005; опубл. 27.08.05. Бюл. № 24.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭСТ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЭПИЛЕПСИИ

Зыков С.В.
Научный руководитель: Солдатов А.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: hoochie31@yandex.ru

В наши дни отечественная медицина, министерство здравоохранения, врачи неврологи и психиатры и, тем более, пациенты больные эпилепсией как никогда нуждаются в «глотке свежего воздуха». Таким «глотком», несомненно, должна стать электросудорожная терапия (ЭСТ). Именно сейчас, когда научно доказана абсолютная безопасность такой процедуры, у ЭСТ появляется все больше сторонников.

Кому, как ни главврачам также быть заинтересованным в появлении у них в клиниках аппаратуры для ЭСТ. Это сразу поднимает статус медицинского учреждения, привлекая квалифицированных кадров. Появление в медицинских университетах новой программы обучения сделает ЭСТ надежным ориентиром для студентов-медиков и молодых врачей. У медперсонала появится желание и возможности повысить свои профессиональные навыки. Появление новых рабочих мест, заинтересованность врачей и пациентов в электросудорожной терапии позволяет сделать данное направление престижным, востребованным, а главное – эффективным. Во многих развитых странах (США, Индия, Великобритания) ЭСТ применяется достаточно давно и уже зарекомендовала себя с лучшей стороны. Нам только необходимо перенять у них положительный опыт и добиться лучших результатов. Это позволит поднять уровень здравоохранения во многих наших регионах и стране в целом.

Дело встает только за получением личного опыта проведения таких процедур, и упирается в техническую базу. Дело в том, что на рынке отечественного медицинского оборудования аппаратура для ЭСТ (конвульсаторы) практически отсутствует. Кроме того отсутствуют также и иностранные аппараты, которые бы прошли процедуру сертификации и регистрации в нашей стране. Все это вызывает необходимость разработки современного российского аппарата для ЭСТ.

Для тех, кто знаком с сегодняшним положением дел, наверное, окажется неожиданностью, что СССР был одним из первых государств, где начала применяться судорожная терапия. Стремительное развитие метода в 40-е годы тем более удивительно, так как обстановка массовых репрессий конца 30-х годов мало способствовала развитию новых методов лечения, и что внедрению ЭСТ, конечно, должна была воспрепятствовать Великая Отечественная война. Но энтузиазм отечественных ученых и практических врачей, сразу почувствовавших огромный терапевтический потенциал ЭСТ, смог преодолеть эти препятствия.

Действительно, советская практическая психиатрия живо откликнулась на новый метод лечения. С 1942 г. началось применение ЭСТ в Вильнюсской психбольнице; в 1944 г. — в Курской психоневрологической больнице, с 1946 г. — в Томской психбольнице, с 1947 г. — в Тбилисском институте психиатрии им. М. М. Асатиани. В 1949 г. среди «активных методов» лечения психозов ЭСТ вышла в СССР на второе место после инсулинокоматозной терапии; из всех случаев использования активных методов на долю ЭСТ приходилось 33 %, а из всех поступающих пациентов этим видом терапии лечилось около 6,5 %. [1]

Надо сказать, что производство советских конвульсаторов не было отстающим, а шло в ногу с производством на западе, не уступая по своим техническим параметрам. Но продолжалось это совсем не долго. В 50-м году выпуск был прекращен в связи с полуофициальным запретом на метод ЭСТ в СССР. Характерное для многих советских больниц внезапное прекращение использования ЭСТ иллюстрируют типичные в этом отношении данные по Томской психиатрической больнице: 1946-1950 гг. - 907 курсов ЭСТ, 1950-1970 гг. - ни одного. [2] В течение последующих сорока с лишним лет применять ЭСТ могли лишь те редкие больницы, где на протяжении такого времени чудом удавалось сохранить старые аппараты в рабочем состоянии.

В начале 80-х годов медицинскими властями в СССР было решено снять необоснованный запрет на ЭСТ и возобновить выпуск конвульсаторов. Но это оказалось не так просто. У изготовителей и заказчиков не было четкого представления о современном уровне этого специфического оборудования; сформировавшееся поколение врачей, знакомых с методом только понаслышке, было не способно ясно сформулировать медицинские требования к аппаратуре. Поэтому рождение отечественного конвульсатора происходило долго и мучительно. В 1980-1986 гг. проблемой занимались предприятия Томска, в результате чего возник конвульсатор «ЭСТ-2М», отличавшийся от аппаратов 40-х годов только сервисными и дизайнерскими усовершенствованиями, но не сутью, а потому уже заранее устаревший. Определенную распространенность в СССР имел аппарат «ЭКТ-01 ФИЛАТ», созданный по тому же принципу.

Аппараты были грубыми, примитивными, с отчетливым повреждающим воздействием на когнитивные функции.

Тем временем зарубежный рынок был насыщен конвульсаторами таких фирм как: Ectron Limited (Великобритания), Mecta Corporation (США), Somatics Inc. (США). Аппараты выпускались в разных модификациях, с учетом особенностей национальных стандартов.

В 1990 г. Львовским НПО РЭМА в содружестве со специалистами-психиатрами ВНЦПЗ АМН СССР был налажен серийный выпуск первого и единственного отечественного конвульсатора, отвечающего современному уровню медицинской технологии. Этот аппарат, «Эликон-01», удачно воплотил в себе разработки западных конструкторов, творчески осмысленные львовскими инженерами. На сегодняшний день НПО РЭМА прекратило его выпуск, а вместе с тем прекратилось производство отечественных конвульсаторов.

Таким образом, зарубежные психиатры и неврологи уже давно имеют в своем распоряжении эффективные и безопасные модели конвульсаторов, в отличии от России.

Попробуем сопоставить и сравнить ЭСТ с доступными на сегодняшний день в России методами лечения эпилепсии (применение антиэпилептических препаратов (АЭП) и хирургические операции).

Несмотря на качество и высокий уровень проведения хирургических операций, не надо забывать о том, что это инвазивный метод лечения. Это открытое хирургическое вмешательство в мозг пациента и удаление очага припадков. Поставьте себя на место больного: для того чтобы решиться на такую операцию, нужно быть сильным духом человеком. А это как раз та категория больных, у которых зачастую бывает целый «клубок» комплексов из-за того, что они не такие как все. Еще тяжелее в таком случае родителям, не желающим укладывать своего ребенка на хирургический стол. При всем уважении к российским нейрохирургам, сегодня они проводят самые сложные операции на высочайшем уровне, быть на 100% уверенным в излечении от эпилепсии, не говоря уже о побочных проявлениях после операции, на мой взгляд, нельзя. Ведь это же человеческий мозг, и удаление какого-либо его участка не сравнится с ампутированием, пусть даже обеих ног или рук.

Вряд ли человек, узнавший о том, что болен эпилепсией в первую очередь пойдет к хирургу. Скорее всего, он будет надеяться на излечение, начав принимать АЭП. К сожалению, ситуация, которая сложилась на российском фармрынке, не позволяет получить полное и качественной медикаментозное лечение. Некоторые жизненно необходимые АЭП начали пропадать с прилавков аптек. А покупка их за рубежом требует немалых финансовых затрат. Финансовая недоступность хирургического лечения эпилепсии также является актуальной для большинства российских пациентов.

Необходим метод, который бы устранил все сомнения по поводу неизлечимости эпилепсии по каким-либо причинам. Таким методом в России должна стать ЭСТ. В зарубежных странах уже давно ушел в прошлое взгляд на ЭСТ как на «средство последнего выбора», «метод отчаяния». ЭСТ является обязательным компонентом терапии и имеет жизнеспасающее значение.

На сегодняшний день общепринятые стандарты безопасности при проведении ЭСТ (применение наркоза, миорелаксантов и искусственной вентиляции легких) в совокупности с усовершенствованными конвульсаторами делает такую терапию абсолютно безопасной и максимально эффективной. Все мифы и предрассудки касаемо ЭСТ давно не имеют силы и научно опровергнуты.

Безопасность метода обеспечивается и мониторингом функций пациента во время припадка. В последних моделях конвульсаторов (зарубежных) ЭКГ и ЭЭГ являются вмонтированными опциями, которые несут в себе еще и информацию о терапевтическом качестве достигаемого во время сеанса припадка.

Итак, российская психиатрия переживает не лучшие годы: сложная ситуация с антиэпилептическими препаратами, дороговизна и сомнительность хирургического лечения, отсутствие возможности проведения качественной ЭСТ, естественно в России. И если мы, как медицинские приборостроители, вряд ли сможем повлиять на госзакупку новых препаратов и на качество работы нейрохирургов, то предоставить российскому медицинскому сообществу аппарат для ЭСТ, соответствующий международным стандартам и не уступающий западным аналогам по своим техническим характеристикам, вполне нам под силу.

Спрос на такой вид оборудования в нашей стране уже «созрел». И если мы упустим еще какое-то время - то наш рынок заполнится западными конвульсаторами, и мы в очередной раз безнадежно отстанем и в этом виде оборудования.

Список литературы:

1. Нельсон А.И. Электросудорожная терапия в психиатрии, наркологии и неврологии - М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.-368 с: ил.

2. Рахмазова Л.Д. Электросудорожная терапия в лечении психически больных в разные реабилитационные периоды // Молодые ученые и специалисты народному хозяйству. Сборник статей / Гольдберг Е.Д.-Томск: 1983; с. 86—87.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПО ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Кононенко Т.С., Латышева И.К., Погудин Д.И.
Научные руководители: Алдонин Г.М., профессор, Желудько С.П., доцент
Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального Университета (ИИФиРЭ СФУ), 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26; тел. (391) 291-22-80
E-mail: GAldonin@sfu-kras.ru

Вариабельность сердечного ритма отражает состояние взаимодействия регуляторных систем организма, имеющих циклический характер

Спектральная плотность мощности (СПМ) кардиоритма характеризует вклад различных периодических составляющих в динамику процесса. Вклад каждой из этих частот в структуру ритма оценивается с помощью графиков зависимости мощности колебаний от их частоты.

При анализе кардиоритма в спектре выделяют три компонента: HF – высокочастотный (0,15 – 0,4Гц) – связан с дыхательными движениями и отражает вагусный контроль сетдечного ритма; LF – низкочастотный (0,04 – 0,15Гц) имеет смешанное происхождение и связан как с вагусным, так и с симпатическим контролем ритма сердца; VLF – очень низкочастотный (меньше 0,04Гц), происхождение которого связано с подкорковыми влияниями на сердечную деятельность.

HF – быстрые волны. Период колебаний от 2 до 6 секунд. Амплитуда быстрых волн зависит от уровня тонических парасимпатических влияний на сердце и поэтому является показателем этого тонуса.

LF – медленные волны первого порядка. Колебания с периодом от 6 до 25 секунд. Амплитуда таких волн в большей степени зависит от уровня тонических симпатических влияния на сердце. Этот показатель связан с барорефлекторной модуляцией вегетативных влияний на сердце, характеризует состояние системы регуляции сосудистого тонуса.

VLF – медленные волны второго порядка. Период колебаний от 25 секунд до 5 минут. Амплитуда данных волн тесно связана с психоэмоциональным напряжением. Волны этого диапазона отражают церебральные эрготропные влияния на нижележащие уровни управления и позволяют судить о функциональном состоянии мозга при психогенной и органической патологии мозга.

Для оценки состояния организма в различных фазах в течение дня проводились суточные записи кардиоритма. Данные эксперименты приведены на рисунках (Рис.1 - Рис.9), отражающие различную напряженность и психоэмоциональное состояние

$21^{00} – 21^{10}$ (Спустился/поднялся4этаж)

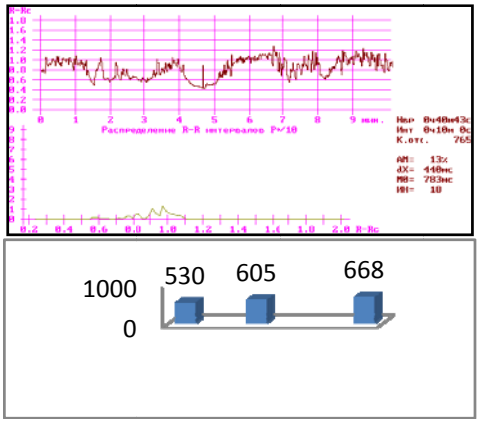


Рис.1.Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

$2^{33} – 2^{43}$ (Сон)

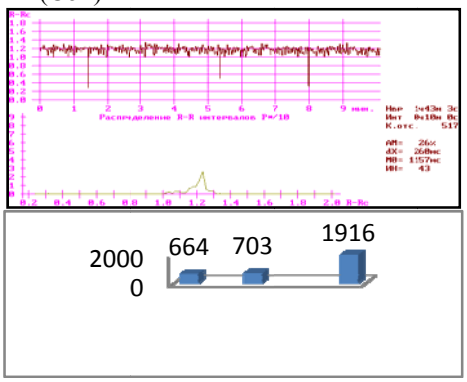


Рис.2. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

$4^{30} – 4^{40}$ (Сон)

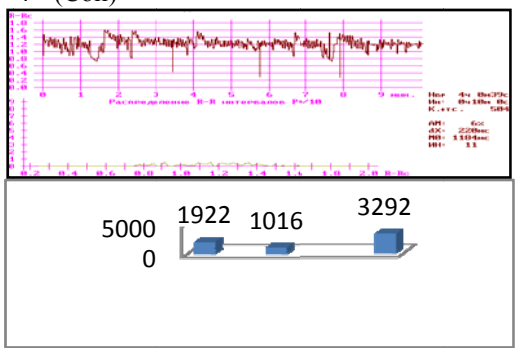


Рис.3. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

$6^{30} – 6^{40}$ (Сон)

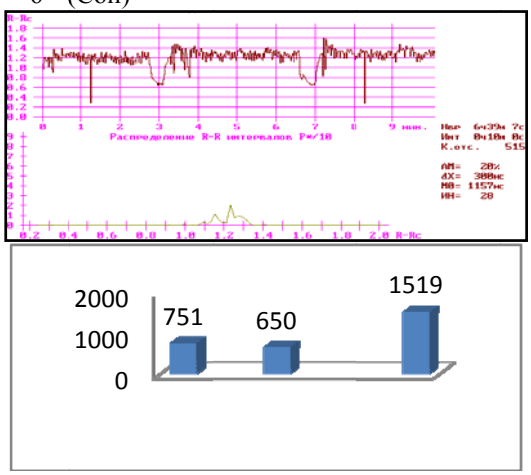


Рис.4. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах мс²Гц

$7^{00} – 7^{10}$ (Подъем)

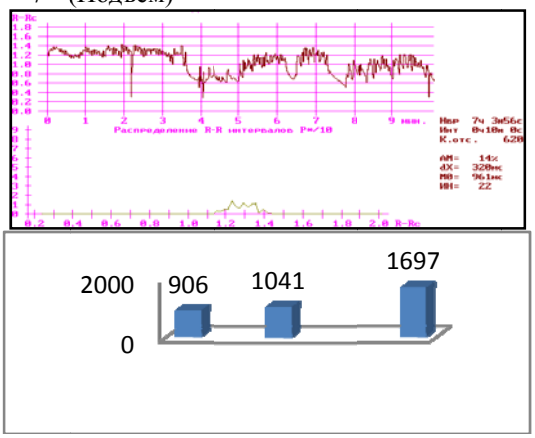


Рис.5. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

$8^{30} – 8^{40}$ (Завтрак)

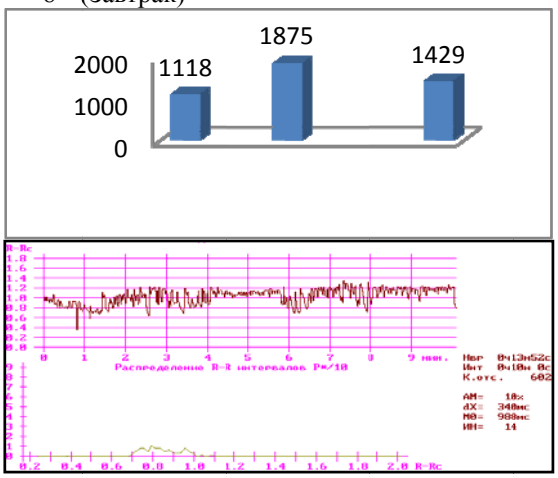


Рис.6. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

9^{25} - 9^{35} (Работа за компьютером)

Рис.7. Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

$12^{40} – 12^{50}$ (Учебные занятия)

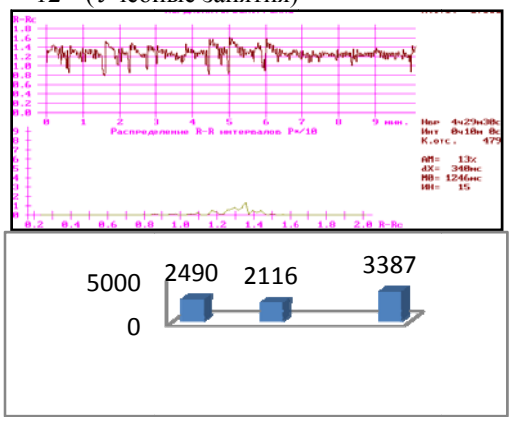


Рис.8.Кардиоритм и оценка его СПМ в VLF, LF, HF диапазонах

Приведенные фрагменты построены в соответствии с дневником пациента.

Приведем совместный график СПМ для оценки влияния волн в различные моменты времени. (Рис.9).

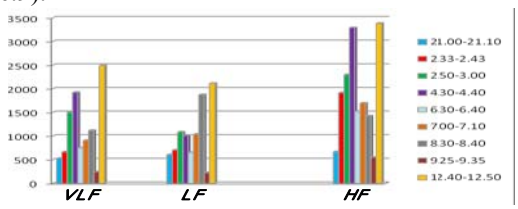


Рис.9.Совместный график СПМ

Из рисунка 9 видно, что СПМ увеличивается во всех рассмотренных диапазонах волн, с увеличением времени начиная с вечера (21^{00}) до утра и обеда. Лишь один показатель СПМ кардиоритма, записанного в 9^{30}, имеет наименьший уровень во всех длинах волн, это время пациент проводил за персональным компьютером.

ВЫВОД. Анализ кардиоритма позволяет объективно оценивать как общее состояние, так и реакции на стрессовые ситуации, контроль эффективности действия медицинских процедур, лекарственных препаратов, оптимизировать индивидуальный режим.

ВЫЯВЛЕНИЕ МАРКЕРОВ ГИПОКСИИ ПЛОДА В ВЫДЫХАЕМОМ БЕРЕМЕННОЙ ВОЗДУХЕ

Кузнецова Е.И., Кузьмин Д.А., Толмачев И.В.
Научный руководитель: Толмачев И.В.
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 38
E-mail: leno_k@sibmail.com

Гипоксические состояния плода и новорожденных в настоящее время встречаются весьма часто (более 10%) и занимают одно из ведущих мест среди причин перинатальной заболеваемости и смертности[2]. Они приводят к тяжелым последствиям со стороны центральной нервной системы и других органов не только в постнатальном периоде, но и в дальнейшей жизни ребенка.

В связи с этим особенно актуальным становится вопрос пренатальной диагностики кислородной недостаточности плода. Однако во время беременности распознавание внутриутробной гипоксии плода представляет определенные трудности в связи с тем, что при длительно протекающей гипоксии у него вступают в действие адаптационные механизмы, которые компенсируют многие нарушенные функции его организма. Кроме того, во время беременности невозможно использовать прямые методы оценки состояния плода (прямая ЭКГ, исследование крови плода). Поэтому диагностика внутриутробной гипоксии является комплексной и складывается из информации, полученной сразу с помощью нескольких методов обследования.

Целью данной работы является:

Поиск и выявление маркеров гипоксии плода в выдыхаемом беременной воздухе.

Задачи:

1. Поиск информации о составе выдыхаемого беременной воздуха.
2. Проведение исследований на группах беременных при помощи оптико-акустического газоанализатора.
3. Поиск маркеров гипоксии в спектрах выдыхаемого воздуха.

В мировой практике известна методика исследования жирно-кислотного состава конденсата выдыхаемого воздуха методом газожидкостной хроматографии [4].

Данный метод является наиболее точным, специфичным и неинвазивным для пренатальной диагностики внутриутробной гипоксии плода.

Изучают жирно-кислотный состав конденсата выдыхаемого воздуха (КВВ), рассчитывают относительное содержание жирных кислот и по отношению суммы ЖК с четным числом атомов углерода к сумме ЖК с нечетным числом атомов углерода (коэффициент гипоксии плода) судят о наличии кислородной недостаточности у плода.

Способ осуществляют следующим образом: у беременных, у которых подозревается хроническая внутриутробная гипоксия плода, собирают конденсат выдыхаемого воздуха, экстрагируют из него липиды методом Folch, гидролизуют их и метилируют жирные кислоты. Экстрагируют гексаном, упаривают экстракт в токе азота, анализируют на газожидкостном хроматографе и рассчитывают процентное содержание всех жирных кислот. Далее вычисляют отношение суммы ЖК с четным числом атомов углерода к сумме с нечетным числом атомов углерода и при увеличении этого коэффициента более 15.5 единиц диагностируют хроническую внутриутробную гипоксию плода.

Для диагностики различных заболеваний сравнительно редко используют исследование жирно-кислотного состава биологических жидкостей. В данном способе учитываются уровни жирных кислот с нечетным числом углеродных атомов, которых в организме взрослого человека очень малые количества, а их содержание возрастает в период эмбрионального развития, где эти компоненты играют большую роль в структурно-функциональной организации тканей плода. Следовательно, количественные сдвиги со стороны данных веществ являются специфичными, в первую очередь, для плода, а также и для беременной женщины. Кроме того, обнаружено, что при гипоксии плода значительно снижается уровень этих ЖК в амниотической жидкости, а их величины достоверно коррелируют с таковыми в конденсате выдыхаемого воздуха у беременных при всех степенях кислородной недостаточности эмбриона

По проведенным ранее исследованиям было выявлено: состав выдыхаемого беременной воздуха также имеет свои особенности. Концентрация некоторых веществ в конденсате выдыхаемого беременной воздуха превышает или наоборот несколько ниже, чем у контрольной группы (небеременные). Имеются также различия в составе выдыхаемого воздуха у женщин с нормально протекающей беременностью и с токсикозом первой половины беременности[1].

Таблица 1. Концентрация (в мг/м³) этанола и ацетона в выдыхаемом воздухе[1]

Состояние	Этанол	Ацетон
Нормально протекающая беременность	0.12	0.9
Токсикоз первой половины беременности	0.5	3.6
Контроль (здоровые)	0.2	1.3

Для анализа состава выдыхаемого беременной воздуха нами был выбран оптико-

акустический (ОА) газоанализатор. К достоинствам лазерного ОА-метода регистрации спектра относятся: высокое спектральное разрешение, высокая чувствительность по показателю поглощения, малый объем требуемого образца газа, отсутствие сигнала, если спектральная линия излучения находится вне линий поглощения исследуемой газовой смеси [3]. Применение оптико-акустического газоанализатора, позволит оценить спектральные характеристики выдыхаемого воздуха на более высоком уровне.

Материалы и методы.

Исследование выдыхаемого беременной воздуха проводится при помощи оптико-акустического газоаналиатора (ООО «Специальные технологии», Новосибирск, 2008) на двух группах беременных. Срок беременности 32-36 недель.

Принцип работы лазерного ОА-газоанализатора состоит в следующем. Лазерное излучение проходит через ОА-ячейку с анализируемым газом, поглощающим излучение. В результате поглощения газ нагревается и создает в замкнутом объеме ячейки колебания давления (звук) на частоте модуляции источника излучения. Звук регистрируется микрофоном. В эксперименте также регистрируется энергия лазерного излучения, и отношение сигнала микрофона к энергии излучения называется ОА-сигналом. Величина измеренного ОА-сигнала пропорциональна концентрации молекул поглощающего газа в пробе воздуха. Информация о величине зарегистрированного сигнала отображается на мониторе блока управления и индикации, в качестве которого используется персональный компьютер [3].

Исследуемые группы:

1 группа (основная): беременные с гипоксией плода

2 группа (контрольная): практически здоровые женщин, с неосложненным течением беременности.

По данным кардиотокографии (КТГ) и осмотра врача акушера-гинеколога определяется наличие либо отсутствие гипоксических состояний плода во время беременности, что является основным критерием отнесения в группу контроль, либо опыт.

Все исследования проводятся на базе родильного дома №4, в специально отведенном кабинете. Исследования при помощи кардиотокографа и забор проб воздуха проводятся с минимальным разрывом во времени для минимизации ошибок и погрешностей измерений.

Забор проб у всех обследуемых осуществлялся в стеклянные пробирки с ватной пробкой через стерильную пластиковую трубочку одноразового использования. Далее забор газовых проб из пробирок в ОА-ячейку сенсора осуществляется специальной иглой, закрепленной в пластиковой трубочке, подключенной к пробоотборному отверстию сенсора. Собственно измерения производятся при помощи компьютера, подключенному к ОА-сенсору, и специализированного программного обеспечения. После газоанализа формируются таблицы, содержащие спектральные характеристики выдыхаемого воздуха (коэффициент поглощения газа в зависимости от волнового числа).

Результаты.

Исследования проведенные на малой выборке показали различия в спектрах выдыхаемого воздуха у беременных с гипоксией плода и практически здоровых беременных. Выявление маркеров гипоксии позволит создать методику экспресс диагностики состояния плода.

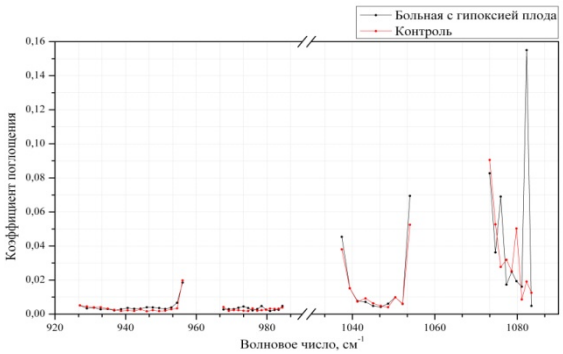


Рис.1. Коэффициент поглощения газов в выдыхаемом воздухе в группах беременных с гипоксией плода и практически здоровых женщин с неосложненным течением беременности (контроль).

Список литературы:

1. Анализ выдыхаемого воздуха [Электронный ресурс] / под ред. В.А. Скрупского. - Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.chem.msu.surusjournalschemlife2000vidoch.html

2. Колгушкина Т.Н. Основы перинатологии. М.: Медицинское информационное агентство, 2006. – 320с.

3. Применение методов лазерной спектроскопии и нелинейного анализа для исследования медико-биологических объектов / под ред. Ю. В. Кистенева. – Томск: изд-во ТПУ, 2007. – 286с.

4. Хышиктуев, Б.С. Способы пренатальной диагностики хронической гипоксии плода/ Б.С. Хышиктуев, Н.А. Хышиктуева, В.Н. Иванов [Электронный ресурс] . - Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.ntpo.com/patents_medicine/medicine_1/medicine_85.shtml

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЕГКИХ С ПОМОЩЬЮ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Кузьмин Д.А., Николаев М.А.
Научные руководители: Кистенев Ю.В., д. ф.-м.н., профессор; Тузиков С.А., д.м.н., профессор
ГОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: band107@mail.ru

По сведениям Международного агентства по изучению рака и Всемирной организации здравоохранения в мире ежегодно регистрируется не менее 12 млн. новых случаев рака. Только в Российской Федерации ежегодно регистрируется около 480 тыс. первичных случаев злокачественных новообразований (в том числе и рак легких).

При оценке показателей 5-летней и 10-летней выживаемости отдельных форм опухолей результаты в Российской Федерации нередко оказываются ниже западных. Прежде всего, это связанно с тем, что пока в России удельный вес ранних стадий рака меньше, чем в Западной Европе [1].

По данным М.В.Шеляховского, при первичном обращении больных раком легкого правильный диагноз устанавливается всего в 10,5% случаев, в остальных 89,5% предполагаются другие заболевания. Задержка с началом лечения при раке легкого, связанная с ошибочной диагностикой по данным различных авторов составляет от трех месяцев до одного года.

Большую группу запущенных больных из-за ошибочной диагностики составляют больные с затянувшейся или неразрешившейся пневмонией. Около 40% больных раком легкого длительное время лечат по поводу пневмонии, туберкулеза и неспецифических, якобы хронических заболеваний легких [2].

Также следует отметить, что двухлетняя выживаемость больных раком легких составляет всего 10% (для не леченного заболевания), раннее же обнаружение опухоли (стадия $T_1N_0M_0$) дают 80% выживаемость. В случае начала метастазирования прогноз становится неблагоприятным [3;4].

Исходя из всего вышесказанного следует заключить, что диагностика рака легкого должна производиться массово для обнаружения заболевания на ранних сроках (скрининг). Существующие методы диагностики достаточно информативны, но обладают рядом недостатков. Так, например, рентгенологическое исследование (в том числе спиральную компьютерную томографию) нельзя проводить часто из-за радиационной нагрузки. Другие методы связаны со взятием биоптата (кусочка ткани легкого) и инвазивны. По результатам остальных обследований диагноз не ставится, а лишь уточняется [5;6].

Предпосылки к созданию неинвазивного, недорогого и, вместе с тем, высокочувствительного метода диагностики рака легкого, уже существуют как в Европе, так и в США [7].

Многие литературные источники указывают на наличие специфических изменений метаболизма, возникающих при онкологических заболеваниях, в том числе и при раке лёгкого. Появление этих метаболитов (онкомаркеров) может проявляться и в изменении состава газовыделений организма, что подтверждено рядом исследований [8;9]. Это указывает на возможность их использования для дифференциальной диагностики рака лёгкого. Некоторые из онкомаркеров можно зарегистрировать с помощью специализированных приборов – газоанализаторов, которые могут иметь разные технологии или принципы работы.

Для проведения измерений в данном исследовании был выбран лазерный оптико-акустический газоанализатор, который обладает достаточно высокой чувствительностью для детектирования изменений состава газовой смеси. Для обработки результатов были применены методы, основанные на расчёте интегральных оценок состояния [10], чувствительные к малым изменениям параметров.

В исследовании приняли участие пациенты стационарного торакоабдоминального отделения НИИ Онкологии ТНЦ СО РАМН города Томска, больные немелкоклеточным раком лёгких (оцениваемая группа). В качестве референтной (контрольной) группы на данном этапе нашей работы были приглашены студенты-добровольцы без какой-либо легочной патологии.

У всех обследуемых были сделаны заборы разных видов проб – выдыхаемого воздуха, зубной налёт, мазки со слизистых ротоглотки, а также мазки с кожных покровов. С помощью оптико-акустического газоанализатора были получены несколько сканов спектров поглощения газовыделений взятых проб, которые были усреднены по четырем наиболее информативным диапазонам частот.

С применением интегрального критерия были получены количественные оценки каждого состояния (Рис.1-2). В качестве векторов состояния для расчета интегральной оценки, использованы коэффициенты поглощения газовыделений по выбранным диапазонам частот. Перед проведением расчётов, на примере одного из пациентов, были определены оптимальные, с

точки зрения минимизации коэффициента вариации, параметры моделирования.

Полученные значения интегральной оценки оказались значимо различны с показателями здоровых людей (контрольная группа).

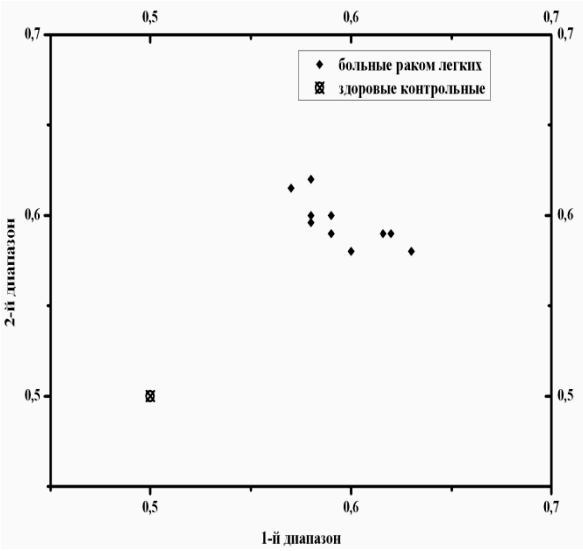


Рис. 1. Интегральные оценки проб выдыхаемого воздуха пациентов больных раком легких, в сравнении с показателями здоровых людей (контрольная группа) для первой пары частотных диапазонов

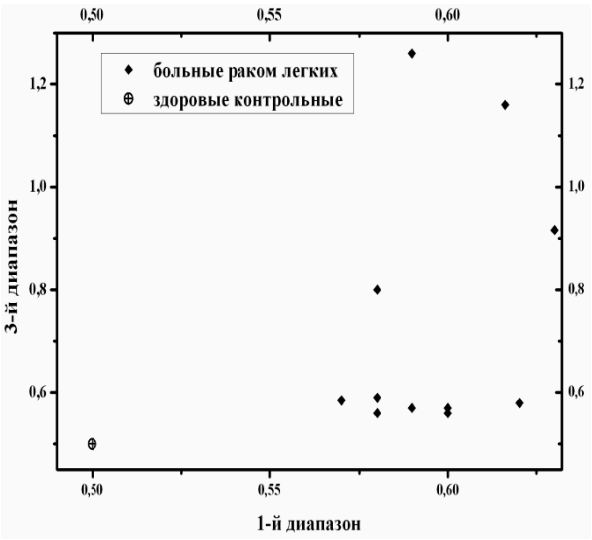


Рис. 2. Интегральные оценки проб выдыхаемого воздуха пациентов больных раком легких, в сравнении с показателями здоровых людей (контрольная группа) для второй пары частотных диапазонов

Заключение

Данное исследование показало, что оценка спектров газовыделений организма человека является перспективным для разработки новых неинвазивных диагностических подходов к анализу состояния пациентов с раком легкого. Конечно, остается много вопросов, как о методике проведения измерений, поиске потенциальных онкомаркеров, так и о дифференциальной диагностике с другими легочными патологиями. Но мы надеемся, дальнейшие исследования смогут показать целесообразность применения данного подхода к ранней диагностике рака легких.

Список литературы

1. Новые веяния в онкологии [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.medline.az/content/view/2617/38/

2. Ранняя диагностика рака легкого (обзор по материалам электронных СМИ) [электронный ресурс] / В.П. Потанин, А.В. Потанин – Электрон. дан. – Режим доступа: http://mfvt.ru/rannyaya-diagnostika-raka-legkogo-obzor-po-materialam-elektronnyx-sredstv-massovoj-informacii/

3. Трахтенберг А.Х. / Рак легкого // Избранные лекции по клинической онкологии / Ред. Чиссов В.И., Дарьялова С.Л. – М., 2000. – С. 297–331.

4. Трахтенберг А.Х., Чиссов В.И. / Клиническая онкопульмонология. – М.: ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 2000. – 600 с.

5. Ганцев Ш.К./ Онкология: Учебник для студентов медицинских вузов. – М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2006.

6. Нормантович В. А. / Рак лекого: тенденции в диагностике и лечении. НИИ клинической онкологии ОНЦ РАМН, Москва.

7. Natale Corrado Di, Macagnano Antonella, Martinelli Eugenio / Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elsevier.com/locate/bios

8. Phillips Michael, Gleeson Kevin, Hughes J Michael B / Volatile organic compounds in breath as markers of lung cancer: a cross-sectional study. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.ncbi.nlm.nih.gov

9. Phillips Michael, Altorki Nasser, Austin John H.M. / Detection of lung cancer using weighted digital analysis of breath biomarkers. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elsevier.com/locate/clinchim

10. Фокин В.А. Критерий оценки состоянияосложных биосистем // Известия Томского политехнического университета. − 2004. −Т. 307. − № 5. − С. 136–138.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОТЕЗ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДИСТЫХ НАНОТРУБОК И УПРАВЛЯЮЩЕГО НЕЙРОКОНТРОЛЛЕРА

Куракина Т.В., Сенников А.В.
Научный руководитель: Печаткин А.В., к.т.н.
Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина,53, г. Рыбинск, тел./факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Протезирование – система медико-технических мероприятий, направленных на восстановление утраченных форм и функций отдельных органов или частей человеческого тела, например, рук, ног, глаз и т.п. с помощью протезов. В соответствии с имеющейся статисткой в крупную региональную клинику или центр только для осуществления первичного протезирования ежегодно обращается около 250 пациентов. Около 70-80% первично протезируемых инвалидов имеют сопутствующую патологию и нуждаются в социальной и психологической помощи, ранней медицинской и социальной реабилитации. Ампутация конечности представляет собой серьезное вмешательство в физическую целостность человека. Послеоперационный период после ампутации нижней конечности включает в себя активизацию пациента, выполнение ряда профилактических мероприятий, а также раннее протезирование, способствующее более быстрому формированию культи, оказывает благотворное влияние на общее состояние пациента.

Для огромной массы людей качественный протез является обратным билетом в нормальную, активную жизнь, ведь профессионально проведенное протезирование позволяет человеку чувствовать себя полноценным членом общества и не ловить на себе сочувствующие взгляды окружающих. В социальном аспекте протезирование и связанные с ним реабилитационные мероприятия направлены на полное возвращение пациента в семейную жизнь, социальную среду и профессиональную деятельность. Последнее является крайне затруднительным для практической реализации, прежде всего, вследствие функционального несовершенства большинства имеющихся протезов, несмотря на их техническую сложность – рис.1.

Достижения в области современного протезирования впечатляют, однако какими бы совершенными ни были искусственные руки или ноги, настоящих они все равно не заменят, в том числе из-за чувствительности «родных» конечностей человека. Предлагаемая американскими учеными технология использования в протезах искусственных нервов из тончайших пластиковых нитей, заканчивающихся сотнями тысяч наносенсоров и вживляемых в тело человека для связи с головным мозгом еще находится в стадии разработки и, безусловно, как минимум еще в течение 10 лет будет недосягаема для рядовых граждан Т.о., задача интеллектуализации протеза конечности без использования биотехнологий остается крайне актуальной.

Рис.1. Варианты протезов нижних конечностей

Одним из возможных решений данной задачи является формирование разнородных сенсорных сегментов, способных реагировать на изменение температуры, влажности и давления непосредственно на поверхности протеза и замена сложных пружинных и гидравлических механизмов, управляющих движением конечности человека, на искусственные мышцы на основе углеродных нанотрубок. Управление такими мышцами и считывание информации с сенсорных сегментов возьмет на себя нейроконтроллер, способный оперативно параллельно обрабатывать несколько десятков разнородных данных – рис 2.

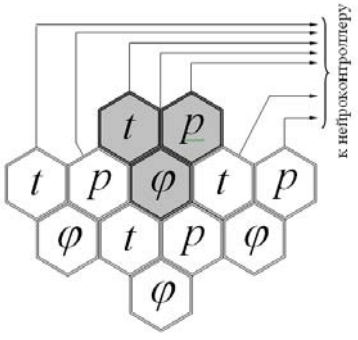


Рис. 2. Гетерогенный сенсорный 3-х элементный кластер

В качестве проводников, соединяющих сенсоры, целесообразно использовать все те же углеродные нанотрубки, хорошо проводящие электрический ток – рис.3.

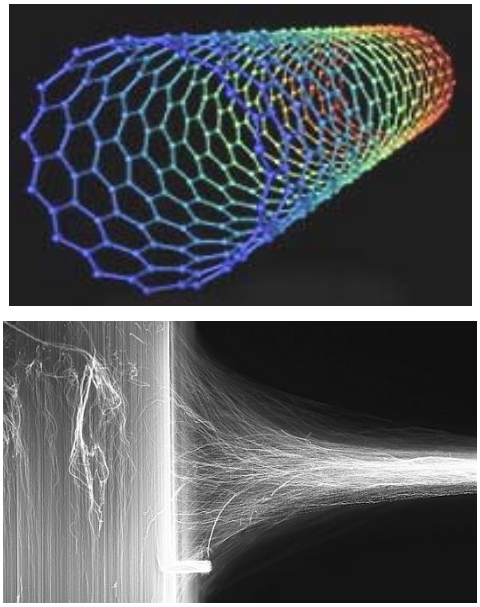


Рис. 3. Углеродная нанотрубка и созданная на ее основе искусственная мышца

Для исключения влияния сигнального тока на сокращение искусственных мышц, а также с целью повышения защищенности информационных сигналов от воздействия внешних электромагнитных помех возможно использование модулированных колебаний.

Интеграция сенсорной электроники и нановолокон позволит создать на поверхности протеза гомогенную тактильно-чувствительную структуру, ничем не уступающую человеческой коже. Углеродные мышцы гораздо «сильнее» естественных. Так, обычная мышечная ткань может сокращаться на 10% в течение одной секунды. Мышцы на основе углеродных нанотрубок за тот же временной промежуток способны сокращаться на 40 000%. Впечатляет и диапазон рабочих температур: от температуры жидкого азота до температуры плавления железа.

Безусловно, для бюджетного варианта исполнения протеза целесообразно сократить изменение длины до 15%, чтобы полимерная мышца надежно срабатывала миллионы раз. Информация от сенсоров передается в нейроконтроллер для централизованной обработки данных, выработки импульсов, управляющих искусственными мышцами, а также для формирования на культе комплексного тактильного образа, с помощью которого происходит информирование человека об окружающей среде. Основанием для этого является полное сохранение чувствительности культи.

Тактильный образ создается на основе активаторов – сегментированной гетерогенной матричной структуры, выполненной из плотного мягкого полимера. При этом информация о температурном режиме передается непосредственным образом (т.е. нагревом и охлаждением), а давление и влажность – с помощью высокочастотных импульсов.

Несмотря на общие механизмы движения конечностей каждому человеку свойственна индивидуальная траектория начального положения, для воспроизведения которой необходимо вычисление траекторий на основе ускорений и углов наклона конечности. С этой целью в протезе необходимо предусмотреть инклинометры и гироскопы, выполненные на основе интегральной микромеханики.

Для обучения нейроконтроллера (интеллектуализации протеза) и непосредственно пациента предусмотрен дуплексный высокоскоростной радиоканал, связывающий данный модуль с внешним компьютером и базами данных (знаний) – рис 4.

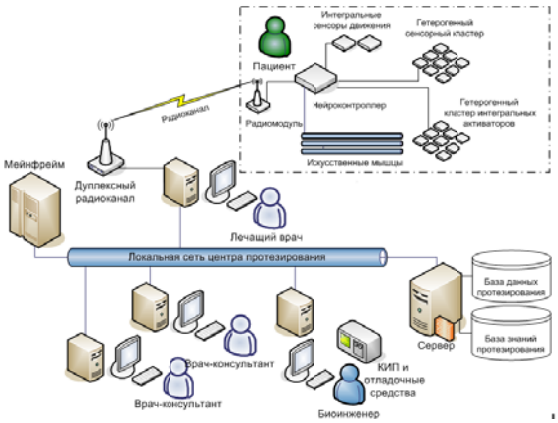


Рис. 4. Функциональная модель системы обучения интеллектуального протеза

Т.о., в процессе обучения задействуются необходимые экспертные системы и информационно-аналитические платформы, а также информация о параметрах, фазах и особенностях движения здоровой конечности пациента, максимально сокращая адаптационные период.

В рамках работы студенческого конструкторского бюро кафедры РТС совместно с Ярославским ортопедическим предприятием в 2011 году предполагается выполнить ряд исследований, связанных с особенностями и закономерностями движения человека, в т.ч. инвалида, реализовать действующую модель протеза с сенсорикой и управлением мышцами, сформировать радиоканал, осуществить поиск и анализ отечественных родственных наноструктур и нонанотрубок и в случае успеха осуществить моделирование волокнами.

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОТОЛЕЧЕНИЯ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Т.А. Ларина, А.В. Леднева, Е.А. Франциян,
ГОУ ВПО «Томский государственный университет», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: Larechik@inbox.ru

Одним из самых эффективных методов лечения кожных дерматитов (от греч. «dermatos» – кожа) является фототерапия с использованием ультрафиолетового излучения (УФТ). В настоящее время с помощью УФ излучения лечатся псориаз, экзема, угри и др., для чего используются лампы ЛЛ и МЛГ с корректирующими светофильтрафми, излучающими в диапазоне длин волн 320-400 нм и обеспечивающие уровни облучения 5-10 мВт/см^2 [1, С. 740]. В последние годы для УФТ также стали использовать излучение в диапазоне длин волн 290-320 нм [2].

Проведенный анализ данных о продуктах по УФТ, представленных на рынке, выявил ряд коренных недостатков этих методик: 1) большая их часть основана на применении источников УФ-излучения совместно с лекарственными средствами, вызывающими аллергические или иные реакции у пациентов; 2) в конструкции многих устройств входят лампы на основе паров ртути, т.е. рабочие среды этих ламп опасны для здоровья (соответственно, эти лампы требуют специальных условий эксплуатации и дорогостоящей утилизации); 3) известно, что при использовании ультрафиолетового излучения в медицине для получения эритермного эффекта благоприятным является диапазон длин волн $(260\div300) < \lambda < 400$ нм. Большинство имеющихся на рынке устройств не перекрывают этот диапазон длин волн и поэтому не обеспечивают широкого спектра лечения.

Проведенный анализ позволил нам сделать уверенное заключение о том, что на рынке можно ожидать вытеснения XeCl-лазеров XeCl-эксилампами при уменьшении цены последней по крайней мере на порядок, по сравнению с лазером.

Кроме того, привлекательной альтернативной для лечения в диапазоне 320-400 нм является азотная лампа, спектр излучения которой представлен полосами электронно-колебательных переходов второй положительной системы молекулярного азота $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$, среди которых наиболее интенсивные (1–0) с λ=316 нм, (0–0) с λ=337.1 нм, (0–1) с λ=358 нм, (0–2) λ=380 нм [3] (рис. 1). Параметры устройства приведены в табл. 1.

Проведенные в Институте сильноточной электроники исследования [4, 5] позволили создать прототипы обоих ламп, отличающиеся портативностью и удобством использования в практике врачей. В данный момент XeCl-эксилампа проходит предклинические испытания в Сибирском государственном медицинском университете. Ведутся переговоры о постановке приборов на производство с Елатомским приборным заводом и зарубежными инвесторами.

Табл. 1. Параметры прототипа N_2-лампы

Рабочая молекула	N_2*
Спектральный диапазон излучения, λ	300-400 нм
Размеры излучающего окна	6×10 см
Потребляемая мощность	до 45 Вт
Плотность мощности излучения	до 2 мВт/см^2
Питание от сети	220±5 В, 50 Гц
Вес	0.85 кг
Размеры эксилампы	25×8×8 см

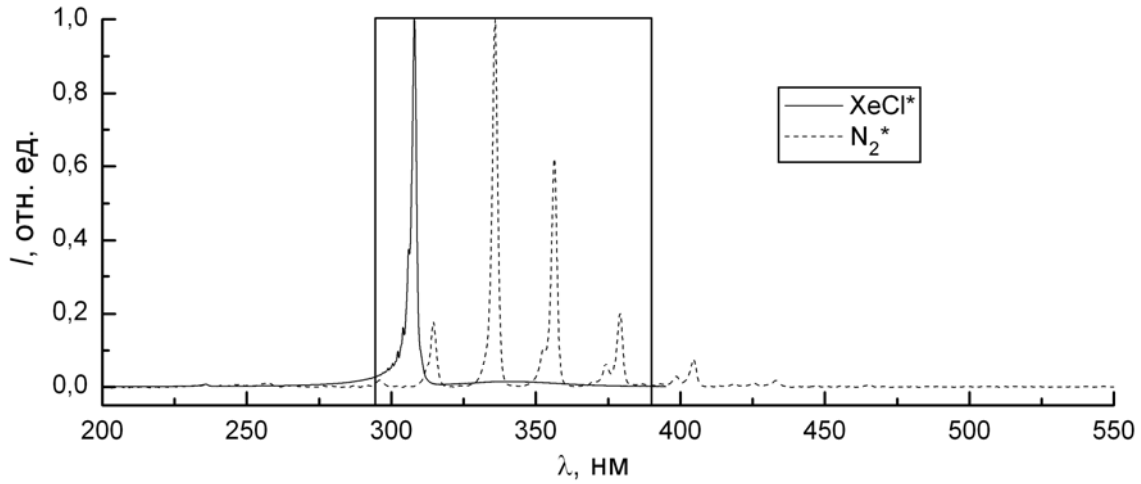


Рис. 1. Спектры излучения XeCl- и N_2-ламп. В рамку помещена область, соответствующая лечебному действию излучения и не обладающая канцерогенным действием на кожу.

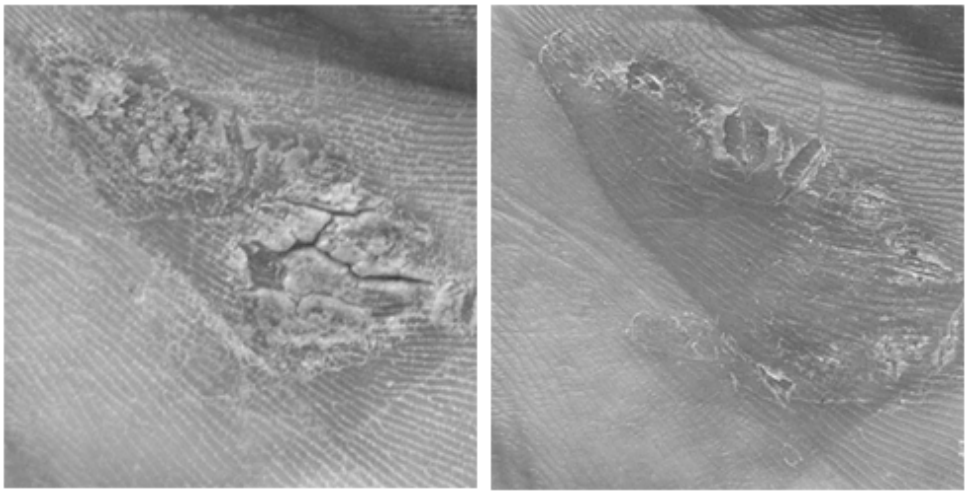


Рис. 2. Изменения в кожном покрове ладони пациента при фотолечении N_2-лампой: до лечения (слева) и после лечения (слева).

Работа выполнена в рамках проекта 09-08-99080-р_офи «Исследование эксиламп ближнего УФ-диапазона спектра и их применение в дерматологии». Мы благодарим за помощь нашего руководителя Э.А. Соснина.

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Дом света, 2008. – 952 с.

2. Соснин Э.А. Фотолечение кожных заболеваний: новые источники света и перспективы исследований // Тезисы докладов 6-й Международной светотехнической конференции (19–22 сентября 2006 г.). − В68. – С. 162.

3. Авдеев С.М., Соснин Э.А, Тарасенко В.Ф. Устройство для фототерапии дерматозов // Патент RU 95523. – Приоритет 29.03.2010. – Рег. № заявки 2010111910/22. – Опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.

4. Соснин Э.А., Ерофеев М.В., Тарасенко В.Ф., Скакун В.С., Шитц Д.В., Ломаев М.И., Тибаут М., Лаурент М. Источник излучения // Патент RU №2271590 С2. – Приоритет 15.03.2005. – Опубл. 10.03.2006. Бюл. №7.

5. Авдеев С.М., Соснин Э.А. Оптические характеристики излучения димеров N_2* в барьерном разряде // Оптика и спектроскопия.– 2009. – Т. 106 – №1. – С. 14–20.

ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ КАРДИОРИТМА

Латышева И.К, Кононенко Т.С., Лопатнев Н.Ю.
Научные руководители:Алдонин Г.М., профессор, Черепанов В.В.
Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального университета
(ИИФиРЭ СФУ), 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26; тел. (391) 291-22-80;
E-mail: GAldonin@sfu-kras.ru

Гомеостаз человеческого организма основан на циклическом взаимодействие иерархической многоуровневой регуляторной системы жизнеобеспечения, на клеточном или метаболическом уровне (эндогенные биоритмы).

Такие высокоорганизованные структуры обладают квазикристаллической симметрией и фрактальной самоорганизацией по принципу масштабно-инвариантного самоподобия. Все биопроцессы и биосигналы отражают структурную организацию.

Вейвлет – преобразование можно использовать для анализа нестационарных процессов, (многие медицинские сигналы нестационарны), вейвлет методы помогают распознавать и обнаруживать ключевые диагностические признаки. Вейвлет - преобразование обеспечивает двумерную развертку исследуемого одномерного сигнала, при этом частота и координата рассматриваются как независимые переменные.

В ренормгрупповом подходе вейвлет - преобразования выявляют структуру анализируемого процесса, а скейлинги – масштабную инвариантность или самоподобие в биосигналах. Определяющим показателем таких систем и процессов являются скейлинги скелетоных функций (картины линий локальных экстремумов, выявляющих структуру анализируемых процессов).

Структурную организацию и наилучшее иерархическое самосогласование динамических систем отражает характерное для природных процессов и структур Фибоначчи-покрытие. Скейлинговые характеристики кардиоритма могут служить оценкой функционального состояния организма. Подобные скейлинговые характеристики могут быть получены при вейвлет-сечениях частотной оси по Фибоначчи. Структурную целостность и устойчивость можно оценить, определяя скейлинговые характеристики скелетонов вейвлет-диаграмм и меру их гармоничности, как меру конфликтности их внутренних циклов.

Взаимодействие регуляторных систем организма полнее всего отражается в кардиоритме.

В качестве примера оценим эффект влияния фитобочки с помощью вейвлет преобразования биосигналов. С помощью аппаратно-програмного комплекса (АПК) запишем кардиоритм до проведения процедуры (Рис. 1)

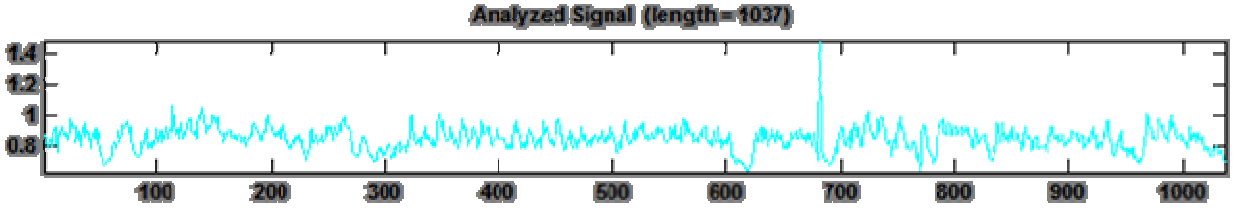


Рис 1. Кардиоинтервалограмма до процедуры.

Вейвлет преобразования кардиоинтервало-граммы представлено на (Рис. 2)

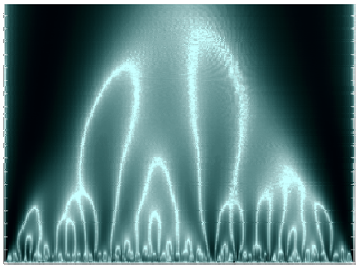


Рис.2. Вейвлет преобразования кардиоинтервалограммы

По методике изложенной в работе Олемский А.И., Флат А.Я. «Использование концепции фракталов в физике конденсированной среды» построим дерево Кейли и определим фрактальную размерность процесса (Рис.3).

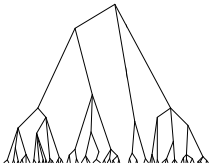


Рис.3. Скелетная функция в виде дерева Кейли Определим вейвлет-сечения (частоты) по узлам дерева Кейли. (Таблица.1)

Номер сечения	Скейленги скелетонов
1	0,66
2	0,5
3	0,54
4	0,81
5	0,58

Сравнение данных до проведения процедуры и после показывает степень влияния бальнеопроцедуры (фитобочки) на состояние организма. Найдем фрактальную размерность дерева Кейли

$$D = \ln \rho / \ln j,$$

где ρ – число узлов с ветвистостью $j = 2,3,...,$.

фрактальная размерность

$$D = 4,56$$

Изменение фрактальной размерности является результатом влияния на человека факторов, вызывающих его изменения состояния.

Приведем вышеизложенные расчеты после проведения процедуры в течении 20 минут.

С помощью АПК запишем кардиоритм после проведения процедуры (Рис.4)

Найдем фрактальную размерность, после проведения процедуры: $D = 5,2$

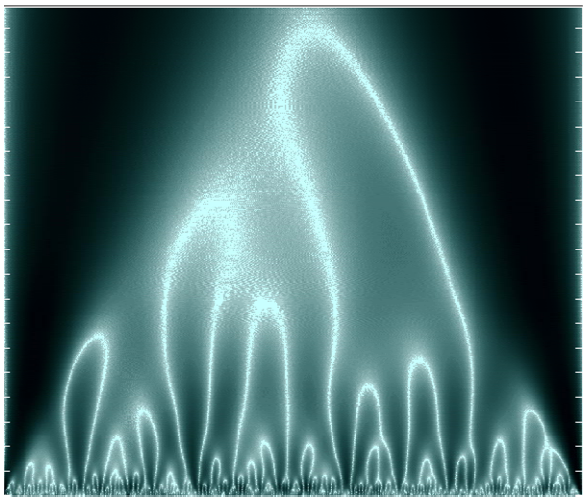


Рис.5. – Вейвлет преобразования кардиоинтервалограммы записанной после процедуры

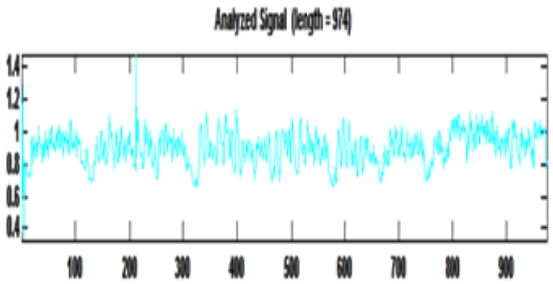
Рис.6. Скелетная функция в виде дерева Кейли

Определим Вейвлет сечения (частоты) по узлам дерева Кейли. (Таблица.2)

Таблица.2. Вейвлет сечения по узлам дерева Кейли

Номер сечения	Скейленги скелетонов
1	0,6
2	0,55
3	0,56
4	0,64
5	0,67

Рис.4. Кардиоинтервалограмма после процедуры



Вывод: Увеличение фрактальной размерности говорит об улучшении общего функционального состояния организма.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ИНФОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ

Лопатнев Н.Ю., Погудин Д.И., Кононенко Т.С.
Научный руководитель: Алдонин Г.М., профессор, Черепанов В.В.
Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального университета (ИИФиРЭ СФУ). 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26; тел. (391) 291-22-80;
E-mail: GAldonin@sfu-kras.ru

По данным Всемирной организации здравоохранения Россия занимает первое место по смертности от болезней, особенно от сердечно-сосудистых заболеваний. Повышение эффективности лечения и возвращение пациентов к активной жизни связаны со своевременным обнаружением заболеваний и быстрым оказанием квалифицированной помощи.

Президент РФ Дмитрий Медведев на заседании Президентского совета по развитию информационного общества выразил озабоченность невысокими темпами внедрения электронных услуг в сферу здравоохранения. Среди непроработанных проблем в области информатизации здравоохранения Медведев назвал внедрение телемедицинских услуг в труднодоступных районах. Приоритетными направлениями в концепции информатизации названы: «создание информационной системы, обеспечивающей персонифицированный учет оказания медпомощи гражданам РФ», «создание и развитие информационно-аналитической системы» и «развитие системы персонального круглосуточного мониторинга здоровья населения удаленных районов».

Актуально создание современных социально-приемлемых, универсальных, функционально полных информационно-измерительных систем, математического и программного обеспечения для компьютерных технологий мониторинга состояния здоровья, встроенных в современную инфо-коммуникационную инфраструктуру для обеспечения задач телемедицины.

С этой целью разработан холтеровский кардиомонитор МКМ-09 (рис.1) для накопления в режиме of-line и on-line электрокардиосигналов (ЭКС) и пульсовой волны (ПВ) кровотока, фонокардиограмму (ФКС) и данных о сосудистом тонусе в цифровом виде от 5 минут до 24 часов. Сигналы, передаются в персональный компьютер (ПК) для последующей их обработки и статистического, спектрального и структурного анализа кардиоинформации.

Требуемый объем памяти, для хранения 24 часов записей трех каналов одновременно:

$$P = V \times t, \quad (1)$$

где P – требуемый объем памяти, V – информационный поток, t – время

$$P = 6000 \times 60 \times 60 \times 24 = 518400000$$

Для записи 24 часов сигналов трех каналов необходимо 494Мбайт свободной памяти (т.к. 1кб=1024б).

В режиме записи кардиоинтервалов фиксируется время между QRS-комплексами сигнала ЭКГ (объем одного отчета $S_{ки}$=2*б*). Период квантования $T_{кв}$ составляет 300мкс. Тогда за 1сек. записи кардиоинтервалов будет формироваться отчет размером в 8 байт. Следовательно, для записи 24-х часов кардиоинтервалов непрерывно потребуется не более 700кб свободной памяти. Следовательно, для непрерывной работы кардиомонитора в режиме записи 3-х сигналов, кардиоинтервалов необходимо использовать флеш-карту (*MMC*) размером не менее 512Мб.

Передача данных в БД телемедицинского центра всех трех биосигналов (ПВ, ЭКС, ФКС) обеспечивается.

Объем поступающих данных с АЦП приведен в таблице 1. В таблице 2. приведена оценка необходимых информационных ресурсов телемедицины и возможности современных систем передачи данных как проводных, так и беспроводных, с учетом радиуса их действия.

Таблица 1 Оценка ресурсов, необходимых для реализации передачи данных

Канал	$F_д$, Гц	Объем одного отчета	Информационный поток
ЭКС	500	2 байт	1000б/с
ПВ	500	2 байт	1000кб/с
ФКС	2000	2 байт	4000кб/с

Информационный поток при записи трех каналов одновременно составит 6000 б/с.

Для передачи могут быть использованы как почтовые серверы (mail), файловые серверы (ftp), веб серверы (web) с загрузкой файлов и разграниченным доступом. Могут использоваться веб-серверы самого кардиологического центра.

Для построения сети телемедицины в Красноярском крае предпочтительнее использовать спутниковые линии связи (мобильная связь и интернет), а так же проводной (оптоволоконный) интернет. Спутниковые технологии целесообразно использовать в районах с неразвитой наземной линией связи.

Рисунок 1 - Используемые технологии передачи данных для построения сети телемедицины в Красноярском крае.

Таблица 2. Возможности современных систем передачи данных

Способ передачи данных БД телемедицинского центра				Скорость передачи данных
Проводные	Прямое кабельное соединение	USB-Link		480 Мбит/с
	Коммутируемый доступ	Dial-up		33.6-320.0 кбит/с
		xDSL	ADSL	24 Мбит/с / 3,5 Мбит/с
			IDSL	144 кбит/с
			HDSL	2 Мбит/с
			SDSL	2 Мбит/с
			VDSL	55 Мбит/с / 11 Мбит/с
			SHDSL	2,32 Мбит/с
			UADSL	1,5 Мбит/с / 384 кбит/с
Беспроводные дальние	Сотовая связь 2G и 2,5G	GSM	GPRS	до 171,2 Кбит/с
			CSD	до 9,6 кбит/с
			EDGE	до 474 кбит/с
		TDMA	ANSI-136	от 64 кбит/с

Приведенный далее метод передачи обеспечивают передаваемые объемы информации.

На рис. 2 приведена отрабатываемая структура кардиологической телемедицины на базе АПК, использующая существующую инфо- коммуникационную инфраструктуру, посредством мобильных и интеренет технологий.

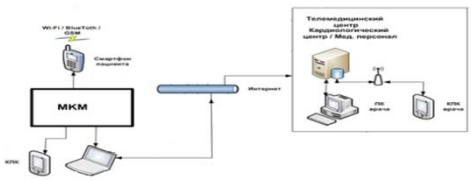


Рис. 2. Структура кардиологической телемедицины

После совместной записи ПВ+ЭК+ФК сигналов предварительно производится просмотр записи (рис. 3) на EKG-manager (либо других ПО для АПК МКМ), а так же прилагается скриншот (либо серию представляющих интерес фрагментов записи) отдельного участка записи, для быстрого просмотра (рис. 3).

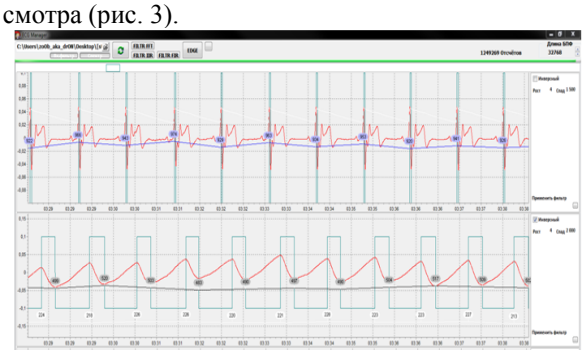


Рис. 3. Участок с предполагаемой жалобой.

Далее собранные файлы отправляются на электронную почту лечащему врачу, с указанием в теме сообщения фамилии пациента.

Врач получает на КПК сообщение с jpeg файлом и ссылкой на rar архив с записью. Просмотрев отчет в виде jpeg файла (рис. 4) оценивает срочность просмотра отчета того или иного пациента. Это упрощает работу, так как за кардиологом закрепляется сразу несколько пациентов и помимо этого проводится работа с больными на стационарном лечении. (Периодичность отправки отчетов устанавливается кардиологом).

Так же отчет обследования пациента заносит в базу, для отслеживания ФСО пациента на протяжении обследования.

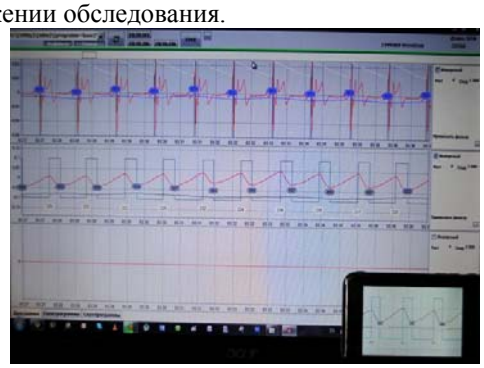


Рис. 4. Просмотр отчета обследования лечащим врачом. Jpeg файл просматривается на коммуникаторе, запись всего обследования на EKG-manager, либо другом ПО предназначенным для АПК.

Аппаратно-программные средства контроля ФСО разработаны для кардиолога, терапевта, валеолога, специалистов по функциональной диагностике и могут использоваться как в клинических, так и в бытовых условиях. АПК на базе холтеровских кардиомониторов МКМ-09 с возможностью дистанционной передачи информации о функциональном состоянии организма (ФСО) в диагностический центр.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ В ТКАНЯХ ОРГАНИЗМА ВО ВРЕМЯ АНЕСТЕЗИИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

Малинин В.С.
Научный руководитель: Устюжанин В. А., к.т.н., профессор
Читинский государственный университет, 672000, Россия, г. Чита, ул. Кастринская, 1
E-mail: id-05@mail.ru

Общей анестезией называют искусственно вызванное физиологическое состояние, характеризующееся обратимой утратой сознания, анальгезией, амнезией и некоторой степенью миорелаксации. Существует большое количество веществ, способных вызвать общую анестезию: инертные газы (ксенон), простые неорганические соединения (закись азота), галогенированные углеводороды (фторотан), сложные органические соединения (барбитураты) и др. В настоящее время внутренние механизмы общей анестезии до конца не выяснены. Нет единой общепринятой теории действия анестетиков, которая должна объяснять, каким образом такие разнообразные по химической структуре соединения вызывают достаточно стереотипное состояние общей анестезии. Так, например, при рассмотрении сводной таблицы гемодинамических эффектов ингаляционных анестетиков[1], можно увидеть сколь разнообразно действие однотипных по конечному действию на организм, веществ:

Таблица 1. Гемодинамические эффекты ингаляционных анестетиков

	Параметры кровообращения									
Препарат	УОК	ЧСС	МОК	ОПСС	ОЛСС	ЦВД	ДЗЛА	АД	ДЛА	БР
Эфир	↓	-	↓	↑	↑	↑		↓	↑	
Закись азота	-↓	-	-↓	-	↑	-	↓	-	-	
Галотан	↓	↑↓	↓	↓	↓			↓		↓
Энфлуран	↓	-	↓	↓	↓			↓	-	↓
Изофлуран	↓	↑↓	↓	↓	↓			↓		-↓
Дезфлуран	↑↓	-↑	↑↓	↓		↑	↑	↓	↓	
Севофлуран		-↑	↑↓	-↓				↓	↓	
Ксенон	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Циклопропан	↓	↓	↓	↑		↑		↑↓		
Трихлорэтилен	↓	↑	↓	↑		↑		↓		
Метоксифлуран	↓	↑	↑↓	-↓		↑		-		

Где: УОК – ударный объем кровообращения, ЧСС – частота сердечных сокращений, МОК – минутный объем кровообращения, ОПСС- общее периферич. сосудистое сопротивление, ОЛСС – общее легочное сосудистое сопротивление, ЦВД – центральное венозное давление, ДЗЛА – давление заклинивания легочной артерии, АД - артериальное давление, ДЛА - давление в легочной артерии, БР – барорефлекс.

Анализ проблемы, мы начали с рассмотрения гемодинамических эффектов анестетиков, по той причине, что для оценки уровня анестезии, мы планируем использовать, электроимпедансный метод, который традиционно связан с кровенаполнением. Кроме того, сердечно сосудистая система, как транспортная магистраль для анестетика, в ткани организма, именно из-за значительной вариабельности эффектов, наглядно показывает, что действие анестетиков основано на взаимодействиях вещества с клетками (мембранами клеток), а не только на сродстве с определенными рецепторами. Очевидно, что степень действия анестетика на организм, будет определяться его перфузией и растворимостью в тканях. В зависимости от кровотока и растворимости анестетиков все ткани можно разделить на 4 группы [2]. Головной мозг, сердце, печень, почки и эндокринные органы составляют группу хорошо васкуляризованных тканей, именно сюда в первую очередь и поступает значительное количество анестетика. Небольшой объем и умеренная растворимость анестетиков существенно ограничивают емкость тканей этой группы, так что в них быстро наступает состояние равновесия (артериальное и тканевое парциальное давление анестетика, становятся равны). Кровоток в группе мышечных тканей (мышцы и кожа) меньше, и потребление анестетика происходит медленнее. Кроме того, объем группы мышечных тканей и, соответственно, их емкость гораздо больше, поэтому для достижения равновесия может потребоваться несколько часов. Кровоток в группе жировой ткани практически равен кровотоку в мышечной группе, но чрезвычайно высокая растворимость анестетиков в жировой ткани приводит к настолько высокой общей емкости, что для достижения равновесия требуется несколько суток. В группе слабо васкуляризованных тканей (кости, связки, зубы, волосы, хрящи) кровоток очень низок и потребление анестетика незначительно:

Таблица 2 . Группы тканей, выделенные в зависимости от перфузии и растворимости анестетиков.

Характеристика	Хорошо васкуляризованные ткани	Мышцы	Жир	Слабо васкуляризованные ткани
Доля массы тела, %	10	50	20	20
Доля сердечного выброса, %	75	19	6	О
Перфузия, мл/мин/100 г	75	3	3	О
Относительная растворимость	1	1	20	О

Учитывая приведенные выше данные, становится понятно, что при рассмотрении электроимпедансного метода, для оценки уровня анестезии, нас главным образом должна интересовать так называемая «постоянная составляющая» импеданса (условно постоянная), обусловленная собственным сопротивлением тканей организма, а не кровенаполнением (изменением кровенаполнения). Причем поскольку большая масса тела приходится на мышцы, то целесообразным кажется использование в качестве органа исследования – конечностей, что так же облегчает закрепление электродов на теле пациента и, как правило, не причиняет неудобства для операционного вмешательства, а использование тетраполярной схемы отведений, так же упрощает процесс построения модели человеческого организма.

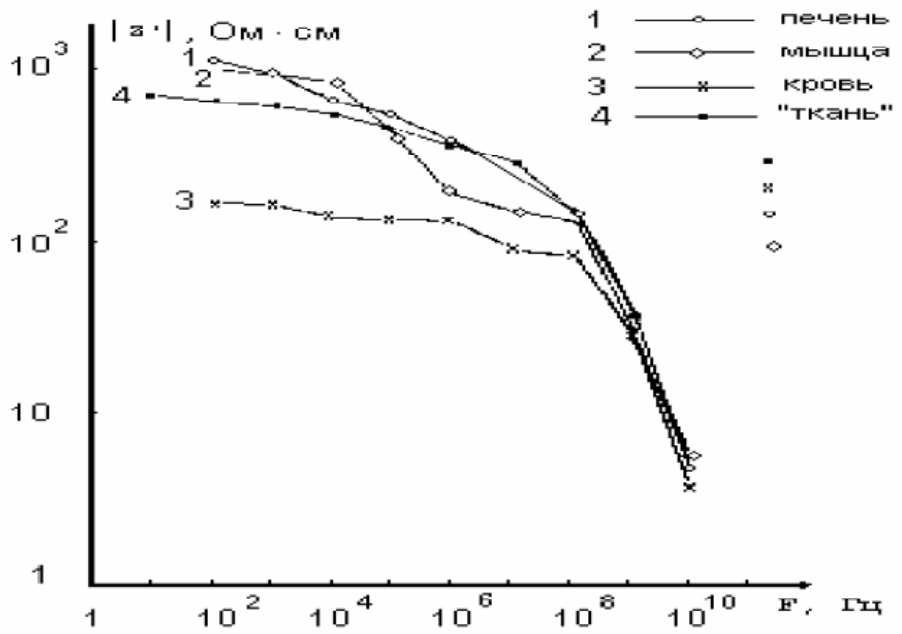


Рис.1. Зависимость импеданса биологических тканей от частоты зондирующего тока

На рисунке 1, представлен график зависимости величины импеданса различных биологических тканей, от частоты зондирующего тока, как видно из графика, для осуществления измерений целесообразно использовать частотный диапазон области α- и β-дисперсии импеданса биологических тканей. Поскольку стадия или степень анестезии, пропорциональна количеству анестетика в организме, можно предположить, что по изменению импеданса мышечной ткани, вызванному накоплением в ней анестетического вещества, можно будет судить о стадии анестезии.

Список использованной литературы:

1. Лебединский К.М. Анестезия и системная гемодинамика (Оценка и коррекция системной гемодинамики во время операции и анестезии). СПб: Человек, 2000. — 200 с.: ил.

2. Дж. Эдвард Морган-мл. Клиническая анестезиология: книга 1-я / Изд. 2-е, испр.— Пер. с англ. — М.—СПб.: БИНОМ-Невский Диалект, 2001. 396с., ил.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПРЕССИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Мальцев А.В., Квашнина С.И.
Научный руководитель: Квашнина С.И., д.м.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 62500, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: leha3103@gmail.com

В 1973 г. Американская ассоциация сердца впервые опубликовала «Стандарты сердечно- легочной реанимации и неотложной помощи». Внедрение этих алгоритмов обеспечило спасение жизней многих тысяч пациентов. Основные реанимационные мероприятия включают оценку сознания пациента, обеспечение проходимости дыхательных путей, искусственную вентиляцию легких (ИВЛ) и непрямой массаж сердца (см. рис. 1).

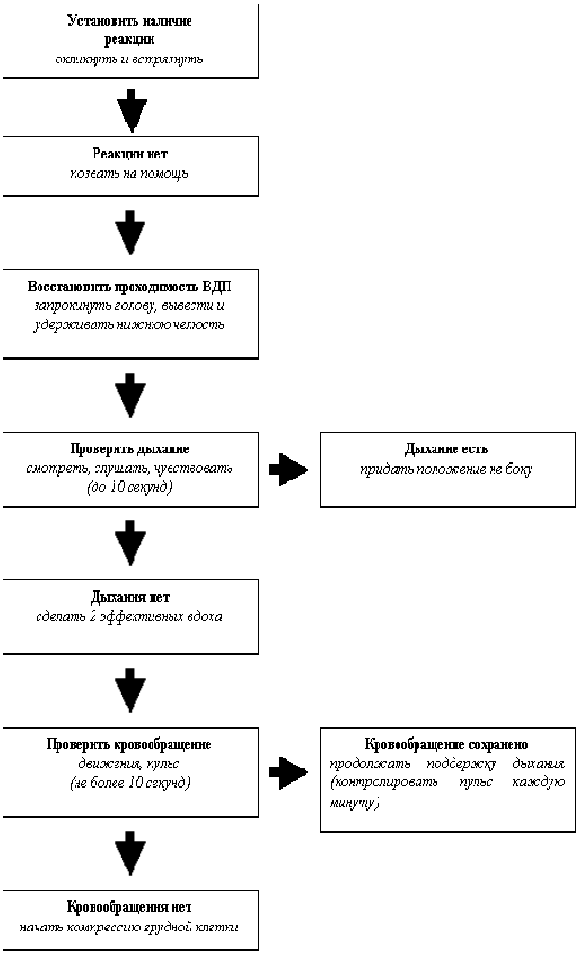


Рис. 1. Рекомендованная последовательность мероприятий по реанимации.

Успешная реанимация возможна лишь при устранении причины клинической смерти (при асфиксии, острой массивной кровопотере и пр.). Однако часто ее сразу установить и устранить не удается.

Искусство сердечно-легочной реанимации (СЛР) непрерывно совершенствуется. Значительно улучшить результаты закрытого массажа сердца можно с помощью метода активной компрессии – декомпрессии. Суть методики состоит в том, что для СЛР применяется
так называемый Cardio Pump (кардиопамп). Это специальная круглая ручка с калибровочной шкалой (для дозировки усилий компрессии и декомпрессии), имеющая вакуумную присоску (см. рис.2).

Рис.2. AMBU Cardio Pump

Устройство, прикладывается к передней поверхности грудной клетки, присасывается к ней, и таким образом становится возможным осуществлять не только активное сжатие, но и активное растяжение грудной клетки, При этом активно обеспечивать не только искусственная систола, но и искусственная диастола. Глубина компрессии составляет 4-5 см, частота – от 80 до 100 в 1 минуту с соотношением фаз 1:1. Усилие, необходимое для полноценной компрессии, составляет 40-50 кг, для декомпрессии – 10-15 кг, что контролируется по шкале на ручке устройства. Применение метода компрессии – декомпрессии существенно увеличивает объём как искусственного кровотока, так и вентиляции лёгких, улучшает непосредственные и отдалённые результаты, но при этом требует больших усилий.

Все это говорит в пользу необходимости использования автоматических систем компрессий грудной клетки. Автоматические системы СЛР предназначены для обеспечения непрерывных компрессий грудной клетки с постоянными частотой и глубиной продавливания грудины, которые способны привести к восстановлению спонтанного кровообращения (ВСК). На сегодняшний момент существует несколько моделей таких систем, однако, в практической медицине в реанимации используется только две:

Система компрессии грудной клетки Lucas (см. рис. 3). Она представляет собой портативное, простое в использовании устройство, разработанное для выполнения автоматизированных компрессий грудной клетки. Lucas выполняет 100

компрессий в минуту. При этом глубина продавливания грудной клетки составляет 4-5 см.

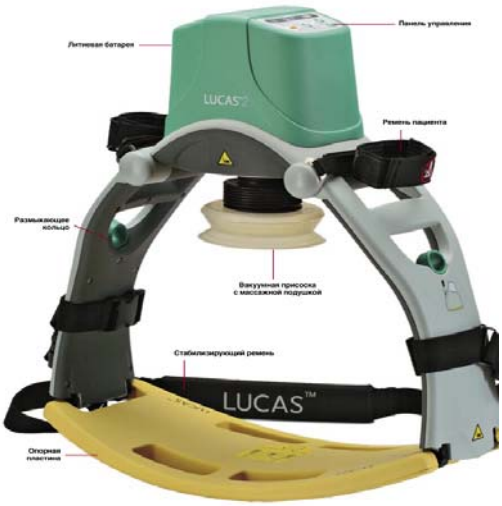


Рис.3. Система компрессии грудной клетки Lucas.

В сущности, данная система – это автоматизированный реанимационный насос Cardio Pump, но одним из её минусов является возможность использования только режима постоянных компрессий.

Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации ZOLL AutoPulse (см. рис. 4). Это единственное в своем роде приспособление в виде неинвазивного насоса для оказания помощи сердечной мышце.

Рис.4. Устройство для сердечно-легочной реанимации AutoPulse.

Его отличительной особенностью является отсутствие мягкой вакуумной присоски из силиконовой резины. Вместо нее используется ремень LifeBand, равномерно распределяющий компрессионную нагрузку и обеспечивающий массаж всей грудной клетки (см. рис.5).

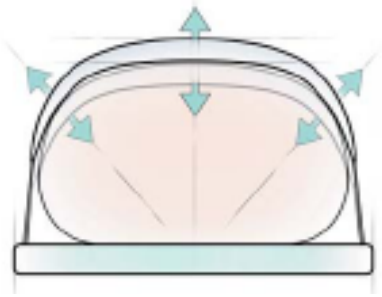


Рис.5. Технология равномерного распределения компрессионной нагрузки ремнем LifeBand.

Несмотря на свою уникальность и эффективность, технические параметры данных систем и функциональные возможности несколько ограничены.

Наша модернизация может быть направлена на расширение ряда реанимационных мероприятий:

– создание системы мониторинга основных жизненных показателей: артериального давления (АД), регистрации и отображения электрической активности сердца (ЭКГ), измерения содержания CO2 в выдыхаемом воздухе, сатурации кислорода в крови (SpO2), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и др.;

– возможность проведения автоматической синхронизации непрямого массажа сердца с искусственной и вспомогательной вентиляцией легких (ИВЛ) как с управляемым объёмом, подаваемом в дыхательные пути пациента, так и управляемом давлении, создаваемом в его дыхательных путях;

– предусмотреть возможность обеспечения дефибрилляции самим комплексом, а не отдельно подключаемым дефибриллятором.

Список литературы

1. Жданов Г.Г. Реанимация: учебное пособие – М. - 2005. – 87 с.:ил.

2. Зильбер А. И. Медицина критических состояний: общие проблемы. – Петрозаводск: Издательство ПГУ, 1995. 360с., ил., библ.

3. Мрочек А.Г. Алгоритм оказания неотложной помощи пациентам с фибрилляцией желудочков: учебно- методическое пособие. – Минск.:БелМАПО, 2006 – 14 с.

4. Сатишур О. Е. Механическая вентиляция лёгких. — М.: Медицинская литература, 2006. — 352 с.: ил.

5. AutoPulse. Реанимационная система, модель 100. Руководство пользователя, ред. 5-21-08. – ZOLL, 2008.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ CASE-BASED ПОДХОДА

Меньших Н.А, Казанцева А.А.
Научный руководитель: Карась С.И., д.м.н., профессор.
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2
E-mail: tasha_new_life@mail.ru

В технологической цепочке оказания медицинской помощи лечащему врачу принадлежит центральное место. Он является координатором лечебно-диагностического процесса, основным источником и потребителем медицинской информации. В связи с этим понятно то внимание, которое уделяется вопросам совершенствования деятельности лечащего врача в современных условиях. В современных информационных системах (ИС) достаточно давно применяются централизованные базы данных (БД). Это позволяет пользователям таких систем взаимодействовать друг с другом и, соответственно, получать актуальную на текущий момент информацию, что сказывается на качестве и оперативности принятия различных решений.

Методы CASE BASED REASONING (CBR) успешно применяются для решения широкого круга задач классификации, диагностики, прогнозирования. Применение интеллектуальных САПР (системы автоматизированного проектирования) на основе прецедентов позволяет повысить эффективность принятия решений при возникновении проблемных ситуаций, для чего производится поиск и адаптация принятых ранее решений для подобных проблемных ситуаций, которые были сохранены в форме прецедентов в хранилище прецедентов (ХП). [1]

В терминологии CBR, прецедент обычно понимается как проблемная или заранее известная ситуация, которая была сохранена с целью повторного использования. Термин «решение проблемы» - не обязательно нахождение конкретного решения задачи, это может быть новая интерпретация решаемой проблемы или получение информации, на основании которой судить о проблеме предлагается лицу принимающему решение (ЛПР). В качестве ХП могут выступать системы управления БД, специализированные серверы знаний и др. [2] Модели и инструментальные методы реализации прецедентного метода создают специализированную систему поддержки прецедентных решений.

Одной из главных задач систем поддержки принятия решений (СППР) является накопление и упорядочение множества прецедентов, для хранения которых используется ХП. Алгоритм формирования ХП включает следующие фазы:

1.задание весов признаков для определения уровня значимости прецедента;

2.кластеризация прецедентов по выявленным признакам;

3.выбор множества прецедентов на основе критерия подобия.

Конечный выбор представления прецедентов должен соответствовать общим целям системы.

Цель: Разработать систему поддержки принятия врачебных решений на основе case-based подхода.

Задачи:

1.Анализ предметной области (нарушения ритма сердца);

2.Разработка структуры базы данных для хранения параметров, характеризующих состояние здоровья пациентов;

3.Разработка программного приложения для поддержки принятия решения врача-кардиолога.

Материалы и методы.

Материалы. В качестве обучающей выборки используется база, состоящая из 400 эффективно пролеченных пациентов ГУ НИИ Кардиологии ТНЦ СО РАМН. В выборку включены пациенты с фибрилляцией и трепетанием предсердий. Экспертом была разделена данная выборка на 2 группы:

1. Пациенты, которым на данном этапе показано терапевтическое лечение;

2. Пациенты, которым на данном этапе показано хирургическое лечение.

Методы. Проблема представления прецедента заключается, прежде всего, в выборе информации, которую надо включать в описание прецедентов, нахождении соответствующей структуры для описания содержания прецедента, а также определении, каким образом должна быть организована информация для эффективного поиска и использования [2]. После того, как прецеденты извлечены, выбирается оптимальный вариант из них, сравнением признаков текущего случая и выбранных прецедентов. Чаще всего используемым является метод «ближайшего соседа» - определяется степень близости прецедента и текущего эталонного по каждому признаку, который пользователь сочтет полезным для достижения цели. [3]. Вводится функция подобия (метрика) на пространстве всех признаков, в этом пространстве определяется точка, соответствующая текущему случаю, и в рамках этой метрики находится ближайшая к ней точка из точек, представляющих прецеденты. Выбор метрики (или меры близости) считается узловым моментом, от которого решающим образом зависит поиск подходящих прецедентов. В каждой конкретной задаче этот выбор производится по-своему, с учетом главных целей исследования, физической и статистической природы используемой информации и т.п. Основные метрики, традиционно используемые при выборе прецедентов, это евклидово расстояние, манхэттенская метрика, мера сходства Хэмминга, мера сходства Роджерса-Танимото, расстояние Журавлева.[4]

Недостатки данного метода:

1.Неустойчивость к погрешностям. Если среди обучающих объектов есть выброс (объект, находящийся в окружении объектов чужого класса), то не только он сам будет классифицирован неверно, но так же и те объекты, для которых он окажется ближайшим.

2.Отсутствие параметров, которые можно было бы настраивать по выборке. Алгоритм полностью зависит от того, насколько удачно выбрана метрика.

3.Как результат– низкое качество классификации.

Чтобы сгладить влияние шумовых выбросов объекты классифицируют путем голосования по k ближайшим соседям. Каждый из соседей $x_u^{(i)}, i = 1,...,k$ голосует за отнесение объекта u к своему классу $y_u^{(i)}$. Алгоритм относит объект u к тому классу, который наберет большее число голосов. Этот алгоритм несколько более устойчив, чем алгоритм ближайшего соседа. Более общая тактика, которая годится и для случая многих классов – ввести строго убывающую последовательность вещественных весов w_i, задающих вклад i-го соседа в классификацию.

Один из способов задать веса соседям – определить w_i как функцию от расстояния $\rho(u, x_u^{(i)})$, а не от ранга соседа i. Вводится функция ядра K(z), невозрастающая на $(0, \infty]$, и рассматривается алгоритм

$$a(u, X^l, h, K) = \arg\max_{y \in Y} \sum_{i=1}^{l} [y_u^{(i)} = y] K\left(\frac{\rho(u, x_u^{(i)})}{h}\right)$$

Параметр h называется шириной окна и играет примерно ту же роль, что и число соседей k. «Окно» - это сферическая окрестность объекта u радиуса h, при попадании в которую обучающего объекта x_i объект u «притягивается» к классу y_i. Этот алгоритм имеет более строгое обоснование в байесовской теории классификации, и тесно связан с непараметрическим оцениванием плотности распределения по Парзену-Розенблатту.

Параметр h можно задавать априори или определять по скользящему контролю. Фиксация ширины окна h не подходит для тех задач, в которых обучающие объекты неравномерно распределены по пространству

X. В окрестности одних объектов может оказываться очень много соседей, а в окрестности других – ни одного. В этих случаях применяется окно переменной ширины.

Выбор ядра K слабо влияет на качество классификации. На практике ядро либо задается априори, либо выбирается по скользящему контролю из нескольких стандартных ядер. Выбор финитного ядра (невозрастающая функция, положительная на отрезке [0,1], и равная нулю вне его) позволяет свести классификацию объекта u к поиску k его ближайших соседей, тогда как при нефинитном ядре (например, гауссовском) требуется перебор всей обучающей выборки, что может приводить к неприемлемым затратам времени на больших выборках. [4]

В качестве среды разработки приложения выбрана система визуального объектно-ориентированного проектирования Delphi 7 корпорации Borland. Данная среда проектирования предоставляет наиболее широкие возможности для программирования приложений операционной системы (ОС) Windows и является высокопроизводительным инструментом визуального построения приложений.

SQL (Structured Query Language) - язык структурированных запросов - универсальный компьютерный язык, применяемый для создания, модификации и управления данными в реляционных базах данных. SQL является информационно-логическим языком и основывается на реляционной алгебре. Если пользователю необходимо получить информацию из базы данных, он запрашивает ее у системы управления базой данных (СУБД). С помощью SQL СУБД обрабатывает запрос, находит требуемые данные и посылает их пользователю. Процесс запрашивания данных и получения результата называется запросом к базе данных; отсюда и название – структурированный язык запросов.

Для разработки СУБД будем использовать Firebird (FirebirdSQL) — компактная, кроссплатформенная, свободная система управления базами данных.

Вывод.

В результате структурно-функционального моделирования и анализа данных, полученных от ГУ НИИ Кардиологии ТНЦ СО РАМН, а так же на основе модификации метода парзеновского окна разработано клиентское приложение врача-кардиолога с целью сбора, хранения и получения поддержки при принятии решения о выбранном методе лечения.

Разработка ИС в данной области позволит хранить большие объемы формализованных клинических данных, необходимых при обследовании и диагностики пациентов, а так же, которые в дальнейшем могут служить основой научных исследований. Так же данная ИС поможет врачу-кардиологу сделать правильный выбор в пользу того или иного метода лечения, что повысит качество медицинской помощи и, соответственно, снизит процент инвалидизации пациентов.

Литература.

1.Aamodt A., Plecza E. Case-Based Reasoning : Foundational issues, methodological variations a system apporoaches /A.Aamodt, E.Plecza // Al Communications. 1994. - Vol.4. - №1. - Pp.39-59.

2. Smyth B. Case-Base Maintenance/ B.Smyth // Tasks and Methods in Applied Artificial Intelligence.- 1998.-№1416.- Pp. 507-516.

3. Anand, S.S., Hughes, J.G., Bell, D.A., Hamilton, P. Utilising Censored Neighbours in Prognostication, Workshop on Prognostic Models in Medicine / S.S. Anand, J.G. Hughes, D.A. Bell, P. Hamilton// AIMDM'99- Denmark, 1999.- Pp.15-20.

4.Карпов, Л. Е. Методы добычи данных при построении локальной метрики в системах вывода по прецедентам / Л. Е. Карпов, В. Н. Юдин // Институт Системного Программирования РАН. – М.: Препринт, 2007. -42 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ CASE-BASED ПОДХОДА К ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ПРОЦЕДУРЕ НА МОДЕЛИ КЛИНИЧЕСКИХ (КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ) ДАННЫХ

Монгуш.Ш.С.
Научный руководитель: Шилов Б.В., к.м.н., доцент
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск
E-mail: mongsholb@gmail.com

Актуальность: case-based технологию (принятие решения по прецедентам) для решения сложных задач начали использовать в 80-х годах XX века. Эта технология получила развитие в широком диапазоне областей деятельности человека, таких как экономика, техника, политология. Одним из наиболее важных направлений ее использования на сегодняшний день является медицинская наука, когда знания, заключенные в базах данных медицинских учреждений, являются основой для принятия решения в конкретном случае диагностики и лечения пациента, при этом в роли критериев могут быть использованы различные показатели (как количественные, так и качественные).

Поскольку case-based — это метод получения решения путем поиска подобных проблемных ситуаций в памяти, хранящей прошлый опыт решения задач, и адаптации найденных решений к новым условиям, то применение метода для решения задач оправдано в случае выполнения следующих условий, касающихся природы прикладной области. Во-первых, подобные задачи должны иметь подобные решения (принцип регулярности). В этом случае накопленный опыт решения задач может служить отправной точкой процесса поиска решения для новых подобных задач. Во-вторых, виды задач, с которыми сталкивается решатель, должны иметь тенденцию к повторению. Это условие гарантирует, что для многих проблем в будущем будет существовать аналог в прошлом опыте. [1]

Среди возможных источников данных для case-based подхода есть трудно формализуемые, к которым можно отнести медицинские изображения. В них содержится крайне важная для диагностики, лечения информация, однако использование изображений в качестве основы для применения case-based подхода затруднительно. Во-первых, существует большой разброс в типах, структурах и форматах изображений. Во-вторых, критерии их оценки не достаточно четко сформулированы и унифицированы. В-третьих, данные, к которым относятся медицинские изображения, требуют для их анализа значительных вычислительных возможностей компьютерной системы, а также особых инструментов и процедур анализа. [2]

Стандартом для хранения и передачи медицинских изображений является формат DICOM. Аббревиатура DICOM в переводе означает «цифровые снимки и средства связи в медицине» (Digital Imaging and COmmunications in Medicine) и является всемирным стандартом обмена данных в медицинских информационных системах. С его помощью осуществляется обмен снимками и данными, создаваемыми различными медицинскими приборами, генерирующими и обрабатывающими изображения и информацию. Стандарт DICOM описывает "паспортные" данные пациента, условия проведения исследования, положение пациента в момент получения изображения и т.п., для того чтобы в последствии было возможно провести медицинскую интерпретацию данного изображения. Текущей версией является стандарт DICOM 3.0, базирующийся на модели открытых систем ISO/OSI и маршрутизируемом протоколе TCP/IP. [3]

По данным литературы, значительная часть ученых в мире использует для решения задач анализа изображений программу ImageJ, которая с одной стороны является мощным графическим редактором, позволяющим обрабатывать и анализировать изображения, с другой стороны эта программа создана специально для анализа различных медицинских изображений. Она разработана в Национальных Институтах Здравоохранения США (National Institutes of Health, USA), автором ее является Вейн Расбанд (Wayne Rasband). Поскольку данная программа построена на идеологии Open Source, она активно меняется за счет использования подключаемых модулей, которые созданы авторами из разных стран. Сама программа написана на языке java. [4]

Технология применения подключаемых модулей позволяет пользоваться всеми возможностями данной программы, а также расширять ее функционал путем создания собственного модуля, выполняющего необходимые для решения задачи действия.

В связи с вышесказанным, актуальным представляется использование в качестве параметра информации, получаемой при анализе медицинских изображений для осуществления case-based технологии. Для реализации такого механизма эффективным подходом является создание подключаемого модуля к программе ImageJ для анализа медицинских изображений.

Цель: разработать подключаемый модуль к программе ImageJ для реализации case-based подхода с использованием анализа медицинских

изображений в диагностике пациентов на примере сердечно-сосудистой патологии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Алгоритмизировать процесс сравнивания однотипных медицинских изображений
2. На основе минимизации различий определить показатель подобия для использования его в качестве объективной оценки сравнивания изображений.
3. Реализовать алгоритм в виде действующего плагина к программе ImageJ, позволяющего проводить объективное сравнение исследуемого изображения с коллекцией изображений базы данных.
4. Протестировать возможности анализа изображений для case-based подхода.

Материалы и методы: исследование базируется на анализе медицинских изображений для реализации case-based подхода к диагностической процедуре на модели клинических (кардиологических) данных. Материалы предоставлены из коллекции медицинских изображений Томского кардиологического центра. Данные изображения получены при МРТ-исследовании у больных с сердечно-сосудистой патологией с нарушением проводимости. МРТ выполнена на аппарате «Siemens», с индукцией магнитного поля 1,5 Т, оснащенного рабочими компьютерными станциями для получения и обработки изображений. Применяли импульсные последовательности в сагиттальных проекциях в зависимости от локализации патологического процесса с толщиной среза 15мм. Томографические изображения записаны в DICOM файлы (основной медицинский формат данных), которые стали основой для дальнейшей обработки и анализа. Формат файлов DICOM 3.0 отличается от стандартных: форматов изображений типа BMP, TIFF, JPG, GIF и т.д. передачей дополнительной информации об истинных размерах, позиционировании, плотностях и других параметрах исследуемого объекта. При этом ее структура и объем существенно зависят от вида проведенного обследования.

Анализ изображений и разработка модуля для реализации case-based подхода в данной работе проводится с помощью программы ImageJ, которая является общедоступной и основана на Java. В ImageJ можно вычислять площади, статистические показатели пиксельных значений различных выделенных областей интереса на изображениях, которые выделены вручную или при помощи пороговых функций. Программа может измерять расстояния и углы. Она может создавать гистограммы плотности и рисовать профили линий. ImageJ поддерживает стандартные функции обработки изображений, такие как логические и арифметические операции между изображениями, манипуляции с контрастностью, свертки, Фурье-анализ, повышение резкости, сглаживание, обнаружение границ и медианный фильтр. Программа позволяет производить различные геометрические преобразования, такие как масштабирование, поворот или отражение. А также поддерживает любое количество одновременно используемых изображений, ограничение связано только с объемом доступной памяти. [4]

В качестве параметров для формирования классификационных характеристик изображений используются области интересов, которыми являются контрастные регионы изображений. Также, применяя возможности трехмерной интерполяции, планируется изучать объемы интереса и расстояние между ними в пространстве

Ожидаемые результаты: в результате анализа предоставленных томографических данных коллекции медицинских изображений будет разработан алгоритм процесса сравнивания однотипных медицинских (кардиологических) МРТ-изображений и определен показатель подобия для использования его в качестве объективной оценки сравнивания изображений.

Алгоритм будет реализован в виде действующего подключаемого плагина к программе ImageJ, позволяющего проводить объективное сравнение исследуемого изображения с коллекцией изображений базы данных и экспортировать результаты для использования их внешними программами, реализующими case-based технологию.

Таким образом, разработка модуля для реализации case-based подхода к диагностике пациентов с сердечно-сосудистой патологией на основе анализа медицинских изображений с помощью ImageJ приводит в конечном итоге к уменьшению субъективной оценки при постановке диагноза. А это в свою очередь имеет большое значение в работе врача для правильного лечения пациентов.

Список литературы:

1. Almont, A., Plaza, E. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches. AI Communications, 7(1): pp 39-59, 1994.
2. Л. Е. Карпов, В. Н. Юдин. "Интеграция методов добычи данных и вывода по прецедентам в медицинской диагностике и выборе лечения". Сборник докладов 13-й Всероссийской конференции "Математические методы распознавания образов ". – 2007 – С.589-591.
3. И.Н. Пронин, П.В. Родионов, Л.М.Фадеева, С.В. Серков, В.Н. Корниенко. Программное обеспечение для работы с данными в формате DICOM на IBM PC. НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, Москва - 2002 - №2, С. 138-142.
4. http://imagej.nih

МЕТА-АНАЛИЗ ДАННЫХ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА «ЙОДАНТИПИРИН» ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА

Морозова К.В.
Научные руководители: Фокин В.А., д.т.н., профессор; Дорошенко А.С..
ГОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет» Минздравсоцразвития России,
634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2
E-mail: doroshenko@ntm.tomsk.ru

Значительная часть территории Российской Федерации является эндемичной по клещевому энцефалиту (КЭ). Заболеваемость КЭ в ряде районов оценивается специалистами как высокая. В настоящее время в системе профилактики КЭ важная роль принадлежит вакцинации населения и проведению экстренной профилактики, которая в Российской Федерации осуществляется лицам, пострадавшим от присасывания вирус содержащих клещей и не вакцинированным ранее, с помощью введения специфического иммуноглобулина человека против клещевого энцефалита. Дефицит и высокая стоимость специфического иммуноглобулина человека против клещевого энцефалита не дают возможности охвата экстренной профилактикой всех нуждающихся. Наряду с этим, применение иммуноглобулина ограничивается условиями его хранения и транспортировки (так называемой «холодовой цепочки»), соблюдение которых во многих случаях не представляется возможным практически. Введение специфического иммуноглобулина человека против клещевого энцефалита требует также специально обученного медицинского персонала. Немаловажен и тот факт, что при присасывании клеща может, и обычно происходит, инфицирование не только вирусом КЭ, но и такими возбудителями, как боррелии, эрлихии, анаплазмы, бабезии, риккетсии и др., поэтому профилактика клещевых инфекций должна иметь универсальный характер с направленностью, прежде всего, на регуляцию общего иммунитета и ключевых систем организма.

Характеристика Йодантипирина (ЙА)

Применение препаратов эндогенного интерферона и их индукторов в профилактике и комплексной терапии клещевого энцефалита (КЭ) является одним из перспективных направлений. Из уже применяющихся химиопрепаратов для профилактики и лечения КЭ наиболее изучен йодантипирин. Противовирусный препарат йодантипирин для лечения и профилактики клещевого энцефалита у взрослых был зарегистрирован в Минздраве РФ в 1996 г, а в 2000 г. йодантипирин был зарегистрирован как средство для комплексной терапии геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС). С 2001 года йодантипирин получил широкое применение на эндемичных по КЭ территориях. В Республике Коми и Удмуртской Республике, в Красноярском и Алтайском краях, Читинской, Иркутской, Томской, Новосибирской, Омской, Челябинской, Самарской, Вологодской, Архангельской и ряде других областей, в г. Санкт- Петербурге. В 2010 г. Йодантипирин был зарегистрирован и разрешён к медицинскому применению на территории Украины (РУ: UA/10948/01/01).

Так как йодантипирин является химиопрепаратом, он может быть произведен в количестве, достаточном для оказания помощи лицам, не имеющим возможности получить с профилактической целью иммуноглобулин человека против клещевого энцефалита Условия хранения препарата (при комнатной температуре) позволяют иметь его в аптечке в течение всего сезона и применять сразу после обнаружения присосавшегося клеща, что особенно актуально в медицинских учреждениях отдаленных районов, в условиях экспедиций, и других сходных ситуациях. Статистические данные пострегистрационного мониторинга по применению йодантипирина на эндемичных территориях России дают возможность судить о сопоставимой с иммуноглобулином (ИГ) профилактической эффективности йодантипирина, при этом стоимость курса лечения йодантипирином существенно ниже. Все права на оригинальный препарат «Йодантипирин» принадлежат научно-фармацевтической компании «Наука, Техника, Медицина» (НТМ). Сам препарат, его синтез и применение в медицине защищены патентами и свидетельствами (Регистрационные удостоверения РУ: ЛС - 002505 от 24.02.2010 г. По заявке № 2002719405, свидетельство на товарный знак №256449, зарегистрирован 03.10.2003г, патент на изобретение № 2175548 от 10.11.2001 г, патент № 2190402 от 10.10.2002 г,)

Имеются обширные первичные данные пострегистрационного мониторинга использования йодантипирина на эндемичных территориях, которые требуют обобщенного анализа по оценке эффективности его применения.

Методика мета-анализа:

Количественный анализ результатов исследований - основное, что отличает мета-анализ от обычного описательного обзора. Это метод, который может быть использован для того, чтобы прийти к выводам о терапевтической

эффективности препарата или планировать новые исследования по совокупности результатов отдельных исследований.

Мета-анализ – это стратегия, особенно подходящая в тех случаях, когда результаты индивидуальных исследований вступают в противоречие друг с другом, когда масштаб индивидуальных исследований слишком мал, а организация крупных исследований слишком дорога.

Объединяемые с помощью мета-анализа исследования должны строиться по следующей схеме (метод Woolf).

Исследуются две группы: экспериментальная (получили йодантипирин) и контрольная (те, кто йодантипирин не получали). Базируясь на суммарных данных из каждого исследования о частоте развития осложнения, либо смертельном исходе в контроле и группе лечения, а так же о численности этих групп можно провести мета-анализ с использованием отношений шансов:

$$OR = \frac{ad}{bc}.$$

Полученную величину следует прологарифмировать, так как метод Woolf определяет достоверность и доверительны интервал не для самого отношения шансов, а для его натурального логарифма

Далее определения дисперсии (V) логарифма отношения шансов. Она равна сумме величин, обратных количеству наблюдений в каждой ячейки четырёхпольной таблицы:

$$V = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}.$$

Соответственно, нижняя граница 95% доверительного интервала для логарифма отношения шансов ($\ln(OR)$) будет равна:

$$LCI = \ln(OR) - 1.96\sqrt{(V)},$$

а верхняя граница:

$$UCI = \ln(OR) + 1.96\sqrt{(V)}.$$

Для того чтобы суммировать данные, необходимо в начале рассчитать вес каждого исследования. Он, обычно, равен величине обратной дисперсии. Затем нужно подсчитать суммарное значение произведения логарифмов отношения риска и веса соответствующего исследования, а так же суммарный вес всех исследований ($1/V_1 + 1/V_2 + \cdots$). После этого определяется суммарное значение логарифма отношения шансов делением описанного выше произведения на сумму всех весов:

$$\ln(OR_c) = \frac{\sum_i \frac{\ln(OR_i)}{V_i}}{\sum_i \frac{1}{V_i}}.$$

Суммарная дисперсия данных определяется как величина, обратная суммарным весам исследований:

$$V_c = \sum (\frac{1}{V_i}).$$

Далее доверительный интервал определяется так же, как и для случая одного исследования, только вместо логарифма отношения риска используется суммарное значение логарифма отношения шансов, а вместо дисперсии– суммарная дисперсия.

Результаты:

Был проведен сравнительный мониторинг данных по вирус инфицированным и больным КЭ на фоне приема йодантипирина по годам, областям; разработана компьютерная программа мета-анализа данных многоцентровых исследований по оценке эффективности применения йодантипирина.

На основе разработанной методики проведена оценка эффективности применения препарата йодантипирин для экстренной профилактики КЭ у лиц, подвергшихся присасыванию клещей.

Анализ данных показывает, что профилактика как ИГ, так и ЙА приводит к статистически значимому снижению процента заболевших КЭ. Обобщенные результаты наблюдений указывают на снижение процента заболевших КЭ при применении ЙА, как средства профилактики, по сравнению с ИГ. Суммарное отношение шансов, рассчитанное с помощью метода Woolf, составило OR=2,03 (95% CI =1,39–2,97), что указывает на статистически значимое снижение риска заболевания КЭ при использовании в качестве средства экстренной профилактики КЭ препарата йодантипирин.

Используемая литература:

1. Кукушкин, Ю.А. Обобщение результатов независимых экспериментальных исследований методом мет-анализа / Ю.А. Кукушкин, И.В Бахтияров, А.В. Богомолов // Информационные технологии. –2001. –№ 6. – С. 48–53.

2. Плавинский С.Л. Биостатистика: Планирование, обработка и представление результатов биомедицинских исследований при помощи системы SAS. – СПб.: Издательский дом СПбМАПО, 2005. –560 с.

3. Саратиков, А.С. Йодантипирин- средство лечения и профилактики клещевого энцефалита/ А.С.Саратиков., В.Я.Яворовская// Экспериментальная и клиническая фармакология.1998. –Т.61, –С. 51–53.

4. Яворовская, В.Е. Лечебный и профилактический эффект Йодантипирина при экспериментальном клещевом энцефалите/ В.Е. Яворовская, А.С. Саратиков, Ю.В. Федоров и др.// Вопросы вирусологии. – 1994. – № 3. – С. 136–138.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Мочула А.В., Краснобаева Л.А., Старовойтова Е.А.
Научный руководитель: Селиванова П.А., к.м.н. ассистент
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: kla1983@mail.ru

На сегодняшний день отсутствуют комплексные исследования тяжелой неконтролируемой бронхиальной астмы с использованием функциональных, биохимических, спектроскопических и молекулярных методов, не существует надежных и доступных методик прогноза неконтролируемого течения астмы, несмотря на значительные достижения в области изучения патогенетических механизмов терапевтической резистентности. Для этой когорты пациентов характерны частые жизнеугрожающие обострения, высокий уровень инвалидизации, резкое снижение качества жизни, высокий риск смерти. Помимо социально-медицинского аспекта, тяжелая бронхиальная астма представляет собой и экономическую проблему, обусловленную высоким потреблением ресурсов здравоохранения, как на оказание медикаментозного обеспечения, дорогостоящей экстренной помощи, так в связи с длительными периодами нетрудоспособности пациентов [1].

Однако у практического врача отсутствует доступный и достоверный метод, позволяющий спрогнозировать неконтролируемое течение и формирование терапевтической резистентности у больного, уже получающего терапию с недостаточным контролем заболевания, что позволило бы выделить группу риска среди данных пациентов. В основе клинических проявлений БА лежат два основных компонента: гиперреактивность дыхательных путей и бронхиальная обструкция, обусловленные воспалением тканей бронхов. В рутинной клинической практике довольно сложно напрямую оценить интенсивность воспаления в бронхах. В этой связи особый интерес представляет использование выдыхаемого воздуха и дыхательного конденсата в качестве исследуемого материала, эти методики являются абсолютно неинвазивными, могут быть использованы многократно, в том числе и у тяжелых больных [2].

В последние десятилетия все более широкое распространение получают методы неинвазивной диагностики состояния биологических объектов, основанные на спектральном анализе газообмена биосистем с окружающей средой [2].

Однако, классические методы статистического анализа, используемые в большинстве работ, часто не учитывают особенности организма человека, как медико-биологического объекта, поэтому необходим комплексный подход в анализе получаемых экспериментальных данных с использованием эффективных средств интегральной оценки, ориентированный на изучение состояния живых объектов.

Целью данной работы является анализ состояния пациентов с бронхиальной астмой, с различным течением и стажем болезни при помощи лазерной оптико-акустической спектроскопии.

В исследовании приняли участие 40 пациентов БА (стаж заболевания не менее 1 года) в возрасте от 18 до 70 лет, не достигшие контроля по критериям GINA, 2006 на фоне получаемой базисной терапии. Средний возраст обследованных пациентов с диагнозом тяжелая бронхиальная астма составил 49,3 (45,2–53,4) лет, количество женщин среди обследованных больных составило 31 (77,5 %). Средний стаж болезни составлял 13,2 (10,3–16,1) лет, возраст манифестации симптомов 30,7 (25,2–36,2) лет. Всем пациентам, включенным в исследование, назначена комбинированная терапия адекватная степени тяжести, согласно рекомендациям GINA, 2006. На фоне проводимой противовоспалительной терапии зарегистрировано снижение количества дневных и ночных симптомов, а также уменьшение частоты использования β_2-агонистов короткого действия. Наблюдалось увеличение показателей функции внешнего дыхания на фоне лечения.

Материалом для лазерной оптико-акустической спектроскопии были выдыхаемый воздух и мазок со слизистой щеки больных тяжелой БА. Забор пробы выдыхаемого воздуха осуществлялся в стерильную пробирку, взятие мазка со слизистой оболочки щек осуществлялось при помощи стерильного ватного тампона, помещенного в стерильную пробирку.

В дальнейшем из пробирок с полученным материалом осуществлялся отбор воздуха при помощи иглы, соединенной с пробоотборником внутрирезонаторного лазерного оптико-акустического сенсора LGA, составлявшего приборную часть исследования.

Сенсор позволяет исследовать состав газовых смесей биологического происхождения и испарений биожидкостей в калибровочном объеме в режиме прокачки и определять в газовой смеси газовых примесей, имеющих полосы поглощения в спектральном диапазоне длин волн 9,2-10,8 мкм. Принцип действия газоанализатора основан на оптико-акустическом эффекте, возникающем в результате поглощения газами лазерного

излучения. Особенностью газоанализатора является способность работы с пробами малого объема (2-5 см^3), отключение прокачки при заборе пробы, что дает техническую возможность контроля газовыделений биологических микрообъектов, в частности, колоний бактерий *in vitro*.

При анализе состава газовой смеси, использование CO_2-лазера в качестве источника излучения, позволяет реализовать до 100 линий генерации в указанном диапазоне. Таким образом, состояние биообъекта можно задать вектором, каждая из координат которого представляют собой коэффициент поглощения газовыделений на заданной частоте. Качественный анализ массивов первичных данных, измеренных с использованием лазерного оптико-акустического газоанализатора LGA, показал необходимость предварительной обработки полученных спектров поглощения, т.к. сравнение последовательности сканов спектра поглощения, измеренных на одной и той же пробе газовой смеси, показало, что на отдельных частотах поглощения спектра наблюдались значительные выбросы в измеренных значениях коэффициента поглощения. Для их исключения в выборке данных применялся критерий Граббса. Выбор его обусловлен тем, что ему отдано предпочтение при реализации международного стандарта ИСО 5725 [3].

Существенной особенностью спектра поглощения газовыделений биообъектов является то, что он формируется под влиянием большого количества разнообразных внешних и внутренних факторов. Однозначно оценить состояние биосистемы, выделяя какие-либо конкретные линии в спектре поглощения и сопоставляя их специфические маркеры состояния, бывает достаточно трудно, поэтому особую важность приобретают интегральные оценки спектра поглощения, основанные на методах интеллектуального анализа данных, под которым понимается выявление скрытых взаимосвязей между переменными в больших массивах необработанных данных, с целью решения задач классификации, прогнозирования. Интегральные оценки позволяют в обобщенном виде описать особенности исходных показателей, которые отражают изучаемое состояние.

Изменение спектра поглощения выдыхаемого воздуха и мазка со щек для пациентов представлены на рисунках 1, 2.

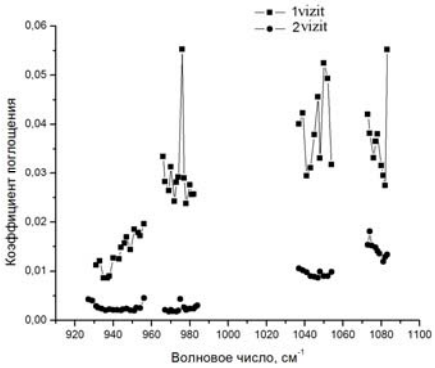


Рис.1 Спектры поглощения данных выдыхаемого воздуха пациентов 1 и 2 визита.

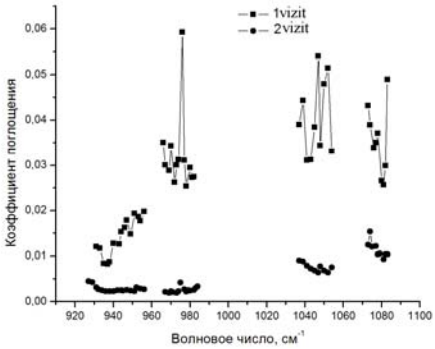


Рис.2 Спектры поглощения данных мазка со щек пациентов 1 и 2 визита.

Анализ предварительных результатов спектров поглощения исходно и после лечения пациентов с бронхиальной астмой, с различным течением и стажем болезни, показывает наличие значимого различия в спектрах поглощения, как газовыделений выдыхаемого воздуха, так и мазка со щек. Это говорит о том, что проведенные лечебные мероприятия объективно привели к нормализации функционального состояния бронхолегочной системы. Представленные данные демонстрируют значимые количественные различия спектров поглощения выдыхаемого воздуха в целом больных бронхиальной астмой в процессе терапии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ФЦП г/к № П1208, ФЦП г/к №02.740.11.0083.

Список литературы.

1. Чучалин, А.Г. Тяжелая бронхиальная астма // Рус. мед. журн. – 2000. – Т. 8, №12. – С. 482–486.

2. Andersson J.A. Carbon monoxide is endogenously produced in the human nose and paranasal sinuses // J. Allergy Clin. Immunol. – 2000. – V. 105. – P.269–273.

3. ГОСТ Р ИСО 5725-2–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. М.: Изд-во стандартов, 2002 – 51 с.

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ

Муратхан.А., Айнакулова А.Е., Великая В.В.
Научный руководитель: Алейник. А.Н., с.н.с. к-ф.м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
ГУ НИИ онкологии Сибирского отделения РАМН; г. Томск, ул. Савиных 12/1
E-mail: arai12@mail.ru

Измерение полного сопротивления тканей живых организмов переменному электрическому току имеет большое практическое значение для диагностики и научно медицинских исследований. Достоинство данного метода заключается в том, что используемые напряжения (менее 50 мВ) не вносят существенных изменений в физико-химические процессы, протекающие в биологических объектах и, тем более, не повреждают их [1].

Частотная зависимость импеданса позволяет оценить жизнеспособность тканей организма, что важно знать для пересадки (трансплантации) тканей и органов. Различие в частотных зависимостях импеданса получается в случаях здоровой и больной ткани [2,3].

Импеданс тканей и органов зависит также от их физиологического состояния. Так, при кровенаполнении сосудов импеданс изменяется в зависимости от состояния сердечно - сосудистой деятельности.

Человеческий организм — насыщенная система информации. Начиная от центральной нервной системы, до клеток и их составляющих, включают в себя функцию управления, исполнения и контроля, с элементами обратной связи. Кожный покров человека, несет в себе информацию о состоянии внутренних органов. Информационным элементом на коже служат БАТ (Биологически Активные Точки). Они обладают повышенной чувствительностью к внешним раздражителям. Вследствие этого кожа становится информационным полем, заключающим в себе данные о состоянии организма. Осуществляя воздействия на БАТ мы воздействует на внутренние органы снаружи [4,5].

Боль представляет серьезную проблему в обществе Многочисленные исследования по электрическому стимулированию акупунктурных точек показывают высокую эффективность метода для снижения уровня боли [6].

На кафедре прикладной физики ФТИ разработан прибор для измерения импеданса тканей в биологически активных точках. В нашей работе мы использовали 4-х проводную схему, для улучшения точности измерения сопротивления. Метод позволяет уменьшить погрешность, возникающую в случае контакта электродов с тканями. Это означает, что сопротивление подводящих проводов и существующих контактов полностью исключается из измерительной схемы. Кроме того четырехпроводная схема измерения сопротивления помогает исключить большую часть случайных и систематических погрешностей. Блок схема прибора представлена на рисунке 1.

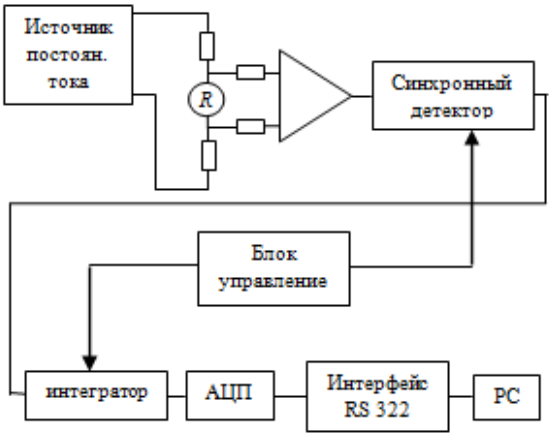


Рис.1 Блок схема прибора

Импульсы с частото1 кГц поступают на усилитель, который увеличивает амплитуду входного сигнал до уровня, достаточного для регистрации синхронным детектором. Синхронный детектор позволяет выделить небольшие изменения переменного сигнала на фоне шумов. Интегратор суммирует 100 импульсов и далее сигнал подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который реализован на базе микроконтроллера ATMega16. АЦП имеет 16 разрядов за счет использования внутреннего компаратора. Связь с компьютером осуществляется через последовательный интерфейс RS-232. Микроконтроллер также осуществляет функцию управления работой прибора.

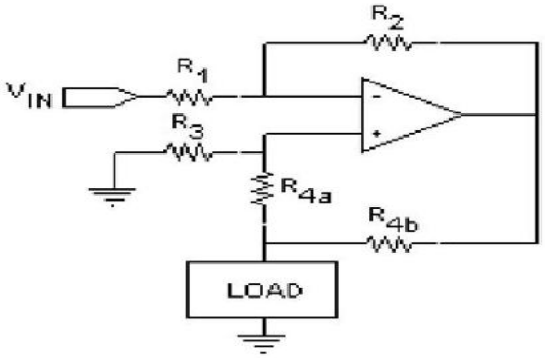


Рис.2 Модифицированный источник тока Хоуланда

Основным требованием, предъявляемым к источнику тока, является наличие высокого выходного сопротивления по сравнению с сопротивлением нагрузки. Дополнительными требованиями являются стабильность, нагрузочная способность и низкая чувствительность к различным компонентам схемы. Из опубликованных к настоящему времени разработок, наибольшим выходным сопротивлением обладает источник тока Хоуланда, который был выбран в качестве прототипа. В источнике Хоуланда используется один операционный усилитель с положительной и отрицательной обратными связями одновременно. Его достоинствами являются простота - один активный элемент и возможность регулировать выходное сопротивление. Выходное сопротивление источника определяется соотношением сопротивлений обратных связей.

$$R_{out} = \frac{R_1 R_{4b}(R_3 + R_{4a})}{R_2 R_3 - R_1(R_{4a} + R_{4b})}$$

Для получения высокого выходного сопротивления необходима точная подборка этих сопротивлений. В результате настройки выходное сопротивление оказалось порядка 21 МОм.

Для расширения многофункциональности прибора создано программное обеспечение, позволяющее сравнивать активности биологических точек. После проведения измерений в 24 активных точках Nakatani на руках и ногах, программа находит их среднее значение и затем выводит на экран отклонение значения каждой точки от среднего значения. Пример одного измерения приведен на рис.3.

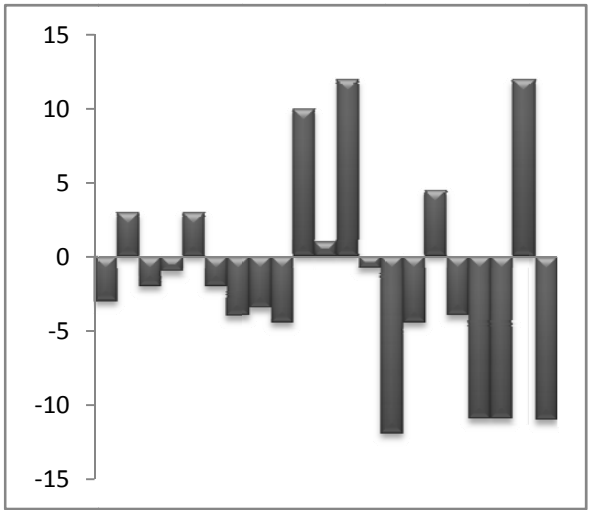


Рис.3 Отклонение величин сопротивлений в БАТ от их среднего значения

В работе [7] показано, что измерение импеданса тканей позволяет оценить степень радиационных повреждений. Для проверки этого факта были проведены измерения сопротивления тканей до и после терапевтической дозы γ-облучения.

Сопротивление ткани после облучения оказалось на 20 % меньше. В дальнейшем предполагается провести в этом направлении обширные исследования с целью определения эффективности обработки злокачественных опухолей ионизирующим излучением.

Список литературы

1. Пеккер Я.С., Бразовский К.С., Усов В.Ю., Плотников М.П., Уманский О.С. Электроимпедансная томография. – Томск: Изд_во «НТЛ», 2004. – 192 с.

2. Christina Skourou, P Jack Hoopes, Rendall R. Strawbridge, and Keith D Paulsen. Feasibility studies of electrical impedance spectroscopy for early tumor detection in rats. Physiol. Meas. 25 (2004) 335–346.

3. Jang-Zern Tsai, James A. Will, Scott Hubbard-Van Stelle, Hong Cao, Student Member IEEE, Supan Tungjitkusolmun, Member IEEE, Young Bin Choy, Student Member IEEE, Dieter Haemmerich, Student Member IEEE, Vicken R. Vorperian, and John G. Webster*, Life Fellow IEE. Error Analysis of Tissue Resistivity Measurement. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 49, no. 5, May 2002

4. Andrew C Ahn, Junru Wu, Gary J Badger, Richard Hammerschlag and Helene M Langevin. Electrical impedance along connective tissue planes associated with acupuncture meridians. BMC Complementary and Alternative Medicine 2005, 5:10.

5. J. Schmidt, C. Sparenberg, S. Fraunhofer, H. Zirngibl. Sympathetic nervous system activity during laparoscopic and needlescopic cholecystectomy. A prospective randomized study. Surg. Endosc. 16, (2002), 476 – 480.

6. Ching-Sung, Yu-Show Tsai, Che-Yen Yang. Using Elecnrical conductance as the Evalution Parameter of Pain in Patients with low Back Pain treated by Acupuncture-Like TENS. Biomedical Engineering – Application, Basis & Communications. 18, (2004), 205 – 212.

7. Osterman K S, Hoopes P J, DeLorenzo C, Gladstone D J and Paulsen K D 2004 Non-invasive assessment of radiation injury with electrical impedance spectroscopy Phys. Med. Biol. 49 (2004), 665-683.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПРЕССИИ МАРКЕРОВ АПОПТОЗА И ПРОЛИФЕРАЦИИ ПРИ НОВООБРАЗОВАНИЯХ ЖЕЛУДКА ПО ДАННЫМ ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Острикова О.И.
Научные руководители: Шилов Б.В., к.м.н., доцент, Мильто И.В.
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г.Томск, Московский тракт, 2
E-mail: OstrikOlga@mail.ru

Актуальность: в России опухоли желудка находятся на втором месте по заболеваемости среди других новообразований, уступая раку легкого у мужчин и раку молочной железы у женщин. Во многих странах он до сих пор уверенно держит первое место. Ежегодная заболеваемость в мире - около 800 тысяч новых случаев и около 600 тысяч смертей. Чаще болеют люди после 50 лет и в данной категории преобладают мужчины.

При диагностике опухолей желудка актуальным является решение двух задач: выявление самих опухолей и дифференциация обнаруженных новообразований желудка. Решение указанных задач должны базироваться на современных методах диагностики, так как клинические проявления опухолей желудка бывают скудными и чаще всего наблюдаются лишь в запущенных случаях.

Существует множество форм новообразований желудка, точный диагноз определяется гистологической структурой опухоли, ее макроскопической формой роста, локализацией в желудке. Поскольку ряд новообразований имеет сходные рентгенологические и эндоскопические проявления, обязательным должно быть стремление добиться именно морфологической — гистологической и/или цитологической — верификации диагноза.

Оценка пролиферативной активности раковых клеток необходима не только для биологической характеристики опухолей, но и для селективного лечения и определения прогноза заболевания. Пролиферативная и апоптотическая активность опухолевых клеток изучается при помощи иммуногистохимческого окрашивания с использованием моноклональных антител Ki-67 и p53.

Иммуногистохимический метод на сегодняшний день является одним из базовых в современных морфологических исследованиях и широко применяется как в научной работе, так и в клинической практике. Однако до сих пор осуществляется лишь качественная и полуколичественная оценка результатов, что в значительной мере снижает информативность проведенного исследования и ограничивает область его применения, и лишь частично оправдывает затраты на его осуществление. Для повышения объективности, информативности и улучшения качества интерпретации оценки иммуногистохимической реакции необходима разработка и внедрение методологических подходов, позволяющих проводить количественный учет её результатов.

Использование компьютерного анализа изображений позволяет уменьшить или вовсе исключить субъективность, повысить производительность труда, а также получить количественные данные для решения научно-исследовательских и диагностических задач и расширить возможные границы использования метода иммуногистохимии.

Проблема количественной оценки связана с несовершенством техники приготовления иммуногистохимических - препаратов: варьирует толщина среза, время реакции визуализации всегда подбирается эмпирически, часты ложноположительные реакции, присутствие на препаратах различных оттенков основного цвета, нет единых показателей и параметров для количественной оценки ИГХ реакции, качество фотоаппаратуры, микроскопа.

Для реализации методов анализа изображений необходим адекватный инструмент, который позволит с максимальной эффективностью выполнять задачи имиджинга: проводить обработку изображения и получать необходимые количественные данные. Программа ImageJ предоставляет уникальные возможности для обработки и анализа медицинских и биологических изображений. Она позволяет наследовать java-классы ImageJ и разрабатывать на их основе программы, автоматизирующие процессы анализа изображений.

Цель: разработать метод компьютерной количественной иммуногистохимической оценки экспрессии маркеров апоптоза и пролиферации при новообразованиях желудка, используя технологии ImageJ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Набор материала, проведение иммуногистохимического исследования и создание коллекции изображений.
2. Разработка и тестирование алгоритмов и методов количественной оценки иммуногистохимических показателей.
3. Разработка модуля программы ImageJ для проведения количественного иммуногистохимического исследования.

4. Проведение исследования экспрессии маркеров апоптоза и пролиферации при новообразованиях желудка на основе разработанного метода количественной иммуногистохимической оценки.

Материалы и методы: для иммуногистохимических исследований использовались полученные при гастроэктомии препараты желудков людей с известными диагнозами (рак тела желудка, 3стадия, T3N1M0). Больные находились на лечении в НИИ Гастроэнтерологии СибГМУ города Северска. Были сформированы формалиновые блоки, на микротоме получены срезы толщиной 5 мкм, данные срезы были помещены на адгезивные стекла, с последующим нанесением моноклональных антител. При этом применялась следующая методика окраски моноклональными антителами ki-67 и p53 компании Termo Fisher Scientific Anatomical Pathology: 1. Депарафинизация теплых срезов в ксилоле 2. Дегидратация: а. промывка в спирт-ксилоле б. выдерживание в спирте. 3. Промывка стекла в дистиллированной воде. 4. Доведение препаратов в цитратном буфере комнатной температуры в микроволновой печи до кипения. 5. Охлаждение до комнатной температуры. 6. Промывание стекла в деионизирующей воде. 7. Нейтрализация эндогенной пероксидазы с использованием пероксидазного блока во влажной камере. 8. Проведение протеинового блока. 9. Осуществление иммуногистохимической реакции. 10. Развитие непероксидазной активности с DAB рабочим раствором. 11. Промывание стекла в водопроводной воде. 12. Окрашивание гематоксилином из набора. 13. Вторичное промывание в водопроводной воде. 14. Последовательная дегидратация со спиртом, ксилолом. 15. Заключение образцов в канадский бальзам под покровное стекло. Гистологическое исследование проводилось на микроскопе AxioScope 40, компании Zeiss, Германия. Снимки были получены с помощью цифровой камеры Canon Power Shot G10, адаптера для использования камеры с микроскопом Adaptor Fude for Canon G10 Tele 52мм на увеличении 50μм в формате *.jpg. Анализ изображений и разработка модуля для реализации поставленной задачи в данной работе проводились с помощью общедоступной программы ImageJ, основанной на Java.

Первоначально проводили улучшение качества изображения и отсекали участки, где свет распределен не равномерно, а также не включали в расчет тот участок снимка, где отсутствует ткань. Для корректного патоморфологического анализа гистологические препараты докрашивали гематоксилином. При этом на изображениях для маркеров окрашиваемых в коричнево-оранжевые цвета, происходило наложение коричневого и фиолетового цветов. Поэтому проводили разделение на три цветовых канала: зеленый, синий, красный. При этом наиболее контрастные иммунопозитивные структуры наблюдались в синем канале. Переводим изображение в бинарное, это позволяло выделить только иммунопозитивные структуры. В случае наличия ядерного маркера проводили разбиение на клетки. Определяли площадь, занимаемую иммунопозитивными структурами, их количество, вычисляли количественные характеристики. Относительная площадь экспрессии (S, %) рассчитывалась по следующим формулам:

$S=S_{\text{иммунопозитивных ядер}}/S_{\text{ядер}}*100$,[1]

$S=S_{\text{иммунопозитивных ядер в железах}}/S_{\text{ядер}}*100$,

$S=S_{\text{иммунопозитивных структур}}/S_{\text{ткани}}*100$.

Ожидаемые результаты: в результате оцифровывания полученных иммуногистохимических препаратов планируется получить коллекцию изображений с маркерами апоптоза и пролиферации в формате *.jpg, которая в дальнейшем подвергнется процессу анализа. Также будут разработаны параметры для количественной оценки иммуногистохимических исследований. Реализация алгоритма в виде действующего плагина в программе ImageJ, позволяющего проводить объективное количественное исследование иммуногистохимических реакций, даст возможность судить о биологической активности процесса. Количественные показатели маркеров апоптоза и пролиферации согласно исследованиям А.Ф. Лазарева с соавторами являются полезными и необходимыми для анализа гиперпластических состояний желудка и обладают высокой информативностью в дифференциальной диагностике между дисплазиями различной степени тяжести и раком желудка.[2] Полученные данные позволят судить о биологической активности процесса (учитывать темпы нарастания патологических изменений, риск развития раковой трансформации), что имеет важное значение в выработке тактики ведения больного. Использование компьютерных программ для цифрового анализа микроскопических изображений в диагностике пациентов с раком желудка значительно объективизирует оценку и информативность результатов иммуногистохимических реакций.

Список литературы:

1. Журнал «Архив патологии» 2006г №1 стр.47-48 «Методологические подходы к количественной иммуногистохимической оценке экспрессии маркеров апоптоза и пролиферации в молочной железе» Костючек И.Н., Коган И.Ю., Кветной И.М.

2. Журнал «Архив патологии» 2006г №3 стр.6-9 «Экспрессия Ki67 и p53 при дисплазии и раке желудка» Лазарев А.Ф., Климачев В.В., Авдалян А.М., Бобров И.П., Зорькин В.Т.

МУЛЬТИРЕЖИМНЫЙ ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Педина А.Б., Пайгин Д.В., Болотина И.О.
Научный руководитель: Болотина И.О.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.
ЗАО «Научно-производственное объединение «НИКОР», 634024, Россия, г. Томск, ЛПК-2пос., д.-111.
E-mail: bolotina@tpu.ru

Введение. Высокочастотную электрохирургию применяют при выполнении 85% хирургических вмешательств во всех областях хирургии. Эффект электрохирургического воздействия, позволяет хирургу проводить оперативное вмешательство в высоком темпе на тканях, имеющих разное кровенаполнение и импеданс [1].

Преимущества электрохирургии перед другими способами хирургии. Основными достоинствами электрохирургии по сравнению с методом разреза скальпелем являются снижение кровопотери. Одновременно происходит стерилизация зоны разреза, тонкий слой закоагулированных клеток служит естественным «пластырем», предотвращая заражение и ускоряя заживление. Долгое время считалось, что электрохирургическая техника является “грубой”, оставляя большую зону разрушения в месте разреза. Доказано [3], что с помощью правильно подобранных формы и размера электрода, формы тока и подводимой мощности, можно обеспечить высокую точность разреза с зоной разрушения всего 2-6 мкм, что соответствует качеству разреза лазерными аппаратами при значительном снижении стоимости оборудования.

Обзор электрохирургических аппаратов (ЭХА) и режимов. В современных ЭХА реализуется большое количество режимов за счет изменения мощности и формы выходного напряжения.

Диапазон используемых в электрохирургии мощностей очень широк: от единиц до нескольких сотен Ватт. Частота рабочего тока превышает величину 300-400 кГц для исключения нежелательной стимуляции мышц и болевого действия [2].

Помимо перечисленных воздействий в электрохирургии находят применение новые режимы:

Электролигирование позволяет осуществлять гемостаз тканей и сосудов без предварительного выделения сосуда из ткани, образовывая прочную коллагеновую пломбу;

Аргоноплазменная коагуляция, при которой происходит ионизация аргона, образуется факел аргоновой плазмы;

Аргон-усиленная электрохирургия, при которой в зону коагуляции подают поток аргона для уменьшения дымообразования;

Аблация, при которой осуществляется восстановление нормального ритма сердца путем прижигания небольшого участка в сердце, вызывающего нарушение ритма. Различают орошаемую и неорошаемую абляцию;

Деструкция токопроводящих путей сердца. В основе лежит локальное воздействие током высокой частоты на «очаг» аритмии или участок цепи кругового движения импульса при тахикардиях;

Гипертермия печени. На печень накладываются электроды, и пропускается ВЧ ток. Такой метод дает возможность избежать удаления поврежденного раковыми заболеваниями органа или его части;

Холоднoплазменная коагуляция. В ее основе лежит способность тока образовывать плазму при температуре 45—65°С в растворе электролита. Температурное воздействие на удаляемые ткани несравнимо ниже, чем при традиционных термических способах удаления.

Большинство выпускаемых сегодня аппаратов обеспечивают либо традиционные режимы, либо являются узкоспециализированными (деструкторы, аблаторы и пр.). Попытки создания мультирежимных электрохирургических комплексов существуют лишь у лидеров производства электрохирургических аппаратов, таких как Martin, Erbe, ValleyLab, но они не охватывают все современные режимы. Эти аппараты являются скорее электроскальпелями с расширенными возможностями.

Мультирежимный электрохирургический комплекс. НПО “НИКОР” разрабатывает мультирежимный электрохирургический комплекс, обеспечивающий большинство известных электрохирургических режимов, включая перечисленные выше, а также оригинальные режимы “НИКОР”. Структурная схема комплекса изображена на рис.1.

Мощность тока высокой частоты пропускаемого через человека ограничена требованиями безопасности до 400 Дж/с. С одной стороны, использование более высоких частот характеризуется менее выраженной воспалительной реакцией окружающих тканей и более тонким и малозаметным рубцом, а с другой стороны, повышение частоты преобразования энергии ведет к снижению КПД и повышению себестоимости. Не во всех областях хирургии необходимы малозаметные рубцы (например во внутренних полостях) поэтому в аппарате предусмотрено две частоты резания, с разными максимальными мощностями: 440 кГц – до 400 Вт, 2,64 МГц – до 200 Вт.

Сетевое напряжение преобразуется в регулируемое постоянное напряжение, поступающее на генератор $Г_{кГц}$ килогерцового или генератор $Г_{МГц}$ мегагерцового диапазона, который формирует выходной сигнал требуемой формы и частоты. Система коммутации обеспечивает подведение мощности к выбранному инструменту. Дисплей включает в себя экран с сенсорной панелью для ввода параметров электрохирургического воздействия и отображения информации.

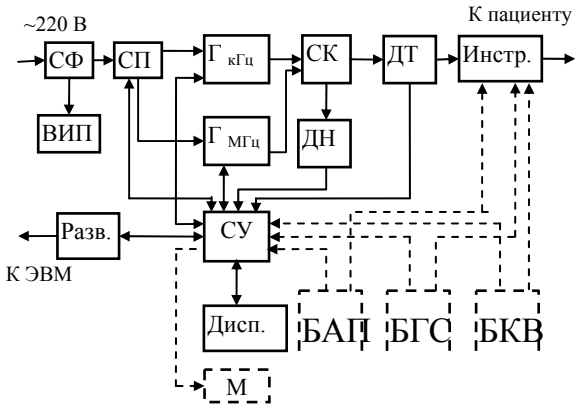


Рис.1. Структурная схема комплекса. СФ – сетевой фильтр, СП – сетевой преобразователь, $Г_{кГц}$ – генератор килогерцового диапазона, $Г_{МГц}$ – генератор мегагерцового диапазона, СК – сетевой коммутатор, ДТ – датчик тока, ДН – датчик напряжения. Разв. – гальваническая развязка, СУ – система управления, Дисп. – сенсорный дисплей, ВИП – вторичный источник питания, Инстр. – инструмент, М – монитор, БАП – блок аргоновой приставки, блок гидравлической системы, БКВ – блок компрессора воздуха, БГС – блок гидравлической системы.

Основные технические характеристики аппарата приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики

Режимы работы	Мощность, Вт
Традиционные режимы:	
Резание	360+20%
Смешанный режим	320±10%
Коагуляция	250±10%
Биполярное резание	130±10%
Биполярная коагуляция	90±10%
Оригинальные режимы НИКОР:	
Резание МОНО	360+20%
Коагуляция МОНО	180±10%
Коагуляция БИ	130±10%
Высоковольтный	130±10%
Специальные режимы:	
Электролигирование	120±10%
Холодноплазменная коагуляция	120±10%
Аблация	120±10%

Планировка операционной не всегда позволяет хирургу во время операции видеть дисплей ЭХА, поэтому возможно подключение дополнительного монитора.

Для оперативного управления режимами аппарата возможно подключение стерилизуемого выносного пульта. С помощью этого пульта управления и дополнительного монитора хирург без дополнительного медицинского персонала может быстро переключить режим или изменить мощность.

Для обеспечения специальных режимов возможно подключение дополнительных блоков: аргоновой приставки, гидравлической системы и компрессора воздуха и др.

На рис.2. изображен пример основного меню сенсорного дисплея комплекса.

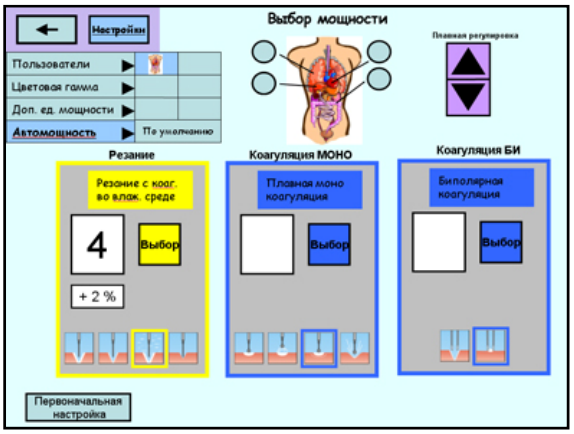


Рис.2. Сенсорный дисплей мультирежимного электрохирургического комплекса

На сегодняшний день мощность резания или коагуляции выбирается хирургом исходя из вида операции, требуемого эффекта и своего личного опыта. Отличительной особенностью комплекса будет возможность включения режима автоматического выбора мощности. В этом режиме мощность резания или коагуляции задается автоматически в зависимости от выбранного пользователем в меню органа или ткани и вида воздействия. Это позволит обеспечить максимальную точность воздействия. Возможен режим подсказки требуемого для данной операции инструмента или режим автоопределения инструмента.

Предусмотрен режим сохранения индивидуальных пользовательских настроек.

Заключение. С помощью мультирежимного электрохирургического комплекса возможно проведение операций любого вида сложности, использование современных режимов и технических решений для улучшения качества резания и коагуляции, увеличения оперативности проведения хирургических операций и повышения безопасности использования электрохирургической аппаратуры.

Список использованной литературы

1. Использование современных электрохирургических аппаратов в практической хирургии/Под ред. В.В. Гриценко. - СПбГМУ, 2005. – 43с.

2. Долецкий С.Я., Драбкин Р.Л., Ленюшкин А.И. Высокочастотная электрохирургия. М.: Медицина, - 1980. – 199с.

3. Daniel V. Palanker, Alexander Vankov, Philip Huie. Electrosurgery With Cellular Precision//IEEE Transaction on biomedical engineering. – 2008. – vol.55 - №2.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЗОНД ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ

Педонова З.Н.
Научный руководитель: Белавская С.В., к.т.н., доцент,
Лисицына Л.И., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: pedonovaz@gmail.com

В современной медицине использование физических полей все чаще вытесняет химиотерапию или делает ее применение более ограниченным. Этому способствуют неблагоприятная экологическая обстановка и повышенная аллергизация населения, не позволяющая подчас использовать имеющийся арсенал химиотерапии. При этом прослеживается четкая зависимость: чем выше уровень знаний о биофизических свойствах полей, тем шире они применяются в здравоохранении [1].

Основное преимущество физиотерапевтических методов, как уже применяемых, так и проектируемых, состоит, прежде всего, в удобстве применения для пациентов, страдающих невосприимчивостью к лекарственным препаратам, сопряженной различного рода аллергическими симптомами [2].

Спектр гинекологической патологии, требующей курса физиотерапии, очень велик. Традиционно физические факторы использовались в лечении подострых и хронических заболеваний органов малого таза (хроническое воспаление придатков матки) и бесплодия. С внедрением в широкую практику операций по поводу восстановления проходимости маточных труб физиотерапия не потеряла своей актуальности как метод послеоперационного восстановительного лечения. Внутриполостные методики в гинекологии, как правило, более эффективны, чем внеполостные процедуры [3]. Современное представление о комплексном лечении многих урологических заболеваний предполагает обязательное использование разнообразных физических факторов, в ряде случаев внутри полости.

В работах последних лет показано, что увеличение числа воздействующих факторов с пространственным и временным совмещением увеличивает терапевтическую эффективность [1]. Это исследование предназначено для создания устройства комплексного воздействия несколькими видами физиотерапевтических факторов, что повышает эффективность терапии.

В данной работе описывается зонд для внутриполостного воздействия, обеспечивающее физиотерапевтическое лечение следующими факторами (одновременно или по отдельности): магнитное поле, ультразвуковое (УЗ) излучение, нагрев, электростимуляция, лазерное излучение – известные аналоги обеспечивают не более трёх воздействующих факторов одновременно. Данное устройство значительно уменьшает длительность лечения и уменьшает болезненность процедур, в результате сочетанного воздействия пятью физиотерапевтическими факторами одновременно. Эскиз зонда для внутриполостного воздействия представлен на рис. 1.

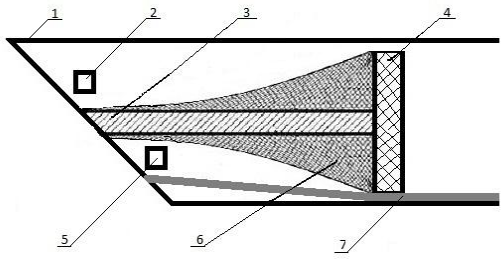


Рис. 1. Эскиз зонда для внутриполостного воздействия.
1 – гибкий корпус, 2 – резистивный нагревательный элемент, 3 – стальной стержень, 4 - пьезопластина, 5 – термистор, 6 – обмотка катушки,7 – световод.

Авторами был собран лабораторный макет данного зонда. Проведены исследования работы узла УЗ воздействия.

В качестве излучателя УЗ колебаний используется пьезопластина. Для испытания работы узла УЗ излучения использовался прямой пьезоэлектрический эффект. На одну пьезопластину с генератора подаётся сигнал синусоидальной формы, который преобразуется в ультразвуковое излучение. Затем сигнал передаётся через металлический стержень на вторую пьезопластину. Происходит обратное преобразование УЗ излучения в электрический сигнал. Уровень выходного сигнала регистрируется осциллографом. Блок-схема установки приведена на рисунке 2 [4].

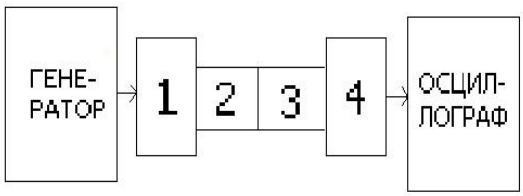


Рисунок 2. Блок-схема установки для оценки интенсивности УЗ излучения
1 – пьезоизлучатель, 2-3 – стальные стержни, 4 – пьезоприемник

Излучатель и приёмник находятся в непосредственном контакте через передающую среду, в качестве которой использовано вазелиновое масло. Интенсивность УЗ излучения равна [5]:

$$I_A = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_e^2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{l_p} \cdot 10^{-0,1 \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

где f – частота возбуждающего сигнала, Гц;

U_e – эффективное напряжение питания пьезопластины, В;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость пьезопластины;

ε_0 – электрическая постоянная, равная 8,85·10-12 Ф/м;

l_p – толщина пьезопластины;

α_1 – потери преобразования сигнала из электрического в акустический;

α_2 – потери в материале стержня.

Для экспериментального определения потерь используем формулу [6]:

$$\alpha = 20 \cdot \lg \frac{U_{in}}{U_{out}}$$

где U_{in} – среднее напряжение, подаваемое на пьезопластину с генератора;

U_{out} – амплитудное напряжение, регистрируемое осциллографом.

Выходное напряжение фиксировалось по осциллограмме. Диапазон частот входного напряжения – 0,4…1 МГц. Так как сигнал проходит двойное преобразование, то интенсивность УЗ излучения будем определяться как $2 \cdot I_A$:

$$I = 2I_A$$

Интенсивность УЗ излучения вблизи пьезопластины на резонансной частоте:

I ≈ 1650 Вт/м2 = 0,165 Вт/см2.

Представленный материал может быть полезен для разработчиков медицинской техники.

Список литературы:

1. Райгородский Ю.М., Серянов Ю.В., Лепилин А.В. Форетические свойства физических полей и приборы для оптимальной физиотерапии в урологии, стоматологии и офтальмологии. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2000. – 272 с.

2. Физиотерапия в лечении простатитов – [Электронный документ], 9 сентября 2010 – URL: [http://www.urolog.kz/prostata_dis/fizio_pr.html]

3. Физиотерапия в акушерстве и гинекологии – [Электронный документ], 27 ноября 2010– URL[http://www.myriamm.ru/doc_24.htm

4. С.В. Белавская, Л.И. Лисицына, З.Н. Педонова, Комплексный магнитно-ультразвуковой излучатель для воздействия на объекты малой площади. // Техническая электродинамика и электроника. Сборник научных трудов. – Саратов: СГТУ. 2009. - С. 34-42

5. Адаскевич В. П. Пунктурная физиотерапия. – [Электронный документ], 25 октября 2007. – URL: [http://www.menshealth.kiev.ua/journal/stat.php?sid=36].

Залесский В. В. Анализ и синтез пьезоэлектрических преобразователей. – Ростов: Издательство Ростовского университета, 1971.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМИРОВАННЫХ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ИМПЛАНТАТОВ

Петлин Д.Г., Твердохлебов С.И., Больбасов Е.Н.
Научный руководитель: Твердохлебов С.И.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: danilapetlin@gmail.com

Полимеры все шире и чаще применяются в качестве материала для имплантатов. Доля полимерных материалов, используемых в области НИОКР для биологии и медицины в целом, составляет уже порядка 48% среди всех биосовместимых материалов.

Одним из наиболее часто используемых полимерных материалов является фторполимер, поскольку он биологически инертен, обладает высокой степенью эластичности, адгезии, способностью к стерилизации. Существенным же недостатком имплантата, выполненного из такого материала, является его малая механическая прочность. Для ее повышения было предложено использовать в качестве каркаса имплантатов металлические армирующие элементы.

Армирующие элементы должны иметь полимерное композитное покрытие, состоящее, как минимум из двух фаз: 1) органической – в виде биологически инертного полимерного связующего; 2) неорганической – биологически активного наполнителя в виде мелкодисперсных порошков кальций-фосфатов, которые способствуют протеканию биологических процессов остеоиндукции и остеокондукции [1].

Использование биополимерных композитов в качестве покрытий имплантатов является перспективным [2], поскольку технология их изготовления и нанесения позволяет регулировать основные характеристики покрытия, обеспечивающие их биологическую совместимость (регулировать механические характеристики и биологическую активность вплоть до биоинертности путём изменения массовой доли неорганического наполнителя; контролировать элементный состав и скорость биологической деградации композита путём подбора соответствующих форм кальций-фосфатных соединений; регулировать морфометрические характеристики композита путём изменения дисперсности наполнителя) [3].

Целью эксперимента было исследовать механические свойства армирующих элементов и полимерных имплантатов, сравнить их и сделать соответствующие выводы о возможном изменении их прочностных характеристик.

Процесс изготовления ортопедических имплантатов из армированного биодеградируемого полимерного материала состоит из двух этапов. На первом этапе изготавливается армирующий элемент, на втором этапе происходит внедрение армирующих элементов в объем биодеградируемого полимера. Исходя из результатов, достигнутых в процессе выполнения проекта, было решено в качестве армирующего элемента использовать пластины из титана ВТ 1-0 (рис. 1).

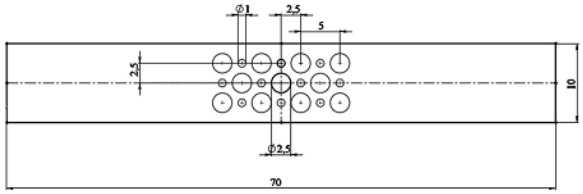


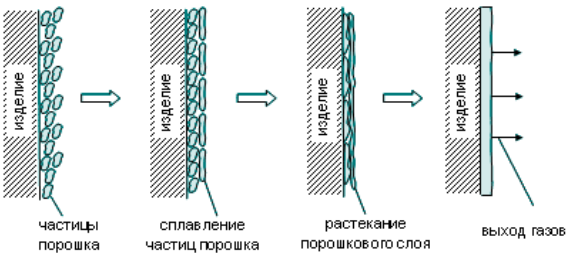
Рис. 1. Общий вид металлического элемента для армирования биодеградируемого полимерного имплантата.

Для внедрения армирующих элементов в объем биодеградируемого полимера был выбран метод вихревого нанесения порошкообразных полимеров (получение покрытий в псевдоожиженном слое). Метод основан на способности слоя полимерного порошка переходить во взвешенное состояние при воздействии на него потока воздуха и вибрации или при одновременном воздействии потока воздуха и вибрации.

Сущность получения покрытий на основе порошковых полимерных материалов заключается в том, что мелкодисперсные частицы полимеров наносятся на поверхность изделия, плавятся при термической обработке и растекаются по поверхности, а при охлаждении образуют монолитную пленку (рис. 2).

Рис. 2. Методика вихревого нанесения порошкообразных полимеров.

Слой покрытия, образованный сплавленным порошком полимера, надежно предохраняет поверхность изделия от коррозии, отличается механической прочностью, химической стойкостью, атмосферостойкостью. Достоинство этого способа нане-



сения покрытий состоит в том, что не требуется дорогостоящих токсичных растворителей.

Для внедрения армирующих элементов в биодеградируемые полимерные имплантаты использовались ванны псевдоожиженного слоя, разработанные компанией “Дюпон порошковые краски” (технические характеристики: давление воздуха в кипящем слое 0.01-0.3 МПа; внутренние габариты ванны 650×50×420 мм).

В качестве материала для изготовления биодеградируемых полимерных имплантатов использовался фторопласт марки *4Д, 4МД, 3М*. Полимерный слой наносился на сухие подложки без ржавчины, окалины и коррозионных повреждений, без жировых и других загрязнений, продолжительность перерыва между подготовкой поверхности и нанесением покрытия была 1 ч. Температура в производственном помещении была 20^{o}C, относительная влажность - 55%.

В результате были получены армированные имплантаты с полимерным биодеградируемым слоем толщиной до 250 мкм, образцы которых представлен на рис. 3.

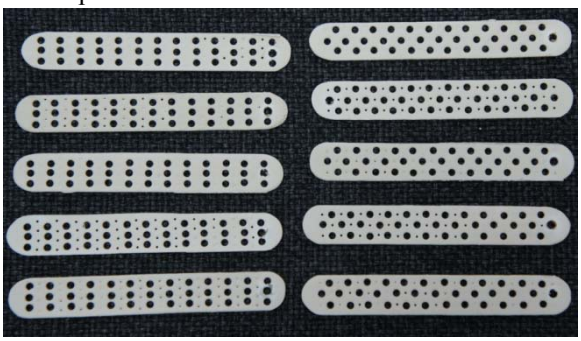


Рис. 3. Биодеградируемые биополимерные армированные имплантаты.

После получения опытной партии биополимерных биодеградируемых армированных ортопедических имплантатов целью являлось сравнить механические свойства армирующих элементов из титана ВТ 1-0 и изготовленных имплантатов, в частности, проверить, как после нанесения покрытия изменилась их прочность.

Механическую прочность имплантатов с покрытием определяли на разрывной машине ComTen-95 производства США при скорости нагружения 10 мм/мин, прочность армирующих элементов без покрытия определяли на разрывной машине Р-50 с той же скоростью.

Изделие	$P_{пц}$, Н	$\sigma_{пц}$, МПа	L, мм
армирующий элемент	840±30	168±6	1
имплантат	1150±30	230±6	2,5

Таблица 1. Результаты исследования механических свойств армирующих элементов и полимерных имплантатов.

L - абсолютное удлинение образца; $P_{пц}$ - максимальная нагрузка, при которой еще не наступает пластическая деформация образца; $\sigma_{пц}$ - предел пропорциональности.

Из полученных результатов эксперимента на растяжения армирующих элементов и полимерных имплантатов видно, что прочность последних почти в 1,4 раза выше и при этом абсолютное растяжение больше в 2,5 раза. Такое серьезное увеличение механической прочности и абсолютного удлинения образцов можно объяснить высокой степенью эластичности фторполимерного покрытия.

Нужно отметить, что достигнутый результат очень интересен, поскольку первоочередной целью нанесения фторполимера все же было создание связующего слоя между армирующим элементом и кальций-фосфатным покрытием. Но при этом удалось достаточно сильно улучшить механические свойства имплантатов.

Для подтверждения результатов целесообразно повторить эксперимент на большем количестве образцов, при этом используя одну разрывную машину. Если такое улучшение механических свойств подтвердится для большой серии образцов, можно с точностью говорить о действительно впечатляющих результатах и актуальности использования в дальнейшем биодеградируемых биополимерных имплантатов с армирующими элементами.

Работа выполнена при финансовой поддержке аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 гг.)», регистрационный номер проекта 2.1.1/14204.

Литература

1. Шаркеев Ю.П., Колобов А.В., Хлусов И.А., Карлов А.В., Легостаева Е.В., Шашкина Г.А. Биокерамические покрытия с высоким содержанием кальция для медицины // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 8. Спец. выпуск. – Ч. 2. – С. 83–86.

2. Хенч Л., Джонс Д. Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей. – М.: Техносфера, 2007. – 303 с.

3. Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция. – М.: Наука, 2005. – 203 с.

ИЗМЕРЕНИЕ СОСУДИСТОГО ТОНУСА И АД ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ ВРПВ

Погудин Д.И., Лопатнев Н.Ю., Латышева И.К
Научный руководитель: Алдонин Г.М., профессор, Желудько С.П., доцент
Институт инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского Федерального Университета (ИИФиРЭ СФУ). 660074, Красноярск, ул. Киренского, 26; тел. (391) 291-22-80
E-mail: GAldonin@sfu-kras.ru

В клинической практике широко используются методы, позволяющие количественно оценить с помощью времени распространения пульсовой волны (ВРПВ) параметры кровотока в сосудах различных отделов кровеносной системы. Наряду с мониторингом электрокардиосигнала (ЭКС), фонокардиосигнала (ФКС) и пульсовой волны (ПВ) существует возможность теми же аппаратными средствами контролировать такой важный показатель функционального состояния организма (ФСО), как состояние сосудистого тонуса и его реакцию на какие-либо воздействия.

Сокращения миокарда вызывают ритмическое расширение сосудистой стенки (пульс), которые под действием распространения волн давления от начальной части аорты к артериям и капиллярам приводят к появлению пульсовых волн. По данным ряда исследований скорость распространения пульсовой волны не зависит от скорости течения крови, а определяется диаметром сосуда, толщиной его стенки и эластичностью сосуда, а также от реологических свойств крови. Например, в аорте она может составлять 4-6 м/сек, а в артериях мышечного типа 8-12 м в сек. Линейная скорость кровотока по артериям обычно не превышает 0,5 м/сек. С возрастом эластичность сосудов снижается, и это приводит к увеличению скорости распространении пульсовой волны.

Для оценки сосудистого тонуса в медицинской практике используется артериального давления (АД) по методу Короткова в мм.рт. ст. Но это достаточно травматичный метод и не позволяет постоянно мониторировать АД. Известен метод определения АД на основе измерения ВРПВ. Кроме измеренных во время мониторирования ЭКГ и ПВ, можно произвести оценку АД пациента на основе ВРПВ.

Контроль состояния сосудистого тонуса по времени распространения пульсовой волны на основе измерения ВРПВ рекордером МКМ-09 с помощью ПО TestWAV. Изменение состояния артериального сосудистого тонуса сказывается на времени распространения пульсовой волны (ВРПВ), которая измеряется по отсчетам задержки между R-зубцом ЭКС максимумом ПВ совместной записи сигналов ЭКГ и ПВ (рис. 1).

Вначале мониторирования измеряется систолическое артериальное давление (САД) и диастолическое артериальное давление (ДАД) по методу Короткова. Затем измеряется ВРПВ пациента. Для отображения соответствия САД ВРПВ необходимо сделать ряд следующих преобразований (Таблица 1).

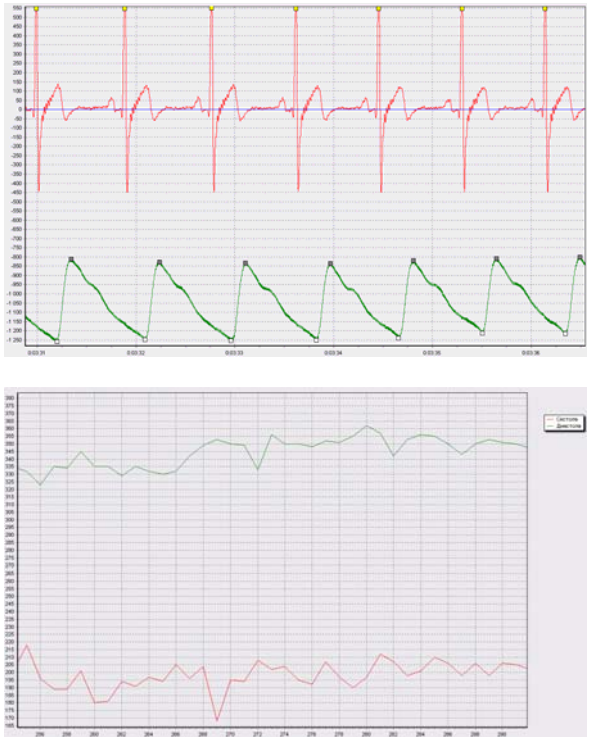


Рис. 1. Совместная запись сигналов ЭКГ и ПВ, ВРПВ в фазе систолы и в фазе диастолы.

Определяется цена деления (1) (мм.рт.ст./мс) и в дальнейшем изменение ВРПВ приводится в соответствии с изменением САД. Вносятся поправки в цену деления и корректируется значение САД при изменении ВРПВ с помощью поправочного коэффициента (2), определённого при вычислениях, на каждом участке записи.

$$P = (Sc + K) \times T_{ВРПВ}, (1)$$

К-поправочный коэффициент

$$K = 1 - \frac{\overline{T_i}}{T_{\max}}, (2)$$

Где $\overline{T}_i$ -текущее среднего ВРПВ в фазе систолы (мс),

Tmax-максимальное значение ВРПВ в фазе систолы (мс)

	САД, мм рт. ст.	ДАД, мм рт. ст.	Левая рука	
			С, мс	Д, мс
До нагрузки	153	77	278	568
			280	572
			282	576
			276	580
			276	572
			278	572
			274	576
5 приседаний	159	79	264	526
			260	508
			258	516
			264	504
			256	524
			268	518
			254	520
10 приседаний	163	78	245	452
			238	468
			248	458
			242	456
			254	462
			246	446
			248	448
15 приседаний	169	77	240	412
			230	434
			242	426
			244	438
			236	422
			224	434
			226	418

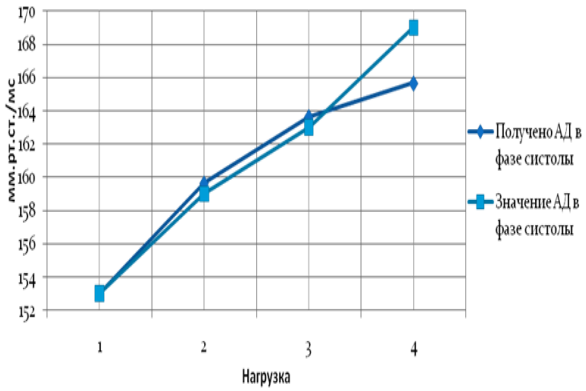


Рис. 3. Изображены графики полученного АД фазы систолы от нагрузки с помощью расчётов и АД фазы систолы от нагрузки, измеренных по методы Короткова.

Вывод: представленный метод позволяет атравматично контролировать состояние сосудистого тонуса и оценивать АД, при этом основное преимущество данного метода заключается в том, что для контроля САД не нужно постоянно измерять АД, а проводить данное измерение лишь вначале записи.

Таблица. 1. Результаты измерений САД, ДАД и ВРПВ.

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ НАРУШЕНИЙ КРОВООБРАЩЕНИЯ ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА ПРИ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ

Рашев Р.Р., Баранов В.Н.
Научный руководитель: Баранов В.Н., д.м.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 62500,
Россия, г. Тюмень, ул. Володарского,38
E-mail:penatik_72@mail.ru

Актуальность. В связи с широким распространением хронических воспалительных заболеваний матки и придатков (ХВЗМП), характеризующихся прогрессирующим течением и высоким процентом нарушений репродуктивной, менструальной, секреторной и половой функций женского организма. Ведущую роль в патогенезе спаечного процесса органов малого таза занимают нарушения гемодинамики: затруднения артериального притока, венозного оттока, тазовый венозный застой, выраженные нарушения гемодинамики [1]. Улучшению показателей региональной гемодинамики способствует биоадекватная лазерная терапия – воздействие на матку и ее придатки низкоинтенсивным пульсирующим лазерным излучением Данная работа является продолжением исследований, направленных на разработку, исследование и внедрение в клиническую практику аппаратно-программных средств биоадекватной лазерной терапии гинекологических заболеваний.

Материал и методы. Проведен анализ существующих методов и средств неинвазивной диагностики состояния гемодинамики органов малого таза у женщин. Изучены методы контроля состояния сосудистого русла матки и придатков и определен ряд гемодинамических показателей, необходимых для лазеротерапии на разных стадиях патологического процесса.

Проведен анализ структурных схем существующих аппаратов и систем лазерной терапии. Для моделирования лечебно-диагностического процесса в качестве прототипа использован аппарат для лазерной терапии и рефлексотерапии АГИН-01 (Регистрационное удостоверение №ФСР 2009/04330 от 16.02.2009г) разработанный по патентам профессора, д.м.н. В.Н. Баранова, показавший значительные преимущества перед традиционными. АГИН-01 предназначен для акушерско-гинекологической практики и реализует методику пульсирующего сканирования БАТ и внутренних органов с частотой 1-10Гц излучением полупроводниковых лазеров в диапазоне волн 0,63-0,67 мкм и 0,81-0,89 мкм.

Результаты исследования.

Основными составляющими элементами биотехнической системы стали: устройства регистрации реограмм, монитор АД, портативная ЭВМ, медицинский лазерный аппарат АГИН – 01, а также другие вспомогательные устройства. Ниже (Рис.1.) приведены схемы реализации биотехнической системы.

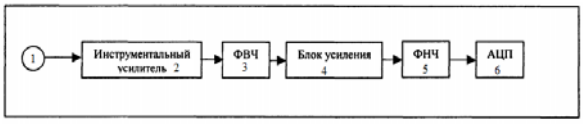


Рис. 1. Схема аналоговой части системы сбора электрофизиологической информации: где 1.Объект исследования, 3.Фильтр высокой частоты, 5.Фильтр низкой частоты, 6.Аналоговый цифровой преобразователь.

Аппаратная часть представляет собой устройство регистрации и предварительной обработки сигнала и осуществляет аналоговое цифровое преобразование. Буферизация данных на выходе является обычным для систем реального времени с целью синхронизации или упаковки передаваемых данных. Интерфейсной частью со стороны программной системы выступает системное приложение – драйвер, обеспечивающий взаимодействие с аппаратной частью на низком уровне (Рис.2.).

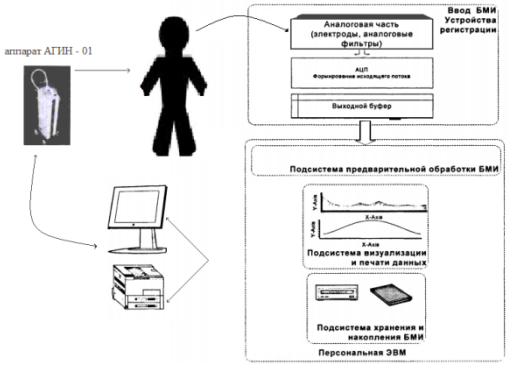


Рис.2. Обобщенная схема компьютерной биотехнической системы.

Средства визуализации и печати обеспечивают представление данных в удобном для анализа формате. Система работает следующим образом. Сначала реографическим методом врач-оператор определяет тип нарушения гемодинамики в области тазовых органов: снижение притока и (или) оттока крови, венозный застой, выраженные нарушения гемодинамики. Затем он, в зависимости от типа гемодинамических расстройств, фазы воспалительного процесса, размеров патологического очага может подобрать индивидуальные методики лазерного воздействия аппаратом АГИН-01 [5]. Так, при спаечно-инфильтративном процессе в области матки и придатков синхронизирует фазу расфокусировки лазерного луча на объекте облучения с катакротой пульсовой волны для стимуляции оттока крови по венозным и лимфатическим сосудам. При спаечно-рубцовом процессе синхронизирует фазу фокусировки лазерного луча на объекте облучения с началом пульсовой волны для активации притока крови по артериям.

Для улучшения перфузии крови через органы таза синхронизирует соответствующие фазы пульсации лазерного луча с ритмами притока и оттока крови. Лазерная терапия проводится под динамическим реографическим контролем кровотока. По завершению сеанса лазерной терапии программа биотехнической системы автоматически генерирует протокол с учетом клинических особенностей заболевания у пациентки. После этого в любое время протокол, а также отдельные реограммы, таблицы или ЭКГ по выбору оператора можно распечатать на бумаге.

Заключение.

Разработанная биотехническая система биоадекватной лазерной терапии, включающая непрерывную обратную связь по параметрам гемодинамических процессов в области матки и придатков позволяет анализировать показатели гемодинамики как во время проведения курса лазерной терапии, так и непосредственно при осуществлении сеанса лечения.

Библиографический список.

1. Селищев С.В. Автоматизированное проектирование биомедицинских электронных систем// Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – М: № 12, 2001. – с. 5-17.

2. Титов М.Н., Радаев А.А. Эффективная лазерная медицина. Сборник трудов. – РТС ИМПУЛЬС. 2003.

3. Баранов В.Н. Сканирующие устройства для фототерапии// 2006, Бил. №6. Патент на полезную модель № 51506

4. Баранов В.Н. Лечебно-диагностическое устройство для биоуправляемой и биосинхронизированной лазерной терапии// 1999. Бюл. №6. Свидетельство РФ на полезную модель №10095.

5. Баранов В.Н. Способ лечения хронического сальпингоофорита// 1997. Бюл. №17. Патент РФ на изобретение №2150976.

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ КОНСУЛЬТАНТОВ КЛДЦ КЛИНИК СИБГМУ ГОУ ВПО РОСЗДРАВА. УНИВЕРСАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ КОНСУЛЬТАТИВНЫХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПРИЕМОВ СПЕЦИАЛИСТОВ

Резцова А.М.
Научный руководитель: Степанова И.Э.
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный медицинский университет»
634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2
E-mail: alena_rezcova@mail.ru

Актуальность:

За последние годы в медицине значительно увеличилось количество новых методов диагностики и лечения. Объем информации о состоянии здоровья пациентов, который необходимо обрабатывать врачу, значительно вырос. Кроме того, данные о состоянии здоровья каждого пациента, как правило, рассредоточены по нескольким лечебно-профилактическим учреждениям (ЛПУ), оказывающим помощь в профилактике и лечении заболеваний. В то же время не вызывает сомнений необходимость интеграции всех этих данных. Ежедневно в каждом ЛПУ решается ряд серьезных задач, связанных с внесением, обработкой и хранением медицинской информации, практическим управлением потоками информации, краткосрочным и долгосрочным планированием, статистическим и финансовым анализом.

Для эффективного решения этих задач необходимо применение комплексных медицинских информационных систем (МИС), позволяющих обрабатывать информацию по всей цепочке движения пациента: поступление – диагностика – лечение – реабилитация – мониторинг[1].

Исторически сложилось так, что развитие отечественных автоматизированных компьютерных систем в медицине происходило по нескольким направлениям:

-разработка специализированного программного обеспечения для помощи врачам в принятии решений (экспертные системы);

-разработка автоматизированных рабочих мест (АРМ) отдельных медицинских специалистов;

-создание автоматизированной истории болезни, амбулаторной карты и т.п. на основе систем электронного документооборота.

В наши дни более актуальным становится единый, централизованный подход к автоматизации ЛПУ, принципиальными отличиями которого являются: поддержка государством; разработка мощных базы данных, готовых к поставке «под ключ» в любое ЛПУ; развитие механизмов обмена информацией одних ИС с другими; масштабирование на уровне операционной системы и систем управления базами данных (СУБД); удобный графический/пиктографический интерфейс пользователя; доступная цена при тиражируемом программно-аппаратном продукте[2].

Повышение качества лечебно-профилактической помощи является важнейшей целью информатизации здравоохранения на всех его уровнях, в том числе и на уровне конгломерата учреждений здравоохранения, и в рамках отдельного ЛПУ. Соответственно, это является основной задачей любой МИС[3].

Цель работы:

Разработать Техническое Задание (ТЗ) на создание автоматизированных рабочих мест (АРМ) для специалистов КЛДЦ Клиник СибГМУ ГОУ ВПО Росздрава. Программная реализация и внедрение которого запланирована на II-III квартал 2011 года.

Задачи:

1. Ознакомиться с действующими федеральными стандартами и протоколами консультативной и лечебно-диагностической помощи, основываясь на положения принципы доказательной медицины. Создать и подключить к информационной системе справочников электронный вариант справочника «Федеральные стандарты консультативного и лечебно-диагностического приема»
2. Разработать универсальные шаблоны протоколов консультативно-диагностического приема пациентов специалистами различного профиля клиник СибГМУ.
3. Разработать и предложить технологию оперативного создания индивидуального протокола приема пациентов для специалистов клиник.

Методы:

Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis and Design Technique), моделирование потоков данных (процессов) DFD.

MS Visio-редактор диаграмм и блок-схем для Windows.

Результаты собственных исследований:

Консультативный и лечебно-диагностический Центр (КЛДЦ) был открыт в 2003 году и является амбулаторным структурным подразделением многопрофильного учреждения федерального подчинения, Клиник ГОУ ВПО СибГМУ Минздравсоцразвития России.

Технологически процесс приема пациентов сопровождается автоматизированной информационной системой «Консультативный и лечебно-диагностический центр клиник СибГМУ» («КЛДЦ клиник СибГМУ»), разработанной и внедренной в

2007 году специалистами отдела АСУ клиник. Для решения задач была выбрана среда программирования – 1С 8.0 фирмы 1С: Франчайзинг, удобная тем, что обеспечивается максимально короткий срок исполнения при наличии большого числа готовых модульных решений, возможность дальнейшего привлечения к работе других программистов взамен выбывшего, которые легко смогут разобраться в имеющихся разработках и продолжить работу далее. Все это позволило в короткий срок объединить в единую рабочую систему такие важные для полноценного функционирования КЛДЦ автоматизированные места, как «Регистратура», «Медицинская статистика», «Кабинет приема застрахованных по ДМС», «Административное управление», «Кабинет выдачи листков нетрудоспособности» и «АРМ специалистов диагностических подразделений».

Рабочие места регистраторов, врачей-координаторов ДМС, медицинских статистиков, врача- статистика, специалистов диагностических служб, заместителя главного врача, оснащены такой важной структурой для деятельности, как динамическая система справочников с частичной возможностью пополнения и редактирования: «Перечень медицинских услуг», «Тарифные соглашения различных страховых компаний с клинками СибГМУ», «Исполнители медицинских услуг и ответственные лица в структуре отделений», «Телефонный справочник», «Группы диагностических исследований в лабораторной диагностике», «Международный классификатор болезней X пересмотра», «График приема специалистов » и др.

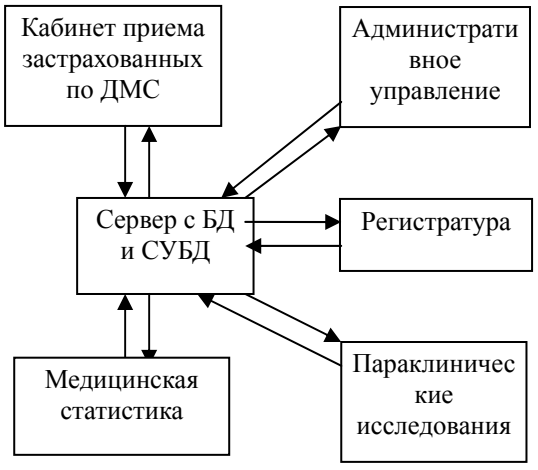


Рис.1. Структура автоматизированной информационной системы (АИС) «КЛДЦ клиник СибГМУ»

Основные задачи, возложенные на АИС:

1. Представление информации о клиниках и отделениях.
2. Представление информации о стоимости медицинских услуг с возможностью одновременной работы всех пользователей с информацией АИС.
3. Представление и хранение медицинской, статистической и экономической информации о назначенных и выполненных медицинских услугах пациенту, деятельности каждого специалиста и вспомогательных служб.
4. Оперативное извлечение любой сохраненной информации в динамике и структуре различных показателей деятельности, формирование статистической и экономической отчетности о работе центра.
5. Осуществление совместимости и конвертирования данных для возможности обмена информацией с другими АИС клиник.
6. Создание единого информационного пространства, следствием чего являются ускоренный доступ к информации, повышение качества медицинской документации и т.д.
7. Мониторинг и управление качеством медицинской помощи и как результат – снижение вероятности врачебной ошибки, устранение избыточности назначений и многое другое.

В КЛДЦ проводится консультативный и лечебно-диагностический прием пациентов профессорско-преподавательским составом Клиник СибГМУ и высококвалифицированным врачебным персоналом (112 специалистов, в том числе 25 профессоров). В связи с этим встает вопрос о подключении функционально значимых рабочих мест консультантов к АИС «КЛДЦ клиник СибГМУ». Конечная цель нашей работы – полная автоматизация информационной деятельности КЛДЦ с созданием аналога «Электронной амбулаторной карты», полностью отвечающей соответствующим требованиям и положениям Федеральных органов управления здравоохранением.

Список литературы:

1. Безнос, О. С. Разработка методического аппарата для создания медицинской информационной системы лечебного учреждения : автореф. дис. … канд. тех. наук / О. С. Безнос – Краснодар, 2008. – 3 с
2. Ковшов, Е.Е. Современные аспекты построения медицинских информационных систем / Е.Е. Ковшов, В.А. Морозов, А.В. Фролов // Российские медицинские вести. – 2003. - № 1. – С.37-44.

Информационные системы в здравоохранении / А.В. Гусев, Ф.А. Романов, И.П. Дуданов и др. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2002. – 120 с.

О ТЕНДЕНЦИЯХ В РАЗВИТИИ МЕДИЦИНСКОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рогова О.В., Жилина Е.А.
Научный руководитель: Нейман В.Ю., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092 , Россия, г. Новосибирск, ул. Карла Маркса, 20
E-mail: olga_ryu_@mail.ru

Во многих отраслях промышленности наряду с электрической энергией широко используется пневматическая. По объемам потребления на мировом рынке машиностроительной продукции компрессоры уступают только жидкостным насосам.

Компрессор – это энергетическая машина или устройство для повышения давления и перемещения газа или их смесей[1].

Компрессоры служат для подачи сжатого воздуха или газа под избыточным давлением более 0,2-0,3 МПа.

По назначению компрессоры подразделяются на:

- компрессоры общего назначения – воздушные, вырабатывающие сжатый воздух давлением 4-49 атм.;
- специализированные компрессоры.

По создаваемому давлению:

- низкого давления от 0,3 до 1 Мн/м^2;
- среднего давления до 10 Мн/м^2;
- высокого давления выше 10 Мн/м^2.

По области (масштабам) применения компрессоры подразделяются на:

- бытовые;
- полупрофессиональные;
- профессиональные;
- индустриальные;
- медицинские[2].

В последние годы в самых различных областях техники и производства заметно оживился спрос на компрессионное оборудование, которым комплектуются как приборы, предназначенные для бытового использования, так и для специальных целей, например, компрессоры, используемые в стоматологии. Тема выбора источника сжатого воздуха для медицинских кабинетов и зуботехнических лабораторий является актуальной для специалистов стоматологических поликлиник, так как эффективная работа современного оборудования во многом определяется техническими параметрами примененного компрессора. Затраты на компрессор и его установку – высоки, эксплуатационные расходы (электроэнергия и техническое обслуживание) значительны. Поэтому выбор стоматологического компрессора является актуальной проблемой для медицинских учреждений.

В целях снижения энергетических затрат предлагается замена поршневых компрессоров линейными электромагнитными компрессорами малой мощности. Подтверждением этого является разработка линейного компрессора такими известными производителями, как LG Electronics (Ю.Корея), Matsushita (Япония), Electrolux (Швеция), Embaco (Бразилия), а всего более 60 исследователей. Компания LG в 2001 году первой вывела на рынок готовые линейные компрессоры. К 2015 году компания LG намерена увеличить объемы использования третьего поколения линейных компрессоров до 50 %. Поэтому внедрение компрессоров с возвратно-поступательным движением якоря электродвигателя и рабочего органа компрессора стимулирует возможность получения экономии электроэнергии при эксплуатации компрессионного оборудования малой мощности.

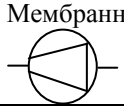
Что касается стоматологических компрессоров, то они служат в качестве источника чистого безмасляного сжатого воздуха для привода стоматологических приборов и устройств. Они предназначены для встраивания в зубо-врачебные установки или используются в качестве привода стоматологических приборов и устройств. Параметры сжатого воздуха для зуботехнической лаборатории приведены в таблице 1[3].

Таблица 1

Наименование оборудования	Назначение	Расход воздуха, л/мин	Рабочее давление, бар
Пескоструйный аппарат	Для обработки поверхностей изделий из керамики, коронок и мостовидных протезов	60	4...6
Пневмодолото	Очистка отливок от поковочных масс	225	6
Дисковая пневматическая пила	Для резки гипса	525	6

В качестве источника сжатого воздуха в подобных машинах и приборах используются поршневые и мембранные компрессоры. Сравнительная характеристика этих типов компрессорного оборудования представлена в таблице 2[4].

Таблица 2

Тип компрессора	Достоинства	Недостатки
Мембранный 	- не загрязняет рабочее тело; - слабо чувствителен к роду газа	- тихоходен; - низкий ресурс непрерывной работы; - низкий КПД
Поршневой	- широкий диапазон производительности; - высокий КПД;	- плохо уравновешен; - низкий ресурс работы клапанов и кольцевого уплотнителя при сжатии осушенных газов

Поршневой компрессор – это компрессор объемного действия, в котором изменение объемов рабочих камер осуществляется поршнями, совершающими прямолинейное возвратно-поступатель-ное движение.

В поршневых компрессорах различных конструкций КПД находится в пределах от 0,8 до 0, 95.

К достоинствам современных поршневых компрессоров прежде всего следует отнести экономичность их работы. Наиболее распространенными в бытовой, медицинской, криогенной, холодильной технике являются поршневые компрессоры с производительностью от 5 до 2-3 м^3/ч.

Ресурс непрерывной работы поршневых компрессоров зависит от надежности и долговечности составляющих его деталей и узлов, и определяется в основном точностью обработки, прочностью, износостойкостью материалов деталей, а также условиями работы последних.

Мембранный компрессор – это компрессор объемного действия, в котором изменение объемов рабочих камер осуществляется циклически колеблющимися мембранами.

Основным узлом мембранного компрессора является мембранный блок, в котором происходит сжатие газа. Мембранный блок выполняет роль цилиндра в компрессоре. При работе компрессора мембранный блок полностью изолирует сжимаемый газ от внешних воздействий, так как данный тип рабочего органа не требует смазки, тем самым обеспечивается сохранение высокого качества газа, что является большим преимуществом мембранных компрессоров над поршневыми. Мембранные компрессоры используются в мало- и микрорасходных установках для получения сжатого воздуха давлением порядка 4-6 бар при производительности от 0,01 до 0,7 м^3/ч. Ресурс безотказной работы мембранных компрессоров составляет 1000-1200 ч.

Малая степень распространения мембранных компрессоров продиктована рядом их недостатков, которые существенно снижают рабочей ресурс и долговечность компрессора.

В целях повышения срока службы и повышения экономичности работы компрессора в ряде случаев используют непосредственное соединение шатуна с мембраной, изготовленной из многослойных эластомеров. Однако явно ограниченный срок службы мембраны и низкие удельные характеристики этих машин не способствуют их широкому применению, в силу чего в основном используются как малорасходные периодически работающие установки. Совершенствование мембранных компрессоров направлено на снижение напряжений в материалах мембран, повышение служебных свойств этих материалов, разработку оригинальных приводов[5].

В заключении следует отметить, что новым направлением в компрессоростороении малой мощности является использование в качестве привода линейных электромагнитных двигателей, благодаря которым достигается непосредственно прямое соединение двигателя через вал с рабочим органом компрессора. При этом отпадает необходимость использования промежуточных кинематических звеньев.

В настоящее время на кафедре ТОЭ Новосибирского Государственного Технического Университета ведутся исследования и разработка физической модели электромагнитного линейного компрессора в рамках гранта НГТУ и с целью дальнейшего внедрения.

Список литературы

1. ГОСТ 28567-90**.** Компрессоры. Термины и определения. – Введ. 1990-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.

2. Карабин А.И. Сжатый воздух. Выработка, потребление, пути экономии/ А.И. Карабин. – М: Изд-во Машиностроение, 1964. – 342 с.

3. Бронин Ф.А**.** Как правильно подобрать компрессор для стоматологической клиники. [Электронный ресурс]/ Ф.А. Бронин – Электрон. дан. – 2008.—Режим доступа: http://www.bststkm.narod.ru

4. Bierbaum U. Druckluft Kompendium/ Ulrich Bierbaum – BOGE, Darmstadt. Druckhaus Darmstadt GmbH, 2004 – 227 s.

5. Болштянский А.П. Компрессоры с газостатическим центрированием поршня/.А.П. Болштянский. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002.— 406с.

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ НЕФТИ С СЕМЕЙСТВАМИ БЕЛКОВ ЦИТОХРОМА Р450 *(CYP1, CYP2* И *CYP3)* И ПОЛИМОРФИЗМОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ У РАЗНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ IN SILICO

Рубцова К.В.
Научный руководитель: Шилов Б.В., к.м.н., доцент
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, Московский тракт, 2
E-mail: rubksen@gmail.com

Актуальность:

Все население Сибири условно можно разделить на три группы: коренное, общей численностью около 100 000 человек, коренное пришлое - потомки основателей первых сибирских городов в 17-20 вв, и иммигранты настоящего времени. Факторы микроэволюции (мутации, отбор, случайный дрейф, миграция генов, метизация) за короткий срок могут влиять на формирование генетической структуры народонаселения. Часто население задействовано в нефтегазодобывающей промышленности и непосредственно контактирует с контаминантами нефтегазопромыслов. При этом реакция на такое воздействие у разных групп населения Севера западной Сибири различна.

По литературным данным, нефть содержит в своем составе четыре SARA-фракции - насыщенные (S), ароматические(A), смолы (R), и асфальтены (A), состав которых позволяет предполагать непосредственное взаимодействие компонентов нефти с белками системы биотрансформации.

Метаболизм ксенобиотиков ферментзависимый процесс, а основными ферментами метаболизма токсичных промышленных веществ являются ферменты цитохрома Р450 CYP [1]. Цитохром Р450 - общее название ферментов семейства Р450, которые являются мембранными белками [2].

Характерной особенностью фермента CYP1A1 является его способность окислять плоские молекулы полициклических ароматических углеводородов в закрытых конфирмационных позициях. Фермент CYP2D6 играет важную роль в метаболизме более чем 30 лекарственных веществ и промышленных соединений (нитрозоаминов, никотина и полиароматических углеводородов) [3]. Изоформа CYP2E1 является ключевым ферментом, который осуществляет окисление большинства промышленных химических соединений низкомолекулярной природы [4]. Известно, что зачастую образовавшиеся интермедиаты являются более токсичными для клетки и вызывают повреждение ДНК или мембран клетки, что приводит к канцерогенезу или развитию токсического процесса.

В настоящее время многие исследования in vitro и in vivo с целью экономии времени и денежных средств предваряются исследованиями in silico (моделирование биологических процессов с применением вычислительных систем).

Цель исследования:

оценить процессы взаимодействия компонентов нефти с семействами белков цитохрома Р450 (CYP1, CYP2 и CYP3) ответственных за I фазу биотрансформации ксенобиотиков и полиморфизмов, встречающихся у разных групп населения, на основе моделирования in silico.

Задачи исследования:

5. Сформировать библиотеку трехмерных компьютерных моделей компонентов нефти - контаминантов нефтегазопромыслов, и возможных продуктов биотрансформации.
6. Используя модели мембранных белков цитохромов Р450 (семейства CYP1, CYP2 и CYP3) в аллостерические центры провести докинг созданной библиотеки (с использованием программы по изучению молекулярной динамики Gromacs).
7. Оценить полученные результаты с точки зрения возможности функционирования данных ферментных систем.

Материалы:

Для решения поставленных задач необходимо было сформировать материал: трехмерные компьютерные модели компонентов нефти на основе химических формул и трехмерные компьютерные модели мембранных белков цитохромов Р450 (семейства CYP1, CYP2 и CYP3) из банка данных NCBI.

Методы:

Для моделирования молекулярной динамики взаимодействия компонентов нефти с мембранными белками цитохромами Р450 используется программа Gromacs.

Последовательность действий при моделировании в программе Gromacs зависит от моделируемой системы и включает ряд шагов, представленных ниже.

Для моделирования динамических процессов с участием белков необходимы файлы белков в формате *.pdb. Формат базы данных Protein Data Bank, содержит трехмерную модель белков готовую для моделирования. Также для моделирования может быть использован *.gro - файл с координатами частиц в моделируемой системе. Для моделирования нами были взяты готовые pdb-файлы цитохромов из банка данных PDB http://rcsb.org (3CYS.pdb, 3IBD.pdb, 3MVR.pdb). Далее в программе генерируется файл топологии (*.top), содержащий информацию о всех

длинах и жёсткостях всех связей, также содержится название системы, состав её (сколько и каких молекул входит в систему). Для этого используется программа pdb2gmx, которая также генерирует *.gro - файл с координатами атомов моделируемой системы. Следующим шагом с помощью программы editconf задаются параметры ячейки, в которой находиться наша система (на вход ему лучше подавать исходный *.gro или масштабированный файл). Затем можно использовать подпрограмму genbox - для заливания системы растворителем и проверки конечной плотности и объема системы, если подавали в editconf нужный файл, то строка в перезаписываемом *.top файле описывающее количество молекул не исчезнет. Также можно использовать genion для генерации дополнительных свойств в системе. Текстовые файлы (*.mdp) содержащие параметры расчетов: шаг интегрирования, количество шагов, параметры термо- и баростатирования и все прочие параметры модели служат для настройки текущего моделирования. Необходимо задать в нем нужные нам параметры моделирования, особенно необходимо правильно указать величины радиусов обрезания (max радиус равен половине ребра ячейки, новые размеры ячейки выдает editconf, а min должен быть больше суммы двух max радиусов силовых взаимодействий, это для PME). Файл (*.tpr) содержит тип эксперимента (молекулярная динамика, минимизация энергии и т.п.), координаты частиц, скорости при заданной температуре, используемое силовое поле, время моделирования, шаг и др. Вызываем программу grompp, которая на основе трех файлов *.top, *.gro, *.mdp создает входной файл *.tpr для основной программы пакета - mdrun. Запуск mdrun с нужными ключами (флагами), стартует процесс моделирования, по его окончании мы получаем файлы результатов, необходимые для оценки проведенного моделирования. Анализ результатов должен проводиться в статистичском пакете, в нашем случае для этой цели выбран пакет R-project. Результаты моделирования также могут быть представлены в виде анимационной модели, показывающей динамику движения всех компонентов системы.

Далее можно рассмотреть траекторию движения взаимодействующих молекул в среде растворителя с помощью программы ngmx. И произвести расчет среднего квадратичного отклонения (RMSD) определенных атомов в молекуле относительно центральной позиции изучаемой структуры, отклонение вычисляется с помощью программы g_rms. Программа xmgrace пакета помогает представить данные о моделируемой системе в виде графика. Также мы вычисляем радиус циркуляции Rg (для этого используется программа g_gyrate пакета Gromacs), который является мерой размера белка. Этот показатель рассчитывается как среднее квадратичное расстояние атомов от центра массы молекулы. Программа также позволяет построить график Рамачандрана, который показывает, находятся ли торсионные углы (φ / ψ) нашего пептида в пределах позволенной области. (программа g_rama). В качестве результатов мы получаем выходной файл, который можно напечатать или рассмотреть с помощью программы xpsview.

Для моделирования динамических процессов с участием компонентов нефти необходимо создать файлы в формате *.pdb на основе химических формул в Visual Studio. Этот пункт необходим из-за отсутствия единой базы данных компонентов нефти. Далее моделирование проводится по выше приведенным пунктам. По выполнению всех пунктов моделирования компонентов нефти и белков переходим к моделированию молекулярной динамики их взаимодействий.

Ожидаемые результаты:

1.Будет сформирована библиотека трехмерных компонентов нефти для проведения скринингового моделирования в области изучения взаимодействия компонентов нефти с живыми организмами

2.На основе трехмерных моделей мембранных белков цитохромов P450 будут проведено моделирование взаимодействия с применением метода молекулярной динамики.

3.Будет проведена оценка взаимодействий мембранных белков цитохромов P450 и компонентов нефти с точки зрения возможности функционирования данных ферментных систем.

Список литературы:

1. Зимин Ю.В. и др. Молекулярные механизмы метаболитической адаптации патологически измененной печени при токсическом гепатите // Вопр. мед. химии.— 2001.— №3.— С.29–33.

2. Danielson P.B. The cytochrome P450 superfamily: biochemistry, evolution and drug metabolism in humans // Curr. Drug Metab.. — 2002. — Т. 3. — № 6. — С. 561—597.

3. Orphanides G., Kimber I. Toxicogenetics: Applications and opportunities // Toxicol. Sci.— 2003.— Vol. 75.— P. 1–6.

Thier R., Golka K., Bruning T. et al. Genetic susceptibility to environmental toxicants: the interface between human and experimental studies in the development of new toxicological concepts // Toxicol. Lett.— 2002.— Vol. 127, N 1–3.— P. 321–327.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ УРОВНЯ КРОВОТОКА В ОБЛАСТИ ПЛАЦЕНТЫ ПО ДАННЫМ РЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Побызакова К.С., Самбуева Е.Д., Солошенко И.С.
Научные руководители: Толмачев И.В.[1], ассистент: Киселева Е.Ю.[2], к.т.н., ассистент
[1]Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 38
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: IvanTolm@mail.ru

Состояние здоровья новорожденных в значительной мере зависит от состояния здоровья матери, особенностей течения беременности и родов

Гипоксия плода (hypoxia fetus) — патологическое состояние плода, возникающее при недостаточном снабжении кислородом его тканей и органов или неадекватной утилизации ими кислорода.

Одной из причин возникновения гипоксии плода, является нарушение кровотока в плаценте. Существующие методы исследования, предназначенные для оценки уровня кровотока в плаценте, неравнозначны по своей диагностической ценности и стоимости.

Наиболее широко используется методика основанная на использовании эффекта Допплера. Сущность эффекта состоит в том, что от движущихся объектов ультразвуковые волны отражаются с измененной частотой.

Данные виды обследование нельзя назвать безопасным, так как при определении кровотока используется УЗ зондирование, продолжительность исследования и мощность датчика ограничены, обычно обследование назначается на поздних сроках беременности по показанию врача.

Цель работы: разработка метода оценки уровня кровотока в области плаценты по данным реографического исследования.

Задачи:

1. Поиск информации о современных методах оценки гемодинамических показателей.
2. Разработка и реализация модели распространения электрического сигнала в области живота беременной.
3. Проведение исследований на группах беременных с последующей оценкой адекватности разработанной модели.

Реография — неинвазивный метод исследования кровоснабжения органов, в основе которого лежит принцип регистрации изменений электрического сопротивления тканей в связи с меняющимся кровенаполнением.

Принципиальной основой метода реографии является зависимость изменений сопротивления от изменений кровенаполнения в изучаемом участке тела человека. Другими словами, изучаются базовая составляющая и пульсовые колебания электрического сопротивления.

Одной из модификаций метода реографического исследования является Электроимпедансная томография (ЭИТ) это метод реконструкции распределении проводимости внутри объекта на основе результатов электрических измерений на поверхности.

Факторы, отличающие метод визуализации распределения электрического импеданса от других томографических методов:

- Отсутствие повреждающего воздействия на организм;
- Отсутствие ограничений на продолжительность и частоту проведения обследований;
- Возможность создания портативной и мобильной аппаратуры;
- Небольшая стоимость томографа, простота эксплуатации;
- Невысокая разрешающая способность.
- Высокая чувствительность к изменению кровенаполнения тканей по сравнению с другими методами визуализации.

Для реализации метода импедансной томографии требуется создание математической модели распределения электрической проводимости в области живота беременной.

Визуализация распределения электрического импеданса формулируется как нахождение распределения потенциала электрического поля при заданной конфигурации токов, протекающих через поверхность в точках контакта электродов, и заданном распределении проводимости внутри биологического объекта. Для областей сложной геометрической формы (а к этому классу относятся практически все биообъекты) применяют численные методы решения.

Успешная реконструкция распределения проводимости внутри живота возможна лишь при наличии достаточно хорошего начального приближения. Кроме того, при формировании требований к измерителю импеданса необходимо определить величину зондирующего тока и порядок измеряемых величин напряжения на

электродах. Эту задачу можно успешно решить с помощью математического моделирования.

Оригинальный подход формирования математической модели исследуемой области заключается в том, что за основу изображения были взяты МРТ изображения беременной. Это позволило создать модель анатомически достаточно сильно приближенную к реальному распределению проводимости в норме.

Этапы создания математической модели:

1. Получение трехмерного изображения внутренней структуры живота одним из доступных методов (МРТ) с высоким разрешением (размер элемента изображения не более 3x3x3 мм);
2. Выполнение сегментации – выделение отдельных тканей на изображении;
3. Выделение кожи и построение ее поверхности;
5. Идентификация элементов – присвоение каждому элементу значения проводимости в соответствии с типом ткани, которая выделена в этом месте в результате сегментации.
6. Размещение электродов на поверхности живота и дополнение математической модели дополнительными граничными условиями.

Материалы и методы.

Этапы 1–3 выполнялись помощью программного комплекса 3DSlicer.(рис. 1.)

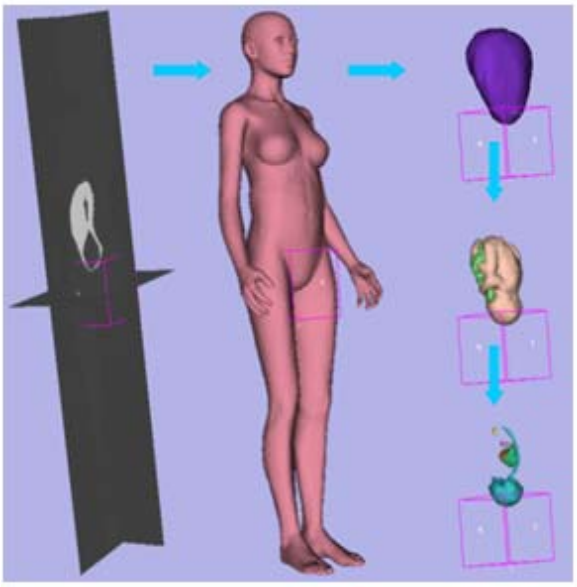


Рис. 1. Послойное построение трехмерной модели живота беременной

После создания модели необходимо ее идентифицировать — присвоить каждому конечному элементу определенное значение проводимости в зависимости от того, какая из биологических тканей находится в месте расположения элемента.

Исследование распределения электрического импеданса в области живота беременной проводится при помощи электроимедансного томографа (уникальная разработка кафедры медицинской и биологической кибернетики ГОУ ВПО СибГМУ Росздрава и кафедры промышленной и медицинской электроники ГОУ ВПО НИ ТПУ) на группе беременных. Срок беременности 32-34 неделя.

Для получения информации о распределении проводимости проводятся измерения напряжения, возникающего в результате прохождения электрического тока. Необходимым условием реконструкции импедансного изображения является получение большого количества независимых измерений. Для этого на биообъект накладывается определенное количество электродов - от 16 до 64 и более.

На одну пару электродов подается зондирующий ток, на остальных измеряется результирующее напряжение. Затем зондирующий ток подается на следующие два электрода и снова измеряется напряжение. Таким образом получается набор независимых измерений. Если имеется N электродов, то в результате получается N(N- 3) измерений, поскольку на токовых электродах падение напряжения малоинформативно из-за влияния контактного сопротивления.

В результате проведенных исследований была уточнена модель распределения электрического импеданса в области живота беременной. Разработанная модель позволяет оценивать изменение кровенаполнения тканей по результатам реографического измерения (электроимпедансной томографии)

Разработанная безопасная для развивающегося плода методика позволит проводить не ограниченную по времени оценку величины кровотока в области плаценты, а также визуализировать распределение электрического импеданса в области живота беременной .

Список литературы:

1. Бразовский К.С., Фокин А.В. Источник тока для электроимпедансной томографии Известия Томского Политехнического Университета. 2008. Т.313 №4 с.99-101
2. Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Электроимпедансная томография: монография. – Томск:НТЛ.– 2004. – С.192.
3. Bayford R. H., Lionheart R. B. Biomedical applications of electrical impedance tomography // Physiol. Meas. –2004. –V.25.– pp. 341–352

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Тищенко П.Н.
Научный руководитель: Бразовский К.С., к.м.н., доцент
Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 38
E-mail: halogen_s@mail.ru

Современные методы медицинской визуализации предполагают очень большой объем вычислительной работы. При классическом, «последовательном» способе реализации алгоритмов требования к параметрам аппаратуры вычислителя возрастают очень серьезно и на сегодняшний день практически не могут быть реализованы. Это связано как с ограничениями, которые обусловлены архитектурой наиболее распространенных процессоров для ЭВМ, так и с технологией их производства.

Несколько лет назад наметилась тенденция перехода к многоядерным процессорам и в настоящее время они стали практически стандартом для персональных компьютеров, однако создание программ для многоядерной архитектуры является сложной задачей. Проведенные нами исследования показали, что в настоящее время большинство программ для работы с медицинскими изображениями (как коммерческих, так и доступных по бесплатной лицензии) не поддерживают многоядерную архитектуру. Запуск таких программ на новом поколении процессоров не приводит к увеличению производительности.

Второй важный аспект связан с эффективным использованием вычислительных ресурсов научной организации или лечебного учреждения. Многочисленные измерения показывают, что среднее время загрузки процессора среднестатистического компьютера в лечебном учреждении составляет 5-7%, остальные 93-95% просто расходуют электроэнергию. При включении компьютера в вычислительный кластер можно эффективно перераспределять нагрузку без ущерба для основного пользователя компьютера и получать дополнительно вычислительные ресурсы нескольких десятков компьютеров. На данный момент программные средства для работы с медицинскими изображениями с использованием кластеров находятся в стадии разработки, поэтому создание программной среды для обработки медицинских изображений на кластере из персональных компьютеров является весьма актуальной задачей. [1] Распараллеливание алгоритмов обработки медицинских изображений является нетривиальной задачей, решение которой требует междисциплинарных знаний и глубокого понимания основных медицинских задач. До настоящего времени не существует сколько–нибудь внятного способа решения подобных задач. Необходимо выработать определенный подход к созданию кластерных решений для медицинской визуализации. В ходе выполнения дипломной работы предполагается создать формальные процедуры распараллеливания алгоритмов обработки медицинских изображений.

Для достижения заданной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Выделить наиболее затратные по времени вычисления этапы получения, обработки и визуализации медицинских изображений;
2. Определить оптимальный способ распараллеливания этих этапов;
3. Разработать программную среду для параллельной реализации;
4. Провести тестирование и определить качество параллельной реализации;
5. Определить критерии возможности и необходимости перехода к параллельным вычислениям при решении задач медицинской визуализации.

Материалы.

Реализацию было решено проводить с использованием среды разработки Delphi 7. Тому есть несколько причин: скорость реализации графического интерфейса программы; использование ЯВУ Object Pascal с возможностью применения встроенного ассемблера; скорость работы грамотно разработанных откомпилированных программ фактически не уступает аналогам на C++, а иногда и выше.

Методы.

Использования сред параллельной работы процессов типа PVM, MPI. Такого рода среды позволяют объединить узлы с различными платформами в одну вычислительную систему, но при этом они могут использовать многопроцессорную архитектуру некоторых узлов (аппаратная многопоточность), а также непосредственные возможности ОС и, в частности, ядра ОС. Такие среды обычно являются кроссплатформенными, с развитыми примитивами обмена информацией, управления, планирования, что позволяет программисту больше времени уделять собственно параллельным вычислениям[2]. Недостатки у

данного подхода не столь очевидны, но всё же есть:
1) необходимость в развёртывании на узлах, где будут производится вычисления сперва самих сред параллельной работы (с полным ручным конфигурированием каждого отдельного узла), а уж потом самих процессов-вычислителей;
2) невозможность функционирования процессов-вычислителей без установленной среды (причём, часто, невозможность функционирования в той же среде, но другой версии, или реализации);
Программа организована следующим образом:

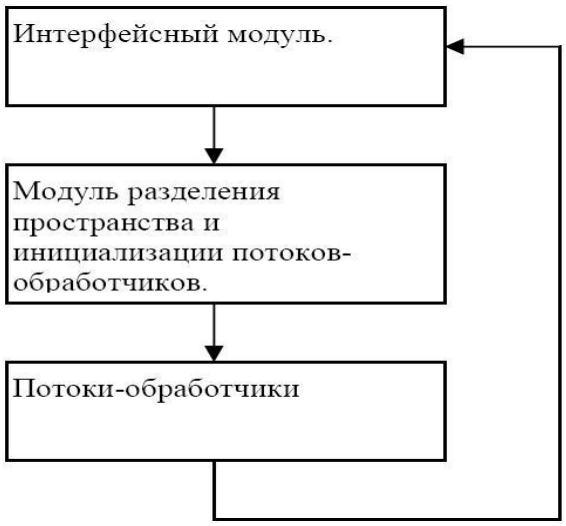


Рис. 1. Схема программы

где → обозначает поток данных от одного модуля другому. В задачу интерфейсного модуля входит ввод параметров поверхности, области определения (для расчёта на ней этой поверхности), передача этих параметров "модулю разделения пространства и инициализации потоков-обработчиков". Модуль разделения пространства и инициализации потоков-обработчиков занимается разбивкой области определения на равные участки по количеству потоков-обработчиков, а также инициализацией потоков-обработчиков и запуск потоков на выполнение.
Для применения в области обработки и визуализации медицинских изображений необходимо максимально изолировать конечного пользователя (врача) от деталей реализации и настройки параллельной среды для выполнения вычислений. Этого можно достичь, создав специализированный пользовательский интерфейс, автоматически распределяющий типовые задачи обработки изображений на кластер. Создание такого интерфейса потребует разработки формализованного подхода и определение перечня типовых задач обработки и визуализации медицинских изображений.
Также необходимо выбрать алгоритмы обработки, обладающие высокой степенью параллелизма. Это потребует переосмысления критериев качества алгоритмов: кроме вычислительной сложности (количество математических операций на один пиксел изображения) и требуемого объема памяти, необходимо принимать во внимание и потенциал распараллеливания.
Результаты.
Применение параллельных вычислений для получения, обработки и визуализации медицинских изображений позволяет значительно, особенно в случае распределённой системы, повысить скорость вычислений и стабильность. При этом единственными накладными расходами при распараллеливании являются: реализация способа деления пространства на подпространства и создание протокола обмена информацией между узлами. Сравнительная простота и дешевизна такого решения является следствием, с одной стороны, архитектуры SPMD и большим потенциалом для распараллеливания математической задачи, а с другой – примененной методике распараллеливания вычислений, объединяющей в себе использование эффективных вычислительных методов, стандартных средств визуализации широкодоступных средств параллельного программирования. Вместе с тем, были обнаружены некоторые специфические особенности построения такого рода параллельных программных комплексов, а именно потребность в формальных алгоритмах разбиения пространства на подпространства, а также оптимизации стадии обмена данными. Данные проблемы могут быть решены с использованием разработанной методики адаптивности[3].

Список литературы:

1. Параллельные вычисления / Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
2. Руководство по работе на вычислительном кластере / Шпаковский Г.И., Верхотуров А.Е., Серикова Н.В. – Минск, 2004 – 172 с.
3. Параллельные вычисления [Электронный ресурс] / Сбитнев Ю. - Электрон. дан. – Режим доступа: Opera - [Кластер (практическое руководство) :: Параллельные вычисления]
4. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI: Пособие / Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. - Мн.: БГУ, 2002. -323 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ РЕЗИСТИВНОМ НАГРЕВЕ С УЧЕТОМ ОТВОДА ТЕПЛА

Турунтаева Н.Ю.
Научный руководитель: Коваль Т.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tnudom06@mail2000.ru

Введение

Одним из методов разрушения опухолевых тканей в биологических объектах является температурное воздействие на злокачественные новообразования. На современном этапе развития термохирургических методов лечения онкологических заболеваний актуальным является развитие оборудования, обеспечивающего контроль над производимыми температурными воздействиями. Контроль необходим с целью исключения недостаточной обработки злокачественных новообразований, а также возможности повреждения здоровых тканей. Температурное воздействие, при котором раковые клетки гибнут, может производиться как низкими, так и высокими температурами.

В данной работе с применением конечно-разностных методов проводится моделирование трехмерного нестационарного температурного поля в биологическом объекте при резистивном нагреве с учетом отвода тепла.

Математическая модель

Нестационарное температурное поле в биологическом объекте описывается уравнением биотепла [1]:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla\cdot\left(-k\nabla T\right)=Q_{ext}, \qquad (1)$$

где ρ – плотность ткани [$кг/м^3$], C – удельная теплоемкость ткани [$Дж/кг\cdot K$], k – теплопроводность ткани [$Вт/м\cdot K$], Q_{ext} – пространственный источник тепла [$Вт/м^3$]. Все теплофизические коэффициенты и Q_{ext} в общем случае являются функциями температуры T.

При резистивном нагреве подается напряжение на электроды, помещенные внутрь биологического объекта. Благодаря сопротивлению ткани в биологическом объекте возникает электрическое поле и ток, вследствие этого создается объемный источник тепла:

$$Q_{ext}=\vec{J}_{пр}\vec{E},$$

где $\vec{J}_{пр}$ - ток проводимости среды, возникающий при подаче не электроды напряжения V с радиочастотой, E – напряженность электрического поля. Электрическое поле $\vec{E}$ может быть вычислено из уравнения Лапласа для среды с удельной электропроводностью σ:

$$-\nabla\left(\sigma\nabla V-J^e\right)=0; \qquad (2)$$

где J^e - внешняя плотность тока, V - потенциал.

Биологический объект может охлаждаться с помощью кровеносных сосудов, расположенных вблизи области прогрева. Поток крови, протекающий в сосудах, будет уносить тепло из зоны прогрева. Чтобы учесть охлаждение, необходимо в уравнение биотепла (1) добавить слагаемое, отвечающее за отвод тепла. Тогда уравнение биотепла (1) запишется в виде [2]:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla\cdot\left(-k\nabla T\right)=\rho_{bl}C_{bl}\omega_{bl}\left(T_{bl}-T\right)+Q_{ext} \qquad (3)$$

где ρ_{bl} –плотность крови [$кг/м^3$], C_{bl} – удельная теплоемкость крови [$Дж/кг\cdot K$], ω_{bl} – перфузия крови [$1/c$], T_{bl} – температура крови [K].

Рассмотрим охлаждение электродов. Пусть в полых электродах циркулирует вода. Она уносит с собой тепло, охлаждая, таким образом, электроды. Нестационарное температурное поле электрода описывается уравнением теплопроводности:

$$\rho_1 C_1\frac{\partial T}{\partial t}-k_1\nabla^2 T=0,$$

где ρ_1 – плотность материала, из которого изготовлен электрод [$кг/м^3$], C_1 – удельная теплоемкость этого материала [$Дж/кг\cdot K$], k_1 – теплопроводность этого материала [$Вт/м\cdot K$].

Для воды дифференциальное уравнение переноса тепла имеет вид:

$$\rho_2 C_2\frac{\partial T}{\partial t}+\rho_2 C_2 v\frac{\partial T}{\partial x}-k_2\left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)=0, \qquad (4)$$

где ρ_2 – плотность воды [$кг/м^3$], C_2 – удельная теплоемкость воды [$Дж/кг\cdot K$], k_2 – теплопроводность воды [$Вт/м\cdot K$], v – скорость потока воды [$м/c$].

При охлаждении с помощью кровеносных сосудов уравнение теплопроводности (3) решается совместно с уравнением для среды (2) с учетом краевых условий, т.е. совокупности граничных и начальных условий. При охлаждении электродов уравнение (1) решается совместно с уравнением (4) и (2) с учетом краевых условий.

Численный эксперимент

Численный эксперимент реализован для параметров реального биологического объекта [3]. Схема биологического объекта приведена на рис. 1. Биологический объект состоит их 2 материалов. Электрод представляет собой тепло- и электро-изолированный стержень, на конце которого

находится активная часть диаметром 2 мм и длиной 9 мм. Схема активной части электрода представлена на рис. 2. На электроды подавалось напряжение 22 В с радиочастотой.

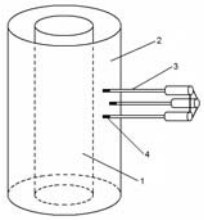


Рис. 1. Схема биологического объекта. 1, 2 – составные части объекта, 3 – электроды, 4 – активная часть электродов

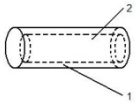


Рис. 2. Схема активной части электрода. 1 – металл, 2 –вода.

Начальная температура материалов биологического объекта принималась равной T_0 =310К. Начальная температура воды T_0=283К. Температура биологического объекта не должна превышать 373К. Раковые клетки гибнут при температурном воздействии на них выше 322К-328К. При решении нестационарной задачи анализировались переходные процессы теплопередачи с учетом отвода тепла.

Динамика нестационарного температурного поля в биологическом объекте у поверхности электрода при резистивном нагреве без охлаждения и при разных режимах охлаждения представлена на рисунках 3-5. Из рис. 3 видно, что температура вблизи поверхности электродов без учета охлаждения превышает предельную температуру 373К. Пилообразный характер кривых обусловлен режимом последовательного переключения электродов [3].

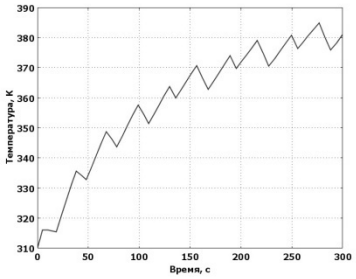


Рис. 3. Динамика нестационарного температурного поля у поверхности электрода без учета охлаждения

При тепловом воздействии на область с большим количеством кровеносных сосудов температура поверхности электродов не превышает предельного значения (рис. 4). При недостаточном отводе тепла за счет кровеносных сосудов необходимый температурный режим можно получить при охлаждении электродов (рис.5).

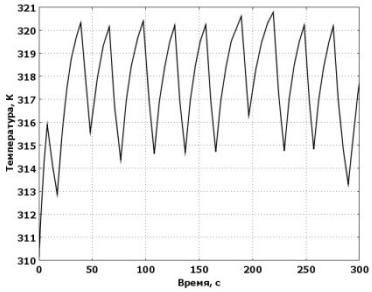


Рис. 4. Динамика нестационарного температурного поля у поверхности электрода с учетом охлаждения кровеносными сосудами при $\omega_{bl} = 0.096\ c^{-1}$

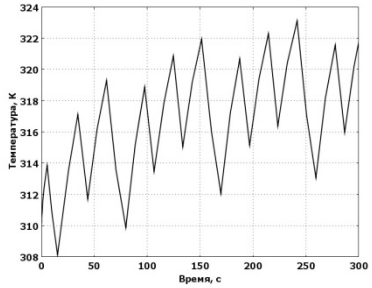


Рис. 5. Динамика нестационарного температурного поля у поверхности электрода с водяным охлаждением при $v = 0.001\ м/с$

Заключение

Для разрушения онкологических клеток применяется резистивный нагрев. Однако происходит сильный перегрев области вблизи поверхности электродов. Исключить этот эффект можно за счет отвода тепла кровеносными сосудами при определенных параметрах источника, либо за счет водяного охлаждения активной части источника.

Литература

1. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности: учебное пособие для вузов: В 2-х ч. – М.: Высшая школа, 1982.

2. Supan Tungjitkusolmun, S. Tyler Staelin et al. Three-dimensional finite-element analyses for radio-frequency hepatic tumor ablation //IEEE transactions on biomedical engineering, vol. 49, No. 1, January 2002.

Турунтаева Н.Ю. Моделирование нестационарного температурного поля в биологическом объекте при резистивном нагреве // Сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. ч.1. – Томск: Изд. СПБ Графикс, 2009. – С. 209-210.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКГ

Уваров А.А., Пеньков П.Г., Чебуренко Д.С.
Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: forUvarov@gmail.com

К настоящему времени понятно, что достигнут определенный предел диагностических возможностей метода стандартной электрокардиографии (ЭКГ) по выявлению скрытых изменений в миокарде. В связи с этим продолжается поиск новых методов, в том числе все более широкое применение находит метод ЭКГ высокого разрешения (ЭКГ ВР). Полученные в последние годы результаты позволяют утверждать, что этот метод обладает более широкими диагностическими возможностями по сравнению с обычной ЭКГ, но основной объем проводимых исследований, главным образом, посвящен изучению электрической нестабильности миокарда и анализу поздних потенциалов желудочков (ППЖ) и предсердий (ППП) по методу Симпсона [6].

Спектральный анализ, позволяет оценивать изменения амплитудно-частотных характеристик определенного участка кардиосигнала [7]. Наиболее часто для спектрального анализа используют метод быстрого преобразования Фурье (БПФ), с помощью которого сигнал можно разложить на составляющие его колебания различной частоты и амплитуды (рис.1)[2].

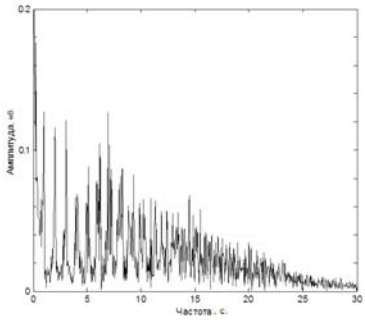


Рис. 1 Спектр одиночного кардиоцикла

Диагностическая ценность спектральных характеристик подтверждена в ряде работ [3,4,5]. В совокупности с другими диагностическими признаками спектральные показатели позволяют достичь высокой чувствительности выявления ишемической болезни сердца (ИБС) - порядка 98% [3]. К примеру, установлено, что у больных ИБС происходит смещение пиков зубца Р в высокочастотный диапазон с одновременным увеличением их числа. В карте комплекса QRS у больных ИБС увеличивается число пиков в среднечастотном и особенно в высокочастотном диапазонах [3].

Однако, несмотря на успехи в области обработки сигнала, существенный прорыв в области ЭКГ ВР может обеспечить лишь качественное совершенствование элементной базы ЭКГ-исследований. Так в Томском политехническом университете в рамках проекта № 2.2.3.3/3111 «Разработка средств диагностики и экспресс-методов, основанных на применении медицинских наноэлектродов, для оценки физического и психоэмоционального состояния здоровья обучающихся» по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2012 гг.)» ведется разработка элементной базы и методов обработки, основанных на применении медицинских наноэлектродов.

Медицинские наноэлектроды обладают высокой стабильностью электродного потенциала и низким уровнем собственных шумов, что позволяет проводить съем биопотенциалов уровня нановольт в широком диапазоне частот при низком уровне помех. Это в свою очередь, позволяет говорить о существенном повышении уровня чувствительности выявления ранних стадий ИБС и других заболеваний сердца.

Реализация преимуществ, обусловленных применением наноэлектродов, требует наличия системы объективных диагностических параметров, полученных на основе соответствующей статистики. В свою очередь для эффективного применения методов анализа экспериментальных данных необходимо иметь единую отлаженную методику их предварительной обработки.

На начальном этапе в качестве метода представления данных применялась спектрограмма, отображающая изменения спектра ЭКГ сигнала во времени. Суть предложенного метода состоит в том, чтобы разбить исходный сигнал на отдельные кардиоциклы и затем получить спектр каждого цикла с помощью БПФ.

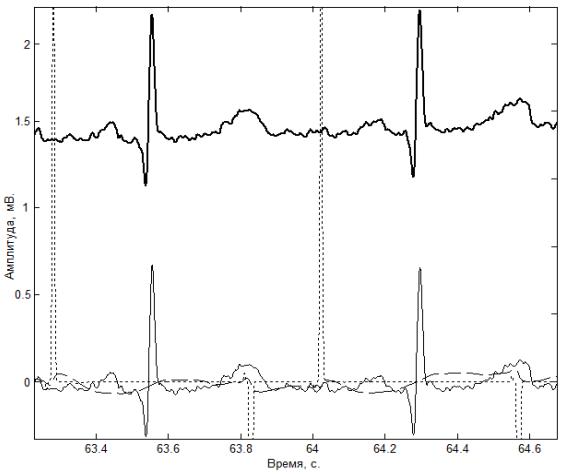


Рис. 2 Пояснение к алгоритму определения границ каридоциклов

Апробация алгоритма проводилась в среде математического программирования Matlab 7 [1].

Важной стадией алгоритма является выделение отдельных кардиоциклов из исходного сигнала. Для простоты на первом этапе исследования в качестве индикатора начала цикла было решено использовать широко известный метод определения по первой производной сигнала. Однако, в условиях наличия высокочастотной составляющей первая производная не является достаточно информативным признаком. Особенно ситуация усложняется в случае с сигналами, снятыми под нагрузкой.

В этой ситуации было решено использовать дополнительную обработку сигнала. Стадии обработки показаны на рисунке 2 (жирная линия - исходный сигнал). В первую очередь с помощью функции smooth [1] была выделена и удалена медленная составляющая (рис. 2, тонкая непрерывная линия). После этого полученная кривая была сглажена по 1000 точек для удаления не информативных элементов ЭКГ (рис. 2, тонкая штриховая линия) и уже затем продифференцирована функцией diff (на рисунке не показана, т.к. не видна в данном масштабе) [1].

Однако, кривая первой производной является слишком гладкой и не имеет ярко выраженных всплесков, необходимых для надежного срабатывания алгоритма. Для повышения амплитуды всплесков по отношению к основному уровню кривой было произведено возведение в высокую нечетную степень (рис. 2, тонкая частая штриховая линия) с последующим отбрасыванием отрицательных элементов.

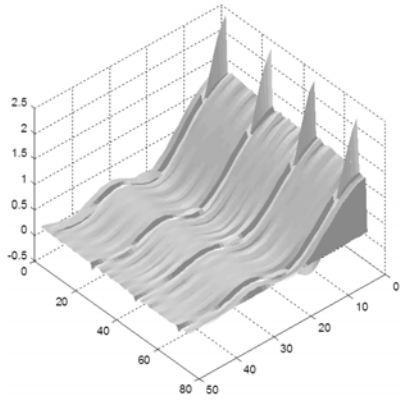


Рис.3 Спектрограмма ЭКГ пациента в покое

Для наглядности на основании полученной кривой был сформирован массив логических флагов для определения начала кардиоцикла.

После разбиения исходного сигнала на отдельные циклы с помощью функции fft пакета Matlab [1] были получены спектры, из которых был сформирован двумерный массив. Визуализация результатов осуществлена с помощью средств высокоуровневой графики Matlab (рис. 2 и 3) [1].

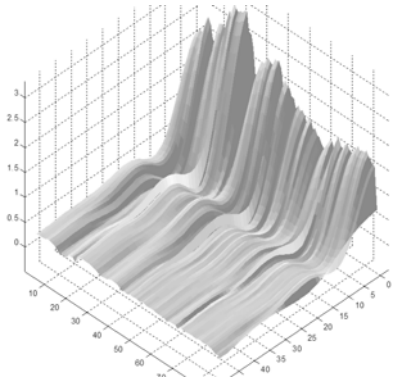


Рис. 4 Спектрограмма ЭКГ пациента под нагрузкой

При визуальном исследовании спектрограмм отмечено существенное влияние физической нагрузки на спектр кардиосигнала. Кроме того, на спектрограмме заметны характерные для ЭКГ элементы спектра, которые подлежат дальнейшему детальному изучению.

Список литературы

1. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.-1104с.

2. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход./ Пер. с англ. под ред. А.П. Немирко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 440с.

3. С.А. Бойцов, С.Л. Гришаев, О.Л. Тищенко, В.Н. Солнцев, А.Н. Пинегин Новый метод описания результатов спектрально-временного картирования ЭКГ ВР и оценка его диагностической эффективности.//Вест. Аритмологии. – 1999. -№14. – с.25.

4. Цибульский В. Р., Сергейчик О. И., Кузнецов В. А. Исследование зависимости частотных характеристик электрокардиограмм от изменения сегмента ST.//Вест. кибернетики. - Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. Вып. - №1. - 164 с.

5. Говорин А.В., Горбунов В.В., Зайцев Д.Н., Алексеев С.А. Прогнозирование аритмий методом временного и спектрального анализа вариабельности ритма сердца у больных с тяжелым отравлением алкоголем.//Российский кардиологический журнал. – 2004. - №4 – с. 50.

6. Meste O., Rix H., Caminal P., Thakor N. Ventricular Late Potentials Characterization in Time-Frequency Domain by Means of a Wavelet Transform.//IEEE Transaction on Biomedical Engeneering, 1994. - Vol.41. – № 7 - P.625-633.

7. Simson M.B. Use of signal in the terminal QRS complex to identify patients with ventricular tachycardia after myocardial infarction.//Circulation, 1981 - № 64. – P. 235-242.

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФОТОТЕРАПИИ И ФОТОПУНКТУРЫ

Хлынов М.А. Баранов В.Н.
Научный руководитель: Баранов В.Н., д.м.н., профессор
Тюменский государственный нефтегазовый университет, 62500, Россия, г. Тюмень, ул.Володарского,38
E-mail:khlinov@mail.ru

Актуальность. При терапевтическом воздействии световым излучением происходит активация адаптационных и компенсаторных реакций организма, переход его на новый уровень функционирования [1,2]. Современная физиотерапия использует в качестве источников света излучение лазеров и светодиодов, однако в существующих аппаратурных реализациях источников излучения не учитываются частотно-временные и пространственно-временные характеристики, которые были бы согласованы с биологическими и физиологическими параметрами биообъекта.

Целью работы является разработка прибора для фототерапии и фотопунктуры, обладающего определенным набором новых биотропных параметров.

Материал и методы.

При разработке аппаратуры для реализации нового метода фототерапии и фотопунктуры были изучены данные литературы по лазерной и светодиодной и чжень-дзю терапии, проанализированы достижения в области отечественной и зарубежной медицинской лазерной и светодиодной техники. Объектом исследования явилась аппаратура для лазерной и светодиодной терапии, а предметом исследования – методы фототерапии [3,4,5,6,7,8].

Результаты исследования.

Предложен метод пульсирующего объемного сканирования биотканей, с варьируемой частотой, выполненный на основе механического перемещения источника излучения. Исходя из литературных данных, что красный свет повышает возбудимость нервной системы, синий снижает, а зеленый свет занимает промежуточное по эффекту воздействие, данные длины волн лазерного и светодиодного излучения были выбраны для воздействия на биообъект в новой методике. Для реализации метода фототерапии и фотопунктуры разработан портативный светодиодный аппарат ФОТАП, внешний вид которого представлен на рис.1. Аппарат в настоящее время находится на стадии опытного образца, имеет патентную защиту. ФОТАП предназначен как для наружного воздействия на точки акупунктуры (БАТ), рефлексогенные зоны, так и для внутриполостного: на область матки с придатками, предстательной железы.

Как видно, на рис. 2 и рис. 3, аппарат состоит из блока управления цветовым спектром (БУЦС); блока питания (БП); источников излучения (СД); миниэлектродвигателя (МД); платы стабилизатора напряжения (ПСН).

Рис.1. Фото опытного образца аппарата ФОТАП

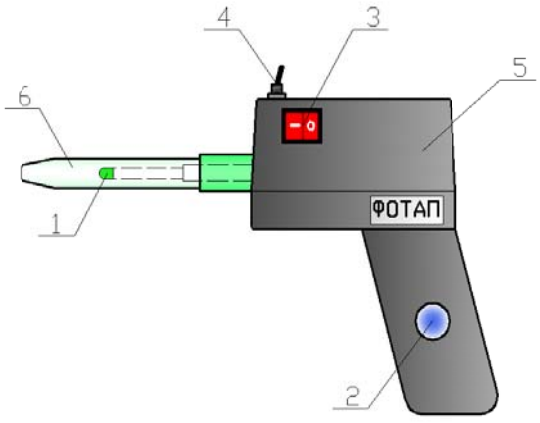


Рис.2. Общая схема аппарата

1 – СД, закрепленные на подвижном толкателе;
2 – ручка регулировки частоты сканирования;
3 – включатель аппарата; 4 – тумблер переключения цвета излучения; 5 – корпус аппарата; 6 – одноразовая насадка.

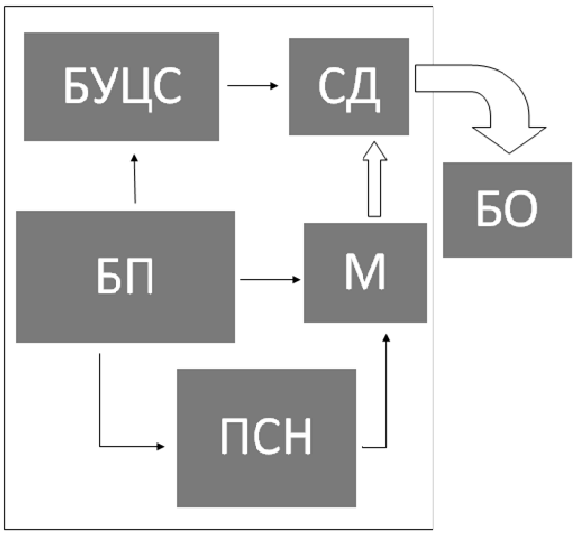


Рис. 3. Структурная схема аппарата

Аппарат готов к работе после включения кнопки 3 (рис.2). Во время лечебной процедуры, СД генерируют лазерное или, в зависимости от клинической ситуации, светодиодное излучение с длинами волн в диапазоне 0,4-0,6 мкм, которое воздействует на БО: БАТ, рефлексогенная зона или проекция органа. Поддержание определенного спектра излучения обеспечивается БУЦС через тумблер переключения цвета излучения. В качестве БП применяется источник постоянного тока (9В, 300мА). ПСН позволяет МД и СД аппарата формировать соответствующие клинической ситуации режимы сканирования: длина волны излучения 0,6 мкм, мощность излучения 3,0-5,0 мВт для активации БАТ; длина волны излучения 0,4 мкм, мощность излучения 0,1-1,0 мВт для седатации БАТ; длина волны излучения 0,5 мкм, мощность излучения 1,0-3,0 мВт для гармонизации БАТ. Ручкой регулировки частоты сканирования обеспечивается плавное варьирование частот от 0,5 до 5,0 Гц для активации БАТ; от 10,0 до 15,0 Гц для седатации БАТ; от 5,0 до 10,0 Гц для гармонизации БАТ. ФОТАП, по сравнению с известными аналогами реализует как оригинальную методику сканирования БАТ, так и традиционную – стабильную.

При воздействии на точки акупунктуры также важно, чтобы направление светового сканирования было согласовано с направлением движений токов в соответствующих меридианах, которое может быть центробежным для одних меридианов и центростремительным для других. Поэтому в ФОТАПе предусмотрены режимы меняющие характер ввода излучения в БАТ для усиления или ослабления тока в том или ином меридиане. Благодаря этому у врача появляется возможность усиления режимов активации, седации и гармонизации БАТ. Применение одноразовых насадок 6 (рис.2), герметически закрепляющихся на корпусе аппарата, исключает риск инфицирования. При применении аппарата в гинекологии и андрологии по трансвагинальной и (или) трансректальной методикам возможно дополнительно использовать презерватив.

Заключение.

Разработанный метод лечебного фотовоздействия и опытный образец аппарата ФОТАП, имеют значительные преимущества перед традиционными Благодаря пульсирующему воздействию фотонов на биосистему, она будет интенсивнее выводиться из состояния патологического термодинамического равновесия и быстрее переводиться на физиологический уровень функционирования.. После проведения соответствующих конструкторских, технических и медицинских испытаний прибор может быть внедрен в клиническую практику.

Список литературы

1. Буйлин В.А. Лазерная рефлексотерапия с применением аппарата “Креолка”: Информационно-методический сборник – М.: ООО “Техника-Про”, 2002. – 66 с.

2. Москвин С.В., Ачилов А.А. Лазерная терапия аппаратами «Матрикс».-М.-Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2008.-144с.

3. Баранов В.Н., Малиновский Е.Л., Новиков В.А., Баимова Т.В., Хизбуллин Р.Н. Повышение эффективности применения лазерного терапевтического аппарата «АГИН-01» в гинекологии с использованием метода пальцевой фотоплетизмографии/ Казанский медицинский журнал – Т.XCI (№4)- 2010-С.555-560.

4. Ларюшин А.И., Житкова М.Б., Баранов В.Н., Новиков В.И. Аппарат «АГИН-01»-новый медицинский аппарат для гинекологии // Лазер-информ.-2009.-№13-14(412-413).-С.12-15.

5. Москвин С.В., Купеев В.Г. Лазерная хромо- и цветотерапия .-М.- Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2007.-95с.

6. Серов В.Н., Кубицкая Ю.В. Лазеротерапия в ранней реабилитации родильниц / Материалы IY съезда акушеров-гинекологов России. Москва,2008.- С. 237.

7. Овечкин А.М. Основы чжень-цзю терапии.-Саранск,1991.-417 с.

8. Bisco I.I. Use of the laser beam in acupuncture // Acupuncture Electro-therapeut. Res.Int.-1980.-Vol.5.-P.29-40.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИОННЫХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

К. А. Чаптыкова
Научный руководитель: Воробейчикова О. В., к.т.н., доцент
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск
E-mail: ch_kristi@mail.ru

Актуальность: Основой стратегии развития медицинского образования России является необходимость подготовки таких специалистов, которые, способны гибко перестраивать направление и содержание своей деятельности в связи с потребностями отрасли. Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ), также указывает на необходимость изменений в медицинском образовании. С этих позиций предъявляются все более высокие требования к технологиям и средствам обучения.

Сегодня преподавание в медицинских и фармацевтических вузах России в значительной мере ориентировано на запоминание, а отнюдь не на развитие умения разрешать клинические ситуации, с которыми будущий врач столкнется в своей практической работе. В то время как одним из основных факторов, определяющих качество подготовки врача, является клиническая база кафедры, умение решать ситуационные задачи [1, 2, 3].

Понятно, что для получения качественных результатов требуется решение множества задач под контролем преподавателя, а это зачастую невозможно осуществить на текущих практических занятиях при жестком учебном плане, в условиях острого дефицита времени при массовом обучении.

Выходом из сложившейся ситуации могут послужить компьютерные технологии, реализующие ситуационные задачи, одна из которых предлагается вашему вниманию.

Цель: Разработать программный комплекс для задания структуры ситуационных задач и применения их для контроля знаний.

Задачи:

1. Обзор литературы для выявления существующих типов ситуационных задач и их реализации.
2. Разработать модель программного комплекса.
3. Разработать программу, реализующую данную модель.
4. Апробировать программный комплекс.

Материалы и методы: Экспертная модель представления структуры представления ситуационной задачи, графовая модель структуры ситуационной задачи и алгоритм обхода по графу.

Ситуационная задача - обучающее (или контролирующее) задание, содержащее малоформализованные данные, на основании которых обучаемый (экзаменуемый), используя приемы логики, должен сформулировать суждение, обоснованное сведениями из соответствующей области знаний.

С алгоритмической точки зрения ситуационные задачи представляют собой одно- или многошаговые этапы линейного характера и ситуационные задачи с разветвленным характером решения.

- *Простейшие ситуационные задачи*

К данному классу относятся одноуровневые задачи, которые содержат только один этап. Исторически это были первые ситуационные задачи – изложенные на бумаге, поэтому они были рассчитаны на устный ответ. Решение таких задач предполагает конкретный ответ. Задачи до сих пор применяют в тех случаях, когда ситуации требуют быстрого решения и не предполагают длительного обследования.

- *Ситуационные задачи с линейным алгоритмом решения*

Решаются поэтапно, переход к следующему вопросу возможен только при правильном ответе на задание текущего этапа. Такого рода задачи полезно использовать как тренажер типичных случаев клинической практики при самостоятельной работе студентов, а также для проверки быстроты реакции в критических ситуациях.

- *Разветвленные ситуационные задачи*

Такие задачи являются более подробными, с их помощью можно отследить ход размышлений испытуемого (по выбору верных и неверных ответов). Но требуют большой проработки со стороны преподавателя и, как следствие, больших временных затрат.

Для рассмотрения выбраны разветвленные ситуационные задачи, как наиболее приближенные к реальной работе врача.

Представляемый программный комплекс реализует технологию автоматизированного перехода от формальной модели экспертных знаний к соответствующим имитационным моделям клинических ситуационных задач по следующей технологии:

- создание структуры ситуационной задачи;
- тестирование студентов по созданной структуре.

В дальнейшем предполагается развитие данной системы для представления ситуационных задач с различными алгоритмами решения, поэтому было принято решение создавать программный комплекс, состоящий из отдельных модулей

Исходя из предложенной технологии, программный комплекс должен включать в себя следующие модули:

- модуль создания структуры ситуационной задачи с разветвленным характером решения;
- модуль проведения тестирования студентов по созданной структуре.

Для задания структуры ситуационных задач была определена следующая схема программного комплекса (рис. 1):

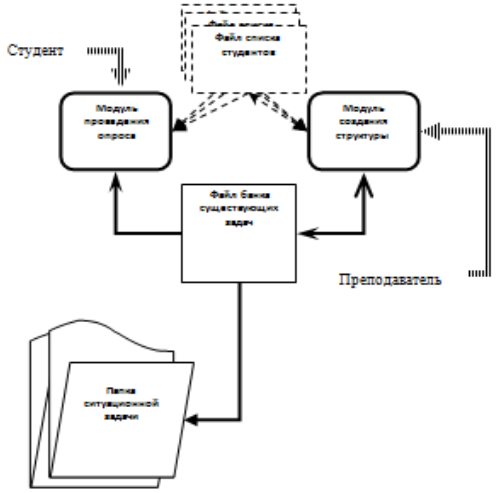


Рис. 1. Схема программного комплекса.

Простыми стрелками на схеме изображено взаимодействие модулей с файлами и папками. Узорными стрелками изображено взаимодействие пользователей с системой.

Двунаправленная стрелка для модуля создания структуры означает, что преподаватель имеет возможность редактирования структуры задачи и всего банка задач, а также результатов опроса.

Однонаправленная стрелка для модуля проведения опроса означает, что студент имеет возможность только обратиться к банку задач для выбора нужной ситуационной задачи, а также просмотреть результат опроса.

Пунктирной линией обозначены на схеме необязательные файлы: файлы списков учебных групп. Это сделано для того, чтобы любой пользователь мог пройти опрос по конкретной ситуационной задаче, а не только те студенты, что занесены в списки учебных групп. Это связано с тем, что данный комплекс может быть использован и для опроса врачей, подтверждающих свою категорию, а они, как правило, приходят один раз в пять лет и не имеет смысла заводить под них отдельный файл группы.

Таким образом, при работе с модулем создания структуры ситуационной задачи создается папка, содержащая все файлы с этапами задачи, примечаниями, рисунками. Исходно эти файлы могут храниться в разных папках или устройствах ПК. Имя папки определяет преподаватель – преподаватель.

По окончании тестирования студент видит краткую информацию о полученном результате, более подробную он может увидеть, обратившись к архиву результатов.

Возможность хранения и просмотра подробной информации исключает вероятность ошибки оценивания результатов, делая прозрачной ее расчет для студентов. Студент может сам оценить свои ошибки, не споря с преподавателем на предмет «я отвечал правильно, а меня оценили не правильно».

Преподаватель может использовать подробную информацию для анализа усвоения студентом рассматриваемой ситуации. Можно вместе со студентом обсудить, почему он выбрал вначале именно такой ответ. Сохранение подробных результатов дает возможность устроить дискуссию в учебной группе. То есть данная возможность может служить отправной точкой и для совершенствования процесса преподавания.

Ожидаемые результаты: Результатом работы будет программный комплекс для задания в электронном виде структуры ситуационных задач для дальнейшего применения при оценивании знаний студентов.

Вывод: Разработанный программный комплекс «Разветвленные ситуационные задачи» поможет решить ряд проблем в обучении студентов-медиков:

- применение комплекса позволит объективно оценивать знания студентов;
- студенты смогут решать ситуационные задачи в удобное для себя время (необязательно на практическом занятии);
- студент может решать ситуационные задачи в удобном для себя темпе.

Список литературы:

1. Давыдов М.И. Основные направления совершенствования медицинского образования в России. Высшее профессиональное образование и кадровая политика в современной России // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ [Электрон. ресурс]. – Электрон. журн. – 2006. - № 25 (313). - Режим доступа: http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2006/VSF_NEW200702011806/VSF_NEW200702011806_p_003.htm
2. Денисов И.Н., Артамонов Р.Г., Улумбеков Э.Г. Высшая медицинская школа в реформируемом здравоохранении // Медицинская Газета [Электрон. Ресурс]. – Электрон. журн. – 2006. - № 36. - Режим доступа: http://egul.livejournal.com/2421.html
3. Мещерякова М.А. Решение ситуационных задач как этап итоговой государственной аттестации врачей-выпускников [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://dlib.eastview.com/browse/doc/21874917
4. Наумов Л.. Как учить профессионалов [Электрон. Ресурс]. – Режим доступа: http://future.narod.ru/Naumov.htm

Петрик Ю.С., Афанасьев А.С., Лица Д.В., Заугольникова Н.С. Формирование умений и навыков мыслительной деятельности у студентов с помощью ситуационных задач в программном комплексе "Контроль знаний" [Электрон. Ресурс]. Режим доступа: http://www.kursknet.ru/~kgmuonit/Sit-zd.html

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СНЯТИЯ ЭЭГ И ЭКГ

Чебуренко Д.С., Уваров А.А.
Научные руководители: Ким В.Л., д.т.н., профессор, Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: denleader@mail.ru

Перед российскими производителями медицинской техники и средств диагностики в настоящее время остро стоит задача создания конкурентоспособной отечественной продукции, превышающей показатели аналогичной продукции зарубежного производства.

Так в Томском политехническом университете в рамках проекта № 2.2.3.3/3111 «Разработка средств диагностики и экспресс-методов, основанных на применении медицинских наноэлектродов, для оценки физического и психоэмоционального состояния здоровья обучающихся» по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2012 гг.)» ведется разработка диагностического комплекса, основанного на применении медицинских наноэлектродов.

Медицинские наноэлектроды обладают высокой стабильностью электродного потенциала и низким уровнем собственных шумов, что позволяет проводить съем биопотенциалов в широком диапазоне частот при низком уровне помех. Это, в свою очередь, дает возможность проводить измерения с точностью до единиц нановольт и создавать унифицированные каналы измерения для разных типов задач (электрокардиография, электроэнцефалография и др.).

С целью проведения дальнейших исследований поставлена задача создания многофункционального аппаратно-программного комплекса для измерения биопотенциалов человека.

Комплекс обеспечивает съем электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефа-лограммы (ЭЭГ), электромиограммы (ЭМГ), электроокулограммы (ЭОГ) и кожно-гальванической реакции (КГР) в диапазоне частот от 0 до 10000 Гц по 32 каналам. Из них 10 используются для отведений ЭКГ, 22 – для ЭЭГ. Съем ЭМГ, ЭОГ и КГР производится через каналы ЭКГ и ЭЭГ.

Диапазон входных напряжений от - 20 мВ до + 20 мВ. Напряжение внутренних шумов, приведенных к входу, не более ± 15 мкВ («пик-пик») в диапазоне от 0 до 10000 Гц.

Комплекс состоит из 3 основных подсистем: электродного блока, блока аналоговой обработки сигналов, образующих аналоговую подсистему, а также цифровой платы сбора данных (далее ПСД). Для устранения влияния сетевой помехи питание аналоговой подсистемы осуществляется от встроенных аккумуляторов ± 9,6 В. Цифровая ПСД питается от сетевого блока питания ± 15 В.

Электродный блок конструктивно выполнен отдельно с целью облегчения доступа к входным разъемам и соединяется с остальным комплексом посредством кабеля длиной 0,5 м. Блок включает в себя два блока коммутации электродов (БКЭ1 для электрокардиографических и БКЭ2 для электроэнцефалографических отведений) и генератор тестовых сигналов.

Блоки коммутации обеспечивают ввод биопотенциалов, снятых с тела человека в систему. Кроме того, в блоке БКЭ1 происходит формирование опорного напряжения для монополярных ЭКГ-отведений *V*1-*V*6, ЭКГ-сигнала обратной связи *DRL* для подавления синфазной помехи и защитных напряжений для экранов кабелей ЭКГ. Схема генерации тестовых сигналов вырабатывает сигналы постоянного и переменного тока (синусоидальной формы) частотой 15 Гц и амплитудой 1 В, что позволяет проводить тестирование схемы при положительном и переменном токе без использования специальных дополнительных средств.

Блок аналоговой обработки (рис. 1) расположен в корпусе вместе с платой сбора данных и конструктивно выполнен в виде шестислойной печатной платы.

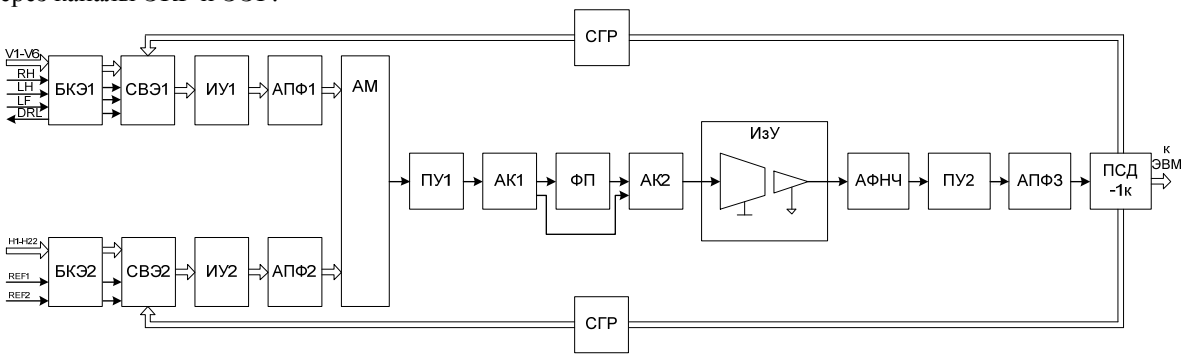


Рис. 1 Структурная схема комплекса

Блок включает в себя схемы выбора электрода (СВЭ1, СВЭ2), инструментальные усилители (ИУ1, ИУ2), активные полосовые фильтры (АПФ1, АПФ2, АПФ3), аналоговый мультиплек-

сор (АМ), промежуточные усилители (ПУ1, ПУ2), фильтр-пробку (ФП), аналоговые коммутаторы (АК1, АК2), изолирующий усилитель (ИзУ), активный фильтр низких частот (АФНЧ), а также схему питания, состоящую из линейных стабилизаторов напряжения и *LC*-фильтров, и схему гальванической развязки (СГР) управляющих дискретных сигналов.

Подсхема СВЭ1 коммутирует сигналы ЭКГ и обеспечивает таким образом различные режимы измерений: монополярные и биполярные режимы для грудных отведений $V1 - V6$, а также усиленные отведения αVR, αVL, αVF.

Подсхема СВЭ2, в свою очередь, коммутирует сигналы ЭЭГ и реализует монополярные и биполярные режимы измерений.

Биопотенциалы поступают на повторители напряжения в блоках БКЭ1 и БКЭ2. Далее в блоках СВЭ1 и СВЭ2 происходит выбор необходимого режима (или отведения). После этого сигнал подается на усилители ИУ1 и ИУ2 с коэффициентом усиления 10 и фильтруется посредством АПФ1 и АПФ2. При этом фильтры АПФ имеют три режима фильтрации: полосовой фильтр 0,07…10000 Гц, полосовой фильтр 0,16…10000 Гц и АФНЧ с частотой среза 10000 Гц и автокоррекцией постоянной составляющей.

После предварительной фильтрации и усиления сигналы поступают на 32-канальный аналоговый мультиплексор, выполняющий выбор заданных пользователем каналов. Мультиплексированный сигнал поступает на промежуточный усилитель, позволяющий устанавливать коэффициент усиления в 2 и 10 раз. Затем сигнал пропускается через тракт АК1-ФП-АК2, позволяющий включать либо исключать из цепи фильтр-пробку ФП, настроенный на сетевую частоту 50 Гц.

Далее происходит гальваническое развязывание цепи на изолирующем усилителе и фильтрация сигнала активным фильтром низких частот с частотой среза 10000 Гц. После этого сигнал усиливается до уровня, задаваемого пользователем, посредством промежуточного усилителя ПУ2. Коэффициент усиления выбирается из ряда 1, 10, 100, 10000.

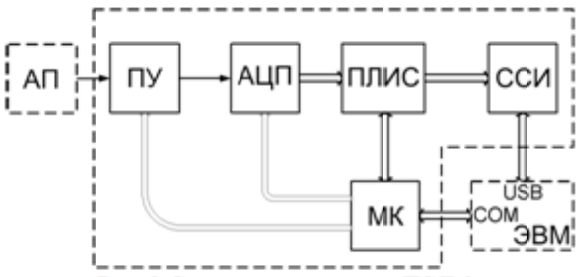


Рис. 2 Структурная схема ПСД-1к

После дополнительной фильтрации на активном полосовом фильтре АПФ3 (фильтр идентичен фильтрам АПФ1 и АПФ2) сигнал подается на цифровую плату сбора данных ПСД-1к.

В свою очередь, с платы ПСД-1к поступают управляющие сигналы, которые через схему гальванической развязки СГР управляют соответствующими входами аналоговых компонентов.

В состав блока ПСД-1к (рис. 2) входят программируемый усилитель (ПУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), программируемая логическая матрица (ПЛИС), микроконтроллер (МК), схемы сопряжения с компьютером (ССИ) и схемы питания.

Сигнал, поступающий от аналоговой подсистемы, предварительно усиливается усилителем ПУ с коэффициентом усиления 1, 2, 5, 10, после чего происходит его преобразование в цифровой код посредством АЦП. Далее цифровой код поступает на ПЛИС, которая управляет работой АЦП и ССИ. Микроконтроллер осуществляет управление всеми остальными устройствами на плате сбора данных.

Сопряжение с ПК происходит по схеме «клиент-сервер» либо через схему ССИ по интерфейсу *USB*, либо через микроконтроллер по COM-порту.

Программное обеспечение для сопряжения ПК с комплексом разработано в системе графического программирования *LabView* и предоставляет пользователю графический интерфейс для отображения результатов измерений и управления системой (рис. 3).

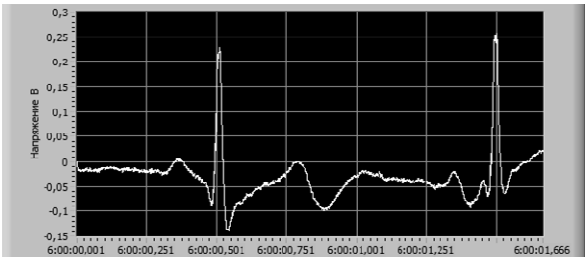


Рис. 3 ЭКГ пациента, снятая во время испытаний комплекса

Таким образом, в рамках проекта был спроектирован многофункциональный аппаратно-программный комплекс, позволяющий решать задачу комплексного медицинского обследования пациента. Следующим этапом работы является автоматизация процессов измерения и разработка программно-алгоритмического обеспечения для автоматической обработки сигналов и помощи врачу в окончательной постановке диагноза.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛОКАЛЬНЫХ ЗОН У ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАВИСИМЫХ ОБЪЕКТОВ

Полторацкая О.В., Юсупов Д.И.
Научный руководитель: Гусев В.Г., д.т.н., профессор
Уфимский государственный авиационный технический университет, 450025, Россия,
г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12
E-mail: polt_ov@mail.ru

В настоящее время идет активное развитие диагностической медицины, повышается интерес ученых к изучению электрических свойств живых организмов. Большой интерес представляет создание технических средств для неинвазивной диагностики состояния организма по электрическим параметрам. В связи с этим исследование мощностных характеристик биологического организма и выявление определенных закономерностей между параметрами исследуемого объекта и характером приложенного воздействия является актуальной научно-технической задачей.

Под исследованием мощностных свойств локальных зон кожного покрова человека, по сути, понимается исследование свойств точек акупунктуры. Точки акупунктуры – те зоны на кожном покрове, воздействие на которые вызывает ответные реакции организма, выраженные значительно сильнее, чем реакции на воздействие на другие зоны кожного покрова. Считается, что путем оценки состояния точек акупунктуры можно получить информацию о состоянии органов и систем, которые эти точки характеризуют. Воздействуя же на эти точки, можно добиться терапевтического и общеукрепляющего эффекта.

Многие исследователи (Нибой Е.Н., Портнов Ф.Г., Моргант Г.С., Нечушкин А.М. и др.) делали попытки оценить состояние точек акупунктуры по их электрическим параметрам. При этом измерялись или постоянная ЭДС точек акупунктуры относительно общего электрода, имеющего достаточно большую площадь поверхности, или сопротивление электрическому току этого участка кожного покрова. С помощью соответствующих приборов были обнаружены локальные зоны, электрическое сопротивление которых было значительно ниже. Измерение сопротивления производится с помощью измерительных цепей, содержащих:

1. Источник заданного постоянного электрического напряжения и измеритель электрического тока, созданного им. (Максимальный ток будет наблюдаться в зоне пониженного сопротивления, и в ней будет рассеиваться максимальная мощность, от которой зависит электрическое сопротивление зоны. Однозначная количественная оценка сопротивления точки акупунктуры будет затруднена из-за действия ПОС).

2. Источник заданного постоянного электрического тока и измеритель падения напряжения в цепи, созданного известным постоянным током. (В зонах пониженного сопротивления будет наименьшее падение напряжения, мощность рассеивания будет снижаться – наблюдается внутренняя ООС. Результаты более стабильные, но количественная оценка сопротивления точки акупунктуры также затруднена, т.к. измерение выполняется в неопределенном энергетическом режиме) [1].

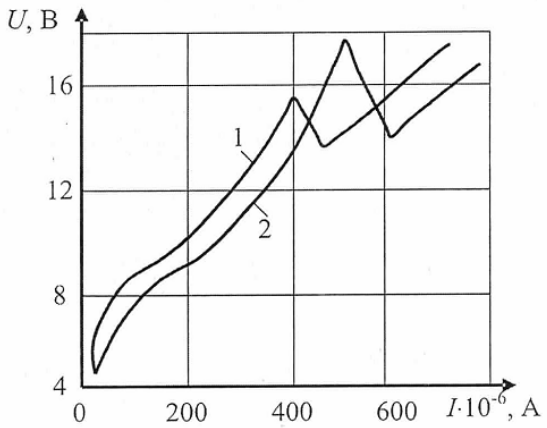


Рис. 1. ВАХ ТА фу-лю кожи человека (1 - левая, 2 - правая)

Для решения данных проблем была разработана следующая теория: оценка нелинейного теплозависимого сопротивления должна производиться в режиме термодинамического равновесия, в котором равны нулю суммы электрических энергий, вносимых в физический объект и рассеиваемых в нем. Пока идет процесс измерения, в физическом теле происходит установление состояния термодинамического равновесия. Измерения проводятся при воздействии на объект измерения постоянной электрической мощностью. Но у точек акупунктуры имеется сильно выраженная нелинейность ВАХ (рисунок 1), поэтому результаты оценки электрического сопротивления в этих точках зависят от мощности электрической энергии, рассеиваемой в объекте, следовательно, нельзя ожидать резко выраженных изменений сопротивления в точках акупунктуры [2]. Однако

использование приборов, у которых в качестве источника электрической энергии используется генератор заданной мощности, дает неоспоримые преимущества – получение стабильных и воспроизводимых результатов.

Предлагаемая структурная схема информационно-измерительной системы для исследования мощностных свойств локальных зон у электрически активных теплозависимых объектов представлена на рисунке 2.

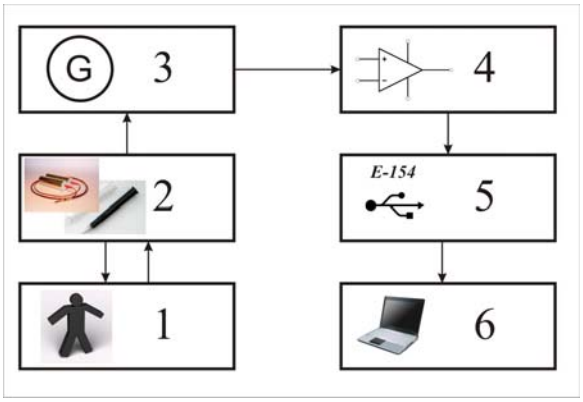


Рис.2. Структура ИИС для исследования мощностных свойств локальных зон

Особенностью приведенной структуры является то, что в ней применен вольтамперометрический метод получения информации о состоянии исследуемой зоны, который реализован с помощью генератора заданной мощности (ГЗМ), обеспечивающего постоянное значение рассеиваемой электрической мощности в исследуемом объекте.

Подключение ГЗМ 3 к исследуемому объекту 1 осуществлено посредством двух металлических электродов 2. Общий электрод большой площади цилиндрической формы сжимается в ладони, а измерительный электрод (щуп) фиксируется на точке акупунктуры. Для расчета текущего значения сопротивления исследуемого объекта измеряем значения напряжения и тока на измерительных электродах в каждый момент времени.

Для преобразования сигнала на выходе датчика сигналов с ГЗМ в сигнал стандартного диапазона 0 – 5 В, использованы нормирующие преобразователи 4, построенные на базе ОУ. Для более точного измерения параметров состояния объекта, предусмотрено устройство сбора, обработки и передачи информации 7, с помощью которого считываем данные в персональный компьютер.

Схема преобразования построена с использованием современной элементной базы компонентов производства фирмы Texas Instrument, разработанных специально для применения в медицинском оборудовании, что обусловлено высокой точностью и стабильностью элементов.

Блок, позволяющий производить обработку и передачу информации в ПЭВМ, разработанный на кафедре Информационно-измерительной техники УГАТУ, реализован устройством Е-154. Это устройство включает в себя 12-ти разрядный АЦП. Модуль Е-154 подключается к USB-порту персонального компьютера. Для регистрации данных, поданных на аналоговые входы модуля Е-154, используется программа LGraph2.

Разработанная ИИС позволяет проводить оценку электрических свойств исследуемого участка биоткани при известных уровнях электрического воздействия.

Наибольший объем информации о состоянии зон на кожном покрове можно получить с помощью электрических методов, при этом наиболее рациональным методом является оценка мощностных взаимодействий между исследуемым объектом и измерительным преобразователем. В представленной ИИС обеспечивается неизменное значение рассеиваемой в исследуемом объекте мгновенной электрической мощности. При этом информационным параметром служит электрическое сопротивление локальной зоны биообъекта. По данному параметру, в перспективе, можно оценивать состояние локальных зон и получать дополнительную диагностическую информацию. Данный метод и представленная ИИС могут найти широкое применение в диагностической медицине.

Литература:

1. Гусев В.Г., Основы традиционной китайской медицинбы для студентов технических специальностей ВУЗов. – Уфа: УГАТУ, 2010. – 167 с.

2. Гусев В.Г., Демин А.Ю. Точки акупунктуры и их свойства, оцениваемые с помощью электроизмерительных приборов. – Медицинская техника. — 2010. — N 4. — С. 37-42. — Библиогр.: с. 42

3. Портнов Ф.Г., Электропунктурная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1988. – 352 с.

СЕКЦИЯ 6

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

МЕТОД ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ В ИЗУЧЕНИИ ТОПОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТОВ С МИНЕРАЛЬНЫМ БАЗАЛЬТОВЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

Александрова Л.С., Тубалов Н.П., Яковлев В.И.
Научный руководитель: Тубалов Н.П., д.т.н., профессор
АлтГТУ им. Ползунова, 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: milka.alexa@inbox.ru

В настоящее время нанотехнологии, наноматериалы и продукция на их основе занимают главное место в таких инновационных и высокотехнологичных отраслях как авиационно-космическая промышленность и двигателестроение; судостроительная и автомобильная промышленности; атомная энергетика и др. Указанные технологии и материалы являются сферой жесткой и масштабной конкуренции. При реализации большинства перечисленных направлений и технологий получения новых композиционных материалов возникают измерительные задачи, связанные с количественной и качественной оценкой геометрических параметров рельефа и шероховатости поверхности в нанометровом диапазоне. Особенно актуальны достоверные количественные оценки величин и параметров композиционной структуры, имеющих отношение к 3D-размерностям рельефа и шероховатости поверхности сформированной в виде покрытия из новых материалов. Методам получения подобной достоверной измерительной информации по изучению топологии покрытий из композитов средствами интерферометрии высокого разрешения и посвящена данная работа.

В нашей работе рассматриваются вопросы разработки методов и средств измерений линейных размеров элементов в субмикронной и нанометровой областях. При этом учитываются перспективы уменьшения критического размера элемента микросхемы (минимального размера элемента, например, ширины затвора полевых транзисторов) от 0,35 до 0,07 мкм при сохранении погрешности их измерения в контрольной операции до 1% номинального размера, ужесточение точности совмещения топологических рисунков, уменьшение шага металлической разводки от 1,0 до 0,3 мкм

Создание новой техники, наукоемких технологий и новых материалов, обеспечивающих коренные сдвиги в структуре и техническом уровне производства, а также выход отечественного производства на мировой уровень, в значительной мере сдерживается недостаточным уровнем метрологического обеспечения.

Из-за отставания техники сверхточных измерений на атомном и молекулярном уровнях, отсутствия специальных исходных методов и средств обеспечения единства прецизионных измерений затянулось внедрение высших экологически чистых перспективных технологий в базисных отраслях экономики.

Интенсивное развитие нанотехнологии требует создания системы метрологического обеспечения измерений, в первую очередь, длины в нанометровом диапазоне.

Большинство средств измерений длины в нанометровом диапазоне, обеспечивающих достижение предельных возможностей измерений, основано на таких физических принципах, как растровая электронная и оптическая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия, лазерная интерферометрия и фазометрия. Ряд приборов, реализующих тот или иной физический принцип, используется в нанотехнологии, а также в качестве инструмента для создания наноструктур.

В настоящее время рядом ведущих зарубежных фирм *Jeol* (Япония), *Digital Instruments*, *Hewlett Packard* (США), *Burleigh Perten* (Германия), *Nanosurf, NFL* (Великобритания) производится широкий спектр средств измерений длины в нанометровом диапазоне. Следует отметить, что и наши производители (например, АОЗТ “НТ-МДТ”, “КПД”, Зеленоград) приступили к выпуску контрольно-измерительного оборудования, реализующего принципы сканирующей зондовой микроскопии.

Практически большинство измерительных средств находится вне сферы метрологического обслуживания, не проходит сертификационных испытаний и не обеспечено средствами калибровки и поверки. Все это снижает уровень контрольно-измерительных операций при производстве изделий микро-, наноэлектроники, не гарантирует единства и достоверности данных измерений и, тем самым, наносит существенный материальный ущерб в базовых отраслях экономики.

Анализ состояния измерений длины в микро- и нанометровом диапазонах показывает, что метрологическое обеспечение таких измерений, включающее в себя эталоны, установки высшей точности, меры малой длины и стандартные образцы нанорельефа поверхности, аттестованные рабочие средства измерений, а также соответствующая Государственная поверочная схема и нормативная документация находятся в стадии разработки.

Следует отметить, что ведущие страны мира, занимающие ключевые позиции в микроэлектронике (Япония, США, Германия, Великобритания и др.), вопросам внедрения метрологии в практику линейных измерений в микро- и нанометровом диапазонах уделяют первостепенное значение.

В США создана национальная программа метрологического обеспечения микроэлектроники (*National Semiconductor Metrology Program*)

Программа опирается на прогноз потребности в метрологическом обеспечении, который создавался

при участии *NIST* и оформлен в виде национального технологического прогноза для полупроводникового производства (*National Technology Roadmap for Semiconductors*). Часть этого прогноза посвящена линейным измерениям.

Программа метрологического обеспечения предполагает решение следующих важнейших задач:

- создание эталонов единицы длины в нанометровом диапазоне на основе использования одновременно растрового электронного и сканирующего зондового микроскопов, трехкоординатного интерференционного компаратора на основе атомно-силового микроскопа и рабочего эталона единицы длины на основе конфокального микроскопа и средств их аттестации, способов и устройств передачи размера единицы длины рабочим средствам измерений;

- создание прецизионной технологии получения микроэталонов в виде трехмерных наноструктур на атомарно-гладкой поверхности полупроводниковых материалов (Si, GaAs) с подсчетом числа атомных плоскостей в каждом из направлений (*Atom-based Metrology*), мер ширины и рассовмещения на основе монокристаллического кремния на диэлектрике с атомарно-гладкими поверхностями и определения числа плоскостей в каждом направлении (*Single Crystal CD* and *overlay Reference Material*), а также технологии изготовления игл с воспроизводимой формой для сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), методов и средств их калибровки;

- разработка теоретических (математических) моделей взаимодействия измерительных растрового электронного микроскопа (РЭМ), СЗМ и оптических микроскопов с различными наноструктурами и микроструктурами и моделей решения задач деконволюции для определения ширины мер с помощью игл;

- разработка систем микропозиционирования микрообъектов и технологии управления их движением для СЗМ с субнанометровым разрешением в диапазоне до 50 мм (50×50 мм) (*Advancing the state-of-art stage for subatomic Scale Displacement Metrology Project*).

Одной из важных задач является разработки высокочувствительных методов и прецизионных средств измерений малых длин в микро- и нанометровом диапазонах, а также метрологического обеспечения единства этих измерений.

Следует отметить, что внедрение метрологии в эту специфическую область измерений связано с определенными трудностями, а именно:

- необходимостью разработки прецизионной технологии получения специальных тест-объектов; многообразием наблюдаемых видов специальных тест-объектов и стандартных образцов с различными вариантами топографии поверхности;

- большим числом контролируемых параметров в процессе измерений;

- отсутствием единства в методах измерений линейных размеров структурных элементов тест-объектов и в методах поверки измерительных средств;

- отсутствием нормативной документации на методы и средства измерений (поверки) малых длин.

Для успешного решения данной проблемы необходим комплексный подход, заключающийся в разработке специальной технологии получения тест-объектов и стандартных образцов нанорельефа поверхности, анализе принципиальных возможностей различных методов линейных измерений, выборе наиболее эффективных в метрологическом отношении методов и их технической реализации, оптимальной с точки зрения стабильности и разрешающей способности.

Основным инструментом для наблюдения и измерений (качественной и количественной оценки) сверхмалых объектов являются микроскопы, использующие различные физические принципы и средства воздействия на объект: световые потоки, электронные и ионные пучки, акустоэлектронные взаимодействия, рентгеновские лучи, туннельные потоки носителей заряда, силовые поля на сверхмалых расстояниях и т.п.

Используемое оборудование:
измерительная 3D- система интерферометр-профилометр оптический Wyko NT9080

Характеристики прибора:
- разрешение по вертикали (Ra): < 0.12 нм, < 0.08нм (фазовая интерферометрия);
- повторяемость RMS: 0.015 нм, 0.01 нм;
- скорость сканирования: до 28мкм/с, до 80 мкм/с;
- расстояние между пикселями: от0.08мкм, до13.1 мкм;
- поле зрения: 0.05мм до 7.68мм, от 0.05мм до 8.24 мм (большие поля с применением склейки);
- высокоскоростная автофокусировка: стандарт;
- коэффициент отражения образцов: от 1% до100%;
- настольный.

Рис.1. Wyko NT9080

ИМПУЛЬСНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ZnSe

Алексеев Н.А.
Научный руководитель: Штанько В.Ф.,д. ф-м.н.,профессор.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shtanko@tpu.ru

Введение

Монокристаллы типа A_2B_6 широко применяются при производстве излучающих полупроводниковых приборов. Несовершенства полупроводниковых кристаллов, такие как примеси, собственные нестехиометрические дефекты, дислокации, определяющим образом влияют на электрические, оптические и магнитные свойства, концентрация и вид которых во многом зависит от предыстории: метод выращивания, исходные материалы, температура и время отжига, обработки поверхности кристаллических пластин. Объектами исследования в настоящей работе являлись монокристаллы ZnSe, разной предыстории:

1) ZnSe(Bi) - селенид цинка, выращенный из расплава (ИСМ НАН Украины**,** г. Харьков**)**, легированный висмутом; концентрация висмута 0.1 % . 2) ZnSe(p) – чистый, выращенный из расплава (ИСМ НАН Украины**,** г. Харьков). 3) ZnSe(пф)-чистый селенид цинка, полученный методом осаждения из паровой фазы (НПО «Платан» г. Фрязино).

Цель данной работы – исследование интенсивностей ИКЛ монокристаллов ZnSe при высоких уровнях возбуждения ИЭП.

МЕТОДИКА

В работе использован метод импульсной оптической спектроскопии (ИОС) с наносекундным временным разрешением [1]. Исследование спектров импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) проходило при температуре 295 К. Приведенные ниже спектры ИКЛ, построены с учетом спектральной чувствительности измерительного тракта. Регистрация интенсивности ИКЛ осуществлялась в направлении, под острым углом к облучаемой поверхности (I_β) образца (рис.1).

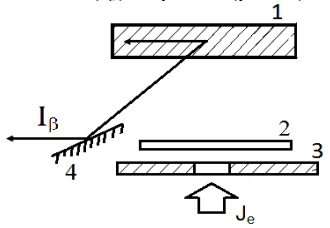


Рис.1 Схема облучения и регистрации ИКЛ
1-образец, 2-алюминиевая фольга (10 мкм)
3-металлическая диафрагма, 4-зеркало

Диапазон значений флюенса энергии ИЭП варьируется от 2 до 500 мДж/см^2. Максимальная энергия электронов ИЭП - 250кэВ.

Образец ZnSe(p) был исследован на предмет однородности излучательных свойств от центра к краю кристалла. Было выбрано три локальных участка: 1-центр монокристаллического образца, участки 2,3- выбраны по диаметру с отступом от центрального участка 5 мм.

В работе при описании спектров ширина запрещенной зоны была принята равной 2.715 эВ [2], энергия LO-фонона 31,9 мэВ [3], энергия связи свободного экситона 0,018 эВ [4].

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис.2 представлены спектры ИКЛ образца ZnSe(пф). Рост интенсивности ИКЛ по всему спектру неоднородный. Неоднородный рост интенсивности характеризует существование ряда полос, ответственных за каналы излучательной рекомбинации. Спектры ИКЛ не могут быть однозначно описаны спектральным распределением интенсивности излучения, соответствующему излучательному распаду экситонов с рождением оптических фононов. Максимумы спектров ИКЛ с увеличением уровня возбуждения смещаются в длинноволновую область от края собственного поглощения**.**

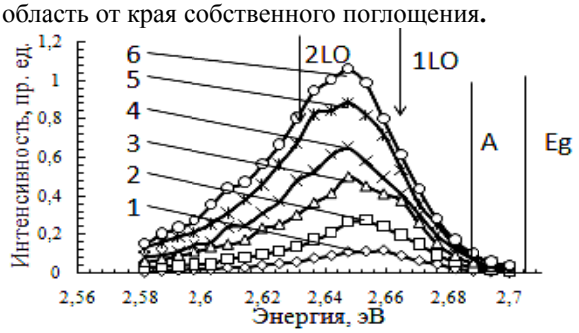


Рис.2 Спектры ИКЛ образца ZnSe(пф) при разных плотностях ИЭП (Дж/см^2): 1-0.0021, 2-0.0036, 3-0.05, 4-0.0085, 5-0.0125, 6-0.0175

На рис.3 представлена зависимость интенсивности от уровня возбуждения для конкретных длин волн в области спектрального диапазона ИКЛ.

Рис.3 Зависимость интенсивности ИКЛ образца ZnSe(пф) от плотности возбуждения для селективно выбранных длин волн (нм.): 1-462, 2-477, 3-474, 4-465, 5-471, 6-466, 7-468.

Сублинейная зависимость интенсивности ИКЛ от уровня возбуждения позволяет сделать вывод о наличии вынужденных процессов в формировании люминесценции исследуемого

образца. Подобная закономерность была описана в работе [5].

На рис.4 представлены спектры ИКЛ образца ZnSe(р). При плотности возбуждения 0,085 Дж/см^2 на спектре проявляется два максимума, при дальнейшем увеличении уровня возбуждения положение этих максимумов меняется. Этот факт, как и неоднородный роста спектра ИКЛ характеризует наличие нескольких каналов излучательной рекомбинации. Поведение спектров ИКЛ качественно подобно поведению спектров ИКЛ образца ZnSe(пф). Зависимость интенсивности ИКЛ от уровня возбуждения носит сложный характер.

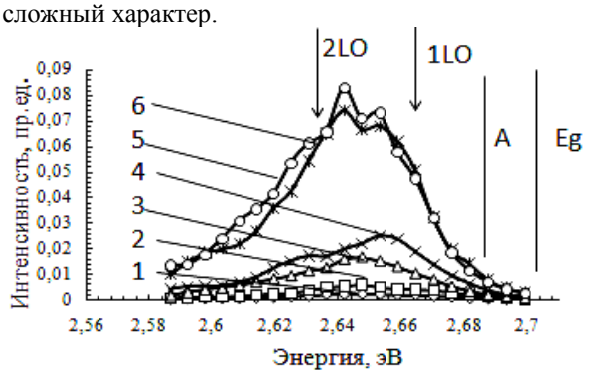


Рис.4 Спектры ИКЛ образца ZnSe(р) при разных плотностях ИЭП(Дж/см^2): 1-0.0021, 2-0.0036, 3-0.005, 4-0.085, 5-0.0125, 6-0.0175

При воздействии ИЭП на разные локальные участки кристалла ZnSe(р), максимальное значение интенсивности ИКЛ было получено для центральной области. Коэффициент отношения интенсивности ИКЛ центральной области к интенсивностям ИКЛ области 2 и 3: K_1=1.43, K_2=1.96, соответственно. Эти данные свидетельствуют о неоднородности излучательных свойств от центра к краю образца.

Отношение максимумов интенсивностей спектров ИКЛ образцов ZnSe(пф) и ZnSe(Bi) к максимуму интенсивности спектра ИКЛ ZnSe(р) при плотности возбуждения 0,0175 Дж/см^2 равно 14 и 21 соответственно. Это свидетельствует о более низкой эффективности каналов излучательной рекомбинации образца ZnSe (р).

На рис.5 приведены спектры ИКЛ образца ZnSe(Bi). Максимумы спектров ИКЛ локализованы в области спектрального участка 2,664 эВ. Зависимость интенсивности от уровня возбуждения также имеет сложный характер. Интенсивность ИКЛ ниже интенсивности ИКЛ образца ZnSe(пф) до плотности 0,0021 Дж/см^2, с дальнейшим повышением уровня возбуждения значение интенсивности ИКЛ данного образца превышает значение интенсивности ИКЛ образца ZnSe(пф). Легирование висмутом приводит к образованию ассоциативных центров свечения типа ($A_{se}D_{zn}$) и соответствующих точечных дефектов Bi^{-}_{se} [6], что повышает эффективность каналов излучательной рекомбинации.

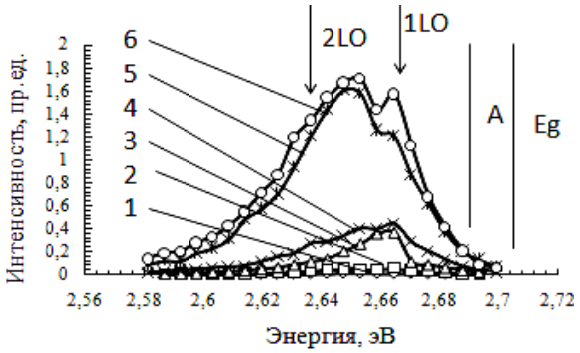


Рис.5 Спектры ИКЛ образца ZnSe(Bi) при разных плотностях ИЭП(Дж/см^2): 1-0.0021, 2-0.0036, 3-0.05, 4-0.0085, 5-0.0125, 6-0.0175

Выводы:

*Неоднородный рост интенсивности спектров ИКЛ характерен для всех исследуемых образцов, такое поведение характеризует наличие ряда полос ответственных за каналы излучательной рекомбинации.

*Начиная с плотности возбуждения ~0,015 Дж/см^2 интенсивность ИКЛ образца ZnSe(пф) имеет тенденцию к насыщению. Сублинейная зависимость интенсивности ИКЛ от уровня возбуждения позволяет сделать вывод о наличии вынужденных процессов в формировании люминесценции исследуемого образца.

*Форма спектров ИКЛ может быть результатом влияния наведенного оптического поглощения, однако это предположение требует дополнительного тщательного рассмотрения.

Список литературы:

1. Богданкевич О.В., Дарзнек С.А., Елисеев П.Г. Полупроводниковые лазеры.- М.: Наука, 1976. С. 415

2. Yamaguchi Yamamoto A., Kondo M. Blue electroluminescence from ZnSe diodes. - J.Appl.Phys., 1977, V.48, N1, P. 196-202.

3. Dean P.I, Mers J.L., Pair spectra and edge emission in zinc selenide. - Phys. Rev., 1969. V.178, N 3, P. 1310-1318.

4. Роппишер Г., Новиков Б.В., Якобс И. Смещение экситонных спектров в монокристаллах ZnSe.-ФТТ, 1975, т.17, N7, с.2178-2180.

5. Штанько В.Ф., Олешко В.И., Намм А.В., Толмачев В.М., Терещенко Е.А. Импульсная Катодолюминесценция CdS и $CdS_{0.83}$-$Se_{0.17}$, выращенных кристаллизацией из газовой фазы.- Журнал Прикладной Спектроскопии 1991г. Т.55 с.788-793.

6. Ваксман Ю.Ф., Корнеева Н.Н., Сердюк В.В., Влияние примесей висмута и сурьмы на спектры фотолюминесценции монокристаллов ZnSe-Журнал прикладной спектроскопии, май 1981г., том.34, N 5, с. 843-846.

АТТЕСТАЦИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ МЕЗООБЪЕМОВ ПОЛИ- И МОНОКРИСТАЛЛОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕОДНОРОДНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ

Е.А. Алфёрова
Научный руководитель: Д.В. Лычагин, профессор, д-р физ.-мат.
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26.
E-mail:katerina525@mail.ru

Для выявления закономерностей поведения металлических материалов под нагрузкой используют различные методы определения локальной деформации. Это позволяет проводить целенаправленную обработку материалов для получения требуемого комплекса свойств, а также прогнозировать изменение свойств в процессе эксплуатации. Одним из таких методов является метод корреляции цифровых изображений (КЦИ).

При исследовании изменения локальной пластической деформации необходимо знать ориентацию отдельных кристаллитов относительно приложенной нагрузки. В поликристаллах также необходимо учитывать размер зерна, тип границ зерен, разориентировку зерен между собой). Деформацию отдельных зерен можно изучать, исследуя пластическую деформацию монокристаллов. Для распространения выявленных закономерностей пластической деформации в монокристаллах на поликристаллы необходимо проводить аттестацию ориентации зерен поликристаллов.

В последнее десятилетие для аттестации кристаллографической ориентации все большее распространение получает метод дифракции отраженных электронов (EBSD-анализ). Приставка для этого анализа входит в комплект сканирующих электронных микроскопов.

Целью настоящей работы является рассмотрение совместного использования методов корреляции цифровых изображений (КЦИ) и дифракции отраженных электронов (ДОЭ) для исследования поведения поли- и монокристаллов при пластической деформации.

Метод ДОЭ был впервые разработан Аламом в 1954г. Для получения картин дифракции отраженных электронов с помощью растрового электронного микроскопа полированный образец наклоняют под углом около 70° по отношению к горизонтали. Электронный зонд направляют в интересующую точку. При пересечении конусообразных пучков электронов с фосфоресцентным экраном, они проявляются в виде тонких полос – полос Кикучи. Каждая из этих полос соответствует определенной группе кристаллических плоскостей. Далее по полученной картине специальными компьютерными программами автоматически определяется положение каждой из полос Кикучи, проводится сравнение с теоретическими данными о соответствующей кристаллической фазе и вычисляется трехмерная кристаллографическая ориентация. Картина полос Кикучи для монокристалла показана на рис.1.

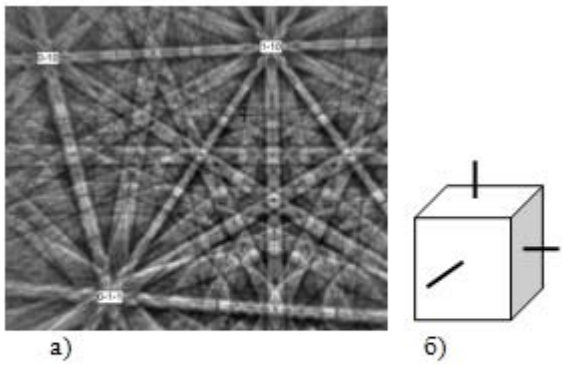


Рис. 1. Определение ориентации кристаллита: а) картина полос Кикучи, б) ориентация кристалла

На рис.2 показан деформационный рельеф на боковой грани монокристалла. Из рисунка видно, что макрополосы деформации искривляют боковую грань, а, следовательно, изменяется и кристаллографическая ориентация. Указанное отклонение вероятнее всего оказывает влияние на протекание процессов пластической деформации.

Рис. 2. Картина деформационного рельефа на боковой грани $(1\bar{1}2)$ монокристалла алюминия с ориентацией оси сжатия $[\bar{1}11]$,e=0,22

EBSD-анализ позволяет при исследовании картины скольжения и локальной деформации учитывать кристаллографическую переориентацию как образца в целом, так и отдельных областей.

Особенно важно знать кристаллографическую ориентацию отдельных областей при исследовании деформации поликристаллов. В данном случае под областью необходимо рассматривать зерна поликристаллов (рис.3). Анализ поверхности методом ДОЭ позволяет не только определить ориентацию каждого зерна, но и определить типы границ зерен, фактор Шмида и другие характеристики.

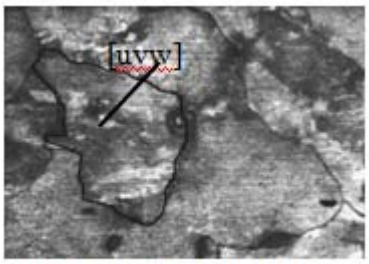


Рис. 3. Зерна поликристалла

Полученная информация может представляться в виде прямых и обратных полюсных фигур, карт, гистограмм. К сожалению, в рамках черно-белого представления статьи, полученные в цветном варианте данные, теряют свою информативность. На рис. 4 представлена гистограмма распределения фактора Шмида среди зерен поликристаллического образца.

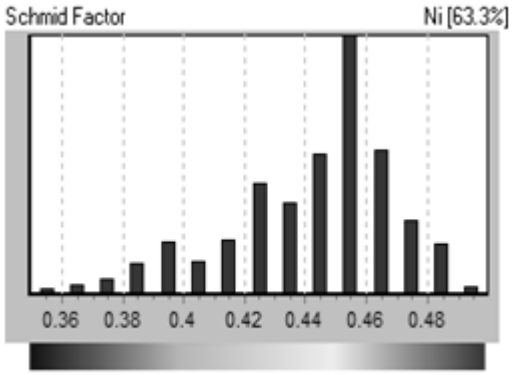


Рис. 4. Распределение зерен по значению фактор Шмида

Анализ получаемой с помощью метода ДОЭ информации, позволяет предсказать в каких зернах сдвиг пойдет в первую очередь и как изменится картина деформации в дальнейшем. Кроме того, в дальнейшем полученные данные можно использовать для анализа локальной деформации.

Для изучения деформационного состояния материала используют метод корреляции цифровых изображений (КЦИ). Данный метод впервые был предложен группой исследователей университета в Южной Каролине в 1982 г. Сегодня реализованный на базе данного метода в ИФПМ СО РАН лабораторный измерительный комплекс TOMSC показал свою эффективность при исследовании деформации механически нагруженных материалов.

Метод КЦИ основан на компьютерной обработке двух оптических изображений поверхности, полученных в процессе механического нагружения. Его особенностями являются простота проведения измерений и слабая зависимость абсолютной погрешности измерения отдельного вектора от степени деформации и вида материала (металл, неметалл).

Соответствующий измерительный комплекс включает в себя оптический микроскоп, цифровую камеру и компьютер, который позволяет измерять (вычислять) поле векторов смещений. Это поле смещений представляет собой смещения элементарных участков поверхности с некоторыми амплитудами и направлениями. Под ″элементарным участком″ понимается некоторый участок поверхности, размеры которого стремятся к нулю.

При использовании метода КЦИ изображения поверхности до и после деформации фиксируются с перекрытием приблизительно 10% от размера кадра с помощью оптического микроскопа. Затем преобразуются цифровой камерой в электрические сигналы и записывается в компьютер в виде отдельных файлов. В результате формирования полных изображений поверхности и компьютерной обработки определяются смещения Δu и рассчитываются локальные деформации (для двумерного случая) по формулам механики деформируемого твёрдого тела:

$$\varepsilon_{zz} = \partial u_z / \partial z,$$

$$\varepsilon_{yy} = \partial u_y / \partial y,$$

$$\varepsilon_{zy} = (\partial u_z / \partial y + \partial u_y / \partial z) / 2,$$

$$w_x = (\partial u_y / \partial z - \partial u_z / \partial y) / 2,$$

$$\gamma = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \sqrt{(\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{zy}^2},$$

где γ – главный пластический сдвиг; ε_1, ε_2 – главные компоненты деформации.

На рис. 5 приведено поле векторов смещения при деформации монокристаллов никеля.

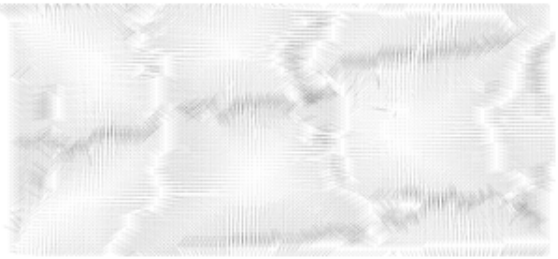


Рис. 5. Поле векторов смещений e=0,05, Δe=0,05

Для того, чтобы учесть переориентацию в ходе пластической ориентации необходимо совмещать исследования методом ДОЭ и КЦИ.

Автор выражает огромную благодарность Кибиткину В.В. за совместную работу по исследованию деформации методом КЦИ.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ СМК НИКЕЛЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОТЖИГУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ, С ПОМОЩЬЮ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Андреева Е.М., Петракова И.В., Рахматулина Т.В.
Научный руководитель: Петракова И.В., нс, к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Katya5358@yandex.ru

Наноструктурные материалы интенсивно исследуются и находят все большее применение в различных разделах специальной техники и технологии [1]. Наряду с развитием науки в области электроники, исследованием ковалентных материалов значительные успехи достигнуты в понимании структуры и механических свойств металлических наноматериалов. Известно [1], что измельчение размера зерна приводит к повышению повысить механических свойств нано- и ультрамелкозернистых поликристаллов. В результате этого удается значительно уменьшить массу различных металлических изделий и конструкций. Поэтому исследования наноматериалов, их поведения под нагрузкой, развития пластической деформации являются, несомненно, актуальными задачами современного материаловедения.

Объектами настоящей работы являлись образцы в виде двойной лопатки с рабочей частью 25 х 2,5 х 0,5 мм^3 из нано-структурированного никеля, полученного путем равноканального углового прессования (РКУ). Образцы отжигали при температурах 60°, 120°, 180°, 240°, 300°, 360° С в течение 15 минут.

Поверхность образцов перед испытаниями предварительно подготавливали путем механического и электролитического полирования в электролите состава: 10 % - хлорной кислоты, 90 % - n-бутанол. Полирование осуществляли 7-8 раз по 15 секунд, электролит при этом охлаждали. Исследование деформационного рельефа осуществляли с помощью сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) СММ-2000Т.

Образцы были разрушены активным растяжением на оптико-телевизионном комплексе TOMSC-1 с автоматической записью диаграмм «напряжение – деформация».

Диаграммы «напряжение – деформация» приведены на рис.1. Видно (рис. 1), что повышение температуры отжига после 180°С приводит к уменьшению предела прочности и пластичности материла.

Анализ деформационного рельефа образцов СМК никеля показал, что пластическая деформация образцов СМК никеля протекает путем формирования полос локализованного сдвига вблизи места разрушения, что приводит к образованию шейки и достаточно быстрому разрушению образцов. Детально место разрушения образцов исследовали с помощью сканирующего туннельного микроскопа.

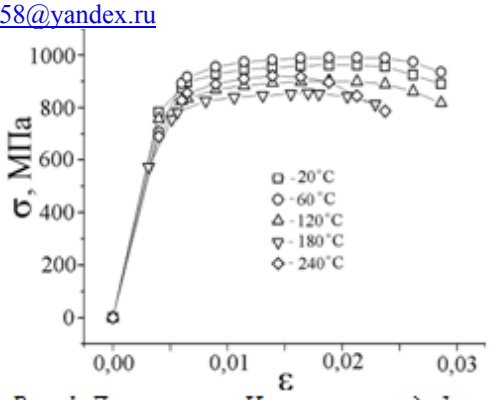


Рис. 1. Диаграммы «Напряжение - деформация» образцов СМК никеля, подвергнутых отжигу при различных температурах.

На рис. 2 приведены СТМ – изображения деформационного рельефа образцов СМК никеля вблизи зоны разрушения, отожженных при разных температурах. На изображениях наблюдается формирование полос локализованного сдвига. Повышение температуры отжига до 180-240°С приводит к формированию на поверхности образцов впадин и выпуклостей, напоминающей своей формой зеренную структуру.

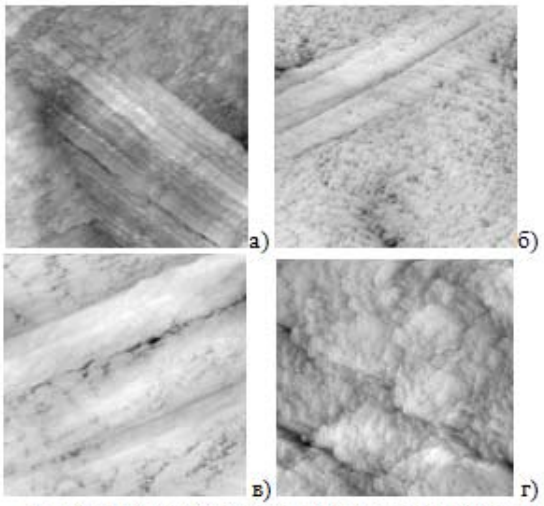


Рис. 2. СТМ изображения поверхности образцов СМК никеля вблизи места разрушения, а) в исходном состоянии поставки; и при отжиге 15 мин при температурах б) 60 ℃; в) 120 ℃; г) 180 ℃ и д) 240 ℃. (Размер изображения 1752x1752 нм).

Полученные СТМ изображения были преобразованы в текстовый формат и с помощью программного приложения «Origen» подвергнуты математической обработке по методике определения структурной функции по алгоритму приведенному в [2].

Для каждого СТМ- изображения были определены структурные функции, которые в дальнейшем строились в дважды логарифмических координатах (рис.3).

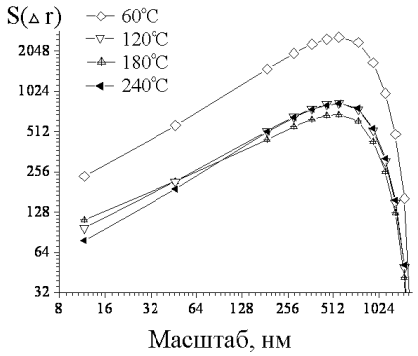


Рис. 3. Зависимости структурной функции S(Δr) от расстояния между точками изображения в дважды логарифмических координатах, построенных по СТМ изображениям рельефа поверхности образцов СМК никеля, подвергнутым отжигу при различных температурах.

На рис. 3 видно, во всех случаях выделяется прямолинейней участок на масштабе ~300 нм, что говорит о корреляции точек изображения на данном масштабном уровне. Тангенс угла наклона данных участков позволяет определить показатель Херста, характеризующий фрактальные характеристики СТМ – изображения. Видно (рис.3), что величина угла наклона структурной функции изменяется для СТМ – изображений образцов СМК никеля в зависимости от температуры отжига.

На рис. 4 приведена зависимость показателя Херста от температуры отжига. Видно (рис. 4), что отжиг образцов при 60° С приводит к резкому падению показателя Херста, но дальнейший рост температуры отжига приводит к его повышению.

Анализ СТМ - изображений деформационного рельефа (рис. 2) говорит о том, что такое поведение показателя Херста в зависимости от температуры отжига можно объяснить ростом зеренной структуры. Если сравнить СТМ изображения деформационного рельефа СМК никеля в исходном состоянии (рис. 2а) и после отжига при 180°С (рис. 2г), визуально видно, что в первом случае наблюдается формирование резкой полосы локализованного сдвига, во втором случае на поверхности наблюдается образование выпуклостей и впадин, своей формой напоминающие зеренную структуру.

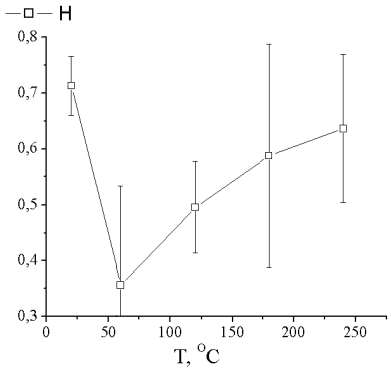


Рис. 4. Зависимость показателя Херста СТМ– изображений деформационного рельефа образцов СМК никеля от температуры отжига.

Повышение температуры отжига образцов должно приводить к росту зерна и уменьшению плотности дефектов кристаллического строения, что должно приводить к более легкому движению новых дислокаций, а следовательно, уменьшению сопротивления деформации и увеличении пластичности. Наибольшее значение имеет уменьшение плотности дислокаций, так как возникающее при этом между ними взаимодействие тормозит дальнейшее их перемещение.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

- показатель Херста показал высокую чувствительность от температуры отжига образцов СМК никеля, что говорит о возможности использования фрактального анализа для аттестации деформационного рельефа образцов СМК никеля, подвергнутых отжигу при разных температурах.
- повышение температуры отжига образцов СМК никеля приводит к росту зерна. Это отражается на механизм развития пластической деформации в образцах СМК никеля. При низких температурах отжига пластическая деформация развивается путем формирования полосы локализованного сдвига, быстрому формированию шейки и разрушению образца. В полосах локализованного сдвига наблюдается зеренная структура.

Список использованной литературы:

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией.- М.: Логос, 2000.- 272с.

2. Кузнецов П.В., Оксогоев А.А., Петракова И.В. Фрактальный анализ изображений поверхности обработанных дробью поликристаллов алюминиевого сплава при активном растяжении и их усталостная прочность // Физическая мезомеханика. – 2004. – Т. 7. - № 2. – С. 49-57.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Базаркина В.В., Огнев А.Ю., Кривеженко Д.С.
Научный руководитель: Дробяз Е.А., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет, 630092, пр. К.Маркса, 20
E-mail: valeria_b07@mail.ru

Применение в качестве упрочняющей фазы углеродных нанотрубок (УНТ), являющихся очень перспективными с позиции достижения высоких физико-механических характеристик композитов, позволило бы получить, по мнению специалистов совершенно новый материал, обладающий одновременно высокой прочностью, малым весом, износостойкость, электропроводностью и т.д. Основные проблемы достижения положительного результата связаны с качеством связи полимера и нанотрубок и их равномерным распределением в матрице. [1]

На данный момент наиболее эффективным подходом к решению проблемы сопряжения является функционализация нанотрубок (ф-НТ), присоединение к поверхности нанотрубки функциональных химических групп (карбоксильных, фенольных в зависимости от применяемого полимера). Реализация данного подхода может способствовать более эффективному взаимодействию УНТ и полимера.

В качестве полимерной матрицы для проведения исследований нами был выбран сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) фирмы HI-ZEX Million японского производства. Многослойные углеродные нанотрубки получали методом осаждения из газовой фазы, в ходе которого рост нанотрубок происходил на подложке, содержащей в качестве катализатора частицы железа.

Функционализация углеродных нанотрубок проводилась двумя способами – химическим (х.ф.-МУНТ) и электрохимическим (э.х.ф.- МУНТ). В основе этих способов лежит воздействие кислот на поверхность нанотрубок с целью разрушения имеющихся связей на внешних графеновых оболочках и привития новых атомных групп, близких по своему химическому строению к молекулярным цепочкам полимера.

Процесс химической функционализации углеродных нанотрубок заключался в обработке смесью азотной и серной кислот (в объемном соотношении 3:1). Для равномерного воздействия кислот на УНТ и удаления загрязнения с их поверхности смесь подвергали ультразвуковому перемешиванию, с последующей выдержкой при температуре 90 °С. После промывки дистиллированной водой углеродные нанотрубки сушили в вакуумной печи при температуре 100 °С.

Электрохимическая функционализация осуществлялась в специальной проточной электрохимической ячейке при анодной поляризации УНТ. Для проведения исследования было подготовлено три типа образцов: исходные нанотрубки, нанотрубки подвергнутые химической (х.ф.- МУНТ) и электрохимической (э.х.-МУНТ) функционализации.

Структурные исследования УНТ проводили с применением просвечивающей электронной микроскопии и спектроскопии комбинационного рассеяния света (рамановской спектроскопии). Данные методы позволили оценить длину, диаметр нанотрубок, количество слоев, дефектность, состояние поверхности, наличие примесных материалов в их структуре и т.д.

Рамановские спектры образцов представлены на рисунке 1. Наличие четырех пиков в спектрах является характерной особенностью МУНТ. Так, например, наличие первого пика указывает на наличие небольшого количества однослойных нанотрубок. А соотношение второго и третьего пиков показывают соотношение аморфизованных и упорядоченных кристаллических структур. [2] Сравнение спектров, полученных для исходного материала нанотрубок и х.ф.-МУНТ показывает увеличение доли аморфной составляющей в структуре.

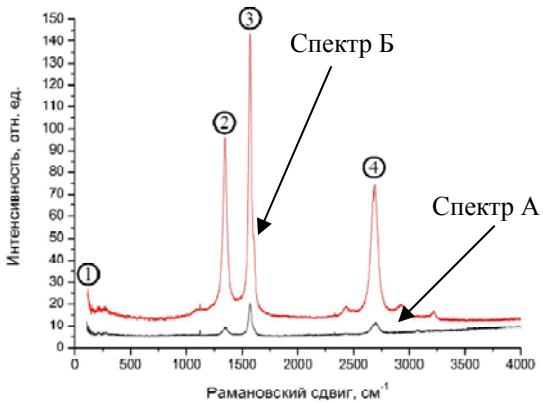


Рис. 1. Рамановские спектры, полученные при исследовании углеродных нанотрубок в исходном состоянии (спектр А) и после химической обработки (спектр Б)

Результаты просвечивающей электронной микроскопии образцов позволили дополнить и обосновать результаты, полученные ранее с применением рамановской спектроскопии. Установлено, что исходным нанотрубкам характерен существенный разброс диаметров от единиц до сотен нанометров (рис. 2). Это подтверждает тот факт, что в исходном материале присутствуют как однослойные, так и многослойные нанотрубки.

Важным результатом, подтверждающим наличие в рамановском спектре пиков второго типа, является аморфизация многих нанотрубок в процессе химической обработки (рис. 3).

Наибольшему разрушению подверглись крупные нанотрубы, в то время как более тонкие нановолокна сохранили свою структуру. Количество аморфной фазы в образцах после химической обработки намного превышает наличие подобного рода фаз в исходных нанотрубках и после э.х.ф.-НТ. Структурные исследования нанотруб после электрохимической обработки показали, что вместо полной аморфизации их слои перестраиваются с образованием своеобразных «косичек», каждая из которых остается в составе единой нанотрубки и оканчивается замкнутыми полусферами (рис. 4).

По результатам предварительных исследований для создания композиционного материала СВМПЭ-УНТ были выбраны электрохимически функционализированные углеродные нанотрубки. Этот выбор определялся тем, что, в отличие от исходного материала, данные образцы содержали меньшее количество аморфных примесей и их структура была не так сильно разрушена, как у химически функционализированных нанотрубок. Образцы композиционного материала были получены методом горячего прессования. Были подготовлены несколько партий образцов нанокомпозитов, содержащих 0,005; 0,01; 0,2; 0,5; и 2% вес. МУНТ. Так же для сравнения была подготовлена партия образцов из чистого СВМПЭ. Для равномерного распределения наночастиц и разбиения нежелательных конгломератов смесь УНТ и СВМПЭ предварительно подвергалась ультразвуковому перемешиванию.

В результате были получены образцы в виде таблеток диаметром 50 мм и высотой 10 мм, из которых механически вырезались образцы-колодки для триботехнических испытаний по схеме диск-колодка. Испытания проводились на машине трения отечественного производства СМТ-1. Исследования показывают, что наиболее существенное влияние содержания наполнителя на триботехнические свойства наблюдается в условиях трения без смазочного материала.

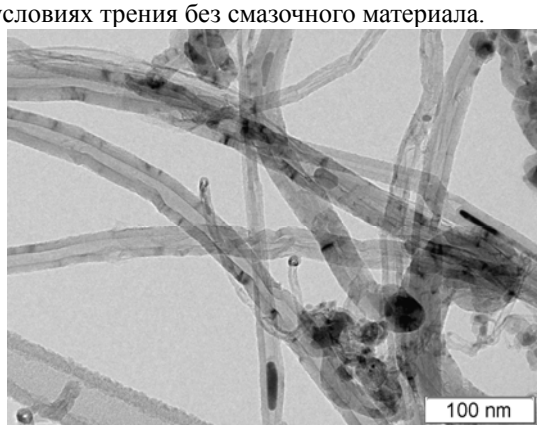


Рис. 2. Фотографии исходных нанотрубок

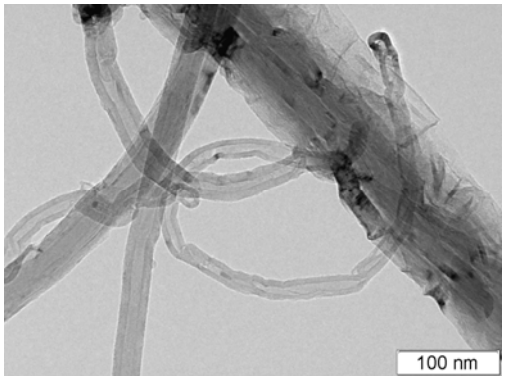


Рис. 3. Структура химически функционализированных нанотруб

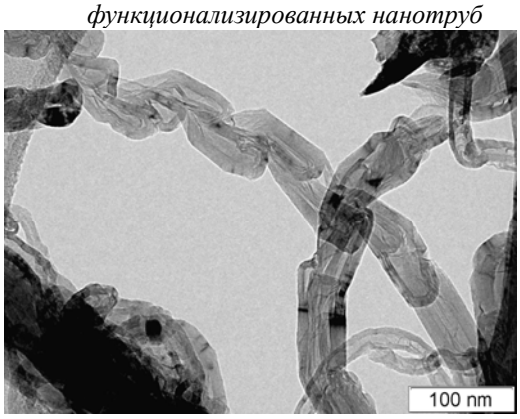


Рис. 4. Структура электрохимически функционализированных нанотруб

Наилучшими антифрикционными свойствами (коэффициент трения 0,06…0,08) обладает композиционный материал, содержащий 0,5% углеродных нанотрубок. При смазывании жидкими средами наиболее предпочтительным материалом для применения в парах трения является сверхвысокомолекулярный полиэтилен, модифицированный 0,05% УНТ. При смазывании водой его коэффициент трения составляет 0,04…0,06, при смазывании минеральным маслом – 0,02…0,03. Однако применение этого материала возможно при удельной нагрузке на пару трения не более 1,5 МПа. Таким образом, наиболее рациональной областью применения композиционных материалов на основе СВМПЭ, модифицированного углеродными нанотрубками, являются пары трения, смазываемые жидкими смазочными материалами в виде минеральных масел или воды. Коэффициент трения таких материалов может быть в 1,5…2 раза ниже, чем у немодифицированного сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

1. Елецкий А. Нанокомпозиты на основе углеродных нанотрубок // Перст. – 2009. – т. 16. – вып. 213. – С. 10-11.

2. Удовицкий В.Г. Методы оценки чистоты и характеризации свойств углеродных нанотрубок // Физическая инженерия поверхности. - 2009. - т. 7. - №. 4. – С. 351-373.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЙ ЧЕРЕЗ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ

Березнеева Е.В., Березнеев Д.В., Пушилина Н.С.
Научный руководитель: Черданцев Ю.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: BerezneevaEV@gmail.com

Циркониевые сплавы являются конструкционным материалом для важнейших элементов активных зон атомных энергетических реакторов. Это объясняется низким сечением захвата тепловых нейтронов, высокой температурой плавления, высокой и стабильной коррозионной стойкостью в воде, паре и в других агрессивных средах, хорошей пластичностью и прочностными характеристиками [1]. В процессе эксплуатации циркониевые изделия активных зон водоохлаждаемых энергетических атомных реакторов подвергаются коррозии в теплоносителе – окислению и наводороживанию. Поглощенный изделиями водород, выделяясь в виде хрупкой гидридной фазы, резко ухудшает механические свойства конструкционных материалов (водородное охрупчивание). С образованием гидридов также связан особый механизм разрушения циркониевых сплавов – замедленное гидридное растрескивание [2]. Исключить проникновение водорода в материалы не удается из-за большого содержания водорода в атмосфере и водной среде, а также по техническим условиям эксплуатации материалов [3, 4].

Разрушение детали в большинстве случаев начинается именно с поверхностного слоя, например: возникновение и развитие усталостной трещины, эрозии, износа, коррозии и т.д. Повышение ресурса работы, надежности, весогабаритных характеристик можно достигать, помимо всего прочего, улучшая свойства поверхности.

С целью снижения негативного влияния водорода разрабатываются различные методики нанесения защитных покрытий и модификации поверхности циркония. К числу используемых способов модификации поверхности изделий относят оксидирование, ионно-плазменное осаждение металлов и ионную имплантацию, ультразвуковую обработку, облучение импульсными электронными и ионными пучками.

Электрофизические пучковые и плазменные установки позволяют направленно менять структуру поверхностного слоя, наносить покрытия различного назначения. От электрохимических методов осаждения покрытий их отличает экологическая чистота метода.

Использование импульсных мощных ионных пучков в области модификации поверхностного слоя материалов имеет еще короткий временной интервал, но в последние 5 лет бурно развивается в США и Японии.

На сегодняшний день имеется большой массив экспериментальных данных по исследованию структуры и свойств поверхности металлов и сплавов, вызванных действием ИИР на твердое тело. Полученные результаты однозначно свидетельствует о возможности в достаточно широких пределах управлять микроструктурой, фазовым составом, прочностными свойствами поверхностных слоев металлов. Однако, влияние водорода на эти объекты в настоящее время малоизученно. Вместе с тем, импульсное ионное модифицирование поверхности может оказать существенное влияние на протекание процессов, ответственных за взаимодействие водорода с металлами. В данной работе проведена оценка возможности использования импульсных ионных пучков для создания защитных антикоррозионных покрытий. Для этого проведен цикл работ по облучению поверхности сплава циркония Э110 ионным пучком, исследованию влияния ионного облучения на физико-механические свойства сплава, изучено накопление водорода в сплаве Э110[5].

Модификация поверхностного слоя осуществлялось с помощью импульсного ускорителя ионных пучков углерода с длительностью импульса 80 нс, энергией 200 кэВ и плотностью тока 120 А/см^2 . Энергия импульса ~ 5 Дж/см^2. Формирование мощного ионного пучка основано на ускорении ионов из предварительно созданной взрывоэмиссионной плазмы. После облучения часть образцов насыщали водородом из газовой фазы в течении одного часа при температуре 450°С и давлении 2 атм методом Сиверста.

Микроскопические исследования показали, что обработка металлов с оплавлением поверхности формирует достаточно сложный топологический рисунок поверхности (рис.1). Он связан с образованием микрократеров на поверхности мишени.

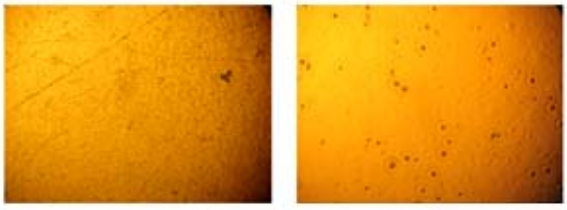


Рис. 1. Фотографии Zr Э110 до(слева) и после(справа) облучения импульсным ионным пучком.

Кроме того, нужно отметить наличие волнообразной структуры поверхности после облучения. Подобный рельеф появляется в результате плавления тонкого поверхностного

слоя металла. Микрократеры образуются вследствие выхода газов из приповерхностной области металла.

Исследование микротвердости производилось на микротвердомере ЛОМО ПМТ-3М при нагрузках P = 0.1, 0.2 и 0.3 Н. Измерены образцы сплава циркония Э110 до и после облучения импульсным ионным пучком. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

	№1 исходный			№1 облученный		
P, Н	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
$H_{v,}$ МПа	770	1250	1770	1020	1260	1570
	№2 исходный			№2 облученный		
P, Н	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
$H_{v,}$ МПа	786	1270	1670	1045	1250	1580

Таблица 1.Результаты измерения микротвердости сплава Zr Э110 до и после облучения.

Из представленных результатов видно, что микротвердость при нагрузках 0.2 и 0.3 Н практически не изменилась. При нагрузке 0.1 Н микротвердость в облученном образце выше, чем в исходном почти в полтора раза. Нагрузка 0,1 Н соответствует толщине слоя 0,8 мкм, 0,2 Н – 1 мкм, 0,3 Н –1,2 мкм. Поэтому, упрочнение поверхностного слоя наблюдается на глубине менее 0,8 мкм. На глубине 1,2 мкм и более наблюдается незначительное снижение микротвердости.

Упрочнение материала при воздействии импульсного пучка основано на структурных изменениях поверхностного слоя. Они характеризуются формированием перекристаллизационного слоя. Перекристаллизация препятствует развитию существующих микротрещин, движению дислокаций, влияет на микротвердость. За счет растворенного и адсорбированного углерода и перемешивания компонент поверхностного слоя образуются карбиды. Образование заметной доли карбидов ведет к увеличению микротвердости. Снижение прочности связано с отжигом областей, соприкасающихся с областью плавления сплава.

Изменение электронной плотности циркониевого сплава после облучения исследовали методом термо-ЭДС. Высокая чувствительность метода термо-ЭДС позволяет с его помощью определять небольшие изменения содержания примесей и дефектов структуры материала [6]. Значения термо-ЭДС пропорциональны плотности валентных электронов металла, которая, в свою очередь, чувствительна к изменению дефектной структуры металла. В то же время, изменение величины термо-ЭДС может быть связано с изменение фазового состава поверхности сплава при облучении.

Из представленной на рисунке 2 зависимости видно, что в облученной области электронная плотность снижается, что связанно с появлением упругих внутренних напряжений, вызванных высокой скорость охлаждения (закалки) тонкого поверхностного слоя. Возможно появление большого количества областей когерентного рассеяния.

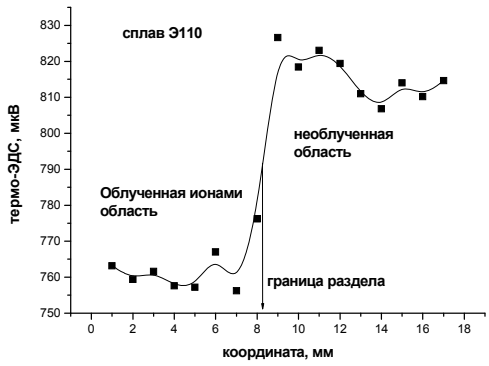


Рис. 2. Зависимость координаты образца Zr Э110 до и после облучения от термо-ЭДС

Исследование накопления водорода производилось на анализаторе водорода фирмы LECO. Полученные результаты показывают, что в образцах циркониевого сплава Э110 после облучения импульсным ионным пучком, концентрация накопления водород более чем в 3 раза меньше, чем в насыщенном водородом образце без облучения. Это означает, что облучение импульсным ионным пучком, снижает проникновение водорода в сплав Э110.

Список литературы

1. Никулин С.А., Рожнов А.Б., Бабукин А.В. и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2005. № 5. С. 8.
2. Калин Б.А., Шмаков А.А. // Физика и химия обработки материалов. 2005. №1. С. 78.
3. Чернов И. П., Черданцев Ю. П., Тюрин Ю. И. Методы исследования систем металл-водород. М. : Энергоатомиздат. 2004. 269 с.
4. Чернов И.П., Черданцева Ю.П., Лидер А.М. и др. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2009. №4. С. 1.
5. Бушмин Б.В., Горчаков А.А., Дубинин Г.В. и др. // Материаловедение. 2006. №10. С. 54.
6. Лапшин Б.М., Мамонтов А.П., Стукаленко Е.С., Чупина А.С. // Известия ТПУ. 2008. №2. Т. 312. С. 125.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМАХ С ТЕРМОБАРЬЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ. ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Бикинеев Г.Ш., Моисеенко Д.Д., Максимов П.В.
Научный руководитель: В.Е. Панин, академик РАН
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
пр. Академический, 2/4, 634021, Томск, Россия,
bgs@ispms.tsc.ru

1. Введение

Задача по исследованию поведения термобарьерных многослойных покрытий является крайне актуальной в свете создания ракетной техники и реактивных самолетов нового поколения. В особенности это относится к материалам, применяющимся при изготовлении таких деталей, как сопла реактивных двигателей. Известно, что экспериментальные исследования материалов и последующие натурные испытания готовых конструкций весьма трудоемки и дорогостоящи. В связи с этим теоретическое прогнозирование на базе компьютерного эксперимента является весьма актуальным. Высокие требования, предъявляемые к новым материалам, диктуют необходимость создания и развития новых современных методов компьютерного моделирования поведения сред со структурой в экстремальных условиях нагружения. Наиболее перспективными представляются многоуровневые подходы на базе физической мезомеханики материалов [1-2].

Для моделирования поведения материалов со сложной структурой, имеющей тенденцию к перестроению, необходимо привлекать класс методов, позволяющих в явном виде задавать как структуру моделируемой среды, так и законы взаимодействия между структурными элементами. Это – дискретные подходы. Наиболее известными дискретными методами являются методы молекулярной динамики и клеточных автоматов.

2. Метод моделирования

Метод клеточных автоматов за последние полвека завоевал огромную популярность благодаря весьма широкой области своих применений [3-4]. В данной работе моделирование переноса тепловой энергии и связанных с ним деформационных процессов осуществляется на базе метода стохастических возбудимых клеточных автоматов (Stochastic Excitable Cellular Automata – SECA). Возбудимый автомат пробегает цепь состояний под влиянием внешнего воздействия. Каждый автомат характеризуется определенным набором соседей на первой координационной сфере, а также числовыми параметрами, характеризующими моделируемый материал: модуль упругости, плотность, модуль сдвига, плотность дислокаций, удельная теплопроводность, удельная теплоёмкость, коэффициент температурного расширения и др. При взаимодействии с соседними автоматами могут меняться тепловая и механическая составляющие энергии и связанные с ними физические параметры (температура, энтропия, напряжение, деформация, плотность и т.д.).

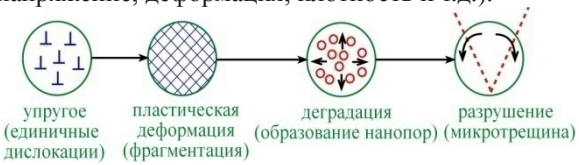


Рисунок 1. Переход клеточного состояния из одного состояния в другое.

Теплоперенос моделируется согласно гипотезе Фурье, где количество теплоты dQ, проходящее через элемент изотермической поверхности dF за промежуток времени dx, прямо пропорционально градиенту температуры, т.е.

$$\frac{dQ}{dFd\tau} = J_T = \lambda\, grad(t)$$

Здесь J_T – плотность теплового потока, определяемая как количество теплоты, проходящее в единицу времени через единицу площади изотермической поверхности; λ – коэффициент теплопроводности. Причины, вызывающие поток J_i, т.е. градиенты температуры, градиенты концентрации, внешние силы и т.д., принято называть обобщенными силами и обозначать X_i.

Для расчета изменения деформации вследствие теплового расширения используется формула:

$$\Delta_Q \varepsilon_i^n = \alpha_i \cdot (T_i^n - T_i^{n-1}),$$

где $\Delta_Q \varepsilon_i^n$ - локальная деформация, возникшая из-за термического расширения (сжатия), α_i - коэффициент термического расширения i-го автомата, T_i^n, T_i^{n-1} - значения температур i-го автомата на n-м и $(n-1)$-м шагах по времени.

Для расчета соответствующих изменений напряжения, из формулы Гука ($\sigma = \varepsilon Y$):

$$\Delta_Q \sigma_i^n = \alpha_i \cdot (T_i^n - T_i^{n-1}) \cdot Y_i^n,$$

где Y_i^n - модуль Юнга.

Для вычисления соответствующих изменений механической энергии A_i^n вследствие перехода чести тепловой энергии в механическую используется следующее соотношение:

$$\Delta_Q A_i^n = \int_{\varepsilon_i^{n-1}}^{\varepsilon_i^{n-1}+\Delta_Q \varepsilon_i^n} \sigma_i^n d\varepsilon = Y_i^n \int_{\varepsilon_i^{n-1}}^{\varepsilon_i^{n-1}+\Delta_Q \varepsilon_i^n} \varepsilon d\varepsilon =$$

$$= \frac{Y_i^n \cdot V_{CA}}{2} \cdot (sign\,(\varepsilon_i^{n-1} + \Delta_Q \varepsilon_i^n) \cdot (\varepsilon_i^{n-1} + \Delta_Q \varepsilon_i^n)^2 -$$
$$- sign\,(\varepsilon_i^{n-1}) \cdot (\varepsilon_i^{n-1})^2),$$

где $\varepsilon_i^{n-1}, \Delta_Q \varepsilon_i^n$ - деформации клеточного автомата, σ_i^n - напряжение клеточного автомата, Y_i^n - модуль Юнга, V_{CA} - объем клеточного автомата.

3. Результаты моделирования

Во всех численных экспериментах моделировались образцы с размерами 50×50×30 мкм. В начальный момент времени температура каждого автомата равнялась *300* К. Граничные условия задавались следующим образом: верхняя грань образца нагрета до *1000* К, нижняя – до *300* К. Величина временного шага равнялась $10^{-10}c$, размер клеточного автомата - *1* мкм.

Были проведены численные эксперименты по распространению теплового фронта в композитах, состоящих из медной подложки и керамического покрытия различного профиля с введением в интерфейс дополнительного промежуточного слоя.

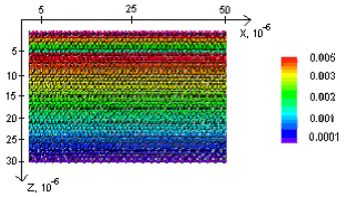


Рисунок 2. Распределение объемной деформации в плоскости «y = 25мкм» образца из меди с керамическим покрытием.

Из рис. 2 можно видеть, что плоский интерфейс порождает резкий градиент напряжений вдоль всей границы, что неминуемо приведет к отслоению керамического покрытия как целого.

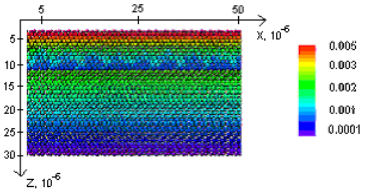


Рисунок 3. Распределение объемной деформации в плоскости «y = 25мкм» образца из меди с керамическим покрытием и промежуточным подслоем, который представляет собой чередующиеся в шахматном порядке островки молибдена и меди (в виде зубцов).

Результат, изображенный на рис. 3, показывает, что зубчатая форма границы раздела положительно влияет на распределение напряжений. Причиной положительного эффекта зубчатости является тот факт, что нормальная составляющая σ_n, действующая на покрытие с зубчатой границей раздела, меньше, чем в случае плоской границы, а встречные касательные напряжения σ_τ от граней AB и BC взаимоуничтожаются; этот механизм представлен на рис. 4.

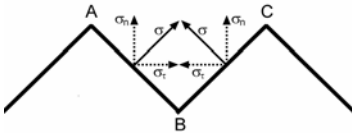


Рисунок 4. Механизм взаимоуничтожения касательных напряжений и уменьшения величины напряжений, нормальных к макроинтерфейсу.

Чередование молибдена и корунда резко уменьшило развитие деформации в приграничном слое меди. Промежуточный слой пластичного молибдена релаксирует сильные концентрации растягивающих нормальных напряжений на интерфейсе «Cu–Al_2O_3». Это, в свою очередь, обеспечивает малую вероятность отслоения покрытия и позволяет повысить температуру теплового удара.

4. Заключение

Результаты численного моделирования показали, что сочетание двух благоприятных факторов – таких, как зубчатость и молибденовый подслой, - дало наибольшую эффективность теплозащитного покрытия. Данная композиция оказалась наиболее оптимальной.

Таким образом, был исследован характер влияния теплового фронта на картину распределения внутренних термических напряжений и связанных с ними объемных деформаций, возникающих вследствие теплового расширения. Были исследованы влияние внутренней границы раздела, наличие дополнительного слоя и влияние геометрической формы внутренней границы раздела на процесс распространения теплового фронта.

Путем проведения серии численных экспериментов на базе SECA метода удалось сформулировать рекомендации по улучшению эксплуатационных характеристик композитов с термобарьерными покрытиями.

Литература:

1. Physical mesomechanics and computer-aided design of materials: In 2 vol. / Ed. by V.E. Panin, Nauka, Novosibirsk, 1995. Vol. 1. – 298 pp., Vol. 2. – 320 pp. (in Russian).

2. Physical mesomechanics of Heterogeneous Media and Computer-aided Design of Materials / Ed. by V.E. Panin. – Cambridge: Cambridge Interscience Publishing, 1998.

3. Лоскутов А.Ю., Михайлов А.С. Введение в синергетику. –М.: Наука, 1990.– 272 с.

4. Л.С. Полак, А.С. Михайлов. Самоорганизация в неравновесных физико-химических системах. – М.: Наука, 1983. 286 с.

АЗОТИРОВАНИЕ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ СВС

Болгару К.А., Чухломина Л.Н.
Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН
E-mail: moldova@sibmail.com

В настоящее время современная промышленность нуждается в азотсодержащей стали, которую производят с использованием азотированных ферросплавов. Одним из способов получения легирующих ферросплавов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Такой способ производства отличается высокой производительностью и низкой энергозатратностью, что весьма важно в промышленном производстве.

Одним из передовых ферросплавов является ферросиликоалюминий (ФСА). ФСА - сплав, содержащий сильные раскислители, такие как кремний и алюминий, применяется в основном при производстве стали. Более высокая эффективность ФСА при раскислении стали обусловлена их совместным действием. Спрос на ФСА объясняется тем, что он полностью превосходит традиционные сплавы (ферросилиций, силикокальций и др.). Преимущество ФСА – его более низкая стоимость, чем у традиционных раскислителей. Сплав ФСА выплавляется по перспективной технологии: «бездымный минеметаллургический способ получения ферросплавов и лигатур» (СТ ТОО 38397431-001-2006). Применение ФСА при раскислении стали приводит к улучшению ее качества и увеличению усвоения алюминия на 30 ÷ 60 %. Кроме того он используется в качестве восстановителя при металлотермических процессах получения металлов и сплавов. Одним из существенных его преимуществ является то, что сплав легко дробится, в отличие от алюминия.

В настоящей работе представлены результаты исследования процесса азотирования ФСА методом СВС для получения легирующего материала для выплавки стали и чугуна.

В качестве исходного сырья использовался ФСА марки ФС65А15. По результатам рентгенофазового анализа (РФА) исходный ФСА представлял собой многофазный материал, состоящий из кремния и высокотемпературного лебоита ($FeSi_2$), а так же алюминия, находящегося в виде твердого раствора в фазе $FeSi_2$. В качестве примесных фаз присутствуют фазы: Fe, Al_2O_3, $Al_{0.5}Fe_{0.5}$. Перед сжиганием исходный сплав измельчался до дисперсности менее 100 мкм. Результаты химического анализа показали, что содержание в сплаве кремния - 60%, алюминия - 13%, остальное железо. Порошок ФСА засыпали в цилиндрические трубки из металлической сетки диаметром 30 ÷ 60 мм. Образцы сжигались в установке постоянного давления по методике [1], при изменении давления азота от 1 до 6 МПа.

Воспламенение осуществлялось от порошкообразной поджигающей смеси с помощью вольфрамовой спирали, через которую пропускали электрический ток. После прохождения фронта горения, образец выдерживался в атмосфере азота до полного остывания, затем давление сбрасывалось, а продукт СВС извлекали из установки для дальнейших исследований. РФА осуществляли на дифрактометре ДРОН-2 с использованием Со-излучения. Температуру горения измеряли с помощью вольфрам-рениевых термопар (ВР5-ВР20) диаметром 100 мкм. Проволоки сваривали контактным способом встык и вставляли в алундовую соломку. Открытую часть термопары, находящуюся внутри образца, покрывали тонким слоем нитрида бора, оставляя не прикрытым только спай. Термопару вводили в образец на глубину 10 - 15 мм. При измерении температуры горения обработка экспериментальных результатов осуществлялась с помощью аналого-цифровых преобразователей. Для компьютерной регистрации показаний термопар использовалась восьмиканальная плата аналого-цифрового преобразователя АЦП Ла-20. При этом проводилась видеозапись процесса горения. Скорость распространения фронта горения измеряли с помощью секундомера.

Эксперименты показали, что горение ферросилиция в азоте происходит в нестационарном режиме. Распространение волны горения протекает следующим образом: после инициирования реакции наблюдается яркая вспышка, возникает фронт горения, а через некоторое время образуются трещины, которые вероятно обусловлены усадкой сплава в результате его плавления. Затем с наружного края образца вспыхивают два очага, которые движутся к центру образца в поперечном направлении, где они встречаются. После продолжительного свечения сгоревшего слоя вновь образуется трещина и процесс повторяется. На рисунке 1 представлен внешний вид продукта горения ФСА в азоте.

Рисунок 1 - Фотография образца азотированного ФСА, сгоревшего при P_{N2} = 4МПа, d = 35 мм

Исследована зависимость скорости горения и количества азота, поглощенного образцом, от диаметра образца. Показано, что с увеличением диаметра образца скорость горения падает, а

содержание азота изменяется незначительно (рис.2)

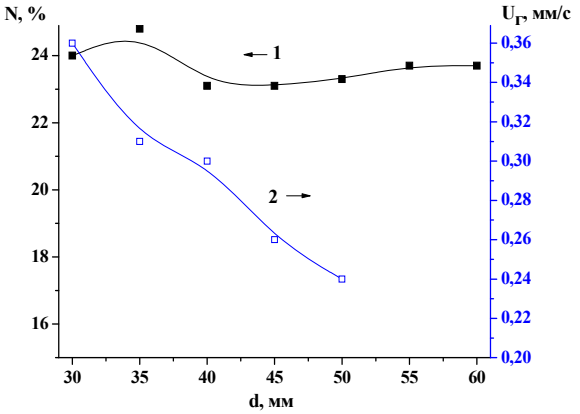


Рисунок 2 – Зависимость содержания азота в продуктах (1) и скорости горения (2) от диаметра образца.

На рисунке 3 представлена термограмма процесса горения.

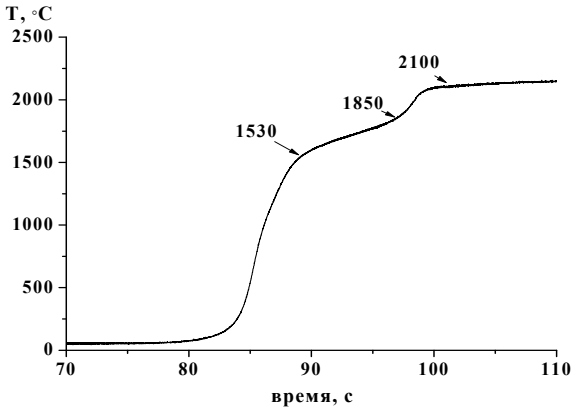


Рисунок 3 - Термограмма процесса горения ФСА в азоте P_{N2}= 4 МПа, d = 35мм

Из рисунка видно, что максимальная температура горения сплава составляет 2100ºС. Это превосходит максимальную температуру горения чистого ферросилиция [2] на 100º С, что связано с экзотермическим взаимодействием с азотом алюминия, присутствующего в ФСА. Немонотонность экспериментальной зависимости температуры от времени указывает на сложность протекающих в волне горения физико-химических превращений и вероятную стадийность тепловыделения. РФА продукта горения представлен на рисунке 4. Из представленной рентгенограммы видно, что продукт горения представляет собой многофазный материал, состоящий из β-Si_3N_4, $Si_3Al_3ON_5$, FeSi. Наличие моносилицида железа FeSi в продуктах указывает на незавершенность процесса нитридообразования.

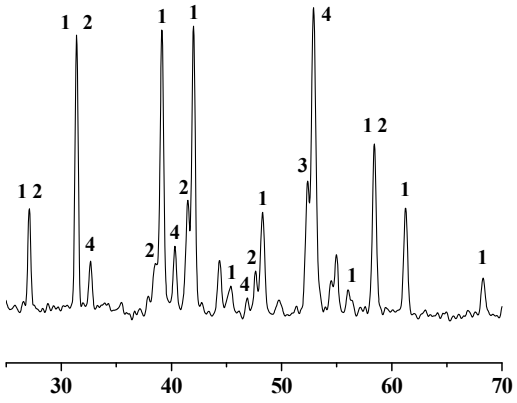


Рисунок 4 - Фрагмент рентгенограммы продукта горения ферросиликоалюминия с размером частиц менее 100 мкм (1 – β-Si_3N_4, 2 – $Si_3Al_3ON_5$, 3 – Fe, 4 – FeSi)

Таким образом, проведенные исследования показали возможность азотирования ФСА в режиме горения. Получен легирующий азотсодержащий материал с максимальным содержанием азота 24,8%. Исследованы некоторые закономерности процесса азотирования, в том числе установлены стабильные условия инициирования процесса. Установлен фазовый состав продуктов горения.

Список литературы

1. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов , И.П. Боровинская // Докл. АН СССР. – 1972. – Т. 204, №2. – С. 366-369.

2. Чухломина Л.Н. Особенности горения ферросилиция в азоте / Л.Н. Чухломина, К.А. Болгару // Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Современные техника и технологии . 2010. – Т. 2 – с. 104-106.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-03-00604-а)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СИСТЕМЫ «ПЕЧАТНАЯ КРАСКА - КОМБИНИРОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ»

Борисова А.С.
Научный руководитель: Варепо Л.Г., к.т.н., доцент
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: Lianilla@mail.ru

В настоящее время роль качества упаковки при продвижении товара постоянно возрастает. Гибкие упаковки из комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги активно применяются в пищевой и фармацевтической промышленностях. В процессе эксплуатации упаковки важным показателем ее качества является прочность соединения печатной краски с поверхностью комбинированного материала [1].

Комбинированные материалы на основе алюминиевой фольги относятся к невпитывающим материалам, на процесс установления межфазного контакта в системе «печатная краска - комбинированный материал», прочность и долговечность адгезионного соединения оказывает непосредственное влияние энергетическая характеристика поверхности субстрата, которая может быть оценена смачиванием поверхности жидкостью с определенным поверхностным натяжением [2], и учитывая, что смачивающая пленка может менять свой профиль, приобретая неодинаковую толщину на разных участках поверхности [3], проведение исследований гидрофильности поверхности комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги, полноты укрывистости оттисков и прочности закрепления печатного рисунка является важной научно-практической задачей.

Для исследования отобраны образцы комбинированных упаковочных материалов следующего состава: алюминиевая фольга мягкая / адгезив / влаго-, жиростойкая бумага для каширования. У опытного образца №1 в качестве адгезива использована разработанная клеевая композиция, у образца №2 – расплав PE, у образца №3 – полиуретановый клей. Характеристики материалов представлены в таблице 1.

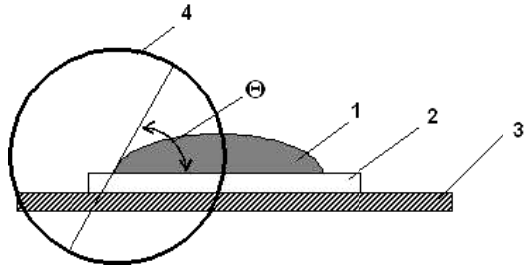


Рис. 1. Схема измерения краевого угла смачивания Θ поверхности комбинированного материала: 1 – капля воды, 2 – материал, 3 – измерительная площадка, 4 – изображение в окуляре микроскопа

Оценку гидрофильности поверхности осуществляли по величине краевого угла смачивания дистиллированной водой. Принцип измерения краевого угла смачивания представлен на рисунке 1.

Результаты исследования гидрофильности поверхности комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги представлены в таблице 2.

Исследование полноты укрывистости комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги печатной краской осуществляли по методике расчета процентного соотношения между площадями участков полностью покрытых красочным слоем и непокрытых участков поверхности.

Запечатывание образцов осуществлялось на пробопечатном станке Flexiproof 100 со скоростью печати 50 м/мин, давлением 60 Па, линиатурой анилоксового вала 120 л/см^2, объемом ячеек 7 см^3. Для запечатывания образцов использована печатная краска FlintGroup Flexoplastol APF. Данная краска основана на смеси растворителей n-пропанола и этилацетата в смеси с пигментной пастой Magenta.

Исследование прочности закрепления печатного рисунка на упаковочных комбинированных материалах осуществлялось методом нормального отрыва [4]. Образцы комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги запечатаны на пробопечатном станке Flexiproof 100 со скоростью печати 50 м/мин и давлением от 60 до 100 Па. Линиатура анилоксового вала составляет 120 л/см^2 и 100 л/см^2, объем ячеек 7 см^3 и 8 см^3 соответственно, расположение печатного изображения на образце представлено на рисунке 2.

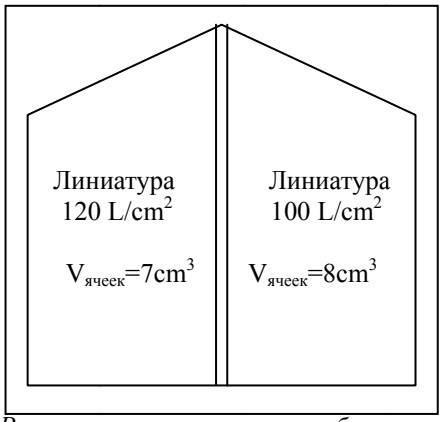


Рис. 2.Расположение печатного изображения на образце

Результаты исследований полноты укрывистости оттисков и прочности закрепления

печатного рисунка на комбинированных материалах при давлении 60 Па представлены в таблице 3.

Таким образом, определена гидрофильность поверхности комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги различных фирм-производителей. Проведена оценка полноты укрывистости комбинированных материалов на основе алюминиевой фольги печатной краской, проведено исследование адгезионной прочности красочного слоя к комбинированным упаковочным материалам на основе алюминиевой фольги методом нормального отрыва.

Выявлено, что наибольшие значения краевого угла смачивания наблюдаются у комбинированных материалов фирмы Полипакс (образец №2), наименьшие у комбинированного материала фирмы Хоупак (образец №3).

Установлено, что наибольший процент укрывистости наблюдается у комбинированных материалов фирмы Хоупак (образец №3). На комбинированных материалах фирмы Полипакс (образец №2) наблюдается наименьший процент укрывистости печатной краской.

Выявлено, что наибольшая прочность системы «печатная краска – комбинированный материал» при всех значениях давления печати стабильно наблюдается у опытного образца комбинированного материала (образец №1). На образцах комбинированных материалов №2 и №3 фирм-производителей Полипакс и Хоупак соответственно наблюдаются близкие значения адгезионной прочности красочного слоя к поверхности, они разделяют второе место.

Наблюдается тенденция увеличения полноты укрывистости оттисков с уменьшением краевого угла смачивания и соответственно улучшением смачиваемости поверхности субстрата. Наиболее высокая адгезионная прочность системы «печатная краска - комбинированный материал» у опытного образца может быть обусловлена характеристиками микрогеометрии поверхности субстрата.

Таблица 1. Состав и характеристики исследуемых комбинированных материалов

№ образца	Фирма производитель	Масса г/м^2	Фольга	Адгезив	Бумага
1	Опытный образец	80	фольга ТУ 1811-005-53974937-2004 с праймером	опытная клеевая композиция	влаго-, жиронепроницаемая бумага
2	Полипакс	75	фольга ГОСТ 745-2003 с праймером	расплав РЕ	
3	Хоупак	85	фольга ГОСТ 745-2003 с праймером	полиуретановый клей	

Таблица 2. Краевой угол смачивания комбинированных материалов

№ образца	№ опыта					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
1	48	49	49	48	48	48,4
2	52	52	53	52	53	52,4
3	45	46	45	45	45	45,2

Таблица 3. Оценка полноты укрывистости оттисков и прочности закрепления красочного слоя

№ образца	Адгезионная прочность, Н/см^2 № опыта					Среднее значение, Н/см^2	Укрывистость, %
	1	2	3	4	5		
1	14,8	14,9	13,7	15,0	14,5	14,6	94,9
2	9,8	10,0	9,9	11,1	10,4	10,2	91,2
3	10,5	10,3	10,2	9,8	10,7	10,3	95,6

Библиографический список

1. Колесниченко, М.Г. Повышение качества упаковки из пленок полиэтилена с прогнозируемыми свойствами: автореф. дисс. канд. техн. наук. - М: МГУП, 2010. - 23с.

2. Кинлок, Э. Адгезия и адгезивы: Наука и технология: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 484 с.

3. Дерягин, Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, В.М. Муллер. – М.: Наука, 1985. – 398 с.

4. Фаренбрух, К.В. Разработка методов контроля адгезионной прочности при печати на гидрофобных полимерных пленках: дисс. канд. техн. наук. – М.: МГУП, 2008. – 135 с.

СТАДИЙНОСТЬ ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА ПО ДАННЫМ АКУСТО-ЭМИССИИ, КАРТИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕНЗОМЕТРИИ

Бурков М.В., Любутин П.С., Бяков А.В.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4
E-mail: burkovispms@mail.ru

Введение. Для изучения процессов деформации и разрушения применяются различные разрушающие и неразрушающие подходы. Особое место среди неразрушающих занимают методы, позволяющие регистрировать изменения непосредственно в процессе нагружения in situ. Комбинированное применение этих методов, которые в зависимости от принципа действия обладают чувствительностью к носителям на различных масштабных уровнях, позволяет получить более полную картину процесса. Так совмещение методов тензометрии и акустической эмиссии (АЭ) активно используют в СибНИА им. Чаплыгина.

Совместное использование АЭ, оптико-телевизионной измерительной системы (ОТИС) и тензометрии позволяет одновременно регистрировать локализацию деформации и разрушения на различных масштабных уровнях. Основным вопросом, при этом, является: при каких условиях подобная локализация сопровождается повышением значений информативных параметров, отражающих развитие деформации на микро-, мезо- и макро масштабных уровнях. В качестве таких параметров для метода АЭ можно использовать скорость счета dN/dt, либо активность событий dN_Σ/dt; для метода картирования деформации на поверхности - интенсивность деформации сдвига γ, для тензометрии – $d\sigma/dt$, производная внешнего приложенного напряжения по деформации, либо времени.

Удобным и наглядным подходом к выявлению активизации деформационных процессов является выделение характерных стадий деформации и разрушения, связанных с соответствующими механизмами, носителями и деформационными структурами. В наших предыдущих исследованиях испытывались алюминиевые образцы с различными видами концентраторов напряжений (КН).

Материал и методика исследований. В работе применяли комбинированный метод для исследования процессов локализованной деформации в образцах из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) с различными размерами КН – центрального отверстия с диаметрами 7, 10 и 13 мм. Применение одновременной регистрации несколькими методами позволило проследить и сравнить регистрируемые параметры на протяжении всего времени эксперимента. На рис. 1 приведена схема образцов (толщина 4 мм). Материал представляет собой псевдоизотропный композит из слоев однонаправленной углеродной ткани [45°, -45°, 0°, 90°] спеченный в углеродной матрице. Размеры образцов выбраны в соответствие со стандартом ASTM D5766.

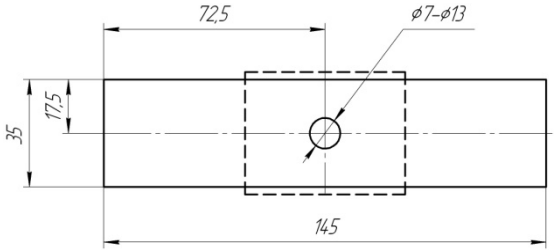


Рис. 1. Чертеж образца, штриховой линией показана область, выделяемая для построения поля векторов перемещений.

Образцы испытывали на одноосное статическое растяжение на электромеханической машине Instron 5582 со скоростью перемещения подвижного захвата 0,3 мм/мин. Фотографирование поверхности осуществляли с помощью фотокамеры Canon EOS 550D, оснащенной длиннофокусным объективом Canon EF-S 100-400mm 1/4-5.6 IS.

Регистрацию АЭ осуществляли с помощью программно-аппаратного измерительного комплекса регистрации сигналов АЭ на базе ПК. В качестве основного информативного параметра данных АЭ рассчитывали производные от накопления сигналов АЭ по времени (активность акустической эмиссии dN_Σ/dt).

Для расчета величины средней интенсивности деформации сдвига γ выбирали область изображения с размерами 3300×4950 пикселей (физические размеры ~35×52.5 мм), находящуюся в центре образца, вокруг отверстия (рис. 1). Размеры областей для расчета выбирались с учетом того, чтобы гарантировано наблюдать формирование и развитие в них макрополос деформации.

Результаты экспериментов. На рис. 2 показана: диаграмма «σ-ε» и ее производная по

времени $d\sigma/dt$. Используя процедуру кусочно-линейной аппроксимации, можно выделить три стадии, которые достаточно удовлетворительно аппроксимируются прямыми линиями. При изменении диаметра отверстия форма кривой $d\sigma/dt$ оставалась одинаковой, но изменялась относительная продолжительность стадий. Так с ростом диаметра относительная продолжительность 1-й и 3-й стадий равномерно падает, а 2-й растет. Наклон аппроксимирующих прямых (скорость изменения $d\sigma/dt$) на 1-й и 2-й стадиях растет, а на 3-й остается примерно постоянным.

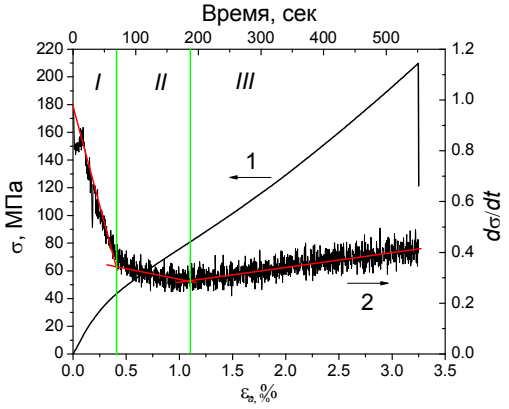


Рис. 2. Диаграммы нагружения (1) и производной внешнего деформирующего напряжения dσ/dt (2), диаметр отверстия 7 мм.

Анализ распределений деформаций на мезомасштабном уровне проводили путем обработки изображений интегральным и дифференциальным методом. На рис. 3 (кривая 3) показана зависимость интенсивности деформации сдвига $\gamma_{диф}$, полученная при анализе изображений дифференциальным способом для образца с диаметром 7 мм.

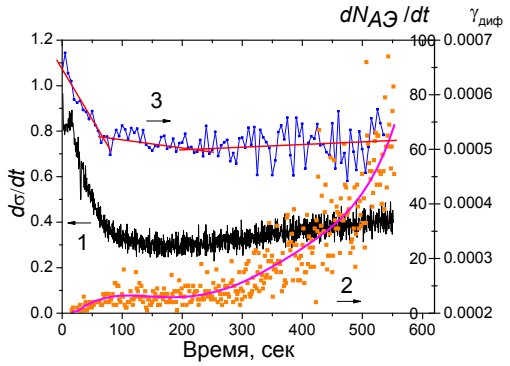


Рис. 3. Совмещенные графики производной внешнего деформирующего напряжения (1), активности АЭ $dN_{АЭ}/dt$ (2) и интенсивности деформации сдвига $\gamma_{диф}$ (3), рассчитанной дифференциальным способом, отверстие 7 мм.

Видно, что характер зависимости $\gamma_{диф}$ хорошо коррелирует с производной $d\sigma/dt$. При аппроксимации кривой также выделяются 3 характерные стадии.

В соответствии с методиками анализа данных тензометрии и корреляции цифровых изображений были обработаны данные регистрации акустической эмиссии, которые трактовали в терминах активности АЭ $dN_Э/dt$ (рис. 3, кривая 2). Полученные точки усреднили гладкой кривой. До начала 3-й стадии по данным $d\sigma/dt$ и $\gamma_{диф}$ активность акустической эмиссии находится на примерно постоянном уровне, а после начинается рост, вплоть до разрушения.

Выводы. Композиционные материалы (особенно на основе высокопрочных углеродных волокон) занимают все большую долю в машиностроении, преимущественно в таких критичных к прочности отраслях как авиастроение, поэтому применение комбинированного метода исследования процессов деформации и разрушения является актуальной задачей. Например, развитие таких способов НК и исследование процессов происходящих при нагружении материалов дает возможность создания приборов встроенного контроля состояния высоконагруженных деталей.

Список литературы

1. А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, А.Б. Тихонравов и др., Использование метода акустической эмиссии и тензометрии при проверке остаточной прочности самолета. // Дефектоскопия – 2008 – №2 – с.28-35

2. Клюшниченко А.Б., Панин С.В. Старцев О.В., Исследование деформации и разрушения на мезо- и макромасштабном уровнях армированных пластиков при статическом и циклическом растяжении. // Физическая мезомеханика – 2002 – Том 5 №5 – с. 101-116.

3. С.В. Панин, А.В. Бяков, В.В. Гренке и др., Многомасштабное исследование стадийности локализованной пластической деформации при растяжении образцов сплава Д16АТ с надрезами акустико-эмиссионным и оптико-телевизионным методами. // Физическая мезомеханика – 2009 – Том 12, №6 – с. 63-72.

4. С.В. Панин, О.В. Башков, Н.А. Семашко и др., Комбинированное исследование особенностей деформации плоских образцов с надрезом на микро- и мезоуровнях методами акустической эмиссии и построения карт деформации поверхности.// Физическая мезомеханика – 2004 – Том 7, Спец Выпуск Ч. 2 – с. 303-306.

S.V. Panin, A.V. Biakov, M.S. Kuzovlev, and oth., Testing of automatic system for registration, processing and analysis of acoustic emission data by model signals.// Proceedings IFOST'2009, 21-23 October, 2009, Ho Chi Ming City, Vietnam, Vol.3, p. 202-20

ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПОЛИСОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИАДЫ ЖЕЛЕЗА

Вайсбеккер М.С.
Научный руководитель: Егорова Л.А., к.х.н., доцент
Томский государственный университет, 634050 Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: vais-max@sibmail.com

Элементы триады железа поглощают электромагнитные волны в видимой области – это позволяет использовать их в качестве хромофоров, т.е. элементов, обуславливающих окраску.

При высаживании Fe, Co, Ni на поверхность из сульфидных, галогенидных и других солей расходы пигмента (т.е. вещества, обуславливающего окраску) и хромофора достаточно велики. Выделение элементов триады железа из высокомолекулярных и гетерополисоединений (ГПС) позволяет значительно сократить эти расходы. При таком нанесении обуславливающий окраску металл находится в центре объёмной “скорлупы”, и его распределение по поверхности можно считать атомарным. Такое нанесение крайне актуально при создании оптических материалов – данная технология позволяет использовать их в качестве протонных проводников.

Для расширения эксплуатационных свойств таких модифицированных поверхностей в перспективе можно высаживать ГПС редких и рассеянных элементов, которые поглощают свет не только в видимой, но и в ИК-области.

Ограниченность применения ГПС обуславлена высокой чувствительностью синтеза, несмотря на то, что формально суммарная реакция синтеза достаточно проста:

$Me^{2+} + X^{5+} + 12MO_4^{2-} + H^+ \rightarrow Me^{2+}[HX^{5+}M_{12}O_{40}]$,

где Me – солеобразующий металл (Co,Fe,Ni), X – гетероатом (P,Bi), M – изополиатом (W,Mo).

Яркий пример такой чувствительности к условиям синтеза: при изменении pH от 1 до 1,8 из раствора молибденовой кислоты можно выделить более 10 форм анионов [1] (табл. 1).

Таблица 1. Анионы изополимолибдатов, выделенные из растворов

кислотность	формула
1	$[Mo_2O_7]^{2-}$
1	$([Mo_2O_7]^{2-})_\infty$
1,14	$[Mo_7O_{24}]^{6-}$
1,2	$[Mo_{10}O_{34}]^{8-}$
1,25	$[Mo_8O_{26}(OH)_2]^{6-}$
1,25	$([Mo_8O_{27}]^{6-})_\infty$
1,33	$([Mo_3O_{10}]^{2-})_\infty$
1,4	$[Mo_5O_{17}H]^{3-}$
1,5	α-$[Mo_8O_{26}]^{4-}$
1,5	β-$[Mo_8O_{26}]^{4-}$
1,67	$[Mo_6O_{19}]^{2-}$
1,78	$[Mo_{36}O_{112}(H_2O)_{16}]^{8-}$
1,8	$([Mo_5O_{16}H(H_2O)]^-)_\infty$

Синтез чувствителен и к концентрации реагентов: для получения наиболее геометрически заполненной и интересной структуры, структуры Кеггина, при образовании фосформолибденовой кислоты (ФМК) молярное отношение молибдат-иона к гидрофосфату аммония должно составлять 12 : 1. Однако следует учитывать совокупность отношения концентраций [P]: [Mo] и кислотности. Например, как утверждается в статье Шаховой З.Ф. и Дороховой Е.Н. [2], при аналитических условиях образования ФМК (200-кратный избыток молибдат-иона) оптимальная кислотность pH=0,7, однако, при отношении [P]: [Mo] меньшем, чем 1 : 20, оптимальная кислотность резко меняется и составляет pH=2.

С учётом выше изложенного нами была предложена следующая методика синтеза гетерополисолей:

1. Приготовить концентрированные растворы молибдата (вольфрамата), гетероиона и раствор соли металла (Fe, Co, Ni) .

Приготовление концентрированных растворов может осуществляться двумя путями:

- приготовлением водного раствора и его доведение до оптимального значения кислотности
- непосредственно приготовление солянокислого раствора (однако в этом случае нельзя допускать значение pH меньше 1, иначе выпадет оксид Mo или W)

При этом необходимо учитывать, что при растворении некоторые соединения заметно изменяют кислотность (например, при растворении молибдата натрия в соляной кислоте с pH=1в растворе через некоторое время устанавливается нейтральная среда).

2.Соединить приготовленные растворы молибдата (вольфрамата) и гетероиона, доведя, если это необходимо, значение кислотности до оптимального. Дать им постоять, не мешая образованию объёмного аниона и установлению равновесия.

Через некоторое время добавить раствор соли нужного металла.

Смешивать сухие соли молибдата (вольфрамата) и гетероиона, затем растворяя их, не всегда можно: например, при получении ФМК из молибдат-иона и гидрофосфата аммония при такой последовательности синтеза получается малорастворимая комплексная соль аммония, а не целевое соединение.

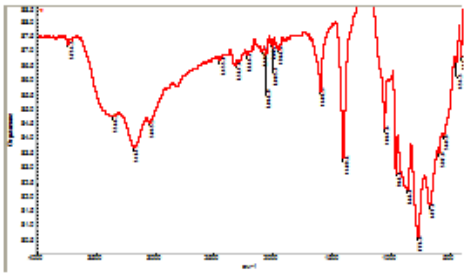


Рис. 1. ИК- спектр молибдофосфата Co(II).

3.Упарить растворы или выдержать в эксикаторе при комнатной температуре до полного испарения растворителя. На этом этапе целесообразно делать эфирную вытяжку ГПС из раствора, поскольку, во-первых, эфир быстро улетучивается, во-вторых, целевое соединение содержит минимальное количество примесей.

Полученные данным образом гетерополисоли хорошо кристаллизованы, окрашены. На снятых ИК-спектрах в области колебаний 3500-3000 $см^{-1}$ (частота О — Н связи) появляются «плечи» (рис. 1), обусловленные нахождением в образце разных форм воды (структурной и кристаллизационной).

Дифференциальный термический анализ дает возможность рассмотреть разложение соединения при нагревании поэтапно. Например, снятые дериватограммы (см. приложение 3) позволяют выделить следующие стадии: в интервале температур порядка 50-450$С^0$ наблюдается потеря массы, связанная с удалением кристаллизационной воды [13]. При дальнейшем повышении температуры удаляется структурная вода. Начиная с температуры 650 $С^0$ (для вольфрамофосфата железа), 740 $С^0$ (для вольфрамовисмутата) и 790 $С^0$ (для молибдофосфата)

наблюдается разложение ГПС. При 805 $С^0$ и 840 $С^0$ идут эндоэффекты, связанные с плавлением MoO_3 и Bi_2O_3 соответственно. Значимость такого выделения этапов обусловлена необходимостью возможности останавливать разложение соединения на запланированной стадии.

Окраска полученных ГПС-пигментов меняется в широком интервале, определяется металлом, образующим соль: оттенок соединений железа меняется от грязно-жёлтого до коричневого, солей кобальта – от розового до сиреневого, ГПС никеля имеют зелёный или зеленоватый тон. При хранении образцы темнеют, приобретают сине-зелёный оттенок. Это обусловлено изменением степени окисления молибдена и вольфрама при образовании из ГПС молибденовых и вольфрамовых синей.

В ранее проведённых на нашей кафедре работах [3, 4] было показано, что ГПС обладают термохромными свойствами, которые наиболее ярко выражены у солей кобальта. В зависимости от температуры, до которой доводится ГПС, различают обратимую и необратимую термохромность.

Важность пигментов на основе ГПС обусловлена не только возможностью их атомарного нанесения, но и способностьюдиффундировть в структуру керамики, полимеров. Высокомолекулярные соединения, окрашенные таким образом, не “выцветают”, напротив, действие света способствует “закреплению” тона.

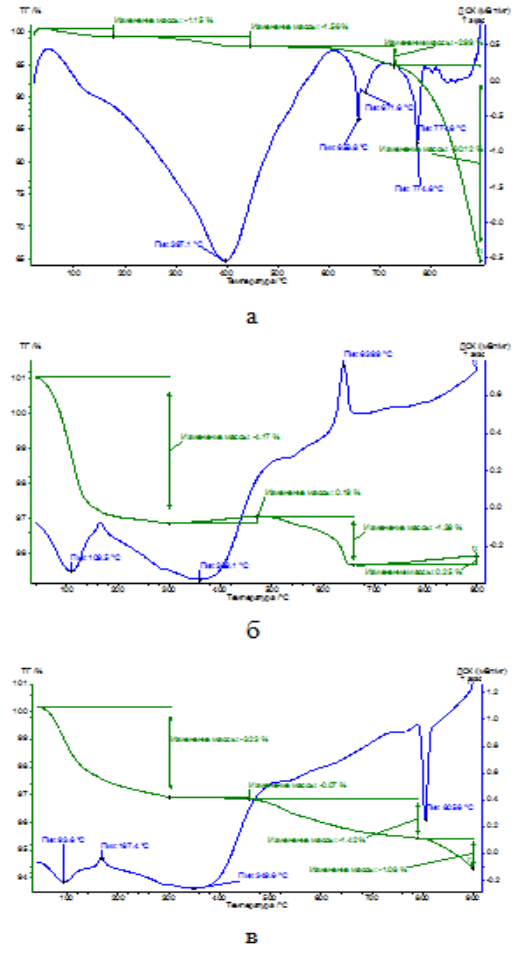


Рис. 2. Дериватограммы вольфрамовисмутата кобальта (II) (а), вольфрамофосфата железа (II) (б) и молибдофосфата железа (II) (в).

Литература

1. Поп М.С Гетерополи- и изополиоксометаллаты / Под ред. Э.Ю Юрченко. Новосибирск: Наука,1990. 232с.

2. Шахова З.Ф, Дорохова Е.Н. // Журнал неорганической химии. 1965. Т. 10. № 9. С. 2960-2063.

3. Радищевская Н.И., Егорова Л.А., Чернов Е.Б. Полуфункциональные химические материалы и технологии: Сборник статей / Под ред. Ю.Г Слижова. Томск: Изд-во ТГУ, 2000. С.13-14.

4. Радищевская Н.И., Егорова Л.А Полуфункциональные химические материалы и технологии: Сборник статей / Под ред. Ю.Г Слижова. Томск: Изд-во ТГУ, 2001. С. 6-8.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЛИТОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ОЛОВЯННОЙ БРОНЗЫ

Веригин С.В., Стрелкова И.Л., Егоров Ю.П.
Научный руководитель: Стрелкова И.Л., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, e-mail: strelkova@tpu.ru

Введение

Бронза является материалом широкого и разнообразного применения. Литейные оловянные бронзы обладают высокими механическими и антифрикционными свойствами, хорошей коррозионной стойкостью и обрабатываемостью резанием. С целью удешевления и улучшения свойств их легируют свинцом, цинком, титаном, никелем и др., которые растворяются в меди и не оказывают заметного влияния на структуру, но благоприятно влияют на свойства бронзы: повышают жидкотекучесть, облегчают сварку и пайку, улучшают прочностные свойства. Литейные бронзы применяют для изготовления поршневых колец, сальниковых уплотнений, вкладышей подшипников скольжения, втулок и других деталей. Для обеспечения гарантированного срока службы вращающихся или поворачивающихся деталей конструкций требуются знания о формировании структуры и применения оптимальных режимов упрочняющей термической обработки для улучшения требуемых функциональных свойств материала: надежности в течение установленного срока эксплуатации, долговечности работы, определяющейся износостойкостью.

Целью данной работы является исследование влияния режимов упрочняющей термической обработки на структуру и механические свойства литой многокомпонентной бронзы.

Материал и методика исследований

Материалом для исследований является литейная многокомпонентная бронза БрО10С13Ц2Н2 следующего химического состава: Sn – 10%, Pb – 13%, Zn – 2%, Ni – 2%, Cu – остальное. Для механических испытаний изготавливались стандартные образцы, которые вырезали из опытно-промышленных отливок диаметром в виде корец d = 89 мм, толщиной h = 10 мм, получаемых центробежным литьем в кокиль. Образцы подвергали нагреву в течение 3 часов в электрической печи и закалке в воду от температуры 760°С. Старение проводили при температурах 370°С и 315°С с разным временем выдержки в печи с охлаждением на воздухе.

Измерения твердости выполняли на приборе Бринелля с нагрузкой P = 250 кг. Микроструктурный анализ проводили с помощью оптической металлографии на микроскопе высшего класса Observer A-lm.

Результаты исследований

В исходном состоянии микроструктура литой многокомпонентной оловянной бронзы состоит из дендритных зерен α твердого раствора легирующих элементов в меди с ГЦК-решеткой и эвтэктоида (α + $Cu_{31}Sn_8$), просматривающихся в виде извилистых светлых полей с точечными включениями (рис. 1). Также просматриваются темные включения округлой формы свинца Pb, расположенные практически равномерно по всему объему материала. Твердость литой бронзы НВ составляет 879 МПа.

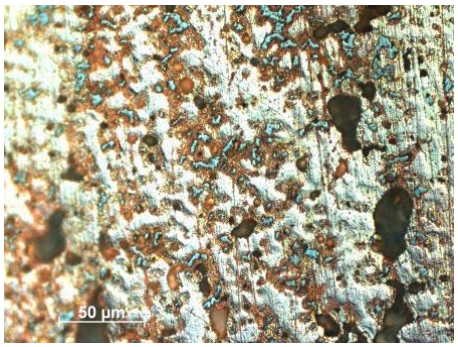


Рис. 1. Структура литой бронзы в исходном состоянии (а) и после закалки (б)

Нагрев бронзы под закалку приводит к растворению эвтектоида и удалению дендритов. В результате закалки бронза принимает типичное однофазное строение из крупных зерен неправильной формы. Однако количество включений свинца увеличилось в результате нагрева, который привел к диффундированию его на поверхность. Это приводит к снижению твердости сплава бронзы НВ в 1,5 раза по сравнению с исходным состоянием и составляет 612 МПа.

Для изменения структуры и, следовательно, механических свойств было выполнено исследование влияния температуры старения и времени выдержки на твердость образцов исследуемой бронзы. Результаты измерений приведены в таблице.

Таблица. Влияние времени выдержки на твердость бронзы

Время, ч.	2	3	4	5
$НВ_{370°С}$, МПа	642	583	642	674
$НВ_{315°С}$, МПа	612	674	748	788

Видно, что изменение твердости для образцов, подвергнутых старению от температуры 370°С, носит немонотонный характер и сростом времени выдержки до 3-х часов значение твердости уменьшилось. Такое поведение можно объяснить процессом растворения оставшегося после закалки эвтектоида, либо неожиданным

коагулированием выделившихся дисперсионных частиц. Изменение значений твердости для образцов, подвергнутых старению от температуры 315°С, носит плавный монотонный характер и они значительно выше, что можно связать с механизмом дисперсионного упрочнения в результате более меньшей температуры старения.

Для подтверждения данных предположений был проведен анализ изменения структуры закаленной бронзы в зависимости от температуры старения и времени выдержки. Полученные результаты сведены в таблицу и приведены на рис. 2.

Из анализа структур следует, старение образцов при 370°С привело к дисперсионному выделению частиц γ-фазы ($Cu_{31}Sn_8$) и небольшого количества специальных фаз. Причем, чем больше время выдержки, тем больше образуется упрочняющих частиц различного размера. Также замечено, что при выдержке до 4-х часов по границам зерен происходит увеличение количества включений свинца Pb, что и привело к незначительному падению твердости бронзы в этом временном интервале выдержки при ее старении.

Старение бронзы при 315°С приводит к выделению многих специальных фаз, которые отчетливо видны по цвету после травления образцов. Отличительной особенностью структуры является их образование не во всем объеме материала, а по границам зерен с постепенным возникновением внутри зерен с течением времени выдержки при заданной температуре. А наличие эвтэктоида ($\alpha + Cu_{31}Sn_8$) в виде отдельно расположенных включений голубого цвета на металлографической картине, по-видимому, и приводит к увеличению твердости бронзы, относительно образцов, подвергнутых старению от t = 370°С.

Заключение

Металлографический анализ структуры многокомпонентной оловянной бронзы и изменение твердости показали преимущество применение термической упрочняющей обработки для повышения механических свойств бронзы. Исследования в данном направлении ведутся настоящее время.

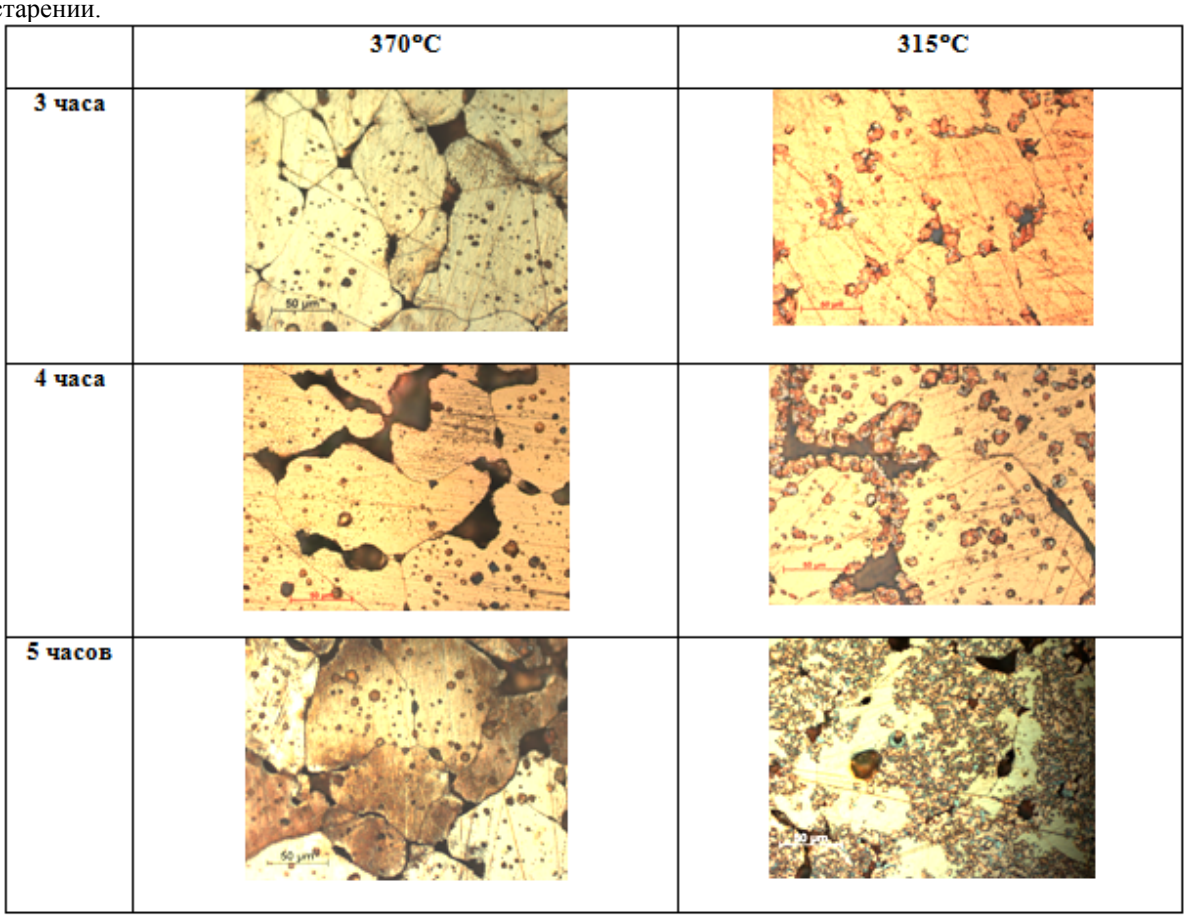


Рис. 2. Структура образцов многокомпонентной бронзы после старения от температур 370°С и 315°С и разного времени выдержки

ПОЛУЧЕНИЕ СФЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО ВОЛЛАСТОНИТА

Ветрова В. Е.
Научный руководитель: Седельникова М. Б., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина - 30
E-mail: smb@tpu.ru

Перспективным направлением исследований в настоящее время является изучение возможности получения керамических пигментов с использованием природного минерального сырья. Известно о синтезе керамических пигментов с использованием природных минералов диопсида, тремолита [1], волластонита [2], цеолита [3], каолинита [4].

Используя структуры природных минералов, как базовые, можно синтезировать керамические пигменты с производными кристаллическими структурами. Так, на основе структуры волластонита получены керамические пигменты со структурами диопсида, анортита [5], с использованием природного талька получены пигменты со структурами форстерита, диопсида [6, 7].

Целью представленных исследований было получение керамических пигментов со структурой сфена при использовании природного волластонита.

Кристаллическая структура сфена относится к островным силикатам, кристаллическая решетка состоит из изолированных тетраэдров (рис. 1).

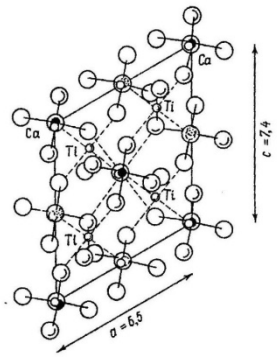


Рис. 1.Структура сфена

В структуре островных силикатов возможны широкие изоморфные замещения отдельных ионов на ионы переходных металлов и образование окрашенных твёрдых растворов Керамические пигменты со структурой сфена отличаются яркой окраской [8], их получают методом высокотемпературного синтеза из химически-чистых материалов. Данная технология требует больших затрат. Использование природного волластонита позволяет значительно снизить температуру синтеза пигментов, уменьшить расходы на их производство.

Для получения пигментов использовали волластонит Слюдянского месторождения. Волластонит содержит (в мас.%): SiO_2 51.90, CaO 46.60, Fe_2O_3 0.06, Al_2O_3 0.11, MgO 1.33. По химическому составу волластонит этого месторождения является уникальным, не имеющим аналогов в мире. Природный волластонит подвергали тонкому измельчению до остатка на сите №0063 не более 2%. Синтез сфена осуществляли по реакции:

$CaO{\cdot}SiO_2 + TiO_2 \rightarrow CaO{\cdot}TiO_2{\cdot}SiO_2$ /1/

Пигменты получали путем введения солей хромофоров в смесь волластонита и оксида титана по реакции:

$CaO{\cdot}SiO_2+(1-x)TiO_2+ xMeO \rightarrow$

$CaO{\cdot}TiO_{2(1-x)}\ MeO_x{\cdot}SiO_2$ /5/

где x = 0.1, 0.5, 0.9 моль

В качестве хромофоров использовались соли переходных металлов железа, кобальта, никеля, хрома. Концентрация хромофоров в пересчете на оксид изменялась от 3.8 до 53.7 мас.%.

Высушенные смеси обжигали при температуре 1100 – 1200 ºС. В процессе обжига происходит восстановление кристаллической структуры волластонита, синтез новой кристаллической структуры, образование цветонесущих фаз.

Никельсодержащие пигменты, имеют ярко-желтую и зеленовато-желтую окраску, кобальтсодержащие пигменты окрашены в голубовато-зеленые, темно-оливковые и темно-зеленые тона, пигменты, содержащие хром имеют коричневато-зелёный цвет, а железосодержащие пигменты имеют красно-коричневую окраску.

Пигменты исследовали с помощью дифрактометрического анализа, который показал, что в контрольной пробе (без хромофоров), синтезированной при температуре 1200ºС доминирующей является структура сфена (d= 0.497, 0.326, 0.261 нм), также присутствуют несколько пиков, характерных для рутила (d= 0.326, 0.249, 0.230 нм). Рентгенограммы образцов с добавлением хромофоров показывают, что интенсивность дифракционных пиков понижается, доминирующим является волластонитовый пик, так же присутствуют

кристаллические фазы сфена и рутила. При концентрации Cr_2O_3 7,48 мас.% оксид выделяется в свободном виде (d=0.203, 0.181, 0.167 нм).

Можно сделать вывод, что реакции синтеза пигментов со структурой сфена целесообразно проводить при добавлении минерализатора для повышения выхода основного продукта.

Полученные пигменты опробовали в качестве надглазурных красок.

Исследования показали, что получение керамических пигментов с использованием волластонита перспективно и экономически целесообразно. Использование природного минерала снижает затраты на производство керамических пигментов. Благодаря наличию в составе волластонита оксидов кремния и кальция, при дополнительной подшихтовке можно получать керамические пигменты с различными производными кристаллическими структурами.

Использование минерализаторов при получении сфеновых керамических пигментов позволит повысить выход основных продуктов реакций и даст дополнительные возможности для расширения цветовой палитры пигментов.

Таблица 1. Состав сфеновых пигментов, полученных с использованием волластонита

№ пиг-мента	Содержание основных компонентов, мас.%					
	$CaSiO_3$	TiO_2	CoO	NiO	Cr_2O_3	Fe_2O_3
ХП3	59.18	40.82	-	-	-	-
ВС1	59.34	36.83	3.83	-	-	-
ВС 2	59.95	20.67	19.38	-	-	-
ВС 3	60.57	4.18	35.25	-	-	-
ВС 4	59.34	36.83	-	3.84	-	-
ВС 5	59.95	20.67	-	19.38	-	-
ВС 6	60.57	4.18		35.25	-	-
ВС 7	57.09	35.43	-	-	7.48	-
ВС 8	50.00	17.24	-	-	32.76	-
ВС 9	44.48	3.07	-	-	52.45	-
ВС 10	56.86	35.29	-	-	-	7,84
ВС 11	49.15	16.95	-	-	-	33.9
ВС 12	43.28	2.98	-	-	-	53.74

Список литературы:

1. Седельникова М.Б., Погребенков В.М. Керамические пигменты на основе природных минералов // Стекло и керамика. – 2002. - № 12. – С. 10 – 13.

2. Сиражиддинов Н.А., Акрамова Н.Н., Великанова Ф.И. и др. Керамические пигменты на основе силикатов цепочечных структур.// Стекло и керамика. – 1992. - №1.- с.26.

3. Погребенков В.М., Седельникова М.Б., Верещагин В.И. Цеолиты – сырьё для керамических пигментов.// Стекло и керамика. – 1998. - №2. – с.25-26.

4. Пищ И.В., Ротман Т.И., Романенко З.А. Керамические пигменты на основе каолина.// Стекло и керамика. – 1986. - №7. – с.25-26.

5. Погребенков В.М., Седельникова М.Б., В.И.Верещагин. Керамические пигменты со структурой диопсида и анортита на основе волластонита.// Стекло и керамика. - 1999. - №2. – с.18 - 20.

6. Седельникова М.Б., Погребенков В.М., Верещагин В.И. Керамические пигменты на основе талька // Стекло и керамика. – 1997. - № 11. – С. 17 – 20.

7. Седельникова М.Б., Погребенков В.М., Верещагин В.И. Получение керамических пигментов с диопсидовой структурой из талька // Стекло и керамика. – 1998. – № 5. – С. 16 – 18.

8. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. Керамические пигменты. 2-е изд. Перераб. И доп. – М: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» 2009. – 224 с.

АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОХРОМОВОГО ФЕРРОСПЛАВА

Витушкина О.Г., Чухломина Л.Н.
Научный руководитель: Чухломина Л.Н.
Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН
E-mail: olchik4@yandex.ru

Введение азота в сталь приводит к повышению прочности, износостойкости и стойкости против коррозионного растрескивания.

В настоящее время для легирования сталей азотом используют различные азотированные сплавы железа с хромом, марганцем, титаном, ванадием, кремнием и другими элементами, а также азотированные комплексные сплавы элементов, обладающие большим сродством к азоту.

Процесс насыщения сплавов на основе железа азотом требует использования специальных технологических процессов, характеризующихся длительностью и энергоемкостью. Это является дополнительным фактором повышения стоимости производства стали.

Одним из передовых методов получения азотированных ферросплавов является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС метод имеет ряд преимуществ – низкая энергоемкость и простота аппаратурного оформления. Метод СВС основан на способности высокоэкзотермической реакции к протеканию в режиме самораспространения и, соответственно, к выделению энергии в процессе реакции.

В Отделе структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН разработана технология получения азотированных ферросплавов методом СВС (азотированные феррохром, ферросилиций и др.).

В металлургической промышленности при производстве инструментальных, конструкционных, коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных сталей и чугунов используются феррохром и ферротитан. Введение хрома, титана позволяет улучшить ряд свойств стальных и чугунных изделий (износостойкость, твердость, прочность и др.).

Актуальным является применение титанохромового ферросплава, который может служить высокоэффективным легирующим сплавом, поскольку обладает одновременно модифицирующим и раскисляющим эффектом (в сплаве присутствует титан, хром и небольшое количество кремния и алюминия).

Титанохромовый ферросплав может использоваться в строительстве, машиностроении, инструментальной, химической и горнодобывающей промышленности для повышения механических свойств сталей и чугунов.

Титанохромовый ферросплав (ФТХ) различных марок (ФТХ5 – ФТХ35) выпускается на предприятии ОАО «Уралредмет». Следует отметить, что титанохромовый ферросплав является принципиально новым сплавом, который не производится на других предприятиях.

В настоящей работе представлены результаты по азотированию титанохромового ферросплава методом СВС. Данная работа проводится в рамках сотрудничества Отдела структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН с ОАО «Уралредмет».

В качестве исходного сырья использовался сплав марки ФТХ 25. Содержание основных элементов мас. %*: Cr – 23,4; Ti – 20,2; Fe – 42,2; Al – 6,2; Si – 6,4.

Согласно результатам рентгенофазового анализа (РФА) полидисперсный титанохромовый ферросплав состоит из Cr, (Fe, Cr), Fe_2Ti, Cr_2Ti.

Перед проведением СВС- азотирования исходный сплав подвергался сушке в вакуумном шкафу для удаления влаги и летучих примесей. Далее порошок сплава засыпался в цилиндрические трубки из металлической сетки. Образцы сжигали в установке постоянного давления в атмосфере азота. Воспламенение образцов осуществлялось от порошкообразной поджигающей смеси с помощью вольфрамовой спирали через которую пропускали электрический ток.

Общее содержание азота в продуктах горения оценивали по привесу. Привес определяли путем взвешивания образцов до и после горения с точностью до ± 0,005 г. Более точное содержание азота определяли химическим анализом – методом Кьельдаля.

Для изучения влияния размера частиц на степень азотирования исходный сплав был разделен на три фракции: менее 100 мкм, менее 80 мкм и менее 50 мкм.

Согласно результатам РФА сплав с размером частиц менее 50 и менее 80 мкм представлен Cr, (Fe, Cr), Fe_2Ti и Cr_2Ti. В сплаве дисперсностью более 50 и более 80 мкм присутствуют Cr, (Fe, Cr), Fe_2Ti, но при этом отсутствует фаза Cr_2Ti. При этом следует отметить, что интенсивность рефлексов фазы Cr_2Ti с уменьшением размера частиц увеличивается (рисунок 1).

Исследования показали, что размер частиц исходного сплава оказывает существенное влияние на процесс горения. Установлено, что сплав с размером частиц менее 100 мкм не горит. Вероятно, это связано с меньшим содержанием интерметаллической фазы Cr_2Ti в более крупных фракциях.

* Здесь и далее массовые проценты

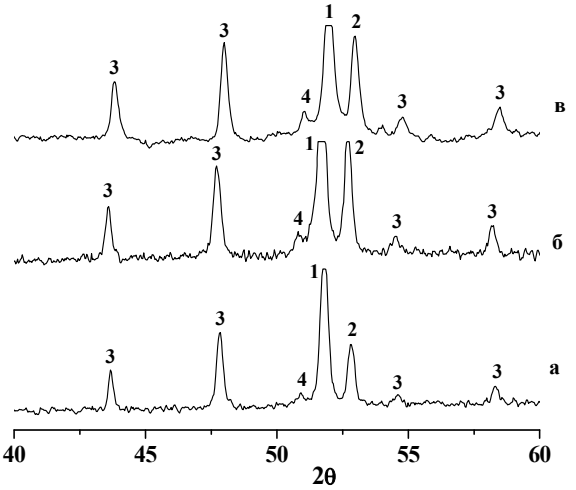


Рисунок 1 – Фрагменты рентгенограмм титанохромового ферросплава а – размер частиц менее 100 мкм; б – менее 80 мкм; в – менее 50 мкм (1 - Cr, 2 - (Fe,Cr), 3 - Fe_2Ti, 4 - Cr_2Ti)

Известно [1], что интерметаллическая фаза Cr_2Ti в зависимости от температуры существует в различных модификациях: низкотемпературная α-Cr_2Ti - при температуре менее 1220°С; среднетемпературная β- Cr_2Ti - в температурном диапазоне 1220 - 1275°С и высокотемпературная γ-Cr_2Ti, которая образуется при 1370°С и существует до 1275°С. С увеличением температуры более 1370°С упорядоченная фаза γ- Cr_2Ti претерпевает фазовое превращение в β- твердый раствор титана в хроме.

Из литературных данных известно, что фазовые переходы в твердом состоянии существенно ускоряют гетерогенную реакцию. Применительно к СВС впервые этот факт был установлен при горении сплава железо – ванадий [2], а затем подтвержден при горении сплавов титан-хром. Так авторами [3] было показано, что наибольшая скорость горения достигается при горении сплава, содержащего 66 % Cr, что соответствует области гомогенности соединения Cr_2Ti. Кроме того выявлено, что чем меньше содержание интерметаллида Cr_2Ti в сплаве, тем медленнее он горит.

Проведенные нами исследования по горению титанохромового ферросплава указывают на то, что горение сплава в основном осуществляется за счет фазы Cr_2Ti, которая присутствует только в мелкодисперсной фракции исходного сплава.

Обогащение тонких фракций происходит при измельчении сплава за счет того, что интерметаллическое соединение более хрупкое, по сравнению с Fe, Cr – матрицей.

С уменьшением размера частиц исходного сплава увеличивается поглощение азота образцом. Так, при горении сплава менее 50 мкм привес составляет 15,8 %, а менее 80 мкм – 14,7 %.

По внешнему виду сгоревшие образцы имеют неоднородную структуру. Они состоят из тонкого наружного слоя ярко рыжего цвета и внутренней части темно-серого цвета.

По результатам РФА наружный слой является многофазным и представлен TiN, Ti_4N_{3-x}, Ti_3N_{2-x}, FeTi (рисунок 2 а). Кроме того, в продуктах горения наружного слоя остаются непрореагировавшие компоненты исходного сплава Cr, (Fe, Cr), Fe_2Ti, Cr_2Ti. Содержание азота по данным химического анализа в наружном слое составляет при дисперсности менее 80 мкм – 3,36 %, а менее 50 мкм – 2,89 %.

Продуктами горения основной части образца темно-серого цвета является Ti_2N, TiN (очень мало!) (Fe, Cr), FeTi, (рисунок 2 б). В основной части образца содержание азота по данным химического анализа составляет 11,8 %.

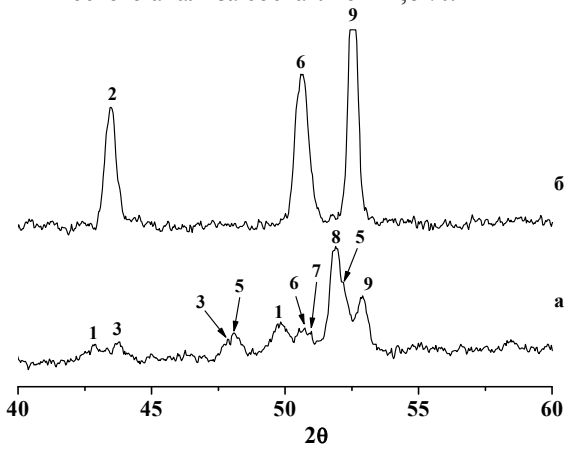


Рисунок 2 – Фрагменты рентгенограмм продуктов горения титанохромового ферросплава с размером частиц менее 80 мкм а – наружный слой; б – основная часть (1 – TiN, 2 – Ti_2N, 3 – Ti_3N_{2-x}, 4 – Ti_4N_{3-x}, 5 – Fe_2Ti, 6 – FeTi, 7 – Cr_2Ti, 8 – Cr, 9 – (Fe, Cr))

Таким образом, результаты проведенной работы показывают возможность получения азотированного титанохромового сплава методом СВС для использования в качестве лигатуры при выплавке стали.

Список литературы

1. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т.2. / под. ред. Лякишева Н.П. М.: Машиностроение.1997. 991с.

2. Максимов Ю.М., Мержанов А.Г., Расколенко Л.Г., Зиатдинов М.Х., Лепакова О.К. Эффект фазового перехода σ→α при горении феррованадия в азоте // Доклады АН СССР, серия физическая химия. - 1982. Т.264, №3. С. 629-632.

3. Максимов Ю.М., Браверманн Б.Ш., Расколенко Л.Г. Влияние фазового перехода λ → β на горение титанохромовых сплавов в азоте // Физика горения и взрыва. – 1984. Т.20, №4. С. 28-31.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-03-00604-а)

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 12Х1МФ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ИОННЫМ ПУЧКОМ Zr^+

Власов И.В., Панин С.В., Сергеев В.П.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: good0@sibmail.com

1. Введение

Подавляющее большинство изделий и деталей машин при эксплуатации испытывает воздействие переменных нагрузок, что может являться причиной их усталостного разрушения. Проблема усталостного разрушения сохраняет актуальность и содержит ряд нерешенных научных и практических задач [1].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния наноструктурирования поверхности стали 12Х1МФ ионами Zr^+ на повышение усталостной прочности.

2. Материал и методика эксперимента

Сталь 12Х1МФ является теплостойкой и предназначена для изготовления деталей, работающих при температурах 540-580°С, в частности труб паропроводов. Из фрагмента стальной трубы были вырезаны плоские образцы размером 70×50×10 мм. В качестве концентратора напряжения изготавливали отверстие диаметром 2 мм, расположенное на расстоянии 50 мм от края образца. Испытания проводили по двум схемам:

1. Циклический знакопеременный консольный изгиб (размах 6 мм, плечо 51 мм, частота 9.5 Гц).
2. Циклическое растяжение: в режиме многоцикловой усталости (МНЦУ) максимальная нагрузка составляла 2,5 кН, минимальная - 0,9 кН; в режиме малоцикловой усталости (МЦУ) максимальная нагрузка равнялась 2,7 кН, минимальная - 0,9 кН.

Частота приложения циклической нагрузки составляла f=15 Гц. Эксперименты проводили на испытательной машине Biss UTM 150; при этом после достижения определённого числа циклов поверхность образца фотографировали с помощью камеры Canon D550.

Ионное наноструктурирование поверхностного слоя образцов из стали 12Х1МФ проводили с помощью сильноточного вакуумно-дугового источника металлических ионов на установке УВН-0,2 «Квант». Процесс обработки образцов выполняли при достижении вакуума в камере не менее $3\cdot10^{-3}$ Па потоком ионов циркония с энергией 0,9 - 2,8 кэВ и плотностью ионного тока 0,1 – 0,3 мА/см^2. Длительность обработки была от 10 мин. Подложкодержатель с образцами, закрепленный на предметном столе, включается непосредственно в схему ускорения ионов вместо обычной экстракции выделенного лучевого пучка ионов из имплантера. В этом случае ускорение ионов происходит в динамическом самоорганизующемся пограничном слое, представляющем собой двойной электрический слой, который формируется вокруг поверхности образца, находящегося под отрицательным потенциалом.

3. Результаты эксперимента

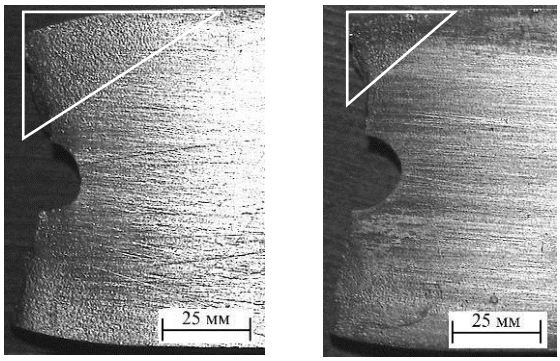
При испытании на растяжение образцов в исходном состоянии получено, что предел прочности составляет $\sigma_в$=482 МПа, предел текучести $\sigma_т$=361 МПа, относительное удлинение δ=21 %. Средний размер зерна состовляет 30-50 мкм. Проведены испытания на растяжение образцов с концентратором напряжений (отверстием). Показано, что относительное удлинение образцов в исходном состоянии уменьшилось в ~2 раза, при этом значения предела текучести и предела прочности сохранились на прежнем уровне. После наноструктурирования снизилось относительное удлинение на $\Delta\varepsilon$=2,5 %, а предел прочности повысился на 150 МПа.

С помощью наноидентора Nanotest (Micromaterials ltd., UK) была измерена нанотвёрдость в исходных и наноструктурированных образцах. Выявлено, что после наноструктурирования нанотвёрдость повышается в 1,5 раза; одновременно в 2 раза снизился модуль упругости.

Результаты испытаний на циклическое растяжение показали, что в режиме МНЦУ количество циклов до разрушения образцов с наноструктурированием поверхностного слоя повысилось в 2 раза, а в режиме МЦУ - в 3 раза. Одновременно увеличилось время до появления трещины в ~2-3 раза.

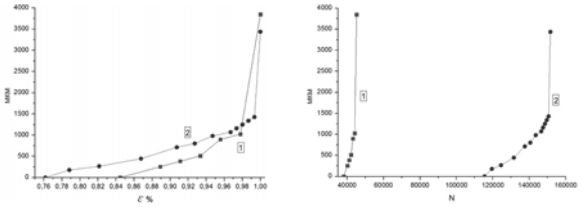
Анализ данных оптической микроскопии показал, что деформационный рельеф на поверхности образцов без обработки выражен существенно сильнее по сравнению с наноструктурированными образцами. Это также подтверждается данными измерения относительного сужения в шейке, составившего для образца без обработки ψ=18% и ψ=13% для наноструктурированного (рис. 1).

По данным оптической микроскопии были построены график зависимости длины трещины от нормированного количества циклов и график и длины трещины от абсолютного количества циклов (рис. 2). Видно, что основным отличием является момент зарождения усталостной трещины, и соответственно, процессы этому предшествующие.



а) б)

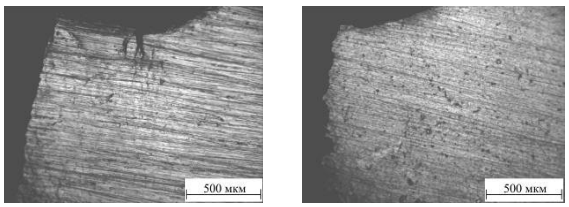
Рис. 1. Фотографии поверхности циклически деформированных образцов: а) без обработки; б) с наноструктурированным поверхностным слоем



а) б)

Рис. 2. Графики зависимости длины трещины от а) нормированного количества циклов б) абсолютного количества циклов 1 – исходный; 2 - после обработки

В области распространения усталостной трещины на поверхности образцов в исходном состоянии заметны складки и трещины, в то время как у образца после обработки поверхность остаётся практически не деформированной (рис. 3).

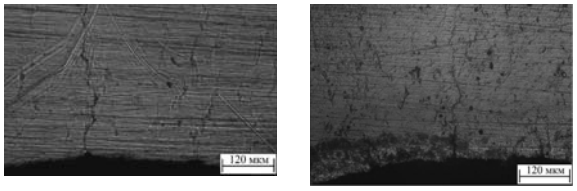


а) б)

Рис. 3 Фотографии поверхности разрушенных образцов а) исходное состояние б) после обработки

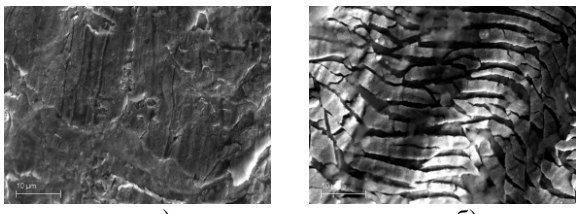
При циклическом знакопеременном изгибе в исходном образце формировался выраженный грубый деформационный рельеф в форме складок, предшествующий появлению трещин. В наноструктурированном образце поверхность является более гладкой длина складок меньше, а их количество больше. Деформация в наноструктурированном образце более равномерно распределена по поверхности. (рис. 4).

Выявлен различный характер разрушения поверхности образцов. Поверхностный слой наноструктурированного образца хрупко растрескался, перераспределяя нагрузку и деформацию по поверхности (рис. 5).



а) б)

Рис. 4. Поверхность образцов при циклическом изгибе; а) исходное состояние б) после обработки



а) б)

Рис. 5. Микрофотографии разрушенных при циклическом растяжении образцов стали 12Х1МФ (РЭМ Carl Zeiss EVO 50) а) образец без обработки; б) наноструктурированный поверхностный слой

Выводы

После наноструктурирования цирконием твёрдость на поверхности повысилась в 1,5-2 раза; модуль Юнга снижается в 2 раза. При статическом растяжении предел прочности обработанных Zr образцов повысился на 30%, а усталостная прочность образцов возрастает в ~2-3 раза (на МНЦУ и МЦУ соответственно).

Выявлено различие в характере формирования деформационного рельефа на поверхности образцов, свидетельствующее о том, что развитие деформации и разрушение в образце с наноструктурированным слоем приницпиально отличается от такового без обработки. При невысоких деформациях это сопровождается формированием большего количества складок (по данным циклического изгиба), в то время как при высоких деформациях сопровождается растрескиванием наноструктурированного слоя (при циклическом растяжении).

Причина повышения усталостной прочности связанна, прежде всего, с задержкой возникновения магистральной трещины. После появления трещины образец без обработки и наноструктурированный образец разрушаются подобным образом.

Литература

1. Шанявский А.А. Безопасное усталостное разрушение элементов авиаконструкций: синергетика в инженерных приложениях. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 802 с.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСН2А

Газетдинова А.О., Стрелкова И.Л.
Научный руководитель: Панин В.Е., академик
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, пр. Академический, 2/1
E-mail: strelkova@tpu.ru

Введение

Одной из проблем современного машиностроения является повышение надежности и долговечности ответственных деталей из высокопрочных сталей, применяемых в космической, ракетной, авиационной технике, а также в ряде отраслей машиностроения. Работоспособность и надежность таких конструкций зависят от качества поверхности деталей, поскольку, отказ изделий происходит, как правило, вследствие повреждений усталостного характера.

Распространенным способом улучшения поверхности является упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием с введением в зону обработки энергии ультразвуковых колебаний. После такой обработки образовавшийся микрорельеф поверхности снижает концентрацию напряжений в местах надрезов и уменьшает стадию зарождения трещин в общем цикле усталостного процесса, увеличивая в 2-3 раза ресурс работы детали. Однако, практически, не существует рекомендаций по применению такой обработки для формирования заданной величины упрочнения обработанных поверхностей применительно к конкретному металлическому сплаву.

Целью настоящей работы является исследование влияния поверхностного ультразвукового деформирования на структуру и механические свойства высокопрочной стали 30ХГСН2А.

Материал и методики исследований

Материалом для исследования является мартенситная высокопрочная сталь марки 30ХГСН2А. Она применяется в авиастроении для изготовления деталей конструкций ответственного назначения, когда требуются высокие значения прочности, жесткости, усталостной долговечности.

Для исходного материала проводили закалку от t = 890°С в масло и низкий отпуск при t = 230°С с охлаждением на воздухе. Затем электроискровым способом вырезали образцы стандартных размеров в форме двойной лопатки – для определения механических свойств, и параллелепипеда с U-образным надрезом r = 2 мм – для испытаний на ударную вязкость.

Ультразвуковую финишную обработку (УФО) осуществляли с помощью комплекса оборудования ИЛ-4 [1] с контролируемой выходной мощностью ультразвукового генератора 630 Вт. Частота и амплитуда колебаний инструмента (r = 2 мм) составляли соответственно $27\times10^3 с^{-1}$ и 20 мкм, статическая сила прижима инструмента к поверхности образцов – 200 Н.

Структурно-фазовое состояние стали исследовали с помощью методов оптической металлографии (Axiovert 25CA) и растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss Evo 50 XVP. Электронно-микроскопические исследования структуры проводили на просвечивающем электронном микроскопе Technai G2 FEI.

Испытания на ударную вязкость проводили на маятниковом копре JB 300 со скоростью движения маятника в момент удара 5,5 м/с. Механические характеристики определяли при статическом растяжении со скоростью 0,3 мм/мин на испытательной машине «Instron-5582».

Микротвердость измеряли на полуавтоматическом приборе DURAMIN-5 с нагрузкой на пирамидку Виккерса P = 100 г и временем выдержки t = 12 сек.

Результаты исследования и их обсуждения

После термической обработки образцы стали имеют микроструктуру с размером зерен d ~ 7-10 мкм и структуру, представляющую собой реечный мартенсит с поперечным размером реки h_p = 50-60 нм, остаточный аустенит (до 5%), расположенный по границам мартенситных кристаллов в виде тонких прослоек толщиной 10-20 нм и небольшого количества карбидов цементитного типа размерами 0,4-1 мкм (рис.1а).

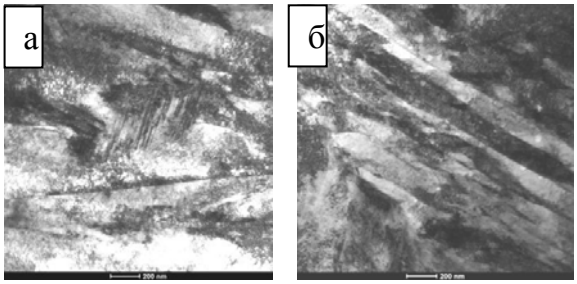


Рис.1. Микроструктура стали 30ХГСН2А: а - после термической обработки; б – после УФО

В результате УФО происходит изменение структурно-фазового состояния поверхностного слоя образцов стали. Выявлено, что в поверхностном слое толщиной до 5-7 мкм (рис. 1б) сохраняется структура пакетного мартенсита, но с образованием субзеренной структуры в результате фрагментации и дробления кристаллов мартенсита, с размером структурных элементов до d = 50-75 нм, характеризующейся более высокой концентрацией дефектов (поперечный размер реек при этом составляет h_p = 5-10 нм). Наличие этих

факторов приводи к улучшению механических свойств стали (табл.).

Таблица. Механические свойства стали 30ХГСН2А

Вид обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B, МПа	ε, %	Hv, ГПа	KCU, кДж/м^2
Закалка + отпуск	360	1670	8	4,1	590
ТО + УФО	300	1450	12	5,1	760

Установлено, что УФО образцов приводит к увеличению на 4% пластичности и в 1,5 раза ударной вязкости. Значения $\sigma_т$ и $\sigma_в$ изменяются незначительно, что свидетельствует о сохранении высокопрочного состояния металла. Увеличение пластичности, по-видимому, можно связать с разным характером развития пластического течения, связанным с образованием микротрещин в упрочненном поверхностном слое. В устье каждой такой трещины возникают симметричные двулепестковые зоны макродеформации, которые, взаимодействуя между собой, пластифицируют весь объем материала.

На рис. 2 представлены результаты измерения микротвердости на поперечных шлифах исследуемых образцов. Как и ожидалось, воздействие поверхностного ультразвукового деформирования приводит к повышению микротвердости поверхностного слоя Hv с 4 до 5,1 ГПа на глубину h = 10÷30 мкм.

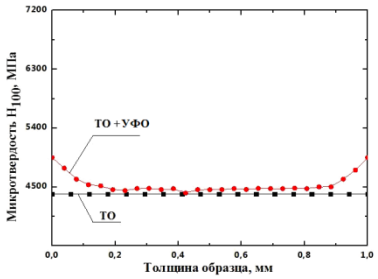


Рис. 2. Значения микротвердости, измеренные на поперечных шлифах

Очевидно, что такое различие значений микротвердости связано с особенностями микроструктурного состояния образовавшегося поверхностного слоя и необходимостью дополнительных исследований. Различие структурных и механических характеристик, как правило, должно определять особенности циклической прочности и долговечности исследуемых образцов стали.

Многолетний опыт применения этой стали в самолетостроении показал, что уровень ее надежности зависит от достаточных значений предела прочности и вязкости разрушения.

Фрактографический анализ поверхностей изломов показал, что в образцах формируется градиентная структура, состояние которой изменяется по мере удаления от поверхности. При этом реализуется внутризеренное ямочное разрушение с ямками различной величины (рис.3). В области, близкой к поверхности, ямки более мелкие и однородные (рис.3а), что свидетельствует о создании тонкого высокопрочного слоя, который является защитным и препятствует развитию пластической деформации в основной объем металла. В последнем наблюдается вязкое разрушение с глубокими ямками, выстроенными в виде протяженных гребней (рис. 3б). Они формируются при слиянии соседних вязких микротрещин и свидетельствуют о смешанном характере разрушения. Зона усталостного разрушения занимает большую площадь, чем область долома. Это является свидетельством того, что образец после зарождения трещины может работать еще довольно длительное время.

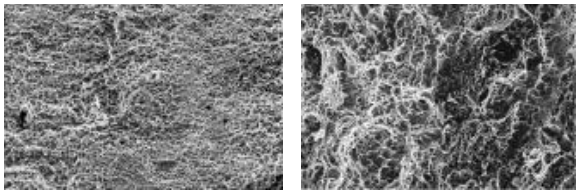


Рис.3. Фрактограммы изломов образца, обработанного УФО и испытанного на ударную вязкость

Заключение

Исследовано влияние поверхностного ультразвукового деформирования на структуру и механические свойства высокопрочной стали 30ХГСН2А.

Показано, что наиболее явные изменения микроструктуры, связанные с фрагментация мартенситных зерен до размера d = 50-70 нм, происходят в поверхностной области на глубине h = 5-7 мкм. При этом формируется градиентная структура приповерхностной области без явной границы раздела с основным объемом материала, что исключает опасность отслоения упрочненного слоя.

Установлено, что упрочнение тонкого поверхностного слоя приводит к увеличению в 1,5 раза пластичности и ударной вязкости образцов. Это дает основания полагать об эффективности применения этой методики для увеличения усталостной долговечности и прочности.

Литература

1. Панин В. Е., Каблов Е.Н., Плешанов В.С. и др. влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12// Физ. мезомех. – 2006. - Т. 9. - № 2. - С. 85-96.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ПЯТНЕ НАПЫЛЕНИЯ

Гладких И.А., Зенин Б.С
Научный руководитель: Зенин Б.С. доцент к.ф.-м.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634034, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: pineva@sibmail.com

В современном машиностроении широкое распространение получили технологии упрочнения поверхности с помощью нанесения покрытий.

Отличительной особенностью газотермических покрытий от других видов покрытий является процесс их формирования из отдельных дисперсных частиц, что и обеспечивает возможность варьирования свойств покрытий в широких пределах за счет целенаправленного управления химическим составом и структурой получаемого покрытия. Для реализации положительных качеств покрытия необходимо выполнить одно главное условие – обеспечить высокую адгезию.

Важную роль в формировании свойств покрытий и в первую очередь адгезии играют температурные условия процесса взаимодействия напыляемой частицы с подложкой. Например, они определяют такие важные параметры термического цикла на границе подложка - напыляемая частица, как контактная температура – $T_к$, время кристаллизации расплавленной частицы – t_0, в течение которого на границе частица-подложка сохраняется высокая температура.

Сложный характер температурных условий в пятне напыления, формируемого из отдельных частиц, затрудняет возможности контроля количественных значений $T_к$ и t_0, а следовательно, и уровень адгезии напыленного покрытия. Можно считать, что основными условиями, определяющими параметры термического цикла, являются температура и скорость напыляемой частицы в момент столкновения с подложкой.

Особенность нагрева частиц в пятне напыления определяется характером высокотемпературной газовой струи. На рис.1 показана схема распределения тепла по пятну напыления в случае плазменного напыления покрытия [1].

Из рисунка 1 видно, что температура плазменной струи в центре пятна и на периферии существенно отличаются по величине. Аналогичная картина имеет место и для распределения скоростей плазменной струи, и как следствие, и для температуры и скорости частиц по пятну напыления.

Экспериментальные данные представленные в работе [2] (рис.2) показывают, что характер

напыленная частица – подложка в разных точках пятна напыления для модельных материалов.

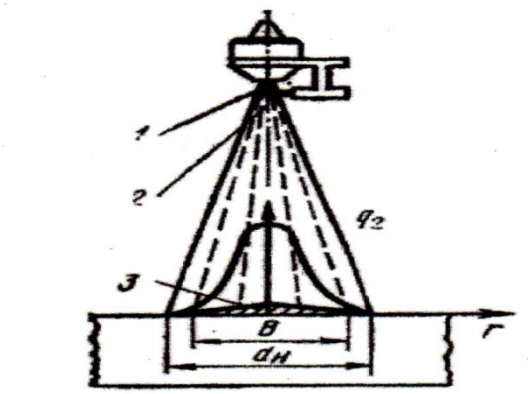


Рис.1. Схема ввода тепла напыляемыми частицами и плазменной струей в изделии и распределение удельного теплового потока q_2 по пятну нагрева диметром $d_н$. 1-плазменная струя; 2-поток частиц распыленного материала; 3-покрытие

температур и скоростей плазменной струи по радиусу в пятне напыления для различных условий напыления подобны и наилучшим образом аппроксимируются кривыми Гаусса.

Можно предполагать, что такая же закономерность радиального распределения скорости и температуры будет иметь место и для потока частиц, что подтверждается в работе [3] на примере материала ванадия.

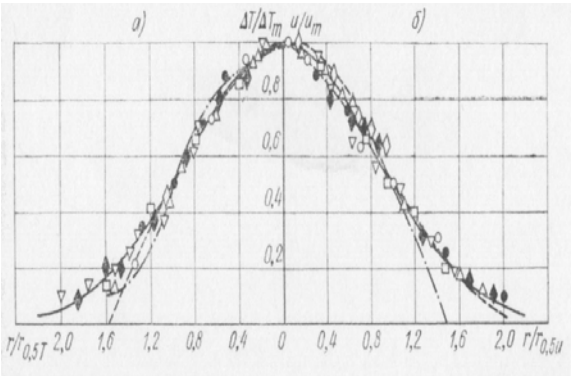


Рис.2. Профили относительных температуры (а) и скорости (б) плазменной струи на её основном участке

В данной работе предполагается разработать методику расчета тепловых условий формирования газотермического покрытия с учетом радиального распределения $T_ч$ и $V_ч$ и провести численный расчет параметров термического цикла в контакте

Расчеты проведены с помощью компьютерной программы CRISTALL. В качестве исследуемых

материалов были выбраны: Fe-подложка, W-напыляемый материал. Теплофизические свойства материалов приведены в таблице1.

Таблица1-Теплофизические свойства материалов

Материал	$T_{пл}$, К	p_0, кг/м^3	c, Дж/кг•К	λ, Вт/м•К	L, 10^3 Дж/кг	a, 10^{-3} м^2/с
Fe (подложка)	1810	7870	432,9	34	276	6,9
W(частица)	3695	17500	270	99	191	208

Результаты расчетов

Численные расчеты характеристик теплофизического взаимодействия напыляемой частицы при её взаимодействии с холодной подложкой проводились при следующих значениях технологических параметров, соответствующих центру пятна напыления с V_0 и на расстоянии r от центра, где скорость частиц составляет $0.5V_0$

а) V=100 м/с; T_0=300 K; D=100 мкм;

б) V=50 м/с; T_0=300 K; D=100 мкм;

D – диаметр напыляемых частиц, T_0-температура подложки.

Результаты расчета представлены в таблице 2.

Сравнительный анализ условий в различных точках пятна напыления можно провести по рисунку 3, из которого видно, что при удалении от центра пятна напыления если температура и скорость частицы уменьшаются, то температура в контакте между напыленной частицей и подложкой так же падает, но при этом время полной кристализации возрастает. В то же время известно, что чем выше параметры термического цикла, тем выше адгезия формируемого покрытия [1].

Таблица 2. Параметры термического цикла в контакте в заданных точках пятна напыления

W / Fe	Температура контакта, К	Время полной кристаллизации, 10^{-7} с
V=100м/с	2649	0.7
V=50м/с	1714	1.55

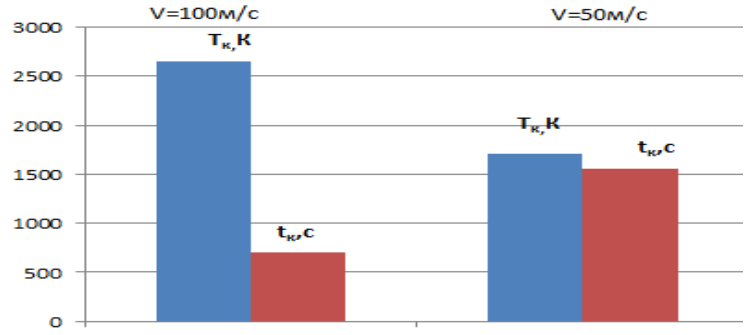


Рис.3. Влияние скорости на параметры термического цикла в пятне напыления

Выводы. Наши результаты показывают, что температурные условия на границе частица-подложка носит неоднозначный характер, что затрудняют проведение сравнительной колличественной оценки величины адгезии в разных точках пятна напыления. Такая неопределенность требует более глубокого изучения условия формирования газотермического покрытия в пятне напыления.

Литература

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование – М.: Металлургия, 1992г. – 432 с.

2. Донской А.В., Клубникин В.С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении – Л.: Машиностроение, Ленингр. отдние, 1979г. – 221 с.

Кудинов В.В., Пузанов А.А., Замбржицкий А.П. Оптика плазменных покрытий – М.: Наука, 1981г. – 187

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ И МЕТАЛЛОВ ТЕРМОЛИЗОМ ОКСАЛАТОВ Co, Ni, Cu

Голубчикова Ю.Ю., Пивоваров Д.А.
Научный руководитель: Ильин А.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: genchem@mail.ru

Синтез и исследование ультрадисперсных порошков (УДП) металлов занимают сегодня одно из ведущих мест в области научных разработок. Порошки применяют для создания подшипников скольжения, обладающих высокими механическими и антифрикционными свойствами, высокоэффективных катализаторов, создания металлокерамических изделий и т.д. Переход к наноразмерным структурам позволит улучшить свойства этих материалов, но потребует усовершенствования технологии по их получению. В настоящее время известно множество методов получения УДП металлов, однако, метод, основанный на термическом разложении солей органических кислот, имеет преимущества ввиду более высокой производительности и технологичности [1].

Цель данной работы заключалась в получении УДП металлов (Cu, Ni, Co) и их оксидов с помощью термического разложения оксалатов в различных средах (продукты разложения, атмосфера воздуха).

Методики эксперимента

Для получения ультрадисперсных порошков металлов был выбран метод термического разложения оксалатов [2] солей щавелевой кислоты $H_2C_2O_4$ – оксалата меди (II) $CuC_2O_4 \cdot 2H_2O$, оксалата никеля (II) $NiC_2O_4 \cdot 2H_2O$, оксалата кобальта (II) $CoC_2O_4 \cdot 2H_2O$. Этот метод был выбран потому, что при всей его простоте он дает высокие выходы продуктов. Соли получали обменной реакцией между сульфатами соответствующих металлов и оксалатом аммония $(NH_4)_2C_2O_4$, в растворе при 20 °C:

Полученные осадки промывали дистиллированной водой и высушивали в эксикаторе. Термическое разложение проводили в атмосфере воздуха и в среде продуктов разложения, применяя для этого клапан Бунзена. Сухой порошок оксалата металла (Cu, Ni, Co) засыпали в пробирку и прокаливали в пламени горелки, при достаточно высокой температуре (350-400 °C).

Термический анализ процесса разложения оксалатов металлов проводили с помощью термоанализатора SDT Q 600 (г. Томск) путем нагревания образцов до 800 °C со скоростью 10 °C/мин. Рентгенофазовый анализ полученных порошков выполняли с использованием дифрактометра «Дифрей-401». Идентификацию фаз осуществляли с использованием банка данных. Изучение морфологии образцов и оценку частиц порошка проводили с помощью оптического микроскопа «mVizo-101» [3].

Экспериментальная часть

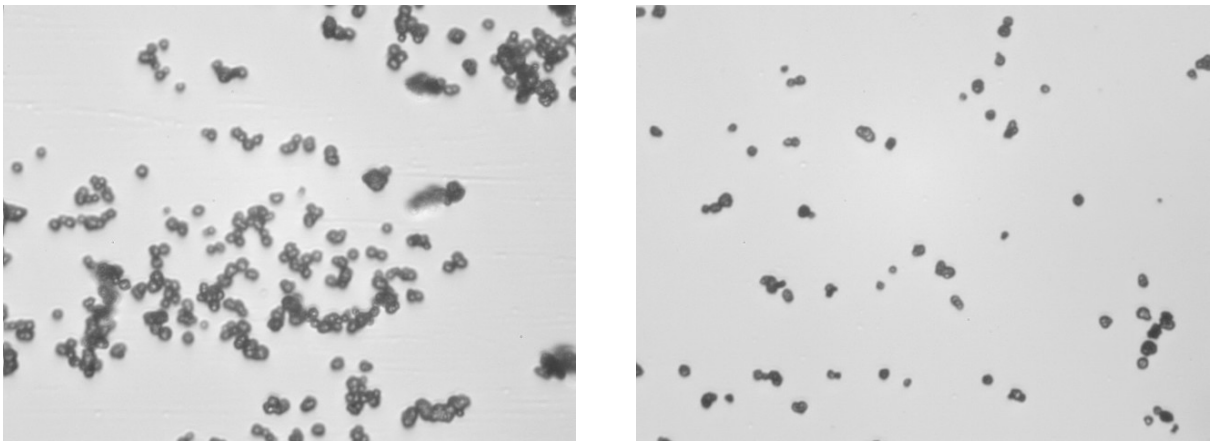
Таблица 1 – Параметры химической активности порошков оксалатов металлов

Образец	Масса навески, мг	Температура разложения, °C	Уменьшение массы, %	Степень превращения, %	Тепловой эффект, $_{\Delta}$H Дж/г
CuC_2O_4	21,6	265-320	50,9	44,2	637
NiC_2O_4	21,4	180-280	22,1	22,1	-442
		315-365	33,5	55,3	932
CoC_2O_4	20,2	140-230	18,7	18,7	-418
		260-310	36,4	55,1	908

Термическое разложение оксалата меди.

По данным микроскопии порошки оксалата меди имеют размер частиц порядка 1 мкм, имеется также большое количество субмикронных частиц, являющихся вероятно агломератами, ввиду недостатка разрешающей способности оптического микроскопа, их структуру определить невозможно.

При термическом разложении оксалата меди происходит небольшое уменьшение массы (до 5 %) в диапазоне 100-280 °C, что связано с удалением адсорбированной воды. Термическое разложение начинается при температуре 290 °C, и достигает максимума при 297,5 °C, и характеризуется 46 % уменьшением массы, одновременно с этим происходит удаление воды из кристаллогидрата. После окончания разложения происходит небольшое увеличение массы (3-4 %), связанное, видимо, с окислением



(а) (б)

Рис. 1 – Микрофотографии порошков оксалата никеля (а) и никеля, полученного в среде продуктов разложения (б)

порошка до оксида меди (II), что прослеживается на рентгенограммах продуктов разложения оксалата меди на воздухе. На рентгенограммах исходный оксалат меди представлен дифракционными максимумами, соответствующего кристаллогидрата $CuC_2O_4 \cdot 2H_2O$. Продуктом термического разложения оксалата меди на воздухе является оксид меди (II), о чем свидетельствует совпадение более 5 рефлексов, с сохранением пропорциональности в интенсивности соответствующих табличных и анализируемых данных. По данным микроскопии частицы оксида меди (II) имеет субмикронные размеры, есть отдельные агломераты размером до 10 мкм. Продуктом термического разложения оксалата меди в среде газообразных продуктов разложения является порошок меди, с примесью оксида меди (I) не более 4 %, что прослеживается на рентгенограммах.

Термическое разложение оксалата никеля.

По данным микроскопии порошок оксалата никеля состоит из частиц размером 2-4 мкм, имеющих округленную форму со сглаженным неправильным рельефом. Термическое разложение начинается при 330 °С и достигает максимума при 345 °С, и характеризуется 35,5 % уменьшением массы. Продуктом термического разложения оксалата никеля на воздухе является оксид никеля (II). Продуктом термического разложения оксалата никеля в среде продуктов разложения является порошок никеля, что также прослеживается на рентгенограммах.

Термическое разложение оксалата кобальта.

Термическое разложение оксалата начинается при 260 °С, и достигает максимума при 285 °С, и характеризуется 36,4 % уменьшением массы. На рентгенограммах исходный оксалат кобальта представлен рефлексами кристаллогидрата $CoC_2O_4 \cdot 2H_2O$. Продуктом термического разложения оксалата кобальта в среде продуктов разложения является порошок кобальта, что прослеживается на рентгенограммах.

Выводы

1) Методом термического разложения оксалатов получены ультрадисперсные медь, никель и кобальт, а также их оксиды. Установлено, что микроструктура исходных оксалатов во многом определяет микроструктуру продуктов разложения, по данным оптической микроскопии порошки полученных оксидов и металлов агломерированы и вероятно состоят из нанодисперсных частиц.

2) Термическое разложение оксалатов в среде собственных газообразных продуктах разложения приводит к увеличению содержания металлов, при этом содержание оксидов не превышает 5 % масс.

3) Метод термического разложения оксалатов может быть использован в производстве субмикронных и нанопорошков меди, никеля и кобальта при соответствующем аппаратурном оформлении.

Список использованных источников

1. Ильин А.П., Коршунов А.В., Перевезенцева Д.О., Толбанова Л.О. Проблемы диагностики нанопорошков и наноматериалов. — Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. — 249 с.

2. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. – М.: Атомиздат. – 1977. – 264с.

3. Буланов В.Я. Диагностика металлических порошков. – М.: Наука. – 1983. – 278.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 08Х18Н10Т, ПОДВЕРГНУТОЙ УСТАЛОСТНЫМ ИСПЫТАНИЯМ

Горбунов С.В., Воробьев С.В., Бессонов Д.А.
Научные руководители: Громов В.Е.[1], д.ф.-м.н. профессор, Иванов Ю.Ф.[2], д.ф.-м.н. профессор
[1] Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова 42
[2] Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Томск, Соляная пл, 2
E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Усталостные трещины, как правило, зарождаются преимущественно в приповерхностном слое металла. Предварительное упрочнение поверхностного слоя способно привести к повышению циклической прочности, долговечности, предела выносливости, многоцикловой усталости и т.д.

Одним из перспективных методов целенаправленной модификации структурно-фазового состояния поверхностного слоя металлов и сплавов является высокоинтенсивная электронно-пучковая обработка поверхности в микро- и субмиллисекундном диапазоне времени воздействия. Указанная обработка обеспечивает сверхвысокие скорости нагрева поверхностного слоя до заданных температур, формирование предельных по величине градиентов температуры и охлаждение поверхностного слоя за счет теплоотвода в основной объем материала со скоростями $10^4...10^9$ град/с. В результате в поверхностном слое создаются условия образования неравновесных структурно-фазовых состояний – нанокристаллических и аморфных.

Целью настоящей работы является исследование структуры, формирующейся в зоне усталостного разрушения образцов нержавеющей стали, обработанной высокоинтенсивным электронным пучком в субмиллисекундном диапазоне времени воздействия, и выявление факторов, способствующих увеличению ее усталостной долговечности.

В качестве материала исследования использована сталь 08Х18Н10Т сортамента ОАО «Кузнецкий металлургический комбинат».

Сталь 08Х18Н10Т до облучения электронным пучком являлась поликристаллическим материалом, зерна которого содержали микродвойники и дислокационную субструктуру. Вторые фазы представлены карбидными частицами, размеры которых изменялись от десятков до сотен нанометров. Места расположения частиц – границы и стыки границ зерен, элементы дислокационной субструктуры, строчки дендритной ликвации.

Электронно-пучковая обработка в режиме начального оплавления поверхности образца не приводит к кардинальному изменению структуры поверхностного слоя стали. Изменения дефектной субструктуры выявляются лишь при количественном анализе состояния материала. Выполненные исследования показали, что электронно-пучковая обработка привела к существенному (в ~2 раза) снижению среднего размера зерна, выявленному на лицевой поверхности образца. Очевидно, что измельчение зеренной структуры поверхностного слоя стали обусловлено протеканием процесса динамической рекристаллизации, инициированного сверхвысокими скоростями нагрева и охлаждения, реализующимися при электронно-пучковой обработке материала. Преобразование внутризеренной структуры заключается в увеличении объема материала, занятого микродвойниками, ростом скалярной плотности дислокаций, азимутальной составляющей угла полной разориентации элементов структуры и средней плотности изгибных экстинкционных контуров.

Одновременно с этим, электронно-пучковая обработка стали сопровождается снижением средних размеров областей разориентации и средней ширины изгибного экстинкционного контура.

Таким образом, электронно-пучковая обработка поверхности стали 08Х18Н10Т сопровождается формированием в материале градиентного структурно-фазового состояния, заключающегося в закономерном изменении по мере удаления от поверхности облучения фазового состава и состояния дефектной субструктуры. Большинство из рассмотренных параметров структуры стали изменяются экстремальным образом – точка перегиба на выявленных зависимостях, располагается в подповерхностном слое на глубине ~10 мкм. При этом соответствующие изменения параметров структуры стали однозначно свидетельствуют о формировании в образце при электронно-пучковой обработке упрочненного подповерхностного слоя, что, несомненно, должно отразиться на усталостной долговечности стали.

Многоцикловые усталостные испытания образцов стали 08Х18Н10Т, обработанных электронным пучком, привели к их разрушению после $N = \sim 2{,}7 \cdot 10^5$ циклов нагружения. Следовательно, электронно-пучковая обработка лицевой поверхности образца в режиме поверхностного оплавления способствует

увеличению усталостной долговечности исследуемой стали в ~1,5 раза.

Анализ поверхности разрушения, выполненный методами сканирующей электронной микроскопии, показал, что в результате циклирования формируется по меньшей мере трехслойная структура, состоящая из поверхностного слоя толщиной 3,0…4,0 мкм, характеризующегося отсутствием деформационного рельефа, некоторого переходного слоя и основного объема материала. На границе раздела поверхностного и переходного слоев наблюдаются микротрещины и микропоры. Очевидно, что поверхностный слой был сформирован в результате суперпозиции процессов, протекающих при высокоскоростном охлаждении стали, инициированном электронно-пучковой обработкой, и последующего циклического нагружения.

Основным типом дислокационной субструктуры является сетчатая, занимающая в среднем ~0,65 объема зерна. Ячеисто-сетчатая субструктура занимает ~0,23 объема зерна; средние размеры ячеек 230±51 нм. Остальной объем зерна занимает полосовая субструктура.

Циклирование вплоть до разрушения в результате усталостного нагружения обработанной электронным пучком стали 08Х18Н10Т, не приводит к формированию в поверхностном слое критической структуры, т.е. не сопровождается исчерпанием ресурса пластичности материала.

Структура слоя, расположенного на глубине ~10 мкм, как показали электронно-микроскопические микродифракционные исследования, существенным образом отличается от структуры, формирующейся у лицевой поверхности образца. А именно, основным типом дефектной субструктуры фольги, полученной из данного слоя, является полосовая. Выявлено формирование двух типов полос сдвига, во-первых, полос, сформировавшихся из мезополосы и, во-вторых, полос сформировавшихся из пакетов микродвойников. В обоих случаях полосовая субструктура фрагментирована. Средние размеры фрагментов 193,3 ± 54,0 нм. Заметно реже выявляются участки фольги, в которых фрагменты не имеют выраженной ориентации.

Формирование фрагментированной субструктуры приводит к существенному радиальному размытию рефлексов на микроэлектронограммах. Выполненные оценки показали, что максимальные значения разориентации фрагментов полосовой субструктуры составляют ~11,5 град.; в субструктуре без выраженной ориентации фрагментов – 16,4 град. Таким образом, выполненные исследования позволяют заключить, что в переходном слое образца стали 08Х18Н10Т, обработанной электронным пучком при плотности энергии 15 Дж/см^2, в результате усталостного нагружения формируются области с критической структурой, не способной к дальнейшей эволюции. Следовательно, разрушение таких образцов наступает в результате формирования микротрещин в переходном слое.

Микродифракционный анализ структуры слоя стали, расположенного на расстоянии ~10 мкм от поверхности электронно-пучковой обработки, позволил выявить рефлексы α-фазы. На светлопольных изображениях таких участков фольги наблюдается субзеренная структура. В объеме себзерен выявляется дислокационная субструктура в виде сеток, либо хаотически распределенные дислокации. Данный дифракционный эффект свидетельствует о расслоении твердого раствора с образованием зон с повышенной концентрацией легирующих элементов.

Выполненные в работе исследования показали, что многоцикловые усталостные испытания стали 08Х18Н10Т, подвергнутой предварительной электронно-пучковой обработке при плотности энергии пучка электронов 15 Дж/см^2, сопровождаются формированием многослойной структуры. Граница раздела поверхностного и переходного слоев содержит микропоры и микротрещины. В структуре лицевой поверхности образца выявлены кристаллы ε-мартенсита, вдоль границ раздела которых наблюдаются микротрещины. В объеме переходного слоя выявлены области материала с критической структурой, не способной к дальнейшей эволюции в условиях пластической деформации. Формирование такой структуры, как правило, приводит к зарождению и росту микротрещин и, следовательно, может являться одной из причин разрушения образца в целом. Сопоставление структурно-фазового состояния разрушенных образцов стали в исходном состоянии и стали, обработанной высокоинтенсивным электронным пучком субмиллисекундной длительности воздействия, показало, что одной из причин увеличения в ~1,5 раза усталостной долговечности модифицированной электронным пучком стали 08Х18Н10Т является растворение частиц карбидной фазы в поверхностном слое, инициированное электронно-пучковой обработкой.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013г.г.» (гос. контракт №02.740.11.0538) и гранта РФФИ (проект № 10-07-00172-а).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНОЙ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ЦИНКА

Горина С.Г., Олешко В.И., Вильчинская С.С.
Научный руководитель: Вильчинская С.С., доцент, к.ф.м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svetlana.gorina@mail.ru

Введение

В связи со стремительным развитием таких областей радиационного приборостроения как рентгеновская интроскопия, спектрометрия, дозиметрия мощных потоков ионизующих излучений наблюдается устойчивое возрастание потребности в сцинтилляционных материалах. Поэтому вопросы создания новых высокоэффективных сцинтилляторов, изучение их свойств и разработка технологии их изготовления, несомненно, актуальны на сегодняшний день.

Целью работы является исследование спектрально-кинетических характеристик импульсной рентгенолюминесценции (ИРЛ) чистых и легированных изовалентными примесями (ИВП) кристаллов ZnSe, определение влияния легирования, изменения условий обработки кристаллов при выращивании, варьирования уровня возбуждения на изменение этих характеристик.

Методика эксперимента

Для исследования свечения кристаллов ZnSe использовалась методика импульсной люминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением [2]. Источником наносекундного электронного пучка служил импульсный ускоритель электронов с параметрами: средняя энергия электронов 0,3 МэВ, длительность импульса ~ 10 нс. Рентгеновское излучение формировалось путем торможения электронного пучка в медном аноде толщиной 100 мкм. Плотность энергии рентгеновского излучения достигала ~10^{-4} Дж/см^2. Свечение образца регистрировалось ФЭУ-84 и осциллографом Tektronix TDS 2022. Спектры поглощения исследуемых кристаллов измерялись на спектрофотометре СФ-256.

В качестве исследуемых образцов использовались специально не легированные кристаллы ZnSe и легированные различными ИВП (Bi, Al, Te, Si, Eu, Ga, In). Чистые кристаллы были получены методом химического осаждения из газовой фазы (ZnSe №1) и из расплава (ZnSe №2). Легированные кристаллы ZnSe были выращены из расплава. Уровень легирования ИВП составлял ~10^{20} см$^{-3}$. Для исследования влияния технического отжига (ТО) на люминесцентные свойства ZnSe(ИВП) кристаллы с ИВП Al и Bi были отожжены в парах Zn (ZnSe(Al):Zn и ZnSe(Bi):Zn). Кристалл ZnSe(O,Te,Al) №6 не подвергался ТО, ZnSe(O,Te,Al) №7 был отожжен в H_2 и в парах Zn, а ZnSe(O,Te,Al) №8 подвержен ТО в H_2, последующему ТО в Zn и ТО в H_2 [1].

Результаты и их обсуждение

Край поглощения кристаллов несет в себе важную информацию о ширине запрещенной зоны и присутствии дефектов в кристаллической решетке. Из рис. 1 видно, что край поглощения кристаллов, выращенных из расплава, значительно сдвинут в длинноволновую область по сравнению с положением края поглощения ZnSe №1, выращенного из газовой фазы, что свидетельствует о высокой концентрации как мелких, так и глубоких уровней в запрещенной зоне этих кристаллов. Термообработка образцов ZnSe(ИВП) в парах Zn приводит к улучшению их светопропускания по объему.

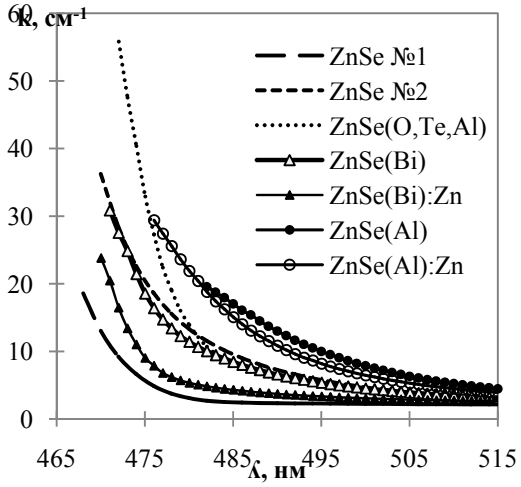


Рис.1. Спектры поглощения чистых и примесных кристаллов ZnSe при 300 К.

Изучение ИРЛ исследуемых кристаллов при 300 К выявило следующие особенности. Спектры ИРЛ всех исследуемых образцов представляют собой широкую «оранжевую» полосу с максимумом в области 600-610 нм и полушириной ΔE ~ 350 мэВ (рис. 2). Спектры различных образцов отличаются лишь значением интенсивности ИРЛ (табл.1).

Ранее сообщалось, что появление спектральной полосы с максимумом 610 нм при 300 К вызвано переходом, связанным с (V_{Zn}, Al_{Zn}). Также предполагалось, что она обусловлена избыточным Zn. Данные, приведенные в табл. 1, демонстрируют, что полоса в области 600-610 нм появляется независимо

от типа введенной ИВП. Она присутствует даже в чистых кристаллах, но ее интенсивность на 1-2 порядка меньше, чем у ZnSe(ИВП).

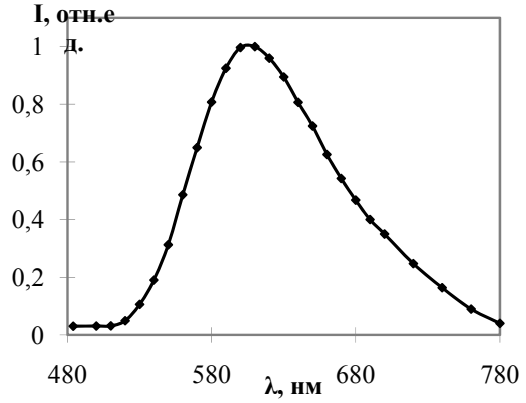


Рис. 2. Спектр ИРЛ кристалла ZnSe(Bi), измеренный при 300 К через 1 мкс после окончания возбуждающего импульса.

Таблица 1. Относительная интенсивность ИРЛ (λ_{max} = 610 нм) чистых и примесных кристаллов селенида цинка.

Кристалл	I_{max}, отн.ед.
ZnSe №1	1,17
ZnSe №2	15,67
ZnSe(Ga)	62,67
ZnSe(Bi)	25,47
ZnSe(Bi):Zn	5,67
ZnSe(Al)	52,67
ZnSe(Al):Zn	270,67
ZnSe(Eu)	0,95
ZnSe(In)	21,47
ZnSe(Si)	18,33
ZnSe(O,Te, Al)-6	69,47
ZnSe(O,Te, Al)-7	109,00
ZnSe(O,Te, Al)-8	99,00

Величина уровня послесвечения сцинтиллятора определяет динамический диапазон чувствительности, как детектора, так и интроскопической системы в целом. Поэтому длительное послесвечение (сотни микросекунд и более) является нежелательной характеристикой сцинтиллятора. Кинетика затухания ИРЛ всех исследуемых образцов при λ=610 нм описывается суммой двух экспоненциальных функций с временами релаксации $\tau_1 \sim 5$ мкс и $\tau_2 \sim 20$ мкс. Все образцы отличаются различным вкладом компонент с τ_1 и τ_2 (рис. 3).

Одной из основных задач получения высокоэффективных сцинтилляционных материалов является подавление всех полос излучения, кроме «рабочих» для конкретного сцинтиллятора. Устранения «нежелательных» полос можно добиться варьированием уровня возбуждения люминесценции. Экспериментально были определены оптимальные условия возбуждения образцов селенида цинка. Такие условия реализуются при возбуждении кристаллов импульсным рентгеновским излучением с уровнем возбуждения G = 10^{20} - 10^{22} пар/см^3·с.

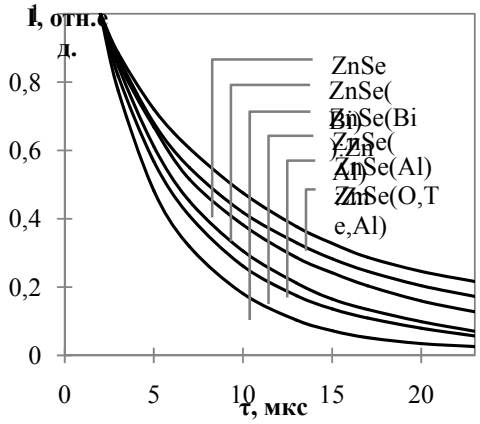


Рис.3. Кинетики затухания ИРЛ (λ_{max} = 610 нм) чистых и примесных кристаллов ZnSe при 300 К.

Выводы

I. Исследование спектрально-кинетических характеристик ИРЛ кристаллов ZnSe и ZnSe(ИВП) показало, что форма «оранжевой» полосы и положение ее максимума одинаковы для всех исследуемых образцов, что свидетельствует о единой природе центров, ответственных за данное свечение. Этот результат подтверждает, что за «оранжевое» свечение ответственны собственные дефекты, такие как отрицательные двухзарядные вакансии цинка V''_{Zn} (акцепторы) и положительные однозарядные вакансии селена $V^{\bullet}_{Se}$ (доноры), а также кислород. В [3] высказано предположение о том, что центр свечения, ответственный за «оранжевую» полосу включает кислород, который стабилизирует комплексы собственных дефектов $\{Zn_i \cdot V_{Zn}\}$.

II. Установлено, что легирование кристаллов ZnSe изовалентными примесями O, Al и Te улучшает их сцинтилляционные характеристики. ТО в среде Zn и H_2 приводит к увеличению квантового выхода ИРЛ «оранжевой» полосы.

III. Легирование ZnSe примесью Bi приводит к подавлению «оранжевой» полосы.

Список литературы

1. Старжинский Н.Г. и др. Сцинтилляторы на основе соединений $A^{II}B^{VI}$. Получение, свойства и особенности применения. – Харьков: «Институт монокристаллов», 2007. – 296 с.

2. Лисицын В.М., Корепанов В.И. Спектральные измерения с временным разрешением. Учеб. пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 94 с.

3. Морозова Н.К., Мидерос Д.А. Влияние Te на самоактивированное свечение ZnSe // Известия вузов. Электроника. – 2007, №3. – С. 12-17.

СПЕКАНИЕ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ С ДОБАВКАМИ

Грехова М.В.
Научный руководитель: Погребенков В.М., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: eimai89@mail.ru

Развитие науки и техники на современном этапе не мыслится без керамических материалов. Наиболее широко в отечественной и зарубежной практике используют корундовую керамику, обладающую следующими физико-техническими свойствами: высокая механическая прочность, твердость, износостойкость, огнеупорность, теплопроводность и химическая стойкость.

На основе корунда создано большое число высококачественных материалов для электроники и электротехники, а также конструкционного назначения. Наиболее известнее и применяемые в промышленности: ВК-94-1, ВК-100-1, ЦМ-332 (Микролит), Картинит, Сикор, Корал-2 и ряд других. Такие материалы характеризуются различными микроструктурой фазовым составом и свойствами.

Керамика на основе оксида алюминия имеет высокую температуру спекания, которая для материалов, не содержащих специально вводимых добавок, составляет 1700-1800^{o}C, а в присутствии плавней 1550-1650^{o}C [1]. Такие температуры спекания обуславливают ускоренный износ термического оборудования и повышенный расход электроэнергии. Кроме того, высокая температура спекания приводит к интенсивной рекристаллизации, образованию внутрикристаллической и межкристаллической пористости и уменьшению прочности. Одним из основных способов повышения конкурентоспособности корундовой керамики является уменьшение температуры ее спекания, что можно осуществить введением в состав керамики спекающих добавок [2]. Несомненным остается тот факт, что такие добавки должны не только способствовать спеканию керамики при пониженных температурах (1350-1550^{o}C), но и не ухудшать ценные свойства основной фазы.

В последние годы проводятся многочисленные исследования по изготовлению корундовой керамики с добавками эвтектических составов различных систем. Особенность таких добавок заключается в том, что их оптимальное количество составляет 0,5-5,0 %. Действие добавок основано на образовании небольшого количества эвтектического расплава, активно участвующего в спекании. При этом общая пористость после спекания не превышает 2%. При охлаждении расплав кристаллизуется, поэтому керамика с таким составом не содержит стеклофазы [3].

Весьма действенным средством повышения плотности оксидной керамики, а также регулирования микроструктуры являются добавки, которые образуют твердые растворы [4]. Этим путем можно в широких пределах изменять пористость керамики и степень рекристаллизации.

Из источника [5] известно, что добавки, образующие жидкую фазу, подбирают, исходя из двух условий: жидкая фаза должна хорошо смачивать и иметь возможно меньшую вязкость; добавку вводят в таком количестве, чтобы общее содержание жидкой фазы при температуре применения керамики было не ниже 10 %.

Добавки, не образующие с основным материалом жидкой фазы, в свою очередь подразделяются на три группы.

1. Добавки, активирующие процесс спекания и одновременно ускоряющие рекристаллизацию (TiO_2 в Al_2O_3).
2. Добавки, активирующие спекание, но замедляющие процесс рекристаллизации (MgO или BeO в Al_2O_3).
3. Добавки, замедляющие процесс спекания и замедляющие рост зерен (CoO или CdO в Al_2O_3).

Механизм действия добавок первой группы заключается в том, что они образуют со спекаемой основой твердые растворы, причем создаются различные типы точечных или электронных дефектов, которые ускоряют процесс диффузии самого медленного иона.

Механизм действия примесей второй группы сложнее. Типичным примером является спекание Al_2O_3 с добавкой 0,3% MgO, который действует на последней стадии спекания, когда рост кристаллов мешает удалению пор, а MgO тормозит рост зерен корунда.

Добавки третьей группы тормозят спекание и рекристаллизацию. Действие таких добавок не всегда находит удовлетворительное объяснение.

Анализ данных, приведенных в работе [6], позволяет разделить все добавки на несколько подгрупп. К первой подгруппе относятся добавки типа R_nO - Al_2O_3 – SiO_2 и R_mO - Al_2O_3 – SiO_2 (R_n и R_m - катионы щелочного и щелочно-земельного металлов соответственно). Добавки типа R_xO_y – TiO_2 составляют вторую подгруппу. К третьей подгруппе относятся добавки типа R_nO - B_2O_3 – SiO_2. В четвертую подгруппу входят добавки, представляющие собой комбинацию первых трех подгрупп: R_1O – R_2O -

$B_2O_3 – SiO_2 - TiO_2$ (R_1 и R_2 – щелочно-земельные катионы).

Можно выделить добавки систем $MnO – Al_2O_3 – SiO_2$, $MnO – TiO_2$, $MgO – SiO_2$, $MgO – TiO_2$ и некоторые другие, которые при содержании 2-3 % позволяют снизить температур спекания в воздушной среде до 1300 - 1550^{o}C. При этом получаются плотные мелкокристаллические материалы с высоким уровнем свойств, прочность на изгиб которых составляет 300 - 400 МПа. Дополнительное введение дисперсионного порошка частично стабилизированного диоксида циркония позволяет повысить прочность керамики до 550 – 600 МПа при температуре спекания 1450 – 1500^{o}C.

Важным является то, что оптимальная концентрация добавок должна находится в пределах растворимости и не превышать концентрации, приводящей к образованию побочных кристаллических фаз.

Согласно [5], спекающие добавки выбирают и оценивают их эффективность по трем параметрам: 1 – по разности электроотрицательности $\Delta\chi$ катионов добавки и основного оксида (у более активных добавок $\Delta\chi$ больше), 2 – по относительной разности ионных радиусов катиона добавки и оксида $|\Delta r| / r_{ок}$ (у более активных добавок $|\Delta r| / r_{ок}$ меньше), 3 – по разнице силы связи катионов с кислородом у добавки и основного оксида (сила связи катиона добавки к кислороду должна быть больше, чем сила связи катиона к кислороду основного оксида).

По активирующему действию на спекание Al_2O_3 (независимо от начальных форм глинозема) добавки располагают в убывающий ряд: $Y_2O_3 > MgO > SrO > Cr_2O_3$; добавки ZrO_2 и B_2O_3 – инертны.

Корундовая керамика с добавками эвтектических составов может быть широко использована в различных областях техники, в качестве электроизоляторов, прокладок для запорной арматуры, материалов мелющих тел и уплотнительных колец в насосах, режущего инструмента, форсунок для распыления жидкостей и суспензий, а также многое другое. Помимо высокой прочности эти материалы характеризуются значительной износостойкостью и чистотой поверхности после шлифовки и полировки [7].

Эффективные спекающие добавки все еще подбираются опытным путем и рекомендации различных исследований иногда не совпадают. В связи с этим на основании данного обзора нами проводятся работы по оптимизации составов корундовой керамики с целью снижения температуры спекания. Корундовую керамику планируется использовать для изготовления керамических подложек методом шликерного литья на пленку в рамках совместных работ Томского политехнического университета и Новосибирского электровакуумного завода.

Список литературы

1. Керамика из высокоогнеупорных окислов; под ред. Д.Н. Полубояринова и Р.Я. Попильского. – М.: Металлургия, 1977. – 304 с.

2. Макаров Н.А. Использование добавок, образующих жидкую фазу при обжиге, в технологии корундовой керамики // Стекло и керамика. – 2003. - №10. – С. 31-34.

3. Лукин Е.С., Макаров Н.А., Козлов А.И., Попова Н.А., Ануфриева Е.В., Вартанян М.А., Козлов И.А., Сафина М.Н., Лемешев Д.О. Горелик Е.И. Бакунов В.С. Нанопорошки для получения оксидной керамики нового поколения // Новые огнеупоры. – 2009. - №11. – С. 29-34.

4. Бакунов В.С., Лукин Е.С. Особенности технологии высокоплотной технической керамики. Регулирование структуры при спекании //Стекло и керамика. – 2008. - №7. – С. 17-21.

5. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов. Стрелов К.К. М.: Металлургия, 1985. 480 с.

6. Новые керамические материалы на основе оксида алюминия / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, С.В. Тарасова и др. // Огнеупоры и техническая керамика. – 2001. - №7. – С. 2-10.

7. Новые виды корундовой керамики с добавками эвтектических составов / Е.С. Лукин, Н.А. Макаров, Н.А. Попова и др. // Конструкции из композиционных материалов. – 2001. - №3. – С. 28-38.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ТЕМПЕРАТУРЫ МАРТЕНСИТНОГО ПЕРЕХОДА В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА

Данильсон Ю. Н.
Научный руководитель: Киреева И. В.*, д. ф.-м. н., доцент
Научный консультант: Чумляков Ю.И.*, д. ф.-м. н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
*ОСП «Сибирский физико-технический институт Томского государственного университета»,
Россия, г. Томск, пл. Новособорная, 1, 634050
E-mail: lesoto@sibmail.com

Сплавы на основе никелида титана, обладающие эффектом памяти формы и сверхэластичности, широко используются в медицине в качестве имплантатов, работающих в условиях воздействия водородом. Поскольку титан и никель являются гидридообразующими металлами [1], то необходимо знать, как насыщение водородом будет влиять на температуры мартенситного превращения (МП) и соответственно на механические и функциональные свойства сплава.

Поэтому в настоящей работе на монокристаллах никелида титана Ti-50.7Ni (ат. %) исследовано влияние насыщения водородом при плотности тока j=70 мА/см^2 и Т=300 К в закаленном состоянии и после термомеханической обработки (деформация 8% при Т=77 К и отжиг при Т=713 К в течение 0.5 ч.) на температуры МП и термический гистерезис.

Температуры M_s, M_f, соответственно, начала и конца прямого при охлаждении МП и A_s, A_f, соответственно, обратного при нагреве МП определяли по зависимости электрического сопротивления от температуры. На рис.1 представлены кривые зависимости электросопротивления ρ(T), а на рис. 2 - температурные гистерезисы в координатах «объемная доля мартенсита-температура» для кристаллов Ti-50.7Ni в зависимости от времени насыщения водородом и низкотемпературной термомеханической обработки (НТМО). Количественные изменения температур МП и величин, характеризующих температурный гистерезис, представлены в таблице 1.

Из рис. 1 (кривая 1) видно, что в исходном состоянии монокристаллы Ti-50.7Ni характеризуются одностадийным B2-B19' МП, которое начинается при температуре M_s=178 К. Значения переохлаждения $\Gamma_1=M_f-M_s$ и нагрева $\Gamma_2= A_s-A_f$, равные, соответственно, 45К и 31К, свидетельствуют о накоплении упругой энергии при прямом МП и ее снятии при обратном переходе. Обратимые МП в закаленных кристаллах без водорода начинаются при $A_s> M_s$.

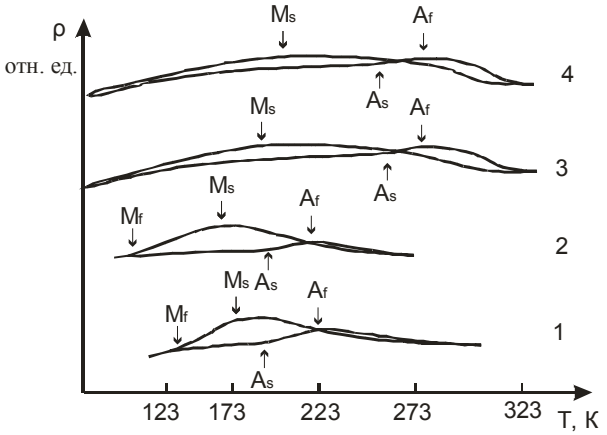


Рис.1. Зависимость электросопротивления от температуры для монокристаллов сплава Ti-50.7Ni: 1 - закаленный кристалл; 2 - закаленный кристалл после насыщения водородом в течение 4 часов в H_2SO_4 при Т=300 К и j=70 мА/см^2; 3 - деформация 8% при Т=77К и отжиг при 440 С в течение 0,5 ч.; 4 - деформация 8% при Т=77К, отжиг при 440 С в течение 0,5 ч. и насыщение водородом в течение 4 часов в H_2SO_4 при Т=300 К и j=70 мА/см^2

Насыщение водородом в течение времени t= 4 часа, как показывает зависимость ρ(T) (рис.1, кривая 2), не изменяет стадийности МП относительно исходного состояния без водорода, способствует понижению M_s и M_f на 11 К и 40 К, соответственно, и характеризуется большим переохлаждением $\Gamma_1=M_f-M_s$ по сравнению с кристаллами без водорода (рис.2, б), что свидетельствует об увеличении накопления упругой энергии при прямом МП при насыщении водородом.

Таблица 1. Температуры мартенситного превращения, упругая энергия и энергия диссипации для монокристаллов сплава Ti-50.7Ni

Термообработка	M_s, К	M_f, К	A_s, К	A_f, К	T_0, К	Γ_1, К	Γ_2, К	Δ_1, К	Δ_2, К	E_d, Дж/моль	$E_{упр}$, Дж/моль
Закаленный	178	133	192	223	201	45	31	59	23	43,95	74,21
Закал. + H_2	167	93	200	222	195	74	22	107	28	53,71	93,75
НТМО	192	73	259	278	235	119	19	186	43	83,98	134,76
НТМО + H_2	203	73	256	278	241	130	22	183	38	73,23	148,43

Петля термического гистерезиса становится несимметричной $\Delta_1>\Delta_2$, $\Gamma_1>\Gamma_2$, где $\Delta_1=A_s-M_f$,

$\Delta_2=A_f-M_s$. Обратимые МП в закаленных кристаллах с водородом также как и без него начинаются при $A_s> M_s$.

НТМО монокристаллов сплава Ti-50.7Ni приводит к развитию двухстадийного B2-R-B19' МП. Введение дефектов после низкотемпературной деформации и отжиг приводит к увеличению M_s, переохлаждения $\Gamma_1=M_f-M_S$ и обратного гистерезиса $\Delta_2=A_f-M_s$, относительно закаленных кристаллов. Насыщение водородом монокристаллов после НТМО повышает M_s и приводит к усилению различия между переохлаждением $\Gamma_1=M_f-M_s$ и перегревом $\Gamma_2=A_f-A_s$, $\Gamma_1/\Gamma_2=5.9$ (рис.1-2).

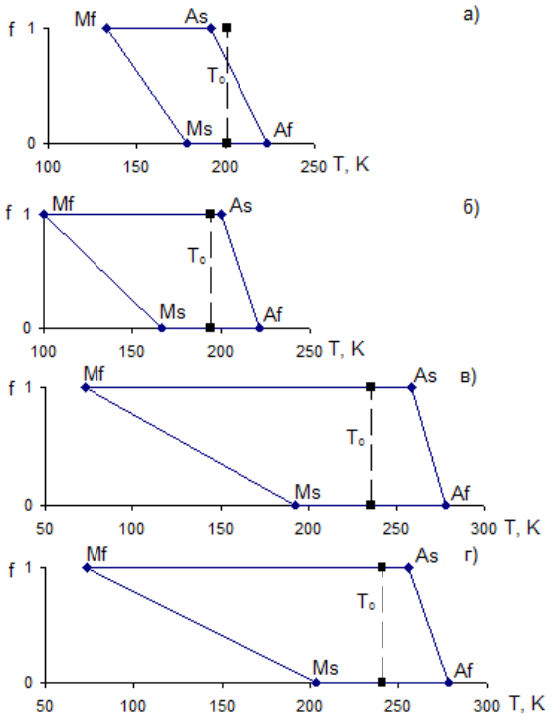


Рис. 2. Температурные гистерезисы для монокристаллов сплава Ti-50.7Ni: а) закаленный кристалл; б) закаленный кристалл после насыщения водородом в течение 4 часов в H_2SO_4 при T=300 К и j=70 мА/см^2; в) деформация 8% при T=77К и отжиг при 440 С в течение 0,5 ч.; г) деформация 8% при T=77К, отжиг при 440 С в течение 0,5 ч. и насыщение водородом в течение 4 часов в H_2SO_4 при T=300 К и j=70 мА/см^2

Сопоставление данных, представленных на рис.2 показывает, что водород как в закаленных кристаллах, так и после НТМО приводит к усилению $\Gamma_1=M_f-M_s$ и слабому изменению $\Gamma_2=A_f-A_s$. При всех исследованных состояниях обратимое МП происходит при $A_s> M_s$.

Полученные экспериментальные значения температур МП позволяют оценить вклады упругой $E_{упр}$ и диссипативной энергии E_d в нехимическую составляющую свободной энергии по формулам 1-4 [2].

$$M_s = T_0 - \frac{\Delta E_d}{\Delta S_{ch}}, \quad (1)$$

$$M_f = T_0 - \frac{\Delta E_{упр}}{\Delta S_{ch}} - \frac{\Delta E_d}{\Delta S_{ch}}, \quad (2)$$

$$A_s = T_0 - \frac{\Delta E_{упр}}{\Delta S_{ch}} + \frac{\Delta E_d}{\Delta S_{ch}}, \quad (3)$$

$$A_f = T_0 + \frac{\Delta E_d}{\Delta S_{ch}}, \quad (4)$$

где ΔS_{ch} = 1,953 Дж/(моль·К) – энтропия превращения.

Для оценки $E_{упр}$ и E_d использовали следующее приближение [2]. Предполагается, что упругая и поверхностная энергия $E_{упр}$ не генерируется за счет зарождения первой пластины мартенсита при $T=M_s$ (объемная доля мартенсита $f \to 0$) и соответственно для последней пластины мартенсита при обратном МП при $T=A_f$. Обратимая энергия в этом случае не оказывает влияния на положение точек M_s и A_f относительно температуры химического равновесия фаз и T_0 определяется формулой Тонга-Веймана [2]:

$$T_0 = \frac{A_f + M_s}{2}. \quad (5)$$

Это возможно при зарождении мартенситных пластин на свободной поверхности монокристаллов. С ростом объемной доли мартенсита обратимая энергия $E_{упр}$ увеличивается и достигает максимального значения при $f \to 1$ [2].

Из таблицы 1 видно, что температура T_0 при наводороживании изменяется. Так как концентрация никеля и титана в сплаве не меняется, то вариация T_0 от времени наводороживания качественно свидетельствует об изменении концентрация водорода в кристаллах, поскольку T_0 зависит только от химического состава материала. Качественно наличие водорода подтверждается и изменением диссипативной энергии, которая после наводороживания увеличивается на 25%.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 10-03- 00154, 10-08-92501- ИК-а

Список литературы:

1. Спивак Л. В. Синергетические эффекты деформационного отклика в термодинамических открытых системах металл-водород //Успехи физических наук. – 2008. Т. 178. - №9. – С. 897-922.

2. Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И., Киреева И.В. Влияние дисперсных частиц Ti3Ni4 на мартенситные превращения в монокристаллах никелида титана // Физика металлов и металловедение. – 2008, Т. 106. - №6. – С. 1-13.

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ТЕРМОВАКУУМНОЙ СУШКЕ

Елфимова М.В.
Научный руководитель: Архипов Г.Ф., к.т.н., доцент
Сибирский филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России,
662990, Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Северная ,1
E-mail: elfimar@mail.ru

В связи с развитием новой техники в последнее время проявляется интерес к исследованию процесса фильтрации газов через пористые материалы. Это обусловлено тем, что в увлажненных пористых материалах происходит более эффективное по сравнению с сухими пористыми материалами оседание и удержка пылеобразных микрочастиц фильтруемого газа. Это в первую очередь относится к технологическим процессам, связанным с пропиткой пористых материалов разными жидкостями. Зависимость проницаемости пористых материалов от их влагосодержания до сих пор не исследовалась. Каждый вид жидкости может удаляться разным способом. Например, свободная жидкость может удаляться путем отсасывания, продувки, протирки или испарения; жидкость смачивания – путем испарения или протирки; капиллярная жидкость - путем испарения или под давлением, превышающим капиллярное; адсорбционно-связанная жидкость удаляется только испарением. Под связанной понимается жидкость, адсорбируемая из окружающего воздуха на внешних и внутренних макромолекул, и жидкость капилляров. Для определения массы адсорбционно-связанной жидкости используется несколько методов, из которых наиболее распространенным является метод дифференциальной теплоты набухания материала. Сущность метода состоит в том, что строится экспериментальная кривая «теплота смачивания – начальное влагосодержание» (рис.1).

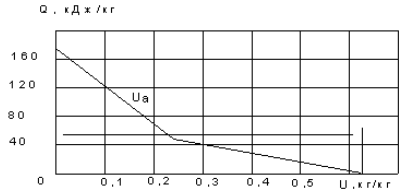


Рис.1. Зависимость между теплотой смачивания Q и начальным влагосодержанием U.

По точке пересечения кривой с осью влагосодержания определяется максимальное удельное содержание влаги U_a, поглощаемое материалом с выделением теплоты. Это содержание принимается равным массе адсорбционно-связанной жидкости. Согласно многочисленным экспериментам, толщина адсорбционных слоев составляет (1-3) 10^{-5} см.

При нормальном барометрическом давлении заполняются только микрокапилляры, радиус которых не превышают 10^{-5} см. Причем сорбция пара из влажного воздуха происходит независимо от смачивания стенок капилляра. Необходимым условием сорбции является только удовлетворение неравенства $p'_s \geq p_n$ где p'_s - давление насыщенного пара над жидкостным мениском в капилляре; p_n – парциальное давление в окружающей среде.

Масса жидкости, попадающая в капилляр определяется с помощью дифференциального уравнения жидкости в одиночном капилляре:

$$\frac{d^2h}{d\tau^2}+\frac{1\cdot(dh)^2}{h\cdot(dt)}+\frac{8\eta'}{r^2\rho_{ж}}\cdot\frac{dh}{d\tau}+g\cdot\sin\varphi-\frac{2\delta\cdot cosg}{r\rho_{ж}\cdot h}=0$$

где h – длина заполненной части капилляра; $\acute{\eta}$ - коэффициент динамической вязкости; g - ускорение свободного падения; τ - время контакта капилляра с жидкостью; φ - угол наклона капилляра к горизонту, $\rho_{ж}$ - плотность жидкости; δ – толщина жидкостной пленки; r - радиус капилляра.

Данная формула используется для пористых материалов. После преобразования формулы с учетом выбора и исключения, имеющих невысокие значения, для воды с температурой 20^0С при полном смачивании формула принимает вид:

$$h_{max}=46\sqrt{r\cdot\tau}$$

К смачивающей жидкости относится тонкая пленка, образующаяся на освобождаемых поверхностях при сливе за счет поверхностного натяжения. Общая масса жидкости, содержащаяся в этой пленке, равна:

$$G_ж = p_{ж}\,\delta_в\,F_в + p_{ж}\,\delta_г\,F_г$$

где: $F_в$ - освобождаемая при сливе площадь поверхности вертикальных элементов изделия; $F_г$ - освобождаемая при сливе площадь поверхности горизонтальных элементов изделия; $\delta_в$ и $\delta_г$ - толщины жидкостной пленки, образующейся на вертикальных и горизонтальных поверхностях, освобождаемых при сливе элементов изделия.

Поверхность жидкостной пленки, образующейся на стенках изделия, имеет довольно сложную форму, которая зависит от физических свойств жидкости, скорости опускания ее уровня, а также чистоты и формы поверхности стенок. Однако при расчете суммарной массы несливаемых остатков жидкости достаточно знать толщину пленки, осредненной по всей смоченной поверхности. В общем случае толщину пленки можно представить в виде функции от скорости опускания, плотности, коэффициента динамической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения то есть:

$$\delta = f(W,\tau,g,\rho,\eta,\delta)$$

Это уравнение выражает зависимость между семью размерными величинами. Свободную жидкость составляют гидравлические остатки после слива жидкости из изделия. Обычно точное количество определяется весовым способом,

основанном на измерении массы жидкости по разности результатов «мокрого» и сухого изделия. Однако такой способ применим только для изделий с небольшой массой. В противном случае погрешность взвешивания оказывается сравнимой с определяемой массой жидкости, и ошибка в нахождении массы жидкости весовым способом будет весьма значительной.

Известно, что интенсивность испарения зависит от температуры испаряющейся жидкости и окружающего давления. Уменьшение давления при неизменной температуре испаряемой жидкости резко увеличивает скорость испарения. Это приводит к возрастанию затрат теплоты на фазовые превращения жидкости в пар. Жидкость быстро охлаждается, интенсивность испарения падает. Поэтому, чтобы процесс испарения и сопровождающие процессы тепломасообмена протекали беспрепятственно, к поверхности жидкости необходимо подводить определенное количество теплоты.

Продукты сушки, в вакууме содержащиеся в неметаллических материалах имеют различную природу. Это могут быть непрореагировавшие компоненты многокомпонентных клеев, компаундов, взятых в сверхстехиометрических пропорциях, остатки растворителей, катализаторов, пластификаторов, замасливатели в тканях материала и т.д. После проведения работ по использованию пожарных рукавов материал рукавов находится в термодинамическом равновесии с окружающей его атмосферой. Вода, применяемая при проведении работ, не образует химических связей с материалом рукавов, в условиях вакуума она может испаряться с поверхности материала. Процесс испарения поддерживается удалением воды из пор объекта и диффузией воды из объема к поверхности материала.

С другой стороны, на этапе подготовки пожарных рукавов к сушке, к материалам рукавов могут применяться способы механического воздействия, которые способствуют снижению испарения воды: отжим, прогревы. В связи с этим, состояние материала, как источника газовыделения сорбированных продуктов определяется окружающими его условиями от эксплуатации до сушки рукавов.

Десорбция паров воды из конструкционных материалов пожарного рукава в условиях вакуума является монотонно убывающей функцией времени. Кинетическая зависимость скорости газовыделения в условиях вакуума, характерных для режима сушки материалов рукава может быть описана следующими выражениями.

На данном этапе скорость газовыделения материалов постоянная:

$$dm/dt = k$$

m - масса молекул адсорбированных на поверхности материала.

Процесс остановится, когда продукты газовыделения закончатся. Постоянная k определяет вероятность нахождения адсорбированных молекул на поверхности материала, к которым можно отнести в первую очередь молекулы, физически адсорбированные на поверхности материала. Она является функцией теплоты испарения и температуры материала и давления насыщенных паров испаряемого вещества.

Начальный этап можно аппроксимировать линейной зависимостью вида:

$$q = q_н \cdot [1 - (1 - (q_0/q_н)) \cdot (t/t_0)]$$

где q - текущее удельное газовыделение; $q_н$ - начальное удельное газовыделение; q_0 - конечное удельное газовыделение этапа сушки; t и t_0 - соответственно текущее и конечное этапа сушки в вакууме время. Для одной и той же марки материала величина газовыделения q может сильно различаться, так как начальный этап газовыделения определяется поверхностной десорбцией сорбентов, и состояние поверхности материала определяет кинетику процесса газовыделения на этой стадии процесса. В связи с тем, что этап сушки напорных пожарных рукавов характеризуется достаточно короткой длительностью.

На переходном этапе скорость газовыделения материала может быть прямо пропорциональна массе доступной для газовыделения или быть степенной функцией от времени.

При низких давлениях, решающим фактором, влияющим на скорость газовыделения неметаллических материалов, будет механизм переноса летучих веществ из объема твердого тела к его поверхности. При этом скорость газовыделения определяется быстротой диффузии компонентов изнутри тела к его поверхности. Таким образом, технологические факторы, оказывающие воздействие на процесс газовыделения включают характеристики окружающей среды (давление, температура, влажность), уровень чистоты производственных помещений и оборудования, степень переработки материалов. В настоящее время проводится ряд экспериментов с напорными пожарными рукавами различного типа и структуры исполнения.

Литература

1. Безбородько М.Д. Пожарная техника. М.: АГПС МЧС России, 2004. 550 с.

2. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. М.: 2004. 715 с.

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ БЕЛОГО ХРОМОВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА

Еремина Л.В., Дампилон Б.В.
Научный руководитель: Дапилон Б.В.,к.т.н.,доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:ludon.post@sibmail.com

Одним из основных факторов малого ресурса работы рабочих поверхностей деталей механизмов и машин в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности является интенсивный абразивный износ. Эффективным способом повышения износостойкости инструмента является нанесение на его рабочую поверхность износостойкого покрытия.

Одной из прогрессивных технологий нанесения износостойких покрытий является электронно-лучевая наплавка в вакууме.

Особенностями процесса электронно-лучевой наплавки являются значительный перегрев ванны расплава в зоне действия электронного луча, способствующий повышению однородности расплава и высокая скорость охлаждения, приводящая к образованию структурно неустойчивого состояния матрицы при использовании высокоуглеродистых наплавочных материалов. Следует ожидать, что при электронно-лучевой наплавке реализуется весьма благоприятное состояние для дальнейшей термообработки наплавленных покрытий из хромованадиевого чугуна. С её помощью можно управлять как структурой матрицы в результате $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, так и карбидной подсистемой за счет выделения вторичных ультра и наноразмерных карбидов из пересыщенной матрицы.

Таким образом, целью настоящей работы является исследование структуры и свойств покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна после наплавки и последующей термической обработки.

Материалы и методики эксперимента.

Покрытия толщиной 2 мм были получены методом электронно-лучевой наплавки в вакууме на подложках из малоуглеродистой стали В качестве наплавочного материала была использована механическая смесь, состоящая из промышленных порошков хромистого чугуна марки ПГС27, ванадия и железа с расчетом получения покрытия из хромованадиевого чугуна эвтектического состава.

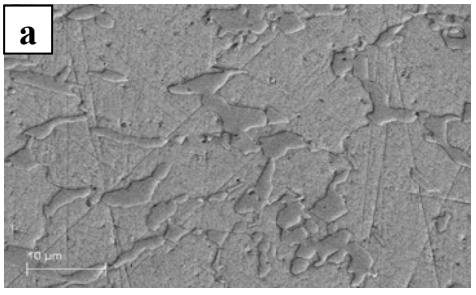
Высокотемпературный отжиг образцов с покрытиями проводили в вакуумной печи при различных температурах 800, 900, 1000, 1100^0C с выдержкой 60 мин. и охлаждением в вакуумной печи.

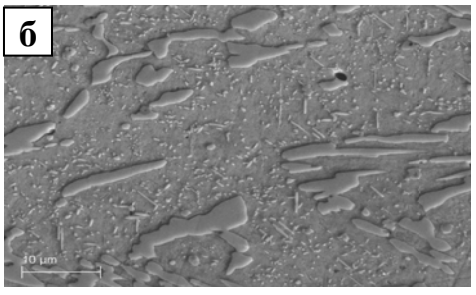
Структурно-фазовое состояние покрытий определяли с использованием микрорентгеноспектрального анализа на приборе Leo Evo 50 и рентгенофазового анализа на приборе ДРОН-3. Микротвердость ($H_{0,981}$) покрытий определяли на приборе ПМТ-3. Испытания покрытий на стойкость к абразивному изнашиванию проводили согласно ГОСТ 23.208-79

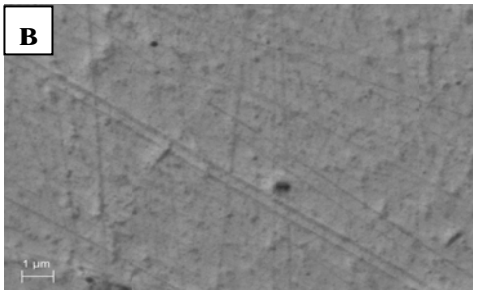
Результаты и обсуждение.

Микроструктурные исследования наплавленных покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна с использованием данных рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов, показали, что карбидная подсистема исследуемых покрытий представлена эвтектическими комплексными карбидами $(Cr,Fe,V)_7C_3$ и высокодисперсными карбидами ванадия V_2C, а матрица покрытий имеет полностью аустенитную структуру.

Анализ металлографических исследований покрытий после высокотемпературного отжига показал, что в покрытиях, отожженных при температурах 800 и 900^0C, видимых изменений в структуре не наблюдается. В отожженных при 1000^0C и 1100^0C покрытиях наблюдается наличие значительного количества ультрадисперсных вторичных карбидов, выделившихся из матрицы в пространстве между эвтектическими карбидами (рис.1б, 1г).







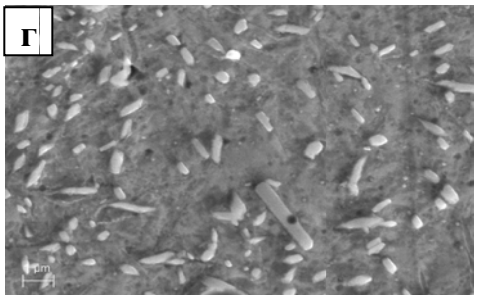


Рис.1. Микроструктура покрытий из эвтектического хромованадиевого чугуна (РЭМ): а (×5000), в (×20000) – без ТО; б (×5000), г (×20000) – после отжига при 1100^{0}С.

Эвтектические карбиды при такой термической обработке не претерпели изменений, общее количество карбидов после отжига при 1000-1100^{0}С несколько выше, чем после наплавки, вследствие выделения вторичных карбидов из пересыщенной аустенитной матрицы. Результаты стереометрического микроанализа покрытий показали, что объемная доля в покрытии вторичных карбидов составляет 10-12%. Размеры карбидов варьируются в широких пределах от 80 нм до 3 мкм, причем основной объем вторичных карбидов (70-72%) имеет размер до 400 нм (рис.2). Объемная доля наноразмерных карбидов (до 100 нм) среди вторичных карбидов составляет порядка 9-10%.

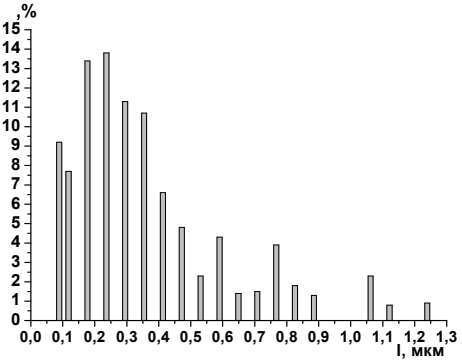


Рис. 2. Распределение вторичных карбидов по размерам в покрытиях после отжига при 1100^{0}С с выдержкой 1 час.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа вторичные карбиды представлены соединением M_7C_3, а основной объем матрицы представлен мартенситом (90%) и аустенитом (10%). Выявленные в наплавленных покрытиях рентгеноструктурным анализом карбиды ванадия V_2C, образовавшиеся при кристаллизации расплава, не идентифицируются в покрытиях после высокотемпературного отжига. Это обстоятельство видимо, обусловлено растворением карбида ванадия в матрице покрытий при высоких температурах в процессе отжига. Наличие хрома повышает растворимость карбида ванадия в аустените при температуре 1000-1150 ^{0}С. Некоторое количество хрома, растворяясь в карбидах типа МС, ослабляет межатомные связи в кристаллической решетке карбида – растворителя и облегчает диссоциацию карбидов в γ - твердом растворе. После охлаждения образцов карбид ванадия в покрытии не обнаруживается. По данным микрорентгеноспектрального анализа ванадий входит в состав сложного карбида с хромом типа M_7C_3. Положительная роль ванадия заключается в том, что он частично растворяясь в карбиде хрома, сообщает ему повышенную стойкость против коагуляции и усиливает эффект дисперсионного твердения.

Проведенные испытания покрытий на абразивную износостойкость показали, что отжиг при температурах 1000 и 1100 ^{0}С приводит к значительному повышению износостойкости покрытий (рис.3). Повышение твердости и износостойкости покрытий вызвано как упрочняющим действием выделившихся ультрадисперсных и наноразмерных карбидов, так и γ→α превращением.

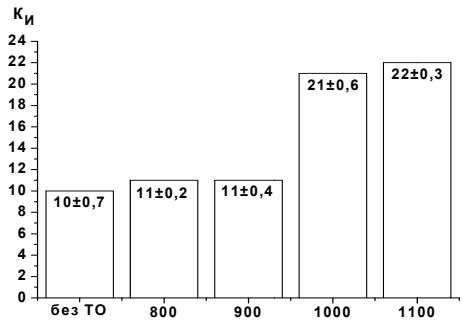


Рис.3 Зависимость коэффициента относительной износостойкости покрытий от температуры отжига.

Выводы:

1. Высокотемпературный отжиг образцов с покрытиями из эвтектического хромованадиевого чугуна в диапазоне температур 1000^{0}С -1100 ^{0}С в течение 1 часа приводит к интенсивному выделению вторичных ультрадисперсных карбидов M_7C_3 из метастабильной аустенитной матрицы покрытий. Матрица покрытий в результате отжига представлена мартенситом (90%) и аустенитом (10%).
2. Объемная доля в покрытии вторичных карбидов составляет 10-12%. Основной объем вторичных карбидов (70-72%) имеет размер до 400 нм. Объемная доля наноразмерных карбидов (до 100 нм) составляет порядка 9-10% среди вторичных карбидов.

В результате выделения ультрадисперсных карбидов и γ→α превращения в матрице двукратно увеличивается абразивная износостойкость и повышается твердость покрытий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Ермошкин А.А.
Научный руководитель: Лавро В.Н., доцент; Тетюева Т.В., к.т.н.
Самарский государственный технический университет, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: nerev89@yandex.ru

Одним из наиболее распространенных способов откачки из нефтяных скважин пластовой жидкости, содержащей нефть, воду и газ является механический способ. При таком способе эксплуатации на определенную глубину спускают насосы, которые приводятся в действие за счет энергии, передаваемой различными способами. Электроцентробежный насос (ЭЦН) один из важных элементов конструкции таких откачных систем, работающий в агрессивных средах под постоянной нагрузкой. Рабочие колеса ЭЦН, изготавливаемые из различных марок чугуна, подвергаются постоянному износу и коррозии, вследствие этого долговечность деталей низкая.

Для выявления причин разрушения рабочего колеса ЭЦН 5-45-1100 (комплект №325-10) отказавшего 16.07.2010 на скважине №1065 Чутырского месторождения НГДУ «Игра» (наработка составила всего 408 часов), были проведены следующие исследования: визуальный осмотр, определение химического состава и механических свойств материала, микроструктурные исследования металла.

Рис 1. Макроснимок поверхности излома ступицы рабочего колеса ЭЦН

В ходе визуального осмотра обнаружено полное разрушение ступицы рабочего колеса. По виду поверхности излома можно сделать вывод, что разрушение происходило по хрупкому механизму. На изломе видны участки хрупкого излома, вторичные трещины, а также места разрушившиеся «срезом». Макроснимок поверхности излома показан на Рис. 1

Данные анализа химического состава металла колеса ЭЦН приведены в Таблице 1. По химическому составу металл рабочего колеса ЭЦН не соответствует требованиям ТУ 26-4111-001-88 для отливок рабочих органов погружных центробежных насосов – превышено предельно допустимое значение содержания углерода.

Таблица 1. Содержание элементов,

Элемент	Масс. %	Требования ТУ 26-4111-001-88
C	4,09	3,5-3,9
Si	2,17	2,1-2,7
Mn	0,51	0,4-0,6
Cr	0,05	Не более 0,12
Ni	0,23	Не регламентируется
Cu	0,10	Не регламентируется
S	0,023	Не более 0,05
P	0,090	Не более 0,3

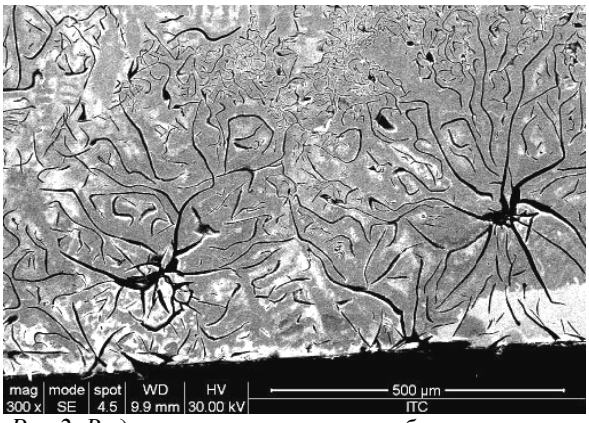


Рис 2. Вид структуры металла рабочего колеса у поверхности.

Анализ микроструктуры производили с использованием оптического микроскопа Union и растрового электронного микроскопа FEI Inspect.

Оценка микроструктурных параметров производилась по ГОСТ 3443-87 «Отливки из чугуна с различной формой графита». Рабочее колесо ЭЦН изготовлено из серого чугуна. Структура металла неоднородна по толщине образца и вблизи поверхности образца отличается от структуры металла в центре.

У поверхности форма включений графита – пластинчатая гнездообразная, распределение неравномерное (Рис. 2), площадь занятая графитом – до 10%, вид металлической основы – ферритно-перлитная. В центре образца форма графитовых включений – пластинчатая завихренная, распределение происходит колониями междендритного графита, площадь занятая графитом – больше 12%, вид металлической основы – ферритно-перлитная.

Наличие крупных скоплений пластинчатого графита гнездообразной формы в приповерхностных областях металла рабочего колеса оказывает существенное влияние на механические свойства материала, так как включение графита является надрезом,

ослабляющим металлическую основу чугуна. При приложении внешних нагрузок скопление графитных включений может стать концентратором напряжений и зародышем трещины.

Исследование твердости металла по Бринеллю на образце, изготовленном из плоской части колеса, путем стачивания лопастей и пазов. Испытания проводили с использованием индентора – шарика диаметром 2,5 мм, при нагрузке 1839 Н (187,5 кгс) и К=10. Направление приложения нагрузки параллельно оси вращения колеса. (Рис. 3)

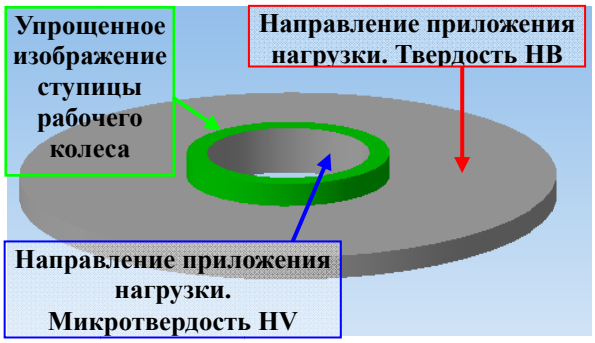


Рис 3. Схема приложения нагрузки при измерении твердости по Бринеллю и микротвердости.

Учитывая результаты анализа микроструктуры металла рабочего колеса, месту внедрения индентора в ходе определения твердости соответствует структура с гнездообразной формой включений пластинчатого графита.

Как отмечалось выше, крупные скопления пластин графита в приповерхностных слоях металла снижают его механические свойства, что и подтверждается полученными низкими значениями твердости по Бринеллю.

Помимо измерения твердости по Бринеллю, были проведены исследования на микротвердость по Викерсу (HV). Месту внедрения индентора соответствует центральная область образца с завихренной формой графитных включений.

Полученное значение микротвердости составляет в среднем 167 HV. По таблицам перевода твердости стандарта ASTM E140 значение микротвердости 167HV примерно соответствует значению 167HB (при нагрузке 3000 кгс).

Прямое сравнение значений твердости, полученных при испытаниях по Бринеллю и Викерсу некорректно, однако порядок значений дает общее представление о значительном различии в твердости средней и приповерхностных областей металла исследуемого рабочего колеса ЭЦН, что очевидно связано с неоднородностью структуры металла.

Микроструктурное исследование излома колеса ЭЦН выявило трещину, зародышем которой является скопление крупных включений пластинчатого графита (Рис. 4). Трещина развивалась от поверхности в глубь колеса. Подобного рода разрушение могло произойти из-за незначительных ударных нагрузок, например при подклинивании колеса, так как внешние слои характеризуются низкой твердостью и ослаблены крупными скоплениями графитных включений.

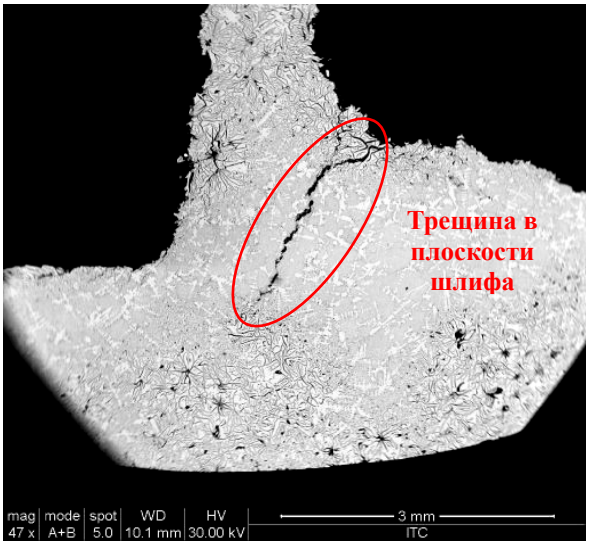


Рис 4. Вид трещины в плоскости металлографического шлифа. Увеличение ×47.

Исследования показали, что металл рабочего колеса не соответствует требованиям технических условий. Микроструктура неоднородна по сечению образца. Неоднородность структуры обусловила различие твердости металла по сечению образца. При разрушении ступицы рабочего колеса трещины развивались от поверхности вглубь колеса. Приповерхностные слои металла ослаблены крупными гнездообразными скоплениями пластинчатого графита, которые изначально являются концентраторами напряжений и зародышами трещин, что существенно снизило пороговые нагрузки на колесо, при достижении которых происходит разрушение.

Для увеличения срока службы рабочих колес ЭЦН предлагается следующие пути решения данной проблемы: для повышения механических характеристик использовать высокопрочный чугун, имеющий графитовые включения сфероидальной формы, который отличается высокой прочностью и долговечностью; для повышения коррозионных и эксплуатационных характеристик чугуна рекомендуется провести азотирование поверхностного слоя, которое повысит коррозионно- и износостойкость.

АКТИВАТОРНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ LiF-TiO_2

Есильбаев Д. Б, Лисицына Л.А, Корепанов В.И.
Научный руководитель: Корепанов В.И., д.ф.-м. н., профессор
Томский национальный исследовательский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: korepanov@tru.ru

Активированные кристаллы LiF широко используются в радиобиологии и медицине в качестве термолюминесцентных и термоэмиссионных дозиметров, в приборах ночного видения, а также в качестве активных сред для лазеров. Поиск новых активаторов с высоким выходом свечения в кристаллах LiF остается актуальным и в настоящее время.

В работе представлены результаты исследования спектрально-кинетических характеристик импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) кристаллов LiF, активированных окисью титана. Исследуемые кристаллы, выращенные методом Киропулоса в НИИ монокристаллов (Харьков), имеют границу прозрачности около 6 эВ и полосы поглощения в ИК области спектра (044-0.46) эВ, свидетельствующие о присутствии в кристалле кислорода в виде гидроксильных ионов, одиночных и в составе катион-гидроксильных комплексов.

ИКЛ возбуждалась единичным наносекундным импульсом электронов (ИЭ) с энергией 400 кэВ и объемной плотностью энергии за импульс – 0.001 Дж/$см^3$ в необлученных кристаллах и кристаллах, предварительно облученных серией импульсов электронов.

Исследовалась ИКЛ кристаллов LiF-TiO_2 в интервале температур 15-300К, в спектральном диапазоне 3-2эВ, во временном интервале 10^{-8}-10^{-1} с после окончания воздействия ИЭ.

Получены следующие результаты

Воздействие ИЭ безынерционно возбуждает в кристалле LiF-TiO_2 ИКЛ, закон затухания которой может быть описан набором двух экспонент с значениями величин характеристического времени, равными 50нс, 4мс при 15К (рис.1).

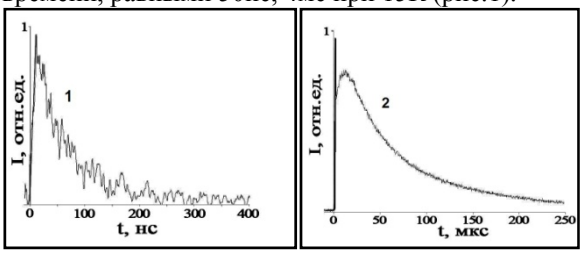


Рис.1 Кинетика релаксации активаторной ИКЛ на 2.75 эВ, возбуждаемой импульсом электронов при 15 (1) и 300К (2) в кристалле LiF-TiO_2.

Время затухания наносекундного компонента не зависит от температуры кристалла в диапазоне 15-300К. Значение характеристического времени затухания долговременного компонента уменьшается с ростом температуры и равно 140мкс при 300К.

В области Т≥250К наблюдается появление инерционного компонента разгорания ИКЛ (рис.1), величина характеристического времени которого равна 4мкс при 300К.

Спектральный состав компонентов затухания ИКЛ различный. Спектр наносекундного компонента затухания ИКЛ, при 300К, так и 15К представляет собой серию из восьми узких эквидистантных полос (рис.2). Этот спектр по количеству полос в спектре и положению максимума огибающей совпадает со спектром наносекундного компонента ИКЛ, возбуждаемой в кристалле LiF, активированном окисью вольфрама [1]. В спектрах ИКЛ обоих активированных кристаллов - LiF-TiO_2 и LiF-WO_3 расстояние между полосами, равное 0.15эВ, совпадает с величиной энергии колебания молекулярного иона O_2^-, находящегося в узле кристаллической решетки щелочно-галоидных кристаллов по данным [2].

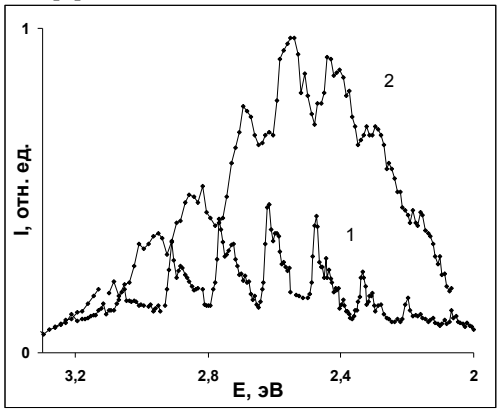


Рис.2 Спектры наносекундного компонента активаторной ИКЛ кристалла LiF-TiO_2, возбуждаемой импульсом электронов при 15(1) и 300К (2).

Спектр долгоживущего компонента затухания ИКЛ кристалла LiF-TiO_2 при 15К состоит из монополосы с максимумом на 2.9 эВ с значением полуширины 0.7 эВ, а при 300К из двух полос с положением максимумов на 3.1 и 2.4 эВ (рис.3)

Установлено, что долгоживущий компонент затухания имеет две стадии разгорания: наносекундную и инерционную, которая возникает при Т>250К. Спектры ИКЛ на обеих стадиях разгорания одинаковые. При 300К вклад инерционного компонента разгорания составляет не более 15% от амплитудного значения

интенсивности микросекундного компонента ИКЛ (рис.1).

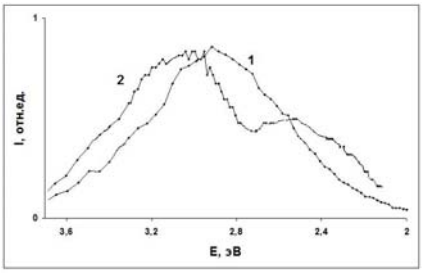


Рис.3. Спектры долгоживущего компонента затухания ИКЛ кристалла LiF-TiO_2, возбуждаемой импульсом электронов при 15 (1) и 300К (2). (Спектры нормированы.)

При исследовании влияния дозы предварительного облучения кристалла на спектрально-кинетические параметры активаторной ИКЛ установлено, что при $D \leq 10^3$ Гр вид спектра ИКЛ не изменяется, что свидетельствует о неизменном зарядовом состоянии четырехвалентных ионов титана в составе центров свечения

Установлено, что амплитудное значение интенсивности микросекундного компонента ИКЛ не зависит от поглощенной кристаллом дозы при любой температуре в исследованном диапазоне 15-300К. (На рис.4, кривые 4 и 5, приведены дозные зависимости интенсивности этого компонента в максимуме полосы на 3 эВ при 15 и 300К).

В отличие от микросекундного компонента величина амплитудного значения наносекундного компонента интенсивности ИКЛ не зависит от величины поглощенной кристаллом дозы только при 15К (рис.4) и линейно растет с увеличением дозы при Т≥150К. При этом величина дозовой скорости ($\Delta I/\Delta D$) зависит от температуры кристалла и увеличивается с ее ростом (рис.4).

Увеличение эффективности (световыхода) наносекундного компонента ИКЛ имеет место одновременно с радиационным разрушением гидроксильных ионов, присутствие которых в кристалле до облучения фиксировалось нами по спектрам оптического поглощения в ИК области (полосы в области 0.44-0.46 эВ).

Известно, что одним из продуктов распада ионов OH^- в кристаллах LiF являются молекулярные ионы O_2^-. Процесс их создания в щелочно-галоидных кристаллах по [3] является термоактивируемым и описывается реакцией:

$$O^- + O^- \rightarrow O_2^- + Va + e,$$

где Va- анионная вакансия, е- электрон.

Полученные нами результаты, представленные на рис. 2 и рис.4, прямо свидетельствуют о присутствии в исследованных кристаллах LiF-TiO_2 ионов O_2^-, о существовании термоактивированного процесса их создания под действием ионизирующей радиации и о возбуждении под действием ИЭ короткоживущих электронно-колебательных переходов в молекулярном кислородном ионе.

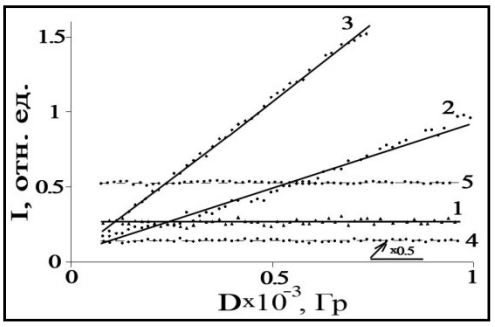


Рис.4. Дозные зависимости амплитудных значений наносекундного (1-3) и микросекундного (4, 5) компонентов интенсивности ИКЛ на 2.75эВ (1-3) и 3эВ (4,5) при 15(1,4), 200 (2) и 300К (3,5).

Обнаруженные различия спектрально-кинетических параметров затухания и разгорания а также характера дозных зависимостей амплитудных значений интенсивностей компонентов ИКЛ (рис.1 - рис.4) позволяют утверждать, что наносекундный и микросекундный компоненты затухания ИКЛ принадлежат центрам свечения разной природы. Одним из них является молекулярный ион O_2^-, тогда как природа центра с долгоживущими излучательными переходами, спектры которого представлены на рис.3, не ясна. Предстоят дальнейшие исследования.

Список литературы

1. Активаторная катодолюминесценция кислородсодержащих кристаллов LiF / Л.А. Лисицына, В. И. Корепанов, А.Е. Елисеев, В.М. Лисицын, Н. Н. Тимошенко, А. К. Даулетбекова // Опт. спектр. – 2011. – Т 110, – С. 582-587.

2. Ребане К. К. Элементарная теория колебательной структуры спектров примесных центров кристаллов. / К. К. Ребане . – М. : Наука, 1968. – 231 с.

3. Formation and annealing of hydrogen centers in OH^- containing X-irradiated LiF crystals / Z. G Akhvlediani, K. Y. Berg, G. Berg // Crystal Lattice Defects. –1980. – V. 8, – P. 167-175.

ИЗМЕНЕНИЕ НАНОТВЕРДОСТИ ЖЕЛЕЗА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ

Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Мартусевич Е.В.
Научный руководитель: Громов В.Е., д.ф.-м.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42

Актуальность исследований влияния различного рода внешних энергетических воздействий на прочность и пластичность металлических материалов диктуется требованиями практики. В первую очередь это связано с тем, что технический прогресс не стоит на месте и для достижения тех или иных технологических задач необходимо понимание физической природы влияния внешних энергетических воздействий на процессы пластической деформации металлов. Наибольший интерес с точки зрения практики вызывают слабые энергетические воздействия, поскольку при минимальных энергозатратах можно добиться «гигантского» увеличения или снижения, в зависимости от поставленных задач, прочностных свойств металлических материалов. Кроме того хотелось бы отметить, что с появлением портативных электротехнических устройств большинству конструкционных материалов приходится работать в условиях постоянного влияния слабых энергетических воздействий (электромагнитное поле, электрические токи и т.д.), что может привести к незапланированному выходу их из строя и, соответственно, к трагическим последствиям.

В настоящее время достаточно точно установлено, что воздействие слабых электрических потенциалов, непосредственно подводимых к металлу или созданных за счет контакта с металлом, имеющим отличную от исследуемого работу выхода электрона с поверхности, приводит к изменению прочностных и пластических характеристик исследуемого металла, а эффект влияния оказывается чувствителен к массе подсоединяемого металла. Авторы работы [1] связывают указанные изменения с влиянием электрического потенциала на двойной электрический слой, образующийся на поверхности.

Вышесказанное определяет цель работы: изучение влияния электрического потенциала, созданного за счет контакта исследуемого металла с металлом, имеющим отличную работу выхода электрона с поверхности, на прочностные свойства поверхности в наномасштабе.

Материалом для исследования служило технически чистое железо. Образцы перед испытаниями проходили стандартную процедуру подготовки. Измерение нанотвердости проводили при помощи “Nano Hardness Tester” фирмы CSEM в НИИЯФ при ТПУ, работающим с использованием метода непрерывного вдавливания с одновременной регистрацией глубины внедрения индентора и величины нагрузки (метод кинематической твердости).

Способ изменения электрического состояния образцов железа заключался в подключении к изолированному образцу металлических пластин из меди и циркония различной массы от 1 до 40 грамм. Данные металлы имеют отличную от исследуемого работу выхода, следовательно, при их присоединении к нему возникает контактная разность потенциалов, зависящая от разницы работ выхода железа и воздействующего металла [2, 3].

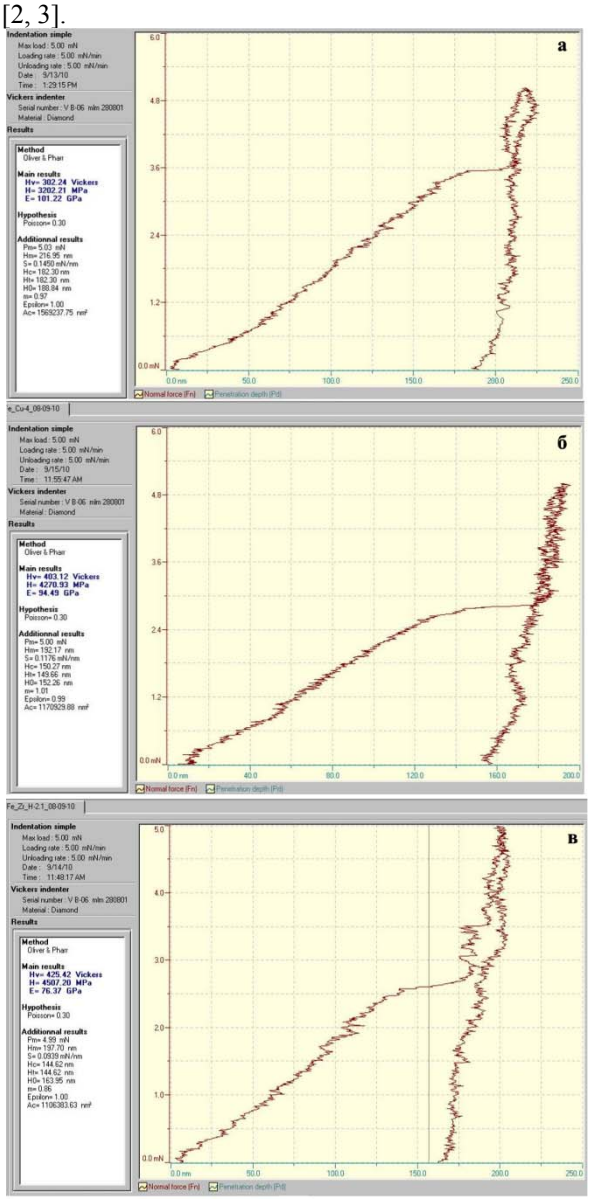


Рис.1. Нанотвердость железа (а) с подключением меди (9,8 гр.) (б) и циркония (6,5 гр.) (в)

Наблюдаемый эффект, состоящий в изменении нанотвердости при указанных выше воздействиях, удобно оценивать отношением $H = \frac{\overline{HV_E} - \overline{HV_0}}{\overline{HV_0}} \cdot 100$, где $\overline{HV_E}$ и $\overline{HV_0}$ - средние значения нанотвердости исследуемого металла при заданном электрическом воздействии на него и без него, соответственно. Для обработки данных использовались стандартные методы математической статистики [4].

Существование эффекта и возможность его экспериментального наблюдения иллюстрируются рисунком 1.

Выполненные исследования по влиянию величины массы присоединенного металла на нанотвердость железа показали, что зависимость относительного изменения нанотвердости от массы подключаемого металла имеет экстремальный характер (рис. 2 и 3).

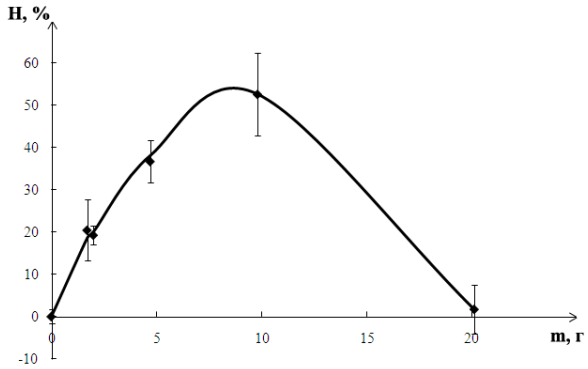


Рис.2. Зависимости относительного изменения нанотвердости железа от массы подключаемых пластин из меди (нагрузка на индентор 5 мН)

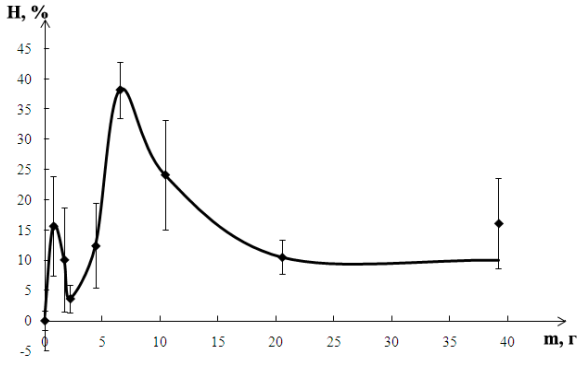


Рис.3. Зависимость относительного изменения нанотвердости железа от массы подключаемого циркония

Установлено, что при присоединении масс меди к железу нанотвердость экстремально увеличивается на 50 % при значении массы подключаемого металла 9 грамм. Дальнейшее увеличение массы подключаемого металла приводит к снижению значения нанотвердости до исходной величины (рис. 2).

Анализ зависимости относительного изменения нанотвердости железа от массы подключаемого циркония показывает, что наблюдается два максимума увеличения нанотвердости. Первый при массе подключаемого циркония 1,7 грамма (16 %), второй при 6,5 (37 %) (рис. 3).

Рассмотрим возможный механизм влияния электрического потенциала на нанотвердость. При электрическом контакте разнородных металлов между ними возникает контактная разность потенциалов, что вызывает перезарядку имеющихся на их поверхности двойных электрических слоев [2]. Это в свою очередь приводит к изменению плотности поверхностной энергии исследуемого материала [5,6], что, способствует зарождению пластических сдвигов и развитию разнообразных дефектов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт № П411).

Литература

1. Зуев, Л. Б. О влиянии контактной разности потенциалов и электрического потенциала на микротвердость металлов / Л. Б. Зуев [и др.] // ФТТ. – 2009. – № 6. – С. 1077 – 1080.

2. Ашкрофт, Н. Физика твердого тела. Кн.1. / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. – М.: Мир,1979. – 399 с.

3. Физические величины: справочник / под ред. И. С. Григорьева и Е. З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

4. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 479 с.

5. Гохштейн, А. Я. Поверхностное натяжение твердых тел и адсорбция / А. Я. Гохштейн. – М.: Наука, 1976. – 400 с.

6. Лихтман В. И. Физико-химическая механика металлов / В. И. Лихтман, Е. Д. Щукин, П. А. Ребиндер. – М.: АН СССР, 1962. – 303 с.

СТРУКТУРНЫЕ ПРИЧИНЫ ШИФЕРНОГО ИЗЛОМА В СТАЛИ 12ГБА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ

Заточная Л.В.[1,2], Деревягина Л.С.[1,2]
Научный руководитель: Деревягина Л.С. к.ф.-м. н., доцент
[1] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, пр. Академический, 2/4
[2] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivanovskaya.l@gmail.com

Введение

Низкоуглеродистые малолегированные стали широко используются как конструкционные материалы при строительстве магистральных нефте- и газопроводов, работающих в сложных климатических условиях и при высоком давлении. К трубным сталям предъявляется комплекс требований: повышенная прочность, коррозионная стойкость, хорошая свариваемость и малая склонность к хрупкому разрушению. Поскольку прочностные свойства материалов повышаются после интенсивной пластической деформации (ИПД), то исследователи проявляют большой интерес к сталям после различных видов ИПД обработки. Зеренно-фазовое состояние и механические свойства сталей с субмикрокристаллической (СМК) структурой, полученной в ходе ИПД, исследовали в работах [1-3]. В работе [2] было отмечено, что в отличие от стали в крупнокристаллическом (КК) состоянии изломы образцов стали после РКУП характеризуются наличием вырывов (синонимы: «расслоения», «расщепления», «шиферность») Ярко выраженную шиферность изломов наблюдали также в работе [3] в образцах стали 12ГБА в СМК состоянии, вырезанных из определенных сечений поковки. Из литературы известно отрицательное воздействие шиферности на вязкость разрушения. Так в работе [4] отмечается, что после сужения в шейку сила растяжения вдоль поперечной компоненты σ_{zz} увеличивается. Это обстоятельство может привести к разрывам по «слабым поверхностям» материала, если они имеются. Поскольку с началом расслоев сужение шейки прекращается, то расслоение уменьшает величину сужения ψ и соответственно, общую вытяжку ΔL, а также зависящую от ψ и ΔL работу распространения трещины W – вязкость разрушения. Таким образом, шиферный излом является первым признаком пониженной вязкости. Поэтому для устранения отрицательного воздействия шиферности на вязкость разрушения путем идентификации ее структурных причин является весьма актуальной задачей

Цель работы: выявить конкретный структурный вариант, обуславливающий механическую природу возникновения шиферности в стали 12ГБА в СМК состоянии.

Материал и методика исследования

Исследовали трубную сталь 12ГБА (C 0,11%; Mn 1,2%; Si 0,25%; Nb 0,05%; Cu 0,35%; Al 0,0026; P 0,0012%; S 0,005%) после всесторонней изотермической ковки с суммарным истинным сужением φ=6,2. Всестороннюю ковку проводили по схеме, описанной в [5]. После завершающей осадки заготовка имела форму диска диаметром ~ 80 мм и толщиной 7,5 мм.

Структурно-фазовые исследования стали проводили с использованием оптического микроскопа марки «Zeiss Axiovert 25 и электронного микроскопа JEM-2000EX. Травление осуществляли в пересыщенном растворе пикриновой кислоты с добавлением поверхностно-активного вещества. Струйную электрополировку фольг проводили на приборе Tenupol-5 в 9% растворе хлорной кислоты в n-бутиловом спирте.

Плоские образцы для механических испытаний вырезали электроэрозионным методом с размерами 15×3×1мм. Образцы исследовали из разных сечений поковки (см. рис. 1).

Рисунок 1 – Схема вырезки образцов

Растяжение при скорости движения захватов 0,0027 мм/сек проводили на установке ИМАШ 20-78. Характер разрушения анализировали на растровом электронном микроскопе SEM 515 марки «Philips» в широком диапазоне увеличений.

Результаты исследований

В ходе металлографических исследований было установлено, что структура стали 12ГБА после всесторонней изотермической ковки слоистая, ферритно-перлитная (рис. 2). Расстояние между строчками перлита на лицевой грани образцов сечения Y0Z составляют примерно 22 мкм, а средний размер ферритных зерен, усредненный по поверхностям X0Y, Z0X и Z0Y равен 19 мкм.

Как показали электронно-микроскопические

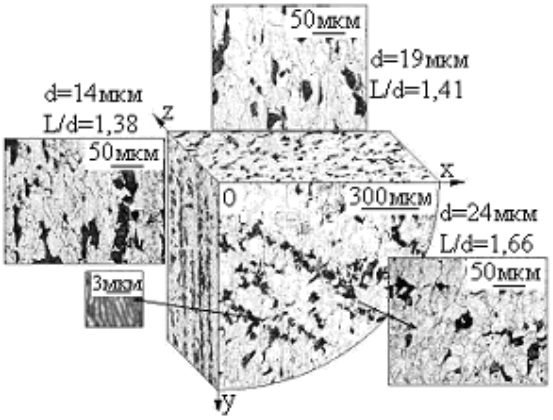
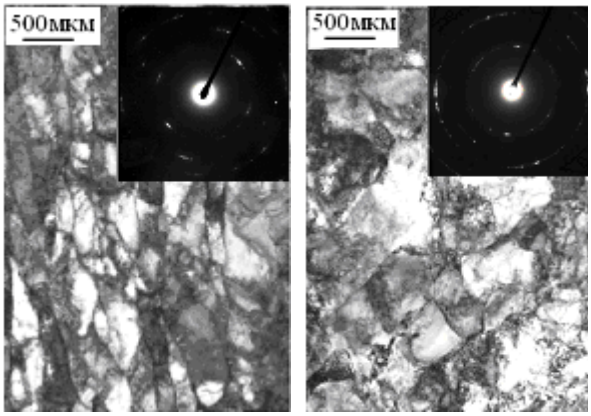
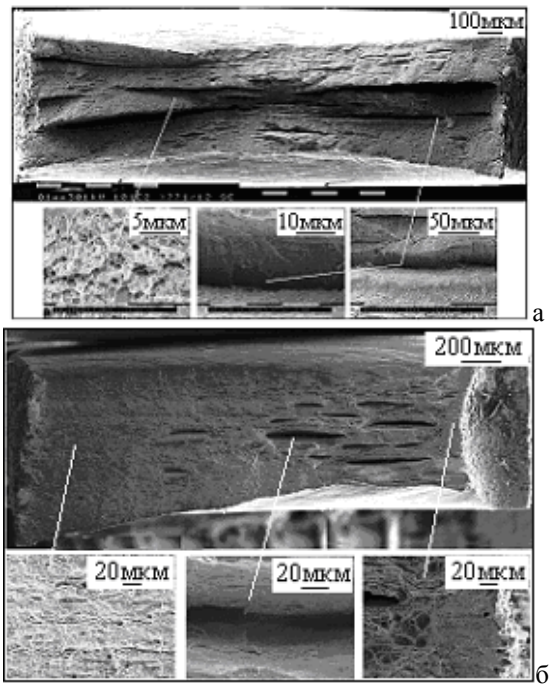


Рисунок 2 – Структура СМК стали 12ГБА



а б

Рисунок 3 – Структура СМК стали 12ГБА
а – сечение Z0Y, б – сечение X0Y



а

б

Рисунок 4 – Разрушение образцов стали 12ГБА сечения Y0X, с осью растяжения // 0X:
а – образец без надреза, б – образец с надрезом

исследования, структура стали 12ГБА после всесторонней ковки состоит из фрагментов субзерен порядка 0,4 мкм (рис. 3). Из этого следует, что данная обработка приводит к формированию в стали СМК структуры.

Разрушение образцов сечения Y0X стали 12ГБА в СМК состоянии, как правило, происходит поперечным срезом вдоль локализованной макрополосы, ослабленной деформацией, а их излом характеризуется множественным расслоением вдоль оси Z (рис. 4).

Ширина расслоев на поверхности изломов образцов без надрезов варьирует в интервале 10-50 мкм, тогда как в образцах, растянутых с более «жесткой» схемой напряженного состояния 30-100 мкм. Следует отметить, что в продольных трещинах обнаружены гладкие фасетки, по-видимому, внутризеренного скола (рис. 4).

Известны разные типы структурных причин шиферности [6]. Исходя из изложенного выше можно предположить, что «слабой поверхностью» в исследуемой стали могут быть строчки перлита, межфазные границы феррит – перлит, расположенные параллельно длинной стороне излома или поверхности, разделяющие области с одинаковой ориентацией зерен в альфа фазе.

Используемая литература:

1. Астафурова Е.Г., Захарова Г.Г., Найденкин Е.В., Добаткин С.В., Рааб Г.И. Влияние равноканального углового прессования на структуру и механические свойства низкоуглеродистой стали 10Г2ФТ // ФММ. - 2010. - том 110. - № 3. - С. 275-284.

2. Яковлева С.П., Махарова С.Н., Борисова М.З. Структура, свойства и особенности разрушения низколегированной стали в субмикрокристаллическом состоянии // Металлы. - 2006. - № 4. - С. 71-78.

3. Деревягина Л.С., Заточная Л.В., Сафаров И.М., Корзников А.В. Влияние интенсивной пластической деформации на структуру и механические свойства стали 12ГБА // Перспективные материалы (принята в печать).

4. Арабей А.Б, Пышминцев И.Ю., Штремель М.А. Сопротивление сталей класса прочности Х80 распространению вязких трещин в магистральных газопроводах // Известия высших учебных заведений. Черная металлгургия.-2009.-№ 9.-С.3-8.

5. Mulyukov R.R., Imayev R.M., Nazarov A.A. Production, properties and application prospects of bulk nanostructured materials // Proceedings: Ultrafine-grained materials. 2008 TMS Annual Meeting, // J Mater Sci. DOI 10.1007/s10853-008-2777-9.

6. Арабей А.Б., Пышминцев И.Ю., Штремель М.А., Глебов А.Г. О структурных причинах шиферности вязких изломов толстолистовой стали // Известия высших учебных заведений. Черная металлгургия. - 2009. - № 9. - С. 9-15.

ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТЖИГОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 06МБФ В ФЕРРИТО - МАРТЕНСИТНОМ СОСТОЯНИИ

Захарова Г.Г., Тукеева М.С.
Научный руководитель: Астафурова Е.Г, к.ф.-м.н, доцент
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
E-mail: galinazg@yandex.ru

Введение

В настоящее время большое внимание исследователей направлено на влияние методов интенсивной пластической деформации (ИПД) на структуру и свойства чистых металлов и сплавов замещения. Работ посвященных ИПД сталей немного, что связано с технологическими трудностями, хотя ИПД сталей позволяет создавать новые материалы с высокими прочностными характеристиками, которые имеют перспективы дальнейшего практического применения.

В данной работе исследовано влияние интенсивной пластической деформации равноканальным угловым прессованием (РКУП) и последующих высокотемпературных отжигов на механические свойства и структуру низкоуглеродистой стали 06МБФ.

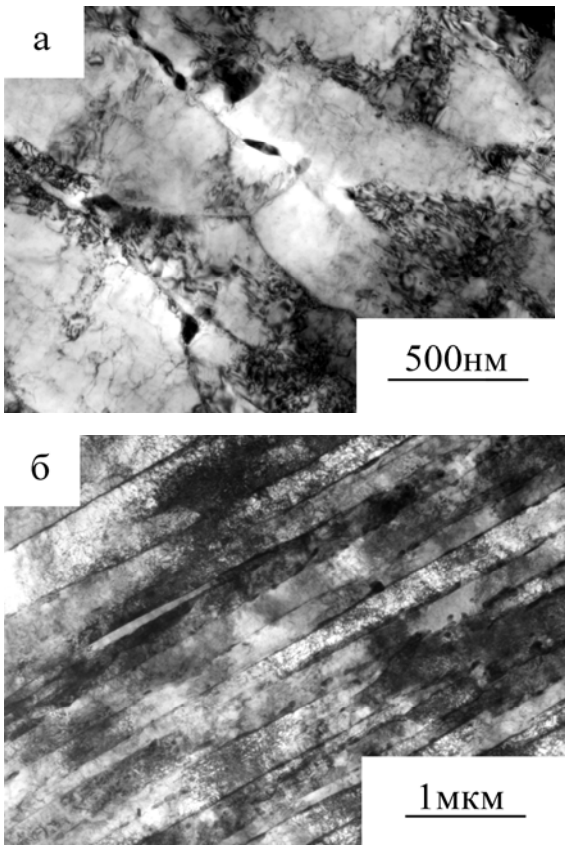


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры стали 06МБФ в исходном феррито-мартенситном состоянии: а) структура феррита б) структура мартенсита

Методика эксперимента

Сталь 06МБФ (Fe-1Mo-0,1V-0,1Nb-0,06C, мас.%) находилась в феррито-мартенситном состоянии (закалка от 920°С-30мин. в воду и отпуск 670°С-1ч.). РКУП проводили по режиму B_C, Ф=120°, 6 проходов при Т=300°С. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Olympus GX-71. Для изучения микроструктуры использовали просвечивающий электронный микроскоп Philips CM200. Испытания на растяжение выполняли на электромеханической установке Instron 3369 со скоростью $3.5*10^{-3}c^{-1}$, микротвердость измеряли при помощи микротвердомера Duramin 5 с нагрузкой 200 г. Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре Shimadzu XRD-6000. Высокотемпературные отжиги проводили в интервале температур 400÷700ºС (1 час).

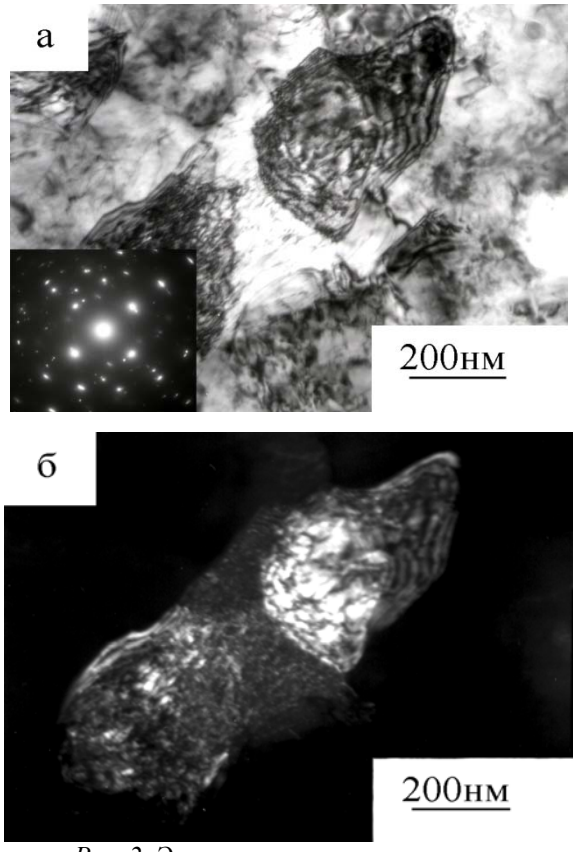


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения структуры стали 06МБФ после РКУП: а) светлопольное изображение; б) темнопольное изображение в рефлексе α-Fe

Результаты эксперимента

В исходном состоянии (рис.1а, б) сталь состояла из феррита со средним размером зерна ~ 0,8 мкм (рис.1а) и пластинчатого мартенсита со средней толщиной мартенситных пластин ~0,4 мкм (рис.1б). Объемная доля мартенсита в структуре составляла около 20%. В структуре стали обнаружены карбиды округлой формы Fe_3C, M_6C (~90 нм), расположенные преимущественно на границах зерен и мартенситных ламелей и карбиды Fe_3C (~15-20 нм) - внутри зерен.

Методом электронной просвечивающей микроскопии обнаружено, что после РКУП стали 06МБФ формируется преимущественно субмикрокристаллическая (СМК) структура со средним размером структурных элементов – 320 нм (рис.2 а, б). Структура стали после РКУП неравновесная, наблюдаются многочисленные контуры экстинкции как внутри, так и по границам зерен. РКУП приводит к измельчению карбидной подсистемы, обнаружены мелкие частицы Fe_3C (~ 2-3 нм), Fe_3C, V_8C_7 (~ 70 нм).

РКУП вызывает изменение интенсивности и ширины рентгеновских максимумов (рис. 3). Значения микродеформаций решетки составляет– $\Delta d/d=2\times10^{-4}$ до и 8×10^{-4}после РКУП.

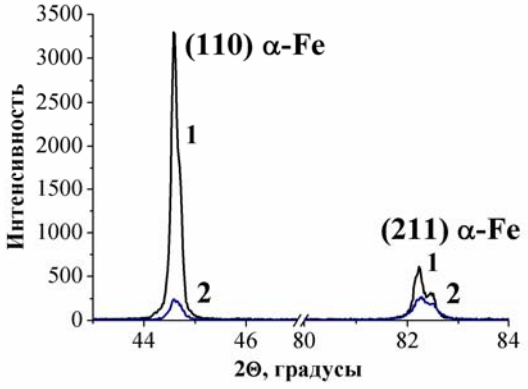


Рис. 3. Влияние РКУП на рентгенограммы стали 06МБФ:1) исходное состояние; 2) после РКУП

Исследование механических свойств стали после РКУП с формированием преимущественно субмикрокристаллической структуры показало, что РКУП ведет к существенному повышению прочностных свойств. На рис. 4 представлены кривые течения в координатах «напряжение-относительная деформация». В исходном феррито-мартенситном состоянии сталь имела низкий предел текучести σ_0=480МПа, и хорошую пластичность ε =13,5 %. Кривая течения стали 06МБФ в исходном состоянии характеризовалась зубом текучести, что связано с закреплением дислокаций атомами легирующих элементов на первой стадии деформации. РКУП приводит к увеличению предела текучести до σ_0=700МПа, исчезновению зуба текучести и спаду пластичности до ε =5,7%.

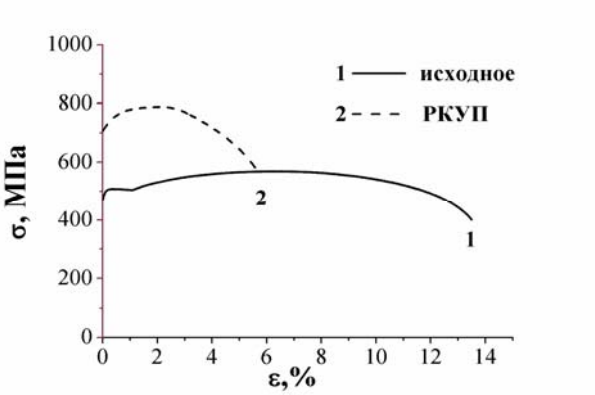


Рис. 4. Влияние РКУП на кривые течения стали 06МБФ в феррито-мартенситном состоянии

Микротвердость после РКУП возрастает по сравнению с исходным состоянием и составляет: H_μ = 3,3 ГПа (в исходном состоянии H_μ = 2,1 ГПа). Высокие значения микротвердости, полученные при РКУП, сохраняются до температуры отжига Т=500°С. По достижении температуры Т = 600 °С начинают действовать процессы рекристаллизации и, как следствие, наблюдается спад микротвердости до H_μ = 2,8 ГПа. После отжига Т = 700 °С структура стали становится полностью рекристаллизованной и обладает низкими прочностными свойствами.

Таблица 1. Значения микротвердости (H_μ, ГПа) стали 06МБФ после РКУП и высокотемпературных отжигов

Сост.	Исход.	РКУП	РКУП+ 400°С	РКУП+ 500°С	РКУП+ 600°С	РКУП+ 700°С
H_μ, ГПа	2,1	3,3	3,3	3,0	2,8	1,5

Выводы

Таким образом, после РКУП стали 10Г2ФТ в феррито-мартенситном состоянии формируется СМК структура с размером структурных элементов 320 нм. РКУП позволяет повысить прочностные характеристики: микротвердость до 3,3 ГПа, предел текучести до 700МПа. Полученная методом РКУП структура обладает высокой термостабильностью до 500ºС.

Авторы работы выражают благодарность за сотрудничество своим коллегам профессору Добаткину С.В. и к.ф.-м.н. Найденкину Е.В. Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» для аспирантов 2009-2013г. (ГК №П151 от 15.04.2010) и гранта Президента РФ (МК-43.2011.8).

МЕХАНИЗМ АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВБЛИЗИ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ СПЛАВА NI-AL ПРИ НАЛИЧИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

Захаров П.В.
Научные руководители: Старастенков М. Д., д.ф.-м.н., профессор, Медведев Н.Н. к.ф.-м.н., доцент,
Алтайская государственная академия образования имени В.М. Шукшина
659333, Россия, Алтайский край, г. Бийск, ул. Короленко, 53
zakharovpvl@rambler.ru

Изучение явлений, происходящих на межфазной границе сплава, являются актуальным направлением исследований, представляющим интерес для материаловедения. Основными проблемами при экспериментальном изучении процессов протекающих на межфазной границе являются, зачастую, их высокая скорость, а так же малые размеры рассматриваемых объектов. Обойти данные затруднения позволяет компьютерное моделирование.

В данной работе исследовался механизм атомных смещений при размещении вблизи межфазной границы межузельных атомов. Использовалась двумерная модель межфазной границы сплава Ni-Al. Кристаллическая решетка моделировалась методом молекулярной динамики, атомы которой взаимодействовали посредством потенциала Морзе:

$$U(r) = D\beta\left(\beta e^{-2\alpha r} - 2e^{-\alpha r}\right)$$

Параметры потенциала рассчитывались с учетом 8 координационных сфер.

Методика создания начальной конфигурации расчетной ячейки, как предложено в [1], включала три стадии: построение, первичная релаксация и охлаждение.

Межфазная граница в биметалле Ni-Al проходила через середину ячейки размером 40×80 частиц. Граничные условия для расчетной ячейки задавались следующим образом: по оси x – периодические (межфазная граница представлялась в виде протяженного периодического дефекта), по оси y – свободные. Начальная температура ячеек задавалась равной нулю Кельвин. Искусственно созданная граница раздела металлов, подвергалась процедуре релаксации, в течение которой граничные атомы занимали равновесное положение. В результате релаксации наблюдалось повышение температуры ячейки до нескольких десятков Кельвин. Время релаксации ячейки составило 100 пс, на этап охлаждения было отведено 10 пс. Таких временных рамок эксперимента достаточно для того, чтобы ячейка успела избавиться от лишнего свободного объема, который возникал на межфазной границе при создании начальной структуры [1]. В итоге формировалась межфазная граница с характерными дислокациями несоответствия из-за различия постоянных решеток, представленная на рис. 1.

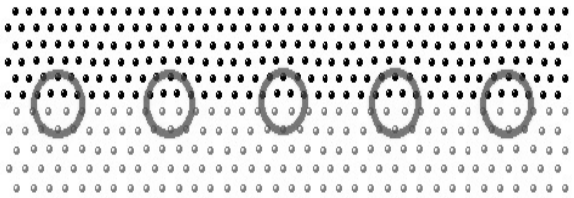


Рис.1. Межфазная граница биметалла Ni-Al, с выделенными дислокациями несоответствия.

Следующий этап эксперимента состоял из внедрения межузельных атомов на различном расстоянии от межфазной границы. После этого проводилась дальнейшая релаксация расчетной ячейки. Внедрялись два типа атомов поочередно Ni и Al в межузельное пространство никеля.

В результате серии компьютерных экспериментов было установлено, что внедрение межузельных атомов приводит к направленному смещению атомов вдоль направления плотной упаковки до пересечения плотноупакованного ряда с межфазной границей и вытеснение атома из крайнего ряда в кристаллическую решетку соседнего металла. Особенностью таких смещений является то, что смещения атомов происходит в сторону ближайшей дислокации несоответствия.

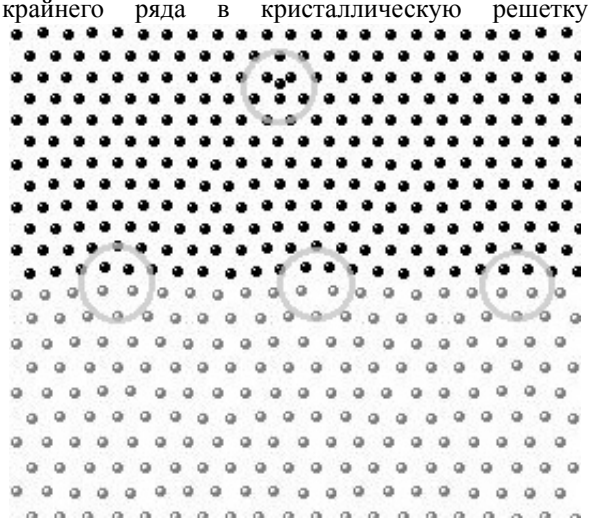


Рис. 2. Начальная конфигурация ячейки после внедрения межузельного атома с выделением внедренного атома и ближайших к нему дислокаций несоответствия на границе металлов

На Рис. 2. представлена начальная конфигурация ячейки после внедрения межузельного атома с выделением внедренного атома и ближайших к нему дислокаций несоответствия на границе металлов.

Как было сказано выше, смещения атомов происходит в сторону ближайшей дислокации

несоответствия вдоль плотноупакованного ряда. На рис. 2. ближайшей дислокацией несоответствия является крайняя левая дислокация. Именно, в ее сторону и происходят атомные смещения с последующим вытеснением атома из крайнего ряда, которым происходит заполнение дислокации несоответствия. Наглядно это представлено на рис. 3.

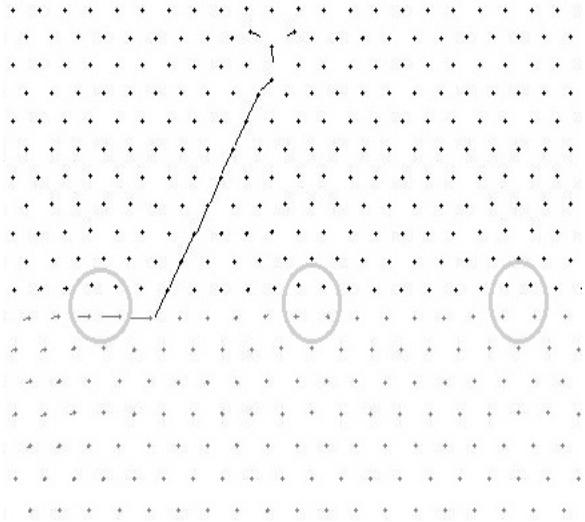


Рис. 3. Атомные смещения, вызванные межузельным атомом, с выделением положения дислокаций несоответствия на границе металлов.

Характер атомных смещений обусловлен рядом факторов. Во-первых типом внедренного атома, в данном случае Ni или Al. Во-вторых, удаленностью от границы внедренного атома, В-третьих, начальной температурой ячейки. В-четвертых, положением внедренного атома относительно дислокаций несоответствия.

При внедрении атома Ni, глубина, на которой, межузельный атом вызывал направленные смещения в сторону ближайшей дислокации несоответствия на границе металлов достигла 13 - 14 постоянных решетки от границы металлов. Стоит отметить, чтобы добиться подобного эффекта далее 11 ряда атомов от границы, необходимо подогревать ячейку дополнительно. Так для активации атомных смещений из 12 и 13 междурядья пришлось подогревать ячейку на 100 и 150 К соответственно. Повышение температуры далее не приводило к увеличению расстояния внедрения межузельного атома от границы металлов, приводящего к направленному смещению атомов. Таким образом, ширина зоны, где температурное воздействие является катализатором для активации механизма направленного дрейфа атомов, при внедрении атома Ni, составляет две постоянных решетки.

При внедрении атома Al, глубина, на которой межузельный атом вызывал направленные смещения в сторону ближайшей дислокации несоответствия на границе металлов, достигла 11 постоянных решетки от границы металлов. В отличии от случая внедрения атома Ni, здесь ширина зоны, на которой температура выступает катализатором к активации атомных смещений, шире в 2,5 раза и составляет 5 постоянных решетки. Для получения данного эффекта для крайних пяти значений (междурядье от 7-8 до 11-12 рядов), производился подогрев ячейки на 100 – 250 К. Повышение температуры далее не приводило к увеличению расстояния внедрения межузельного атома от границы металлов к направленному смещению атомов.

Характер смещения независимо от типа внедренного атома обусловлен так же расстоянием внедрения атома от границы металлов. Прямолинейная траектория, как на рис. 3., свойственна при внедрении от 3 до 10 междурядья. При более близком расположении межузельного атома к границе металлов возможно вытеснение атома не напрямую в дислокацию несоответствия, т.е. сначала атом вытесняется в соседний металл, а потом происходит смещение ряда атомов вдоль границы металлов и ближайшая дислокация несоответствия заполняется.

При более отдаленном расположении внедренного атома (10 и более постоянных решетки), зачастую, наблюдается ломаная траектория смещения атомов. Это чаще всего обусловлено относительным расположением внедренного атома и ближайшей дислокации несоответствия на границе металлов. Так при внедрении атома над дислокацией несоответствия, он движется по ломаной траектории и заполняет ее. Если же внедренный атом смещен в сторону от дислокации несоответствия, как на рис. 3., то смещения происходят вдоль плотноупакованного ряда, непосредственно в дислокацию несоответствия. В зависимости от вида траектории, различалось время, которое требуется для смещения вплоть до границы раздела металлов и вытеснения крайнего атома. В случае прямолинейной траектории данный процесс происходит быстрее по сравнению с траекторией, которая имеет ломанный характер. Это обусловлено более длинным путем до ближайшей дислокации несоответствия.

Установлено, что повышение начальной температуры расчетной ячейки приводит к увеличению скорости активации направленного дрейфа атомов.

Список литературы

1. Полетаев Г.М. Исследование процессов взаимодиффузии в двумерной системе Ni-Al : Диссертация канд. Физ.-мат. наук. – Барнаул, 2002. – 186 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИАБАЗА И БАЗАЛЬТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕКОРАТИВНОЙ ПЛИТКИ

Зыкова Ю.А., Сафонова Т.В.
Научный руководитель: Баяндина Е.В., доцент к.т.н.
Иркутский государственный технический университет
E-mail: Ulya2279@mail.ru

В связи с развитием строительной отрасли в России возрастает спрос на отделочные и строительные материалы. В современном строительстве необходимы красивые и недорогие отделочные материалы. Одним из таких материалов является керамическая плитка.

Для производства лицевых и отделочно-декоративных керамических материалов разработан ряд технологий. Для изготовления цветных материалов применяется способ объемного окрашивания, а для изделий поверхностного декора чаще используются различные способы обработки лицевой поверхности. Оба способа имеют свои недостатки. При поверхностном декорировании это отколы на лицевой поверхности изделия, образующиеся в процессе эксплуатации или при перевозке, которые снижают декоративные и эксплуатационные свойства готовой продукции. Объемное окрашивание часто связано с большим расходованием дорогостоящих искусственных красителей, хотя нередко используют добавки природных материалов, таких, как карбонатные породы, руды черных и цветных металлов, диабаз и базальт.

Целью нашей работы является: исследовать возможность применения базальта и диабаза в производстве объемно-окрашенной декоративной плитки.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- исследовать пригодность базальта и диабаза месторождений Слюдянского района Иркутской области в качестве окрашивающей и спекающей добавки для керамической плитки;
- изучить влияние фракционного состава базальта и диабаза на декоративные и физико-механические свойства плитки.

Базальт – самая распространенная на Земле излившаяся магматическая горная порода. Текстура базальта в основном плотная, пористая, кристаллы не видны невооруженным глазом, цвет тёмный до черного.

Диабаз является уникальной горной породой по физико-механическим свойствам. Окраска диабазов самая разнообразная, возможна с разводами и переходами цвета от темно-серого или зеленовато-черного. Диабаз обладает высокой твердостью и прочностью на сжатие. Плотность - 2,79-3,3 г/см^3. Диабазы очень декоративны и широко используются для ландшафтного дизайна.

Таблица 1 - Химические составы сырьевых компонентов

Содержание оксидов, масс. %	Наименование	Никольская глина	Диабаз	Базальт	Диопсид
	SiO_2	60,03	51,29	49,87	54,61
	Al_2O_3	33,59	13,45	15,96	0,41
	Fe_2O_3	1,00	3,17	5,47	0,03
	TiO_2	1,12	2,12	1,38	0,02
	CaO	0,22	8,51	9,10	25,43
	MgO	0,19	5,5	6,27	19,06
	K_2O	3,30	1,1	1,55	0,22
	Na_2O	0,12	3,02	3,16	0,21
	FeO	0,38	11,62	6,47	0,00
	P_2O_5	0,04	0,02	0,46	0,00
	MnO	0,00	0,2	0,31	0,00
	Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 2 - Химические составы масс

	Содержание оксидов, масс. %										
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	FeO	P_2O_5	MnO	Сумма
M1 (диабаз)	55,31	15,89	1,40	1,09	11,39	8,25	1,54	1,12	4,00	0,02	0,07	100,00
M2 (базальт)	54,84	16,65	2,16	0,84	11,58	8,51	1,69	1,16	2,30	0,17	0,1	100,00

В данной работе производство керамических плиток осуществлялось в лабораторных условиях.

Сырьевые материалы (хим. состав приведен в табл. 1) раздельно измельчались в лабораторной шаровой мельнице, затем просеивались до полного прохождения через контрольное сито 0.063. Аналогично подготавливались диабаз и базальт, но так как для нашей работы требовались разные фракции, эти материалы просеивались через сита 0.224; 0.5; 0.85; 1.25 и 2.0. Было разработано два базовых состава, декорированных различными фракциями базальта или диабаза. Хим. составы масс приведены в табл.3.

Для определения свойств керамических материалов использовались образцы – «столбики» размером 30×30 мм. Образцы получали полусухим прессованием порошков влажностью 8%. Вылеживание пресс-порошка производилось 24 ч в эксикаторе.

Полученные образцы проходили физико-механические испытания, визуальный и микроскопический контроль.

Результаты определения водопоглощения опытных образцов представлены в табл. 3, плотности – в табл. 4.

Таблица 3 - Водопоглощение обожжённых образцов

Фракции		Температура обжига, ºС		
		1050	1100	1150
		Водопоглощение, %		
Диабаз	2,0	11,094	7,339	6,316
	1,25	10,540	11,084	2,311
	0,85	10,284	8,543	3,241
	0,5	10,856	9,337	6,080
	0,224	11,495	9,225	3,887
Базальт	2,0	11,501	7,956	6,735
	1,25	11,048	8,219	5,149
	0,85	10,798	7,535	4,074
	0,5	11,646	9,106	0,219
	0,224	10,554	11,182	0,464

Таблица 4 - Плотность обожженных образцов

Фракции		Температура обжига, ºС		
		1050	1100	1150
		Плотность кг/м^3		
Диабаз	2,0	2,34	2,69	2,85
	1,25	2,69	2,85	2,91
	0,85	2,56	2,53	2,86
	0,5	2,87	2,53	2,6
	0,224	2,33	3,04	3,17
Базальт	2,0	2,42	2,52	2,75
	1,25	2,53	2,56	2,75
	0,85	2,69	2,7	2,81
	0,5	2,51	2,59	2,99
	0,224	1,9	1,92	2,34

Твёрдость по шкале Мооса для образцов, обожженных при температуре 1150 °С, составила 7-8.

Микроскопический контроль осуществлялся следующим образом: образцы были отшлифованы наждачной бумагой и разделены на 3 группы в соответствии с температурой обжига (1050 °С; 1100 °С; 1150 °С). Ниже приводятся результаты визуальных наблюдений через оптическую систему микроскопа МИН 8 при увеличении 90 в отраженном свете.

Образцы с добавлением диабаза. 1 группа: (Т=1050 °С). Образцы светло-серого цвета с частично окрашенной в темные пятна поверхностью. В образцах с крупной фракцией диабаза (2,0; 1,25) окрашивание неравномерное. Плотность структуры у окрашенных мест не такая высокая, как в тех частях, в которых отсутствует добавка, структура заметно нарушена. Незначительно плотнее выглядит структура у образцов с фракцией 0,85. Более плотная структура и равномерное окрашивание наблюдается у образцов с фракцией диабаза 0,5 и 0,224.

2 группа: (Т=1100 °С). Плотность и равномерность окрашивания подобны первой группе. Более заметна целостность поверхности у окрашенных участков образца.

3 группа: (Т=1150 °С). Образцы имеют более плотную структуру, чем у первой и второй групп.

Образцы с добавлением базальта. 1 группа: (Т=1050 °С). По сравнению с образцами, окрашенными диабазом, эти образцы после обжига при той же температуре имеют наиболее плотную структуру. Равномерность распределения добавки базальта также зависит от величины фракции, но разрушений и пор около окрашенных участков, как у образцов с диабазом, не наблюдается.

2 группа: (Т=1100 °С). В образцах этой группы наблюдается заметное увеличение плотности структуры, равномерность окрашивания также зависит от фракции.

3 группа: (Т=1150 °С). Самую плотную структуру имеют образцы этой группы. Не наблюдается трещин, отслоений, пор. Весьма ровная и гладкая поверхность.

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

Базальт и диабаз месторождений Слюдянского района Иркутской области пригодны для производства декоративных объемно окрашенных керамических плиток.

- Материалы с добавками базальта имеют более плотную структуру и не имеют грубых дефектов по границам зерен базальта, в отличие от материалов с добавками диабаза. Плитка с добавлением базальта имеет наиболее низкое водопоглощение среди опробованных материалов (1,9%).
- Оптимальная фракция окрашивающих добавок 0,224; оптимальная температура обжига 1150 °С.
- Микроскопический контроль позволяет предположить, что зерна диабаза и базальта активно вступают в физико-химические взаимодействия в поверхностном слое.
- Полученные плитки обладают хорошими эстетическими свойствами. Образцы, в которые добавлена фракция 0,224, окрашены по всему объему равномерно, т.е. базальт и диабаз можно использовать для придания плитке цвета типа "моноколор". Образцы более крупной фракции дают рисунок «соль-перец» и похожи на образцы керамогранита эконом-класса. Образцы фракции 2,0 также обладают ярко выраженным декоративным эффектом благодаря интересной текстуре материала, но нуждаются в доработке из-за пониженных показателей физико-механических свойств.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩЕГО ГИДРОКСИЛАПАТИТА ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПЛАЗМЫ ВЧ-РАЗРЯДА

А.А. Иванова, Р.А.Сурменев, М.А.Сурменева
Научный руководитель: к.ф.-м.н. Р.А.Сурменев
Национальный исследовательский томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д.30
E-mail: metallurg_annet@mail.ru

Использование гидроксилапатита (ГА, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) в качестве биоматериала и биокерамики в дентальной и костной хирургии основано на его химическом сходстве с неорганической составляющей костей и зубов [1]. Покрытие из ГА на металлических имплантатах улучшает их биосовместимость и остеоиндуктивность. Однако проблема отторжения имплантатов костной тканью не теряет свою актуальность. Бактериальные инфекции, возникающие при имплантации, наиболее распространенная причина не успеха операций [2]. Решением этой проблемы является создание биосовместимых покрытий, обладающих антимикробными свойствами. В качестве антибактериального агента, хорошие результаты показывает серебро. Оно обладает широким спектром антибактериального действия, достаточной стабильностью и к тому же препятствует колонизации бактерий на поверхности имплантата [3].

Метод ВЧ-магнетронного распыления является эффективным методом модифицирования металлической поверхности имплантатов [3, 4]. Он позволяет, управляя режимом напыления, получать покрытия с заданными свойствами. Исходный механохимически синтезированный порошок для изготовления мишени для распыления представляет собой однофазный кристаллический серебросодержащий гидроксилапатит (Ag-ГА) с химической формулой: $Ca_{(10-x)}Ag_x(PO_4)_6(OH)_{(2-x)}$, x=0,3 (Ca/P=1,616). Мишень для ВЧ-магнетронного распыления была приготовлена по керамической технологии: прессование порошка при давлении 70 МПа, затем отжиг полученной прессованием заготовки при температуре 1100°С на воздухе в течение 6 часов.

Для напыления покрытий использовалась модифицированная промышленная установка «08ПХО-100Т-005» с магнетронным источником (5,28 МГц). Напыление проводили в атмосфере аргона в течение 3 часов, при мощности 290 Вт, расстоянии между мишенью и подложкой 40 мм. В качестве подложки использовали пластины кремния и KBr.

Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ (РФА) покрытий проводился с помощью дифрактометра Siemens D500 в интервале углов 5 - 90° в CuKα-излучении с λ=1,5406 Å при 40 кВ и 40 мА. Морфологию поверхности и элементный состав покрытий исследовали на растровом электронном микроскопе (РЭМ) ESEM Quanta 400 FEG from FEI, со встроенным EDX-анализатором, работающим в условиях высокого вакуума (10^{-5} Па). Для выявления химических связей фосфатной и замещающей групп применялся метод ИК-спектроскопии. Спектры оптического поглощения получены на приборе Bruker Vertex 70 в диапазоне 400 - 4000 $см^{-1}$.

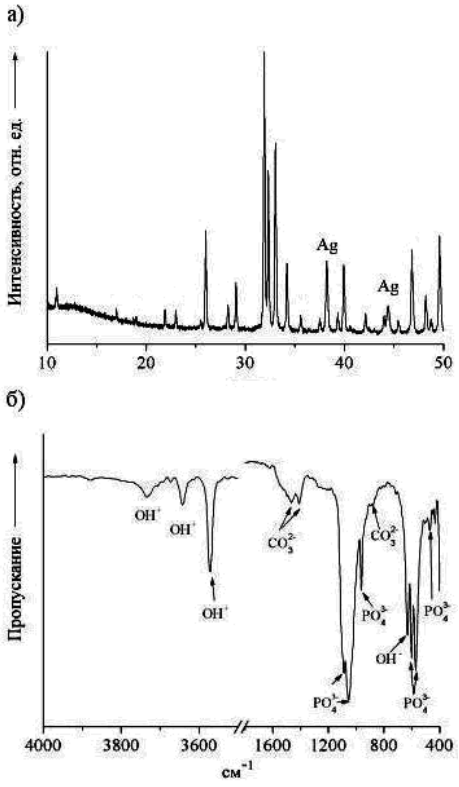


Рис.1. Дифрактограмма (а) и ИК-спектр (б) материала мишени.

Согласно результатам энергодисперсионного анализа (ЭДРА), материал мишени состоит из кальция, фосфора, кислорода, углерода и серебра. Рассчитанное, на основе данных ЭДРА, отношение Ca/P близко к стехиометрическому характерному для ГА, составляет 1,58. Следовательно, на этапе формирования мишени стехиометрия исходного материала сохраняется.

Результаты рентгенофазового анализа (РФА) (рис.1а) демонстрируют наличие в материале мишени фазы кристаллического ГА (ICDD 09-432) с рефлексом максимальной интенсивности при 31,78°, что соответствует направлению (211) кристаллографической ориентации. Кроме того, при углах дифракции 38.08°, 44.2° разрешаются линии металлического серебра. ИК – спектры (рис.1б) также показывают полосы поглощения P-O и O-H групп, соответствующие ГА.

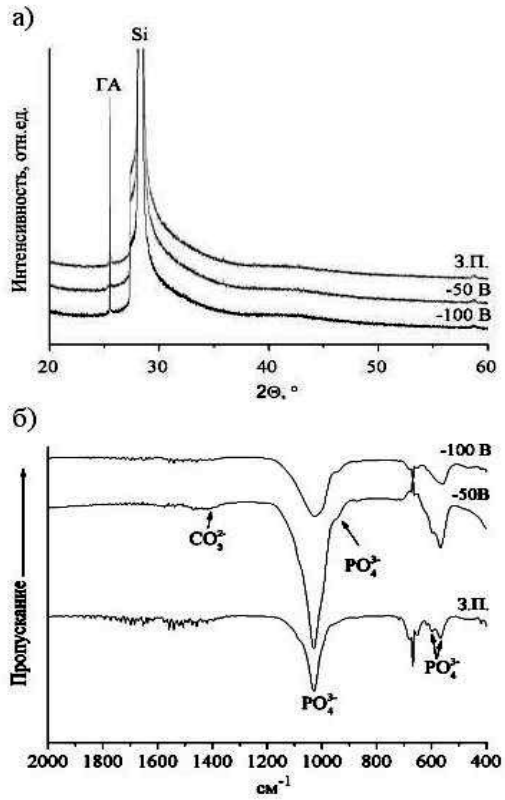


Рис.2. Дифрактограммы (а) и ИК-спектр (б) покрытия.

Результаты исследования на растровом электронном микроскопе (РЭМ) показали, что поверхность покрытий, сформированных методом ВЧ-магнетронного распыления на подложках из кремния, является однородной, плотной, не содержит видимых дефектов, трещин и сколов. Добавка серебра к ГА не влияет на морфологию покрытий. Кроме того, установлено, что с увеличением отрицательного смещения на подложке, происходит уменьшение размера зерен. Химический состав покрытия, сформированного из плазмы ВЧ-разряда, аналогичен составу материала мишени. В сформированных покрытиях отношение Ca/P, по данным ЭДРА, изменяется в широком интервале значений (1,04 - 2,91). Отклонение от стехиометрии указывает на наличие в покрытии различных кальций фосфатов. Результаты РФА (рис. 2а) указывают на то, что покрытие рентгеноаморфно, на спектрах разрешается только один рефлекс, который может быть отнесен к одному из кальций-фосфатов, предположительно ГА. На дифрактограммах покрытий не идентифицированы линии, соответствующие серебру, вероятно из-за его незначительной толщины (<200 нм, количество серебра <0,3 моль).

Характер ИК-спектров покрытий (рис.2б) свидетельствует об аморфной и/или поликристаллической структуре покрытия. В спектрах разрешаются полосы поглощения при 1028 и 598 - 566 см$^{-1}$, характерные для валентных и деформационных колебаний P-O – групп в структуре ГА. Изменения спектральной картины в области частот 1200 - 400 см$^{-1}$ при увеличении напряжения на подложке свидетельствуют о структурных преобразованиях, вероятно, связанных с упорядочением P-O-ионов в элементарной ячейке.

Таким образом, установлено, что химический состав исходного серебросодержащего гидроксилапатита при формировании биоактивного покрытия методом ВЧ-магнетронного распыления не изменяется. Процесс роста покрытия сопровождается изменением преимущественной кристаллографической ориентации ГА с (211), характерной для материала мишени, на (002), что, вероятно, связано с особенностями переноса материала мишени и термодинамикой роста покрытия. При этом изменение отрицательного напряжения смещения на подложке согласно данным рентгеновской дифракции не влияет на его структуру (рис.2а), однако влияет на вид полос поглощения, обнаруженных на ИК-спектрах (рис.2б), что связано с изменением в окружении фосфат-ионов в составе элементарной ячейки ГА. Следующим этапом работы будет исследование антибактериальных свойств покрытий и более детальный анализ влияния условий получения покрытий на их свойства.

Авторы выражают благодарность профессору Института неорганической химии Университета Дуйсбург-Эссен (г. Эссен, Германия) Маттиасу Эппле.

Литература:

1. Эппле М // Биоматериалы и биоминерализация. Томск: Изд-во Ветер. 2007. С.165.
2. А.В. Карлов, И.А. Хлусов, Ю.Р.Колобов, В.А Понтак, С.Ю. Зинатулина // Ионная модификация поверхности ортопедических имплантатов в свете профилактики и лечения инфекционных осложнений. Гении ортопедии, 2001.
3. Р.А.Сурменев, М.А. Сурменева, К.Е. Евдокимов, В.Ф. Пичугин, Эппле, М.// Зависимость свойств магнетронных Ca-P покрытий, сформированных из плазмы ВЧ-разряда, от параметров напыления. Физика и химия обработки материалов, 2010. 4: p. 57-65.
4. Surmenev, R.A., Ryabtseva, M.A., Shesterikov, E.V., Pichugin, V.F., Peitsch, T., Epple, M., The release of nickel from nickel–titanium (NiTi) is strongly reduced by a sub-micrometer thin layer of calcium phosphate deposited by rf-magnetron sputtering. Journal of Materials Science: Materials in Medicine, 2010. 21(4): p. 1233-1239.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИЗНАШИВАНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

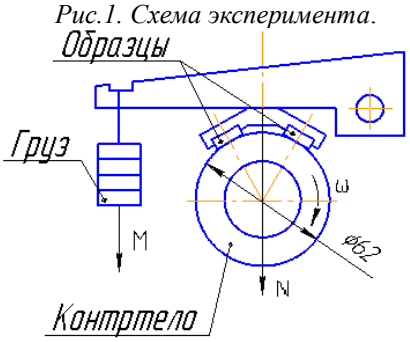
Игнатов А.А., Дураков В.Г.
Научный руководитель: Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: andrjuh@sibmail.com

Повышение износостойкости рабочих поверхностей деталей механизмов и машин всегда было актуальной задачей. Однако усложнение технологии работы машин требует создания многофункциональных покрытий, которые будут обладать целым комплексом полезных свойств. В качестве материала подобных покрытий мы предлагаем использовать чистую быстрорежущую сталь Р6М5 или композицию на ее основе “сталь Р6М5-WC”. Данная сталь, как известно, обладает высокой твердостью, что говорит о ее потенциально высокой износостойкости. Помимо твердости Р6М5 обладает тепло- и красностойкостью, что можно надеяться, поможет сохранить хорошую износостойкость при высоких температурах. Введение дополнительно в наплавочную смесь карбида вольфрама позволит увеличить объемную долю остаточного аустенита в покрытии и, следовательно, повысить одновременно его вязкость и износостойкость в широком интервале температур. Это позволит данным покрытиям работать не только в условиях абразива, но и в паре со сталями, которые требуют такой обработки.

Целью данной работы являлось исследование влияния величины нагрузки, скорости и пути скольжения на износостойкость и трибологические параметры покрытий сталь Р6М5 и "сталь Р6М5+20%WC" в паре с закаленной сталью ШХ15.

Испытания на трение проводилось по схеме “вал-две колодки” в условиях трения без смазки, рис.1.

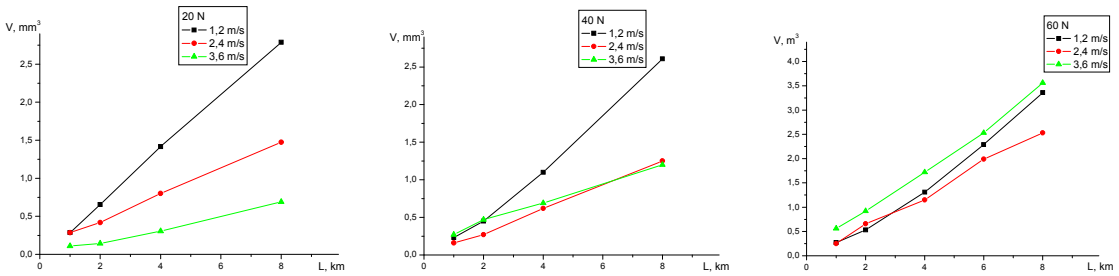
Рис.1. Схема эксперимента.



Для изготовления образцов на подложки из Стали 30 методом электронно-лучевой наплавки были нанесены два типа покрытий: из порошков быстрорежущей стали Р6М5 и композиции “сталь Р6М5+20%WC”. Величина нагрузки при испытаниях составляла 20, 40, 60, 80 и 100 Н; скорость скольжения 1.2, 2.4 и 3.6 м/с; путь трения для каждой пары образцов составлял 1, 2, 4 и 8 км. Величины износа образцов оценивалась через 1, 2, 4 и 8 км.

На рис. 2 представлены графики изменения объема износа от пути скольжения. Видно, что при малых значениях нагрузки и скорости скольжения износ происходит значительно интенсивнее, чем при больших скоростях. При больших нагрузках интенсивность износа примерно одинакова для всех скоростей скольжения.

Рис.2. Изменение объема износа в зависимости от пути скольжения: а) сталь Р6М5; б) сталь Р6М5+20%WC; в) сталь Р6М5.



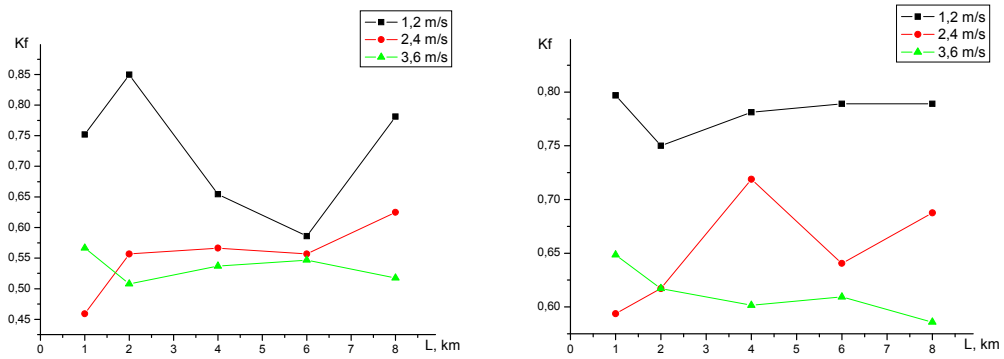
а) б) в)

На графиках изменения коэффициента трения от пути трения (рис. 3) видно, что в течение первого километра происходит приработка образцов, когда коэффициент трения меняется вследствие притирания изнашиваемых поверхностей. На графиках можно обнаружить резкие скачкообразные изменения коэффициента трения образцов, что, вероятно, связано со сменой

режима износа. Для покрытия сталь Р6М5+20%WC это происходит, как правило, после 4 км скольжения. Для покрытия Р6М5 – на промежутке 4-6 км.

На графиках изменения коэффициента трения при разных нагрузках (рис.4) можно выявить, что его величина снижается при повышении нагрузки, причем на начальном этапе в этих изменениях нет определенной системы. Затем после приработки прослеживается четкая тенденция к снижению коэффициента трения при повышении величины нагрузки. Это справедливо как для покрытия сталь Р6М5, так и для композиции “сталь Р6М5+20%WC”.

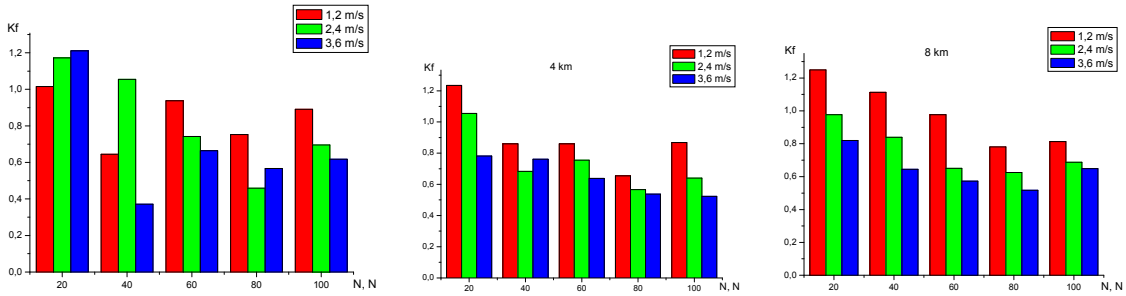
Рис. 3. Изменение коэффициента трения в зависимости от длины скольжения: а) сталь Р6М5 (80 Н); б) сталь Р6М5+20%WC (100 Н).



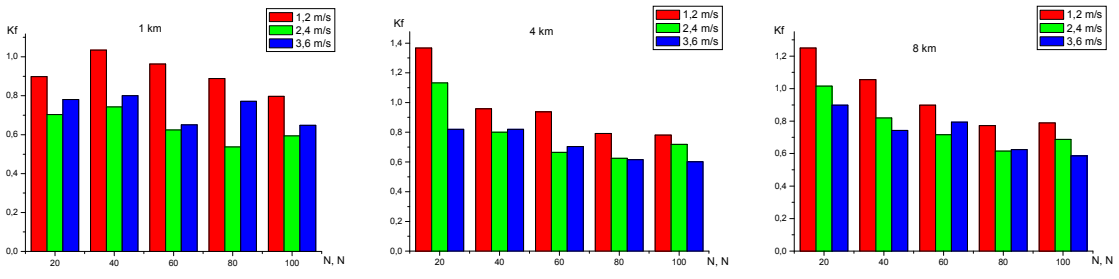
а) б)

Что касается динамики прироста объемов изношенного материала, то проведенные измерения позволяют заключить, что на всем пути трения кривая прироста объемов износа образцов при различных нагрузках остается неизменной формы как для покрытия сталь Р6М5, так и для покрытия “сталь Р6М5+20%WC”.

Рис. 4. Изменение величины коэффициента трения в зависимости от приложенной нагрузки: а) покрытие сталь Р6М5; б) покрытие “сталь Р6М5+20%WC”.



а)



б)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ РЕАГЕНТА И ПРОДУКТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ РАСТЯЖЕНИЯ

Кадирова А.С.
Научный руководитель: Князева А.Г., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: gaynia@mail.ru

Цель данной работы состоит в исследовании влияния различия тепловых свойств реагента и продукта реакции на режимы химического превращения и напряженно-деформированное состояние образца.

Исследование влияния механического нагружения на фазовые превращения и химические реакции в твердой фазе является традиционным направлением в механике деформируемого твердого тела. Помимо теоретического изучения взаимодействия полей различной физической природы это имеет приложение к задачам управления физико-химическими процессами в современных технологиях.

Моделированием превращений в твердых средах занимались М.А. Гринфельд, А.Б. Фрейдин, Смомеков В.К., Стомен А.М. и ряд других ученых. Однако связанные модели физико-химических превращений в различных условиях в литературе практически не встречаются, что определяет актуальность работы.

Напряжения и деформации играют особую роль в макрокинетике химических реакций, протекающих в твердой фазе. Высокие температуры, достигаемые в зоне реакции, часто нежелательны, поскольку сопровождаются большими термическими напряжениями, которые могут привести к разрушению материалов. Поэтому при моделировании процесса синтеза в условиях внешнего механического воздействия необходимо изучать напряжения, возникающие в ходе превращения, дополнительно к изучению режимов протекания реакций.

Влияние механических напряжений на реакционную способность твердых веществ может быть рассмотрено с трех сторон [1]: 1) увеличение скорости протекания некоторых физических или химических превращений в областях твердого тела, в которых за счет условий получения, хранения и т.п. возникают поля напряжений; 2) инициирование или ускорение физических или химических превращений посредством заданных внешних механических воздействий, т. е., механохимические реакции и механическая активация; 3) изменение реакционной способности твердого тела под действием напряжений, порожденных самим твердофазным превращением. В последнем случае говорят об исследовании обратных связей в системе «химическое превращение – механические напряжения», или о влиянии «хемомеханического эффекта» на реакционную способность.

Реакции в безгазовых системах протекают с выделением большого количества тепла, что часто приводит к расплавлению реагентов и продуктов, так что сами реакции могут протекать и в жидкой фазе. Вследствие больших температур во фронте реакции, изменения свойств в процессах плавления и кристаллизации и в ходе превращения такие реакции сопровождаются появлением внутренних напряжений, которые могут оказывать влияние на кинетику процесса, что представляет существенный интерес для изучения возможностей управления такими процессами.

Постановка задачи о механическом равновесии образца, подробно описанная в [2], дополняется задачей о распространении твердофазной химической реакции, которая включает уравнения теплопроводности, химической кинетики и краевые условия:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda_T\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+Q\frac{\partial Y}{\partial t}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial t}=\phi(Y,T)\quad \phi_1(Y)\phi_2\left(T,\sigma_{ij},\varepsilon_{ij}\right)$$

$$t=0:\ T=T_0,\ Y=0$$

$$x=0:\ \frac{\partial T}{\partial x}=q_0,\ x=L_x:\ \frac{\partial T}{\partial x}=0,$$

$$y=0:\ \frac{\partial T}{\partial y}=0,\ \ y=L_y:\ \frac{\partial T}{\partial y}=0.$$

Здесь Y – степень превращения химической реакции, x и y – координаты, $\phi_1(Y)$ – кинетическая функция, $\phi_2\left(T,\sigma_{ij},\varepsilon_{ij}\right)$ - описывает изменение скорости реакции с температурой напряженно-деформированным состоянием образца.

Напряжения и деформации зависят от функции объемного расширения:

$$\omega=3\left[\alpha_T(Y)\cdot(T-T_0)+(\alpha_p-\alpha_r)\cdot Y\right],$$

где α_T - коэффициент теплового расширения, α_p, α_r - коэффициенты концентрационного расширения продукта и реагента.

Изменение объема есть следствие двух причин: термического расширения (первое слагаемое) и структурного несоответствия между начальной и конечной фазами (второе слагаемое).

В отличие от [1], считаем, что коэффициенты теплового расширения продукта и реагента различны, что отражает зависимость $\alpha_T = \alpha_T^p + (1-Y)\alpha_T^r$, где α_T^p - коэффициент теплового расширения продукта, α_T^r - коэффициент теплового расширения реагента.

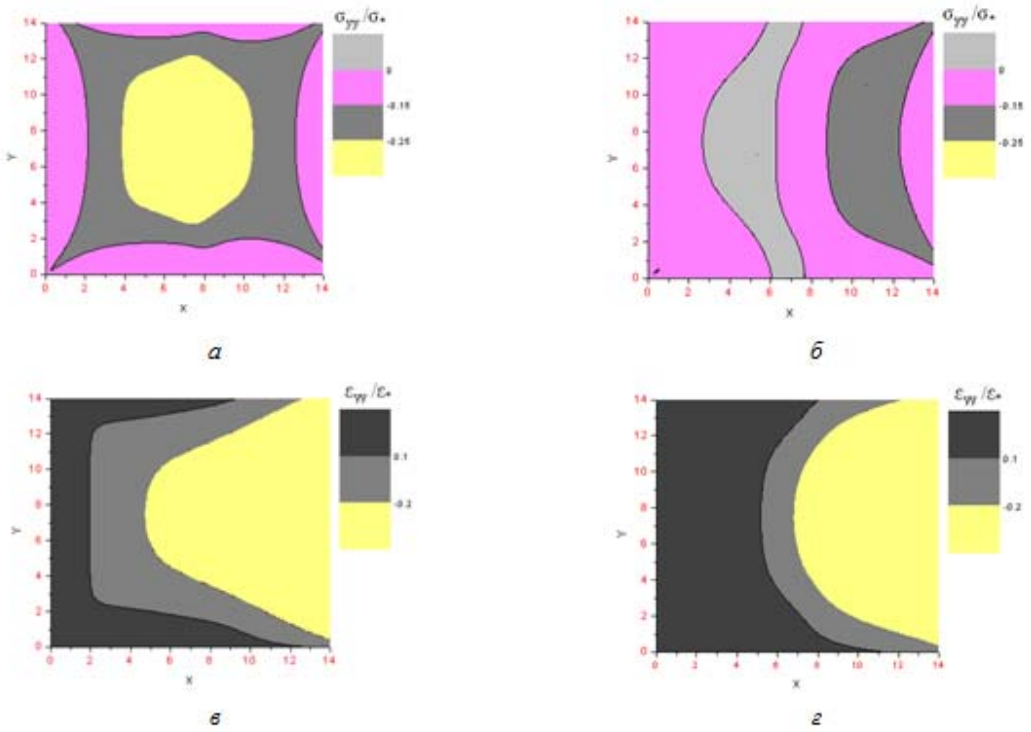


Рис. 1. Распределение напряжений деформаций в момент времени (один и тот же) σ_{yy} (а, б) и ε_{yy} (в, г) при $\Omega=0.5$ (а, в) и $\Omega=2$ (б, г).

Задачу решали численно с использованием программного продукта [3]. Пример расчета показан на рис.1, где использованы обозначения [2]: $X = x/x_*$, $Y = y/y_*$, $x_* = y_* = \sqrt{\lambda \cdot t_* / (c \cdot \rho)}$, $\sigma_* = 3 \cdot K \cdot \alpha_T^p \cdot (T_* - T_0)$, $\varepsilon_* = 3 \cdot \alpha_T \cdot (T_* - T_0)$, $\Omega = \alpha_T^p / \alpha_T^r$, t_* - характерное время химической реакции, T_* - масштаб температуры, K - изотермический модуль всестороннего сжатия.

Как видно из рисунка (1, а,б), в первом случае ($\Omega < 1$) в центральной части пластины локализуются сжимающие напряжения, тогда как во втором случае ($\Omega > 1$) напряжения растягивающие. Сравнивая рис. 1, в,г, можно сказать, что при $\Omega = 2$ в силу того, что прогрев пластины осуществляется более интенсивно, значения деформаций выше, чем при $\Omega = 0.5$. Характер распределения напряжений и деформаций по поверхности пластины также существенно различается для разных Ω.

Таким образом, выяснено, что различие коэффициентов теплового расширения играет существенную роль в динамике процесса.

Литература

1. Хейман Р. Б. Растворение кристаллов. Теория и практика. Л.: Недра. – 1979. – 272 с.

2. Евстигнеев Н.К., Князева А.Г.. Влияние условий нагружения на режимы твердофазного превращения в пластине. // ПМТФ, 2011, Т. 52, №3.

3. Евстигнеев Н.К., Князева А.Г. Программа расчета напряженно-деформированного состояния пластины с химической реакцией / ИНИМ ОФЭР «Наука и образование», свидетельство о регистрации №16279от 05.10.2010года

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА [123]-МОНОКРИСТАЛЛОВ ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА Ni-Fe-Ga-Co

Казанцева Л.П.
Научные руководители: Панченко Е.Ю., к.ф-м.н., с.н.с., Чумляков Ю.И., д.ф-м.н., профессор
Томский государственный университет, 634050 Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: lija@sibmail.com

Одной из важных проблем развития современной технологии является разработка новых материалов, обладающих широким спектром функциональных свойств. Решение этой проблемы имеет целью не только создание самого материала, но и возможность контролировать и улучшать его свойства [1]. Для управления температурами мартенситных превращений (МП) и увеличения циклической стабильности функциональных свойств – эффекта памяти формы (ЭПФ), сверхэластичности (СЭ), в сплавах с памятью формы применяют отжиги, при которых выделяются дисперсные частицы размером от 2 до 500 нм. Выделение дисперсных частиц в этих материалах приводит, во-первых, к образованию естественных нанокомпозитов, в которых матрица испытывает термоупругие МП, а частицы с отличной от матрицы кристаллической решеткой – нет. Во-вторых, повышаются прочностные свойства высокотемпературной фазы, что приводит к уменьшению процессов рассеяния энергии при развитии МП под нагрузкой. Известно [2], что нанокомпозиты могут быть созданы в ферромагнитных сплавах Ni-Fe-Ga-Co с термоупругими $L2_1$(B2)-10M-14M-$L1_0$ МП за счет выделения частиц γ-фазы с ГЦК решеткой и γ`-фазы, упорядоченной по типу $L1_2$. Это дает возможность создать необходимые условия для проявления обычного и магнитного ЭПФ, высокотемпературной СЭ в сплавах Ni-Fe-Ga-Co за счет управления их микроструктурой при старении.

Поэтому целью настоящей работы является исследование закономерностей развития термоупругих МП при охлаждении/нагреве и под действием нагрузки, циклической стабильности СЭ в однофазных и состаренных [123]-монокристаллах $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$ (ат.%).

Монокристаллы были выращены по методу Бриджмена в атмосфере инертного газа. Образцы, ориентированные вдоль [123] направления, для испытаний при сжатии имели форму параллелепипедов (3×3×6) мм^3. Отжиги проводили в кварцевой трубке в среде гелия с последующим охлаждении на воздухе. Изотермические циклы «нагрузка-разгрузка» при комнатной температуре $T=T_K$ проводились на установке Instron 3360.

Температуры МП определялись по зависимости электросопротивления от температуры $\rho(T)$ и представлены в таблице для монокристаллов после роста (I), после отжига 1373 К, 25 мин + 673 К, 1 час (II), после отжига 1373 К, 25 мин + 673 К, 4 час (III), после отжига 1373 К, 25 мин + + 823 К,0,5 часа (IV). Термообработки оказывают существенное влияние на характеристики МП при охлаждении/нагреве. Во-первых, температурные интервалы прямого $\Delta_1=M_s-M_f$ и обратного $\Delta_2=A_f-A_s$ МП в монокристаллах после роста (I) и отжига при 823 К (IV) не превышают 9 К. В то время, как отжиги (II), (III) характеризуются широкими температурными интервалами прямого и обратного МП до 33 К. Во-вторых, установлены структурные состояния в монокристаллах (старение II, III), в которых $A_s < M_s$, т.е. наблюдается МП 2-го типа по классификации Тонга-Веймана [1]. Тогда как после роста и отжига при 823 К (IV) наблюдается МП 1-го типа ($A_s > M_s$) (табл.).

Таблица. Характеристические температуры МП для [123]-монокристаллов $Ni_{49}Fe_{19}Ga_{27}Co_6$ (ат.%)

Термообработка	M_s, (±2) К	A_s, (±2) К	Δ_1, (±2)К	Δ_2, (±2)К	$0.5\,\Delta G_{rev}/\Delta G_d$
(I)	257	260	7	9	0.8
(II)	256	249	24	19	1.8
(III)	263	245	33	30	2.6
(IV)	268	274	7	7	0.5

При развитии МП под нагрузкой при $T>A_f$ мартенсит термодинамически нестабилен, поэтому при снятии внешних напряжений деформация образца является полностью обратимой, т.е. наблюдается СЭ. Результаты циклических испытаний представлены на рисунке 1. Показано, что [123]-монокристаллы после отжигов II и III, проявляют высокую стабильность СЭ. В данных структурных состояниях величина механического гистерезиса Δσ=27МПа, (состояние II), Δσ=21МПа (состояние III), уменьшается в 3.5-4 раза по сравнению с исходным состоянием I, коэффициент деформационного упрочнения θ при развитии МП под нагрузкой близок к нулю и не зависит от числа циклов. Снижение критических напряжений $\sigma_{0.1}$ образования мартенсита после первого изотермического цикла наблюдается во всех структурных состояниях. В состоянии II с увеличением числа циклов от 2 до 100 $\sigma_{0.1}$ не изменяются, что свидетельствует об отсутствии формирования дефектов при развитии МП под нагрузкой.

В кристаллах после роста и отжига IV, наблюдается сильная деградация петли СЭ в процессе изотермических циклических испытаний (рис.1 а, г). В исходном состоянии (I) критические напряжения $\sigma_{0.1}$ уменьшаются на 44 % и величина обратимой деформации на 35 % (рис.1 а). С увеличением числа циклов более чем в два раза возрастает коэффициент деформационного упрочнения θ. Величина механического гистерезиса Δσ не зависит от числа циклов и составляет 130 МПа (рис. 1 а).

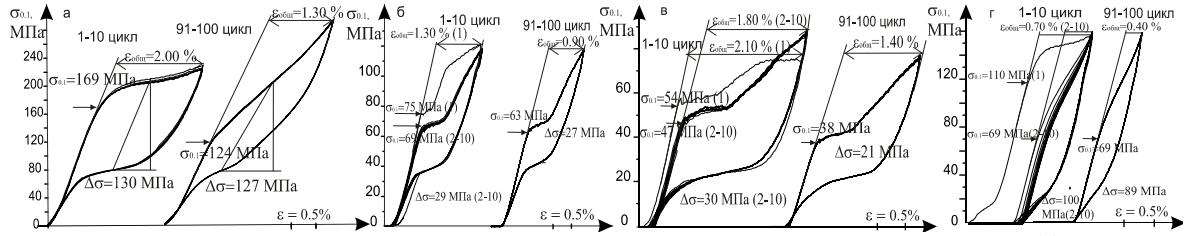


Рис. 1. Циклические испытания при сжатии [123]-монокристаллов при T_K=297 К после роста I (а), после отжига II (б), после отжига III (в), после отжига IV (г)

Монокристаллы после отжига IV, как и кристаллы I, характеризуются слабой циклической стабильностью: с увеличением числа циклов сильно уменьшается обратимая деформация (77 %), критические напряжения $\sigma_{0.1}$ падают на 25 %, возрастает коэффициент деформационного упрочнения в 2.6 раз (рис.1 г).

В нашей предыдущей работе [3] установлено, что отжиги (II-IV) приводят к формированию в аустенитной фазе бимодальной гетерофазной структуры: выделяются крупные частицы γ-фазы длинной 5÷10 мкм и мелкие частицы γ'-фазы размером 5÷30 нм после старения (II, III), 150÷300 нм после старения (IV). Используя термодинамическое описание и экспериментальные значения температур МП, можно оценить вклад обратимой (упругой и поверхностной) ΔG_{rev} и рассеянной энергии ΔG_d в нехимическую составляющую свободной энергии при развитии МП. Как показывают оценки [3], в кристаллах (II, III), содержащих частицы размером 5÷30 нм величина обратимой энергии ΔG_{rev} намного превышает рассеяние энергии ΔG_d, соотношение $0.5\Delta G_{rev}/\Delta G_d > 1$ (табл.). Частицы не испытывают превращений и деформируются упруго при развитии МП в матрице, накапливая значительную упругую энергию. Поэтому обратное превращение развивается в условиях противодействующей химической движущей силы за счет накопленной при прямом МП обратимой энергии ΔG_{rev} и [123]-монокристаллы $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$ в данных структурных состояниях (отжиги при 673 К 1 ч и 4 ч) проявляют высокую циклическую стабильность СЭ (рис.1).

При выделении более крупных частиц до 300 нм (IV) и в кристаллах после роста (I), петли СЭ характеризуются широким механическим гистерезисом $\Delta\sigma$ = 127 МПа (I), $\Delta\sigma$ = 89 МПа (IV), что свидетельствует о росте величины рассеянной энергии при развитии МП под нагрузкой в данных структурных состояниях по сравнению с кристаллами после отжигов II и III (рис.1). Соотношение величины обратимой энергии ΔG_{rev} и рассеяние энергии ΔG_d при МП в кристаллах I и IV $0.5\Delta G_{rev}/\Delta G_d < 1$ (табл.). Увеличение рассеяния энергии связано с релаксацией упругой энергии, которая возникает за счет пластической деформации матрицы или частиц и/или генерации различных вариантов мартенсита вблизи частиц. После отжига при 823 К, 0.5 часа выделение частиц
γ′-фазы размером 150-300 нм, не испытывающих МП, приводит к формированию в таких кристаллах «неориентированного» мартенсита – вблизи поверхности раздела «частица-матрица», локально возникает вариант мартенситного кристалла, отличный от основного. Это подтверждается электронно-микроскопическими наблюдениями in-situ при охлаждении/нагреве в колонне электронного микроскопа (рис.2). В результате происходит релаксация упругой энергии при развитии МП: вблизи частиц образуются дефекты упаковки и дислокации, и данное структурное состояние характеризуется низкой циклической стабильностью СЭ.

Рис.2. Микроструктура $L1_0$-мартенсита в монокристаллах $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$, после отжига V

Таким образом, показано, что за счет выделения дисперсных частиц при старении [123]-монокристаллов $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$, можно управлять величиной механического гистерезиса, соотношением упругой и рассеянной энергии при развитии МП и повышать циклическую стабильность функциональных свойств этих материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 09-03-00103 и ФЦП, госконтракт № 14.740.11.0258 от 17.09.2010

Список литературы:

1. Ооцука К. Сплавы с эффектом памяти формы. М: Металлургия, 1990. – с.222.

2. Hornbogen E., Mertinger V.,Wurzel D. Microstructure and tensile properties of two binary NiTi–alloys // Scripta Mater. 2001. V. 44. P.171-178.

3. Панченко Е.Ю., Тимофеева Е.Е., Казанцева Л.П., Чумляков Ю.И., H. Maier. Влияние термической обработки на закономерности термоупругих мартенситных превращений в ферромагнитных монокристаллах $Ni_{49}Fe_{18}Ga_{27}Co_6$ // Известия ВУЗов. Физика. 2010. №11. С. 96-98.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОДЛОЖКИ CU ИОНАМИ TI НА ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ SIALN

Кастеров А.М.[1]
Научный руководитель: Панин А.В.[2], д.ф.-м.н., зав. лаб.
[1] Томский государственный университет,634050, г. Томск, пр. Ленина,36
[2]Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН,
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ar2r@sibmail.com

Введение

Основной проблемой при создании теплозащитных покрытий является получение необходимой адгезионной прочности между керамическим слоем и металлической подложкой. Существенное различие коэффициентов термического расширения покрытия и подложки, их упругих характеристик, и др. обусловливает развитие высоких термические, механические, фазовые напряжения в теплозащитных покрытиях в процессе эксплуатации изделий в экстремальных условиях нагружения. Релаксация этих напряжений вызывает интенсивное растрескивание керамических покрытий и их отслоение от подложки.

С целью повышения надежности теплозащитных покрытий разрабатываются различные методы снижения внутренних напряжений в покрытиях и повышения их адгезии к подложке. Одним из возможных путей повышения адгезионной прочности покрытия является обработка поверхности металлической подложки высоко- и низкоэнергетическими пучками ионов тяжелых металлов. В связи с вышесказанным, данная работа посвящена исследованию влияния наноструктурирования подложки Cu ионами Ti на характер деформации и разрушения теплозащитных покрытий SiAlN.

Материал и методика эксперимента

В качестве подложки использовали медь марки М1 (99,94% Cu), для снятия дефектного слоя, образцы подвергали механической шлифовке и полировке.

Ионно-пучковую обработку подложек Cu выполняли с помощью вакуумно-дугового импульсного ионного источника по следующем режимам: 1 режим - напряжение смещения U_s=-900 В, ток дугового разряда I_a=60А, время обработки t_a=3 мин; 2 режим - U_s=-300 В, I_a=60А, t_a=60 мин.; 3 режим - U_s=-750 В, I_a=60А, t_a=60 мин. Покрытия SiAlN наносили методом магнетронного распыления мишени из сплава SiAl (90% Si и 10% Al) в реактивной среде из смеси газов аргона и азота при температуре 450°С. Общая толщина покрытия составляла: 1 режим – 2 мкм, 2 режим – 6 мкм, 3 режим - 10 мкм.

Микротвердость тонкого модифицированного слоя определяли на наноинденторе “Nano Test 600” с использованием пирамидки Виккерса. Максимальная приложенная нагрузка на индентор составляла P_{max}=2 мН. Одноосное статическое растяжение проводили на испытательной машине INSTRON при комнатной температуре со скоростью нагружения 0,3 мм/мин. Изменение рельефа на лицевой поверхности нагруженных образцов изучали с помощью оптического микроскопа Zeiss Axiovert 25 и атомно-силового микроскопа (АСМ) РАСМ-5.

Результаты эксперимента

В результате проведенных исследований показано, что обработка подложки Cu ионами Ti^+ приводит к наноструктурированию поверхностного слоя. Путем изменения напряжения смещения U_s можно существенным образом управлять толщиной, структурой и фазовым составом поверхностного слоя подложки Cu.

Таблица. Толщина наноструктурированного слоя Δ, размер зерна d, среднеквадратичной шероховатости rms, микротвердость H, модуль упругости E

Условия обработки	Δ, мкм	d, нм	rms, нм	H, ГПа	E, ГПа
Исходная медь	–	1200	4,7	0,8	118
1 режим	<0,5	300	11,8	1,8	112
2 режим	<0,5	300	8,7	1,8	105
3 режим	3	300	63,1	0,6	70

С увеличением U_s (сравни 2 и 3 режим) возрастает толщина модифицированного поверхностного слоя (таблица). Одновременно увеличивается шероховатость поверхности обработанной медной подложки и ее пористость, обеспечивая необходимую форму границы раздела «покрытие – подложка» и, следовательно, адгезию покрытия к подложке.

В работе были исследованы механические характеристики поверхностных слоев медной подложки до и после обработки ионами Ti^+. Уменьшение величины модуля упругости косвенно подтверждает формирование слоя, обогащенного титаном, на поверхности медной подложки. В тоже время высокая пористость не позволяет корректно исследовать величину нанотвердости и модуля упругости наноструктурных поверхностных слоев (таблица). Можно лишь сказать, что после обработки по 1 и 2 режимам на медной подложке наблюдается тонкий сплошной слой, характеризующийся повышенной микротвердостью и упругими свойствами, близкими к величине модуля упругости титана (рис. 1).

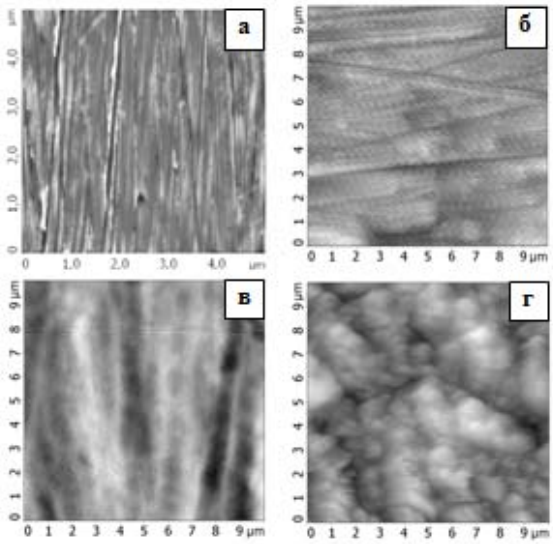


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности меди (а), наноструктурированной Ti^+ по 1 (б), 2 (в) и 3 режимам (г)

Как видно из рис. 2, а, в процессе осаждения теплозащитного покрытия на исходную (необработанную) подложку формируется сплошное покрытие толщиной 3 мкм, состоящее из зерен со средним размером 300-400 нм. Зерна объединяются в более крупные агломераты размером 1,5-2 мкм. Предварительное наноструктурирование подложки Cu ионами Ti^+ не влияет на размер зерна в покрытии на основе SiAlN, однако оказывает существенное влияние на величину агломератов зерен, размеры которых увеличиваются в несколько раз (рис. 2, б – 2, г).

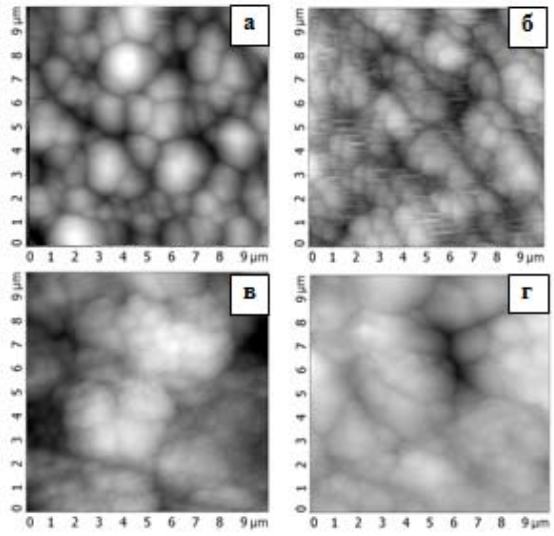


Рис. 2. АСМ-изображения покрытия SiAlN, нанесенного на медную подложку (а), предварительно наноструктурированную ионами Ti^+ по 1 (б), 2 (в) и 3 режимам (г)

Наноструктурирование поверхностного слоя не оказывает влияние на характер растрескивания. При степени деформации 1 % на поверхности образцов появляются первичные трещины, ориентированные перпендикулярно оси нагружения. При дальнейшем нагружении трещины раскрываются, а также начинается вторичное растрескивание, что сопровождается уменьшением периода растрескивания.

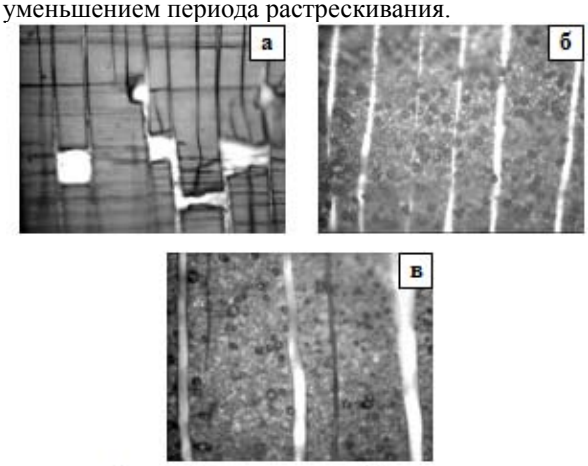


Рис. 3. Оптические изображения деформированных покрытий SiAlN, нанесенных на медную подложку, предварительно наноструктурированную ионами Ti^+ по 1 (а), 2 (б) и 3 режимам (в); растяжение ε=10 %. Толщина покрытий SiAlN составляла 2 (а), б(б) и 10 мкм (в). Размер изображений 1200×900 мкм^2

Однако расстояние между соседними трещинами определяется толщиной покрытия. Сравнение образцов с покрытиями толщиной 2 и 6 мкм (рис. 3, а и рис. 3, б) показало, что при уменьшении толщины в 3 раза период растрескивания также снижается в 2-3 раза.

Необходимо отметить, что при растяжении тонких (2 мкм) покрытий имеет место их отслоение. Размеры отслоившихся участков не превышают 250 мкм (рис. 3, а).

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что воздействие ионов Ti^+ формирует нанокристаллическую структуру в тонком поверхностном слое меди. Варьирование условий обработки ионами Ti^+ позволяет в широких пределах изменять морфологию поверхности и механические свойства подложки Cu, а, следовательно, теплозащитных покрытий SiAlN.

В работе изучен характер деформации и разрушения покрытия SiAlN при механическом нагружении. Наноструктурирование подложки Cu препятствует отслаиванию покрытия SiAlN от подложки Cu при одноосном статическом растяжении. Показано, что толщина покрытия SiAlN определяет период его растрескивания.

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛОВ

Киямов М.Ю., Федоров И.А.
Научный руководитель: Журавлев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор
Кемеровский государственный университет, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6
E-mail: kiymov88@mail.ru

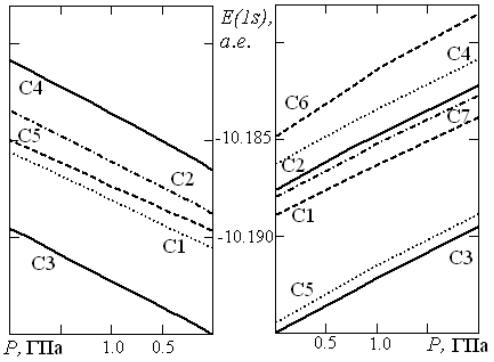
Нафталин ($C_{10}H_8$) и антрацен ($C_{14}H_{10}$) кристаллизуются в моноклинную структуру с пространственной группой симметрии $P12/a1$ и двумя молекулами в элементарной ячейке, занимающими положения (0,0,0) и (0,½,½). Они характеризуются двумя типами взаимодействий: сильным ковалентным между атомами внутри молекулы и с другой стороны слабым Ван-дер-Ваальсовыми силами между молекулами. В данной работе будет изучено влияние давления на электронные свойства молекулярных кристаллов нафталина и антрацена.

Для расчетов использовался программный пакет CRYSTAL06 и реализованные в нем методы Хартри-Фока, теории функционала плотности с локальным, градиентным и гибридным B3LYP обменно-корреляционными потенциалами в базисе линейной комбинации атомных орбиталей гауссова типа.

В нашей работе изучение влияния давления на энергетический спектр начинается с изучения остовных C_{1s} состояний рис.1. Самое нижнее энергетическое положение занимают 1s- состояния положительно заряженных атомов С3 (-277.42 эВ) в нафталине и С3 (-277.42 эВ), С5 (-277.40 эВ) в антрацене. Далее следуют 1s уровни крайних в молекулах атомов С1(-277.30 эВ), С5(-277.27 эВ) (в антрацене С1(-277.25 эВ), С7(-277.23эВ)) и самые высокие положения занимают уровни средних атомов С5(-277.25 эВ) и С4(-277.19 эВ) (в антрацене С2(-277.22 эВ), С4(-277.18 эВ), С6(-277.14 эВ). Такой порядок следования 1s уровней согласуется с зарядовыми состояниями атомов углерода.

На рис. 1 приведены зависимости энергий E 1s состояний атомов углерода от давления P в интервале 0-2 ГПа.

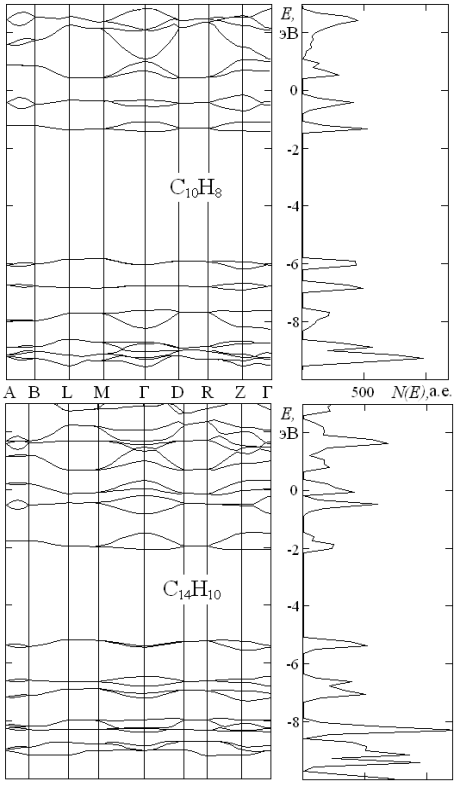
Рис. 1. Зависимости энергетического положения E(1s) остовных уровней атомов углерода от давления P для нафталина (слева) и антрацена (справа).



Видно, что энергии остовных уровней увеличиваются линейно с ростом давления. При этом скорость увеличения энергий примерно одинакова.

Валентную область энергетического спектра образуют гибридные 2s, 2p состояния углерода и 1s состояния водорода. В нижней области спектра располагаются 6 зон C_{2s}-состояния в такой же последовательности, что и остовные уровни. Далее следуют две группы по 4 зоны каждая гибридных C_{2sp} состояний углерода, вклад атомов водорода в которые является весьма малым. Аналогичный порядок наблюдается и в антрацене.

*Рис. 2. Зонная структура E(**k**) и плотность состояний N(E) нафталина и антрацена*



На рис. 2 приведена зонная структура и плотность состояний верхней валентной и нижней незанятой области энергетического спектра. Точки зоны Бриллюэна имеют следующие координаты в единицах векторов обратной решетки: A(½,0,0), B(½,0,½), L(½,½,½), M(½,½,0), Г(0,0,0), D(0,½,0), R(0,½,½), Z(0,0,½). Энергия Ферми в нафталине равна -5.82 эВ, в антрацене -5.19В.

Изученные исследования [1] показали, что расчетное методом PBE значение ширины запрещенной зоны составляет в нафталине 3.10 эВ, антрацене 2.01 эВ против экспериментальных значений, соответственно 5.0-5.4 и 3.9-4.2 эВ [2]. При этом ширина верхней валентной зоны составила 0.34 и 0.337 эВ, а нижней незанятой

зоны 0.215 и 0.467 эВ для нафталина и антрацена соответственно. Данные таблицы 1 вполне укладываются в эти результаты, а по ширине запрещенной зоны метод B3LYP дает даже лучший результат.

Таблица 1

Ширины верхних валентных (Ev1, Ev2, Ev3), нижней незанятой (Ec1) и запрещенной зоны (Eg) (все в эВ), рассчитанные с LDA, PBE, B3LYP функционала для нафталина и антрацена

Параметр	Нафталин			Антрацен		
	LDA	PBE	B3LYP	LDA	PBE	B3LYP
Ev2	0.45	0.50	0.63	0.51	0.44	0.48
Ev1	0.23	0.21	0.23	0.66	0.64	0.86
Ev3	0.37	0.32	0.37	0.35	0.32	0.37
Eg	3.07	3.14	4.41	1.97	2.05	3.13
Ec	0.31	0.29	0.32	0.56	0.50	0.58

Вершина валентной зоны в нафталине располагается в точке M (-5.82 эВ) с ближайшим максимумом в точке L (-5.85 эВ). Заметим, что в точке Γ (***k***=0) энергия самой верхней КО равна -6.03 эВ. Минимум самой верхней валентной зоны приходится на точку A (6.06 эВ) так, что её полная ширина равна 0.24 эВ (ширина полосы Ev3 равна 0.37 эВ). Дно нижней незанятой зоны приходится на точку Γ и Z (-1.41 эВ). Поэтому ширина непрямой запрещенной щели составляет 4.41 эВ, а прямой – в точке L 4.48 эВ, M, Z 4.52 эВ, Γ, R 4.62 эВ. В антрацене вершина валентной зоны приходится на точку L (-5.19 эВ) с ближайшим экстремумом в точке M (-5.21 эВ) и R (-5.24 эВ). Дно зоны проводимости реализуется в Γ (-2.06 эВ) и Z (-2.05 эВ), таким образом, что ширина прямой запрещенной зоны составляет в точке Z 3.20 эВ, L, M 3.24 эВ, R 3.29 эВ и Γ 3.35 эВ.

Далее можно показать зависимость параметров зонной структуры от давления. Для этого будем использовать квадратичную аппроксимацию $f(P)=a_0+a_1P+a_2P^2$, где a_0 – значение параметра при нулевом давлении, a_1 – характеризует скорость убывания (отрицательное значение) или возрастания (положительное), а a_2 – нелинейность изменения. В таблице 2 приведены коэффициенты подгонки a_1 и a_2 и коэффициент корреляции R.

Таблица 2

Коэффициенты подгонки a_1 и a_2 параметров зонной структуры по формуле (1) и коэффициент корреляции R нафталина и антрацена

Ширина зоны	Нафталин			Антрацен		
	a_1	a_2	R	a_1	a_2	R
Ev2	0.1227	-0.0118	0.9994	0.1133	-0.00161	0.9995
Ev1	0.0615	-0.00053	0.9966	0.1148	-0.00153	0.9996
Evv	0.1584	-0.00161	0.9998	0.0844	-0.00106	0.9948
Eg	-0.12779	0.0132	0.9995	-0.1221	0.007	0.9994
Ec	0.0773	-0.00086	0.9977	0.1406	-0.0012	0.9999

Видно, что ширины всех рассматриваемых зон с ростом давления увеличиваются с разными скоростями a_1 практически по линейному закону, за исключением ширины запрещенной зоны Eg, которая убывает со скоростью 0.1279 эВ/ГПа в нафталине и 0.1221 эВ/ГПа в антрацене. Связано это с поведением верхнего валентного уровня, который в нафталине с ростом давления возрастает со скоростью 0.1094 эВ/ГПа, а нижний незанятый уровень практически не изменяет своего энергетического положения (a_1=-0.0185 эВ/ГПа, a_2=0.0088 эВ/ГПа^2).

Проведено исследование по расчету зависимости параметров зонной структуры и плотности состояний от давления и показано, что ширины верхних валентных и нижних незанятых зон с ростом давления увеличиваются с разными скоростями практически по линейному закону, тогда как ширина запрещенной зоны убывает со скоростью 0.1279 эВ/ГПа в нафталине и 0.1221 эВ/ГПа в антрацене.

1.K. Hummer and C. Ambrosch-Draxl. Electronic properties of oligoacenes from first principles // Phys. Rev. B 72, 205205 (2005).

2. E. A. Silinsh. Organic Molecular Crystals: Springer-Verlag, Berlin, 1980.

УПРУГОЕ ГОФРИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК Al НА ВЯЗКОУПРУГОМ ПОДСЛОЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Козельская А.И.
Научный руководитель: Панин А..В., д.ф.- м.н.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: annakozelskaya@gmail.com

В последние годы большой интерес уделяется проблеме периодической деформации поверхностных слоев твердых тел при различных внешних воздействиях [1]. Образование периодического рельефа связано с необходимостью совместности деформаций поверхностного слоя и объема материала, обладающих различными физико-механическими свойствами. Наиболее наглядно развитие периодического распределения напряжений и деформаций проявляется в тонкопленочных структурах. К настоящему моменту не существует полного понимания механизмов периодической деформации сопряженных сред поэтому, исследование эволюции деформационного рельефа тонких пленок является весьма актуальным. Целью данной работы является изучение закономерностей деформации тонких пленок Al, нанесенных на подложки Si с промежуточным подслоем полистирола, под действием сжимающих напряжений.

Пластины Si покрывали слоем полистирола (PS) толщиной H = 3 мкм. Порошок полистирола растворяли в толуоле, затем полученный раствор наносили на подложку методом центрифугирования. После этого, методом магнетронного распыления на неподогретые подложки осаждали пленки Al толщиной h = 0,1 мкм. Поскольку температура стеклования полистирола составляет 105 °C, то термический отжиг композиций Cu/PS/Si проводили при температурах 110 и 150 °C. Время отжига варьировали от нескольких секунд до 35 часов. Морфологию поверхности пленок исследовали с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

При нагреве системы Cu/PS/Si до температуры отжига, из-за различия коэффициентов термического расширения (КТР) материалов пленки, подслоя и подложки возникает несоответствие их деформаций. Поскольку общая толщина пленки Al и подслоя полистирола мала по сравнению с толщиной подложки Si и они жестко связаны между собой, то в пленке и подслое развиваются биаксиальные напряжения, деформирующие их таким образом, чтобы они соответствовали размерам подложки. Так как КТР Al и PS выше, чем КТР Si, то эти напряжения являются сжимающими.

Релаксация сжимающих напряжений приводит к формированию на поверхности пленок Al деформационного рельефа в виде гофра. Гофрирование пленок начинается с формирования отдельных холмиков, которые появляются уже через 1,5 мин отжига при температуре 110 °C (рис.1, а). С увеличением длительности отжига при данной температуре до 3 мин на поверхности пленок формируется система периодических складок высотой ~ 100 нм (рис.1, б). Среднее расстояние между соседними складками (длина волны) составляет ~ 17 мкм. Отжиг в течение 5 часов приводит к увеличению высоты складок до ~ 500 нм, в то время как длина волны практически не изменяется. Дальнейший отжиг обусловливает рост длины волны складок, который сопровождается слабым увеличением их высоты. В результате после отжига в течение 25 часов длина волны складок составляет ~ 18 мкм, а их высота – ~ 530 нм. В процессе последующего отжига вплоть до 35 часов параметры складок остаются постоянными (рис.1, в).

При повышении температуры отжига до 150 °C наблюдается аналогичный характер эволюции деформационного рельефа на поверхности пленок Al. Однако, гофрирование пленок начинается уже через 15 с отжига, причем высота складок составляет ~ 300 нм. С увеличением времени отжига длина волны складок гофра постепенно возрастает до ~ 22,4 мкм, а их высота – до ~ 800 нм.

Наблюдаемое в процессе термического отжига гофрирование пленок Al обусловлено тем, что при нагревании выше температуры стеклования полистирол переходит из упругого в высокоэластическое состояние, в котором становится достаточно податливым для когерентной деформации с пленкой. Высокоэластическое состояние является промежуточным между упругим состоянием и чисто вязким, в котором полимер не может накапливать упругую энергию. Поэтому процесс гофрирования пленок Al в исследованном диапазоне температур контролируется как его упругой, так и вязкой деформацией. Минимизация упругой энергии приводит к тому, что складки могут формироваться только при превышении критического значения сжимающих напряжений [2]:

$$\sigma_c = -\sqrt{\frac{4(1-\nu_s)}{3(1-2\nu_s)(1-\nu_f)}\frac{h}{H}\mu_f\mu_s^R} \qquad (1)$$

где ν_f, ν_s – коэффициенты Пуассона пленки и подслоя соответственно, μ_f – модуль сдвига пленки, μ_s^R – модуль эластичности подслоя.

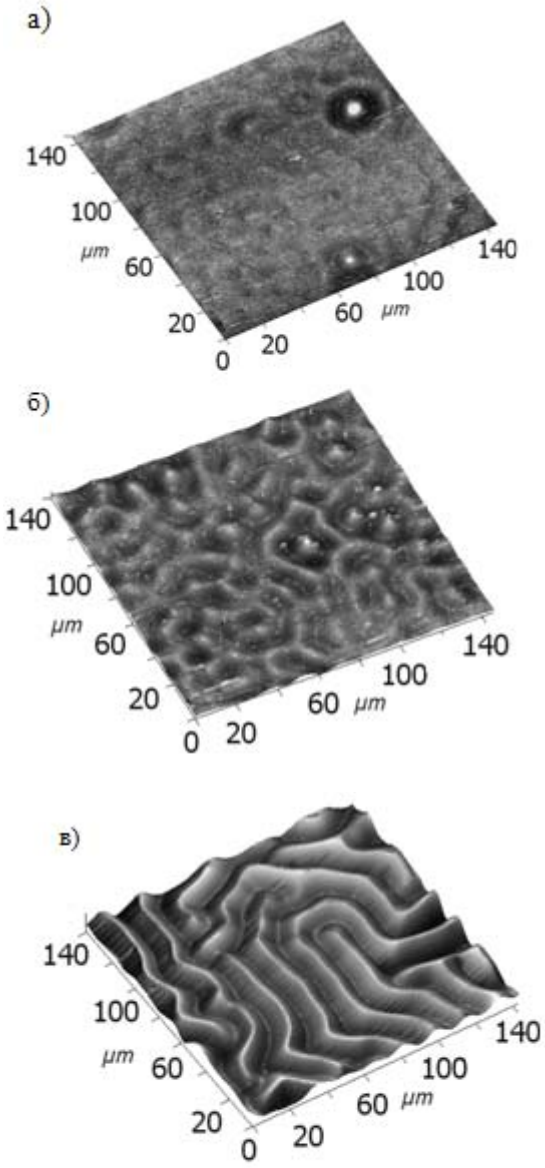


Рис. 1. АСМ-изображения деформационного рельефа на поверхности пленок Al после отжига при температуре 110 °С в течение 1,5 мин (а), 3 мин (б) и 35 часов (в)

Гофрирование пленки обусловливает возникновение волнистой границы раздела пленка-подслой, вдоль которой под действием сжимающих напряжений формируется периодическое распределение нормальных и касательных напряжений. В вершинах складок возникают растягивающие напряжения нормальные к границе раздела, а в области впадин – нормальные сжимающие напряжения [3]. Аналогично изменяются и касательные напряжения вблизи поверхности пленки.

На начальном этапе деформации релаксация нормальных напряжений способствует увеличению высоты складок. Это обусловливает возрастание касательных напряжений вследствие роста кривизны складок гофра. Поэтому после того, как высота складок становится сравнима с толщиной пленки Al, начинается релаксация касательных напряжений, которая вызывает увеличение длины волны гофра. Упругость полистирола вызывает прекращение роста складок, как только биаксиальные напряжения в пленке Al станут меньше критического значения (1). Таким образом, наблюдавшаяся стабилизация гофра подтверждает то, что гофрирование пленок Al обеспечивалось именно вязкоупругой деформацией подслоя полистирола.

На стадии стабилизации гофр на поверхности пленок Al характеризуется равновесной длиной волны [2]:

$$\lambda_{eq} = 2\pi h\left[\frac{(1-2\nu_s)\mu_f H}{12(1-\nu_s)(1-\nu_f)\mu_s^R h}\right]^{1/4} \qquad (2)$$

Выражение (2) позволяет оценить модуль эластичности полистирола, соответствующий температуре, при которой происходило гофрирование пленок. Используя экспериментально определенные равновесные значения длины волны складок 18,1 и 22,4 мкм, и характеристики пленок Al, получаем, что модуль эластичности полистирола составляет 0,07 МПа при температуре 110 °С и 0,03 МПа при 150 °С. Это на пять порядков величины меньше, чем модуль Юнга полистирола (2,3 ГПа).

В результате проведенных исследований изучены закономерности периодической деформации пленок Al на подложке Si с подслоем полистирола в процессе термического отжига на воздухе. Показано, что при превышении критического значения сжимающих напряжений податливость полистирола обусловливает периодическое гофрирование системы пленка-подслой. Эволюция складок гофра в процессе отжига контролируется периодическим распределением нормальных и касательных растягивающих и сжимающих напряжений, возникающим вдоль волнистой границы раздела. Экспериментально определенные параметры гофра позволили провести оценки значения модуля эластичности полистирола при исследованных температурах.

Литература

1. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах / Под ред. В.Е. Панина.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. – 520 с.

2. Huang R., Im S.H. Dynamics of wrinkle growth and coarsening in stressed thin films // Phys. Rev. E. – 2006. – V. 74. – P. 026214-1-026214-12

3. Шугуров А.Р., Панин А.В. Механизмы периодической деформации системы «пленка-подложка» под действием сжимающих напряжений // Физ. мезомех. – 2009. – Т.12. – №3. – С.23-32.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТА WC – (Fe-Mn-C) В СКОРОСТНОМ ИНТЕРВАЛЕ 1 – 37 м/с ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ ПО СТАЛИ

В.А. Красновейкин, И.Н. Севостьянова
Научный руководитель: Севостьянова И.Н., к.т.н.
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: volodia74ms@vtomske.ru

Введение

За последние 15 лет опубликовано большое количество работ по изучению поведения металлокерамических материалов при высокоскоростном трении [1, 2]. Актуальность таких исследований определяется необходимостью получения информации о потенциальной возможности материала сохранять высокую износостойкость в условиях высоких температур и нагрузок, при которых может происходить окислительный износ и пластическая деформация сильно разогретой поверхности [2]. Все это оказывает существенное влияние на структуру и фазовый состав формирующихся трибослоев.

Целью работы является изучение триботехнических характеристик и структурно-фазовых изменений поверхности композиционных материалов WC – (Fe-Mn-C) с 4 и 20% марганца в связке после сухого трения по стальному контртелу в диапазоне скоростей скольжения 1-37 м/с.

Материалы и методы исследования

Для исследования были взяты твердые сплавы WC - (Fe-Mn-C), с содержанием 80 мас.% WC. Содержание марганца в связующей фазе выбрано в соответствии с [3] и составляло 4 и 20 мас.%, а содержание углерода для обоих составов составляло 0.8 мас. %.

Материал WC-80Г4 состоял из γ-фазы (с ГЦК кристаллической решеткой), α - фазы (с ОЦК решеткой) и карбида вольфрама (с ГПУ решеткой). Фазовый состав WC-80Г20 отличался только отсутствием α - фазы в связке. Испытания на трение проводились на универсальной машине трения УМТ-1 (Унитриб) с использованием схемы диск-палец торцом при ступенчатом увеличении скорости в условиях трения без смазки. Контртелом служил диск, изготовленный из литой инструментальной стали с мартенситной структурой (HRC 63…65), избыточными карбидами типа $M_{12}C$ и незначительным количеством остаточного аустенита. Давление, приложенное к плоской поверхности образцов общей площадью 60 мм^2, составляло 5 МПа, скорость скольжения варьировалась в пределах от 1 до 37 м/с. Структура, фазовый и элементный состав поверхностей трения исследовались с помощью рентгеноструктурного анализа (РСА) с излучением *CuKα*, проведенного на дифрактометре «Дрон-УМ1» и растровой электронной микроскопии (РЭМ) на приборе Philips SEM 515, оснащенного микроанализатором EDAX ECON IV, позволяющего проводить микрорентгеноспектральный анализ (МРСА).

Результаты и обсуждение

На рис.1 представлена зависимость интенсивности изнашивания для композиционных материалов WC-80Г4 и WC-80Г20 в диапазоне скоростей скольжения 1 ÷ 37 м/с. Видно, что при низких скоростях (1 ÷ 2 м/с) интенсивность изнашивания твердого сплава WC-80Г4 ниже, чем в композите WC-80Г20 (рис.1, вставка). При увеличении скорости скольжения разница в скорости изнашивания для обоих композитов нивелируется, и до 20 м/с эти значения практически одинаковы. При скоростях скольжения выше 20 м/с, происходит резкий рост интенсивности изнашивания для композитов, при этом интенсивность изнашивания WC-80Г20 примерно в 3 раза выше, чем у материала WC-80Г4 (рис.1).

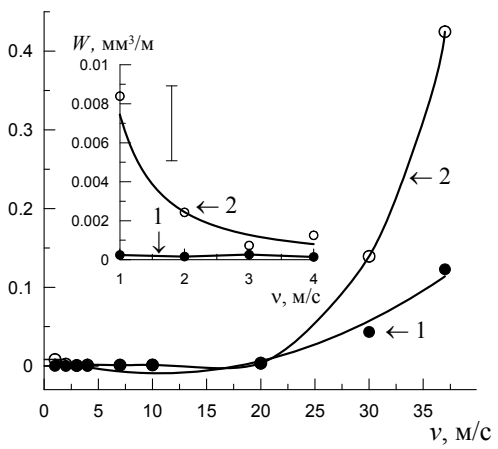


Рис. 1. Зависимость объёмного износа композитов от скорости скольжения: 1 – WC-80Г4; 2 – WC-80Г20

В процессе трения на поверхностях композиционных материалов образуются трибослои, структура и фазовый состав которых меняются от скорости скольжения. В диапазоне скоростей скольжения 1 - 4 м/с на поверхности трения образуется повышенное содержание α-фазы в металлической связке. Увеличение содержания α-фазы на поверхности трения обусловлено $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением в связке, имеющим как мартенситную, так и диффузионную природу. При этом содержание α-фазы в WC-80Г4 после эксперимента было выше чем у WC-80Г20. Также на поверхности происходит уменьшение размеров кристаллитов WC (с 80 до 20 нм) и связки (с 40 до 15 нм). Исследование рельефа показало, что имеет место усталостный механизм износа (имеются характерные дорожки трения).

При увеличении скорости скольжения выше 7 м/с помимо $\gamma \rightarrow \alpha$ перехода на поверхности трения помимо основных фаз наблюдается образование сложного оксида $FeWO_4$. В композитах WC-80Г4 образование $FeWO_4$ происходит при скоростях 7-37 м/с, а в WC-80Г20 - 10-30 м/с. По-видимому, зафиксированный сложный оксид $FeWO_4$ на поверхности трения - это продукт термомеханического перемешивания исследуемых композитов и материала контртела с одновременным их окислением.

Количество формирующегося $FeWO_4$ в осколках износа связано с величиной интенсивности изнашивания (рис.2.)

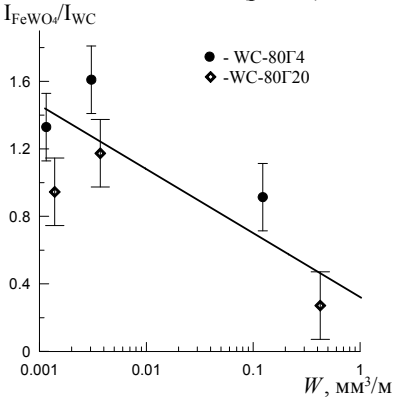


Рис.2. Зависимость суммарной пиковой интенсивности рентгеновских пиков $FeWO_4$, отнесенной к суммарной пиковой интенсивности рентгеновских пиков WC в частицах износа, от интенсивности изнашивания композитов WC – 80Г4 и WC – 80Г20 после испытаний при разных скоростях скольжения

Кроме того, объемное содержание $FeWO_4$ и на поверхности трения и в осколках износа для композита WC-80Г4 было заметно выше чем, для WC-80Г20 (при одинаковых скоростях скольжения). исследуемых композитов, при этом, при увеличении количества $FeWO_4$ интенсивность изнашивания также увеличивалась.

Появление $FeWO_4$ на поверхности трения и в осколках износа исследуемых композитов в диапазоне скоростей скольжения 10÷37 м/с коррелирует с уменьшением коэффициента трения. Размеры кристаллитов карбида вольфрама, металлической связки и сложного оксида $FeWO_4$, измеренные методом РСА на поверхности трения в интервале скоростей скольжения 10-37 м/с для композитов обоих составов, составляли величину порядка 10-30 нм.

Исследование методом РЭМ приповерхностных областей композита после испытаний в интервале скоростей скольжения 7-37 м/с показало, что на поверхности трения формируются слои с дисперсной структурой, толщиной 2-3 мкм, рис. 3.

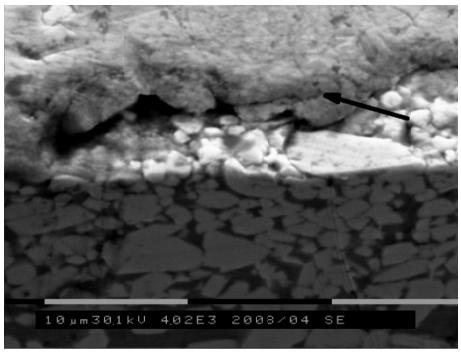


Рис. 3. Поверхность трения композита

Тот факт, что износостойкость WC-80Г4 при скоростях скольжения выше 20 м/с значительно выше, чем в композите WC-80Г20 можно объяснить более лучшим перемешиванием возникающего сложного оксида $FeWO_4$ со связкой композита WC-80Г4, содержащей в своем составе α-железо, которое, как известно [4], при высоких температурах мягче чем γ-фаза.

В случае, когда процесс износа композитов происходит за счет формирования и удаления слоя, содержащего $FeWO_4$, имеет место мягкий тип изнашивания с небольшой интенсивностью, а, в том случае, когда пластическая деформация опережает формирование $FeWO_4$, процесс износа становится катастрофическим и интенсивность изнашивания резко увеличивается.

Выводы:

1. Преимущество в износостойкости композита WC-80Г4 при малых и высоких скоростях скольжения обусловлено наличием в связке метастабильного аустенита, превращающегося в мартенсит при деформации на изнашиваемой поверхности.

2. Взаимодействие с контртелом при скоростях скольжения выше 10 м/с приводит к формированию на поверхности трения нанокристаллического слоя, содержащего кроме мельчайших карбидных частиц и связки композита, наноразмерные кристаллиты сложного оксида $FeWO_4$ с высокими антифрикционным свойствами.

Литература

1. Lim S.C., Ashby M.F. Wear-mechanism maps. Acta Metallurgy, 1987, v. 35, p. 1–24.

2. So H., Chen H.M., Chen L.W. Extrusion wear and transition of wear mechanisms of steel. Wear, 2008, v.265, p. 1142–1148.

3. Севостьянова И. Н., Гнюсов С.Ф., Гармс А.П., Кульков С.Н. Влияние термической обработки и состава матрицы на формирование физико-механических свойств твердых сплавов WC- (Fe–Mn–C) // Перспективные материалы. 1998. № 4. С. 37-41.

4. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П.. Материаловедение. М.: Машиностроение, 1990. 528 с.

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА CONIGA

Кретинина И. В.
Научный руководитель: Киреева И.В., вед.н.с., д. ф.-м. н..,
научный консультант: Чумляков Ю.И., д. ф.-м.н., профессор.
ОСП «Сибирский физико-технический институт Томского Госуниверситета» , г. Томск, Россия
E-mail: irbas@sibmail.com

Выделение дисперсных частиц повышает прочностные свойства B2-фазы за счет дисперсионного твердения и подавляет процессы пластического течения в B2-фазе при прямом и обратном мартенситном превращении (МП) под нагрузкой. В результате мартенситные кристаллы, возникающие под нагрузкой, сохраняют высокую подвижность и при снятии нагрузки превращаются в B2-фазу. Дисперсные частицы не испытывают сами термоупругих МП и, следовательно, наследуются кристаллами мартенсита. Поскольку параметры решеток частицы и матрицы различаются, то частицы являются источниками внутренних напряжений и могут выступать как места преимущественного зарождения мартенсита [1].

В данной работе на монокристаллах [123] ферромагнитного сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ с B2-$L1_0$ МП исследовано влияние различных режимов старения на температуры МП, величину сверхэластичности (СЭ) и размеры частиц при деформации сжатием.

После роста кристалл данного сплава является двухфазным – состоит из аустенита и крупных частиц γ-фазы с неупорядоченной ГЦК структурой. Закалка 1423Кх25 мин приводит к исчезновению γ-фазы, а при дальнейшем старении при Т=623К в течение 3 часов происходит выделение частиц γ'-фазы с упорядоченной ГЦК структурой. Частицы γ'-фазы имеют неравноосную пластинчатую форму с длиной L=15 нм и с плоскостью габитуса параллельной плоскости (111) B2-фазы При старении под сжимающей нагрузкой σ=150 МПа в монокристаллах [123] растет один вариант частиц γ'-фазы, а при старении в свободном состоянии четыре варианта частиц (рис.1).

а) б)

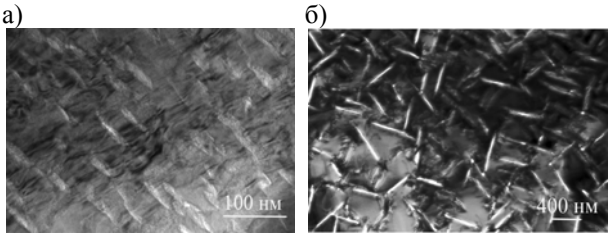


Рис.1. Электронно-микроскопическое наблюдение частиц γ'-фазы в [123] кристаллах сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$; а – один вариант частиц при старении под сжимающей нагрузкой при Т=773 К, 40 мин.; б – четыре варианта частиц при старении в свободном состоянии при Т=873 К, 40 мин.

В таблице 1 приведены температуры МП после термических обработок, определенные методом дифференциальной сканирующей калориметрии (DSC). Видно, что после закалки в воду от Т=1423 К, 25 мин. B2-$L1_0$ МП характеризуется малой величиной температурного гистерезиса $\Delta T=A_f-M_s$=24К (где A_f – это температура конца обратного МП при нагреве, а M_s- температура начала прямого МП при охлаждении). Выделение дисперсных частиц γ'-фазы приводит, во-первых, к понижению M_s и, во-вторых, к увеличению температурного гистерезиса ΔТ в 5,5 раза относительно закаленных кристаллов. Понижение M_s свидетельствует о том, что выделение мелких частиц размером L=15 нм приводит к увеличению упругой энергии $L1_0$- мартенсита, а увеличение температурного гистерезиса говорит о том, что частицы являются препятствиями при движении кристаллов $L1_0$- мартенсита и приводят к рассеянию энергии.

Таблица 1. Температуры B2-$L1_0$ МП для монокристаллов сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$

термообработка		M_s,К	A_f,К	ΔТ,К
Закалка 1423Кх25 мин		237,5	261,5	24
+старение 623Кх 3 ч	без σ	154	290	136
	под σ	175	308	133

Видно, что температуры B2-$L1_0$ МП зависят от условий старения. При старении в свободном состоянии температура начала МП при охлаждении M_s=154К, а старение под сжимающей нагрузкой повышает M_s до 175К (таблица 1).

Образование одного варианта частиц γ'-фазы в кристаллах под нагрузкой приводит к появлению внутренних напряжений, связанных с различием в атомных параметрах дисперсных частиц и мартенсита. Эти внутренние напряжения способствуют повышению Ms для B2-$L1_0$ МП в кристаллах с одним вариантом частиц γ'-фазы по сравнению с четырьмя, где внутренние напряжения от каждого варианта частиц компенсируют друг друга.

В результате этого в температурном интервале образования мартенсита $L1_0$ под нагрузкой в кристаллах [123] с одним вариантом частиц γ'-фазы напряжения σ_{SIM} для образования под нагрузкой кристаллов $L1_0$-мартенсита при одной температуре испытания оказываются меньше, чем для кристаллов [123] с четырьмя вариантами частиц γ'-фазы (рис.2).

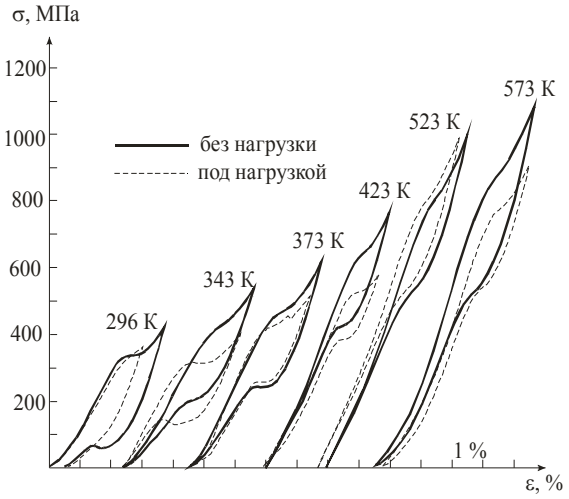


Рис.2. Температурный интервал сверхэластичности для монокристаллов [123] ферромагнитного сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ при деформации сжатием

Экспериментально установлено, что выделение частиц γ'-фазы приводит к развитию СЭ в широком температурном интервале $\Delta T_{СЭ}$=327К. В закаленных [123] кристаллах температурный интервал СЭ $\Delta T_{СЭ}$=157 К и максимальная температура, при которой имеет место СЭ Т=473К. При выделении частиц γ'-фазы температурный интервал СЭ увеличивается в 2 раза, а максимальная температура, при которой наблюдается СЭ оказывается равной 623 К. Выше этой температуры исследовать СЭ не удалось из-за ограничения высоких температур на испытательной машине.

Исследования СЭ поведения [123] монокристаллов показали, что СЭ в [123] монокристаллах состаренных под и без нагрузки характеризуется общими закономерностями изменения величины механического гистерезиса Δσ и величины СЭ $\varepsilon_{СЭ}$ с ростом температуры. При Т вблизи A_f кристаллы характеризуются широким механическим гистерезисом Δσ =200-259 МПа, который с ростом температуры до Т=490К уменьшается до 100-150 МПа, а затем опять увеличивается. Величина СЭ в кристаллах состаренных под нагрузкой и без оказывается меньше, чем в исходных закаленных кристаллах $\varepsilon_{СЭ}$=3,2% и с ростом температуры уменьшается от 2% при Т=290К до 1,5% при Т=623К (рис 3).

Физическая причина уменьшения величины СЭ в состаренных кристаллах связана с особенностями взаимодействия кристаллов мартенсита с дисперсными частицами. Дисперсные частицы изменяют тонкую структуру кристаллов $L1_0$-мартенсита и B2-$L1_0$ МП, как показывают in-situ наблюдения, происходит в объемах между частицами [2].

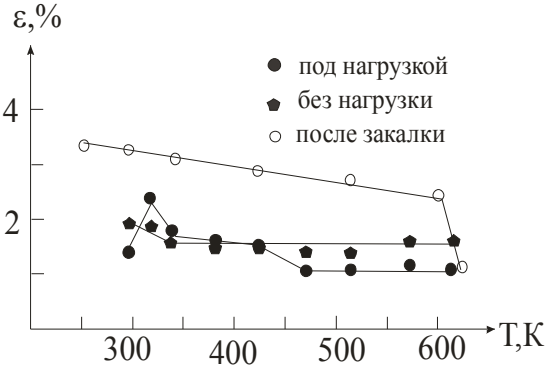


Рис.3. Зависимость величины сверхэластичности $\varepsilon_{СЭ}$ от температуры для монокристаллов [123] ферромагнитного сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ при деформации сжатием

Дисперсные частицы являются препятствиями для кристаллов $L1_0$–мартенсита, сами не испытывают МП и деформируются упруго. Толщина двойников в этом случае уменьшается почти в 10 раз по сравнению с закаленными кристаллами. Частицы могут подавлять раздвойникование мартенсита, что и является причиной уменьшения величины СЭ в состаренных кристаллах по сравнению с закаленными.

Итак, впервые экспериментально показано, что величина СЭ, температуры МП в состаренных монокристаллах ферромагнитного сплава $Co_{49}Ni_{21}Ga_{30}$ зависят от числа вариантов дисперсных частиц γ'-фазы

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-03-00154-а и РФФИ-АФГИ 09-08-92501-ИК-а, гранта CRDF RUE1-2940-ТО-09.

Литература

1. Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Панченко Е.Ю. и др. Эффекты памяти формы и сверхэластичности в стареющих монокристаллах никелида титана//Доклады Академии Наук. 2001. Т. 381. № 5. С. 610-613.

2. Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Панченко Е.Ю. и др. Высокотемпе-ратурная сверхэластичность в монокристаллах CoNiGa, CoNiAl, NiFeGa, TiNi// Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 10. С. 19-37.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГАННЫХ ОТХОДОВ

Кузнецова Н. А.
Научный руководитель: Казьмина О. В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kna007@sibmail.com

В последние годы наблюдается повышенный интерес к развитию технологий получения высокоэффективных строительных материалов, применяющихся в качестве тепло- и звукоизоляции.

Одним из главных аспектов в моделировании составов является необходимость использования альтернативных источников сырьевой базы. Сегодня, когда традиционные материалы дорогостоящи, к техногенным отходам снова проявляется интерес. Поэтому проведение исследований в области утилизации золошлаковых смесей и внедрения безотходных производств актуально для современной строительной индустрии.

В настоящее время в связи с быстрым ростом цен на энергоносители особую актуальность приобретает вопрос улучшения энергоэффективности жилых, общественных и промышленных зданий. Методом решения данной проблемы служит применение современных теплоизоляционных материалов, отличающихся не только теплофизическими характеристиками, но и являющимися пожаро- и экологически безопасными, например таким является пеностекло. Целью данной работы является разработка составов и ресурсосберегающей технологии производства экологически чистого теплоизоляционного пеноматериала, основным сырьевым компонентом для получения которого является золошлаковый отход ТЭС. Синтезируемый материал не должен уступать по качеству и технико-эксплуатационным характеристикам уже существующим аналогам, но при этом себестоимость его производства будет гораздо ниже.

Исследуемые золошлаковые отходы представляют полидисперсную смесь, химический состав которой зависит от состава минеральной части твердых топлив, поэтому изменяется в широких пределах. Частицы мелкозернистой части отходов (рис. 1) представлены зернами неправильной остроугольной и гладкой сферической формы с размером микросфер от 2 до 10 мкм, агломератов виде сплавленных зерен до 60 мкм.

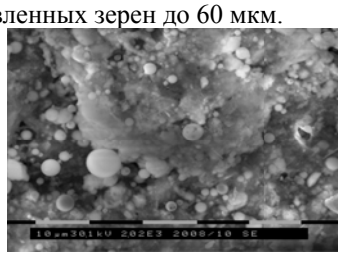


Рис. 1. Микрофотография золошлаковых отходов

По данным рентгенофазового анализа минеральный состав отходов представлен аморфной и кристаллической фазой в виде термически устойчивого минерала исходного топлива – кварца и кристаллического алюмосиликата кальция (рис. 2)

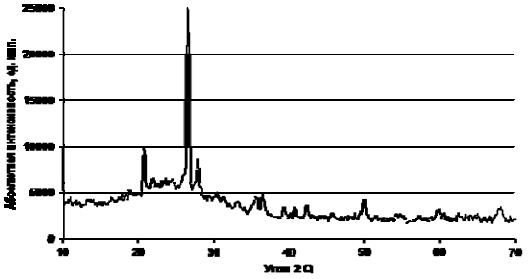


Рис. 2. Дифрактограмма золошлаковых отходов

Химический состав отходов по соотношению стеклообразователей и оксидов модификаторов указывает на необходимость корректировки шихты кремнеземистыми и щелочными компонентами, в качестве которых выбраны природный маршаллит Елбашенского месторождения и синтетическая кальцинированная сода (ГОСТ 5100-85).

Согласно ранее полученных данных для синтеза стеклофазы выбраны два пограничных состава, по которым рассчитан компонентный состав шихт с максимально и минимально возможным содержанием отходов (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав шихты и стекла

Шихта	Компонентный состав, масс. %			Хим. состав стекла, масс. %		
	М	С	З–Ш	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O
ШЗ–1	57	32	11	74	4	22
ШЗ–2	12,5	29	58,5	63	15	22

Стеклогранулят получали путем термообработки исходных смесей по температурному режиму, который подбирался для шихты определенного состава по разработанной методике [1].

Установлено, что температура снижается с увеличением в шихте золошлаковых отходов: для шихты с меньшим содержанием отхода температура размягчения составляет 850 ^{0}C, для шихты с большим содержанием отхода – 815 ^{0}C.

Характеристики полученного стеклогранулята, а именно химического, фазового составов, а также количества и размера остаточной кристаллической фазы, определяют конечные свойства готового изделия.

По фазовому составу стеклогранулят представлен в основном стеклом и остаточной кристаллической фазой в пределах 17 – 20 масс. % с размером не превышающим 0,2 мкм (табл. 2).

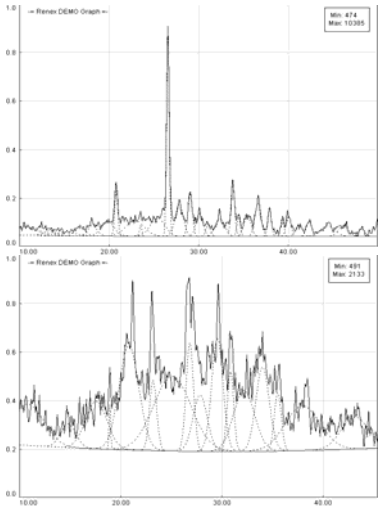


Рис. 2. Рентгенограммы стеклогранулята на основе золошлаковых отходов: а) СГ – 1 б) СГ – 2

Таблица 2. Характеристика стеклогранулята

Температура пиропластического состояния, ^{o}C	СГ – 1	СГ – 2
	704	680
Удельная поверхность, см^2/гр	5198	6195
Количество кристаллической фазы, масс. %	17,0	20,0
Фазовый состав кристаллической фазы	SiO_2 $CaAl_2Si_2O_8$	SiO_2 $CaAl_2Si_2O_8$ Al_2SiO_5

На основе полученного стеклогранулята была приготовлена пенообразующая смесь с добавлением 0,5 масс. % углеродсодержащего газообразователя (сажа М–801). Выбор газообразователя основан с учетом окислительно–восстановительных характеристик шихт, с учетом соотношения химической потребности в кислороде шихты и газообразователя.

При изучении кинетики вспенивания исследуемых пенообразующих смесей установлены оптимальные температурные режимы: для образцов с меньшим содержанием отходов максимальная температура вспенивая составляет 840 ^{O}C при выдержке 15 минут, для образцов с большим содержанием золошлаковых отходов – 820 ^{O}C при выдержке 10 минут.

Макроструктура полученных образцов (рис. 3) является мелкопористой, с равномерным распределением пор по объему, с размером пор 0,9 – 1,2 мм и толщиной межпоровой перегородки в пределах 45 – 60 мкм.

Экспериментально полученные значения свойств готового пеноматериала в сравнении с пеностеклом представлены в таблице 3, по данным которой видно, что пеноматериал, полученный на основе отходов, отличается низкими значениями теплопроводности и водопоглощения, а прочность в несколько раз превышает прочность пеностекла.

Рис. 3. Образцы пеноматериала полученного на основе золошлаковых отходов

Таблица 3 – Сравнительные характеристики пеностекла и пеноматериала на основе отхода

Свойства материала	Значения свойств для пеноматериалов		
	состав 1	состав 2	Пенно стекло
Водопоглощение, W %	4,5	6,0	не более 5
Плотность, кг\м^3	350	370	100 – 250
Прочность, МПа	4,5	4,8	0,5 – 1,5
Теплопроводность,Вт/(м·°С)	0,08	0,09	0,06 – 0,08

Таким образом, установлена принципиальная возможность получения пеноматериала на основе отходов по технологии, включающей низкотемпературный синтез стеклогранулята при температурах, не превышающих 900 ^{0}C. Полученные образцы отличаются повышенными прочностными показателями, что позволяет расширить область их применения, в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала.

Полученный пеноматериал является высокоэффективным теплоизоляционным строительным материалом на основе отходов и обладает такими свойствами, как огнестойкость, долговечность и экологическая чистота, хорошие теплофизические характеристики.

Сложный химический и минералогический составы, низкая стоимость золошлаковых отходов предполагают дальнейшее развитие технологий и получение строительных пеноматериалов на основе зол и шлаков ТЭС.

1. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Абияка А.Н., Мухортова А.В., Поплетнева Ю.В. Температурные режимы получения гранулята для пеностеклокристаллических материалов в зависимости от состава шихты // Стекло и керамика. – 2009. - № 5. – С. 26 – 29.

МИКРОДУГОВЫЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫЕ БИОПОКРЫТИЯ НА ЦИРКОНИИ

Куляшова К.С.
Научный руководитель: Шаркеев Ю.П., д.ф.-м.н., профессор
ИФПМ СО РАН, 634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: kseniya@ispms.tsc.ru

Для повышения биоактивных свойств имплантатов на их поверхность различными способами наносят кальцийфосфатные покрытия, служащие «депо» ионов, необходимых для образования и роста новой костной ткани. Наиболее подходящим для таких целей является гидроксиапатит (ГА, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). ГА – основная составляющая минеральной компоненты костной ткани. Этот фосфат кальция имеет довольно низкую растворимость, а, следовательно, и биорезорбируемость, что приводит к медленной деградации покрытия при нахождении имплантата в организм человека.

В медицинской практике часто применяют биологический ГА, который получают из костей крупнорогатого скота. Применение такого ГА имеет ряд недостатков, основными из которых являются риск передачи инфекций и потенциальная иммуногенность из-за чужеродного материала, а также содержание тяжёлых металлов, которым свойственно накапливание в костях. В связи с вышеизложенным, существует необходимость замены биологического ГА на химически чистый синтезированный, который ни только не уступает в своих свойствах биологическому, но и имеет ряд этических и медицинских преимуществ.

В работе представлены результаты исследования композиционных биопокрытий на цирконии при формировании которых использовали электролиты, содержащие биологический и синтезированный ГА.

Материалы и методы. Биологический ГА (БГА) представлял собой порошок, полученный путём термической обработки костного материала крупнорогатого скота с размером частиц в диапазоне 50-150 мкм. Синтезированный ГА (СГА) получен методом жидкофазного осаждения из растворов, содержащих нитрат кальция ($Ca(NO_3)_2$) и гидрофосфат аммония ($(NH_4)_2HPO_4$), при pH = 11-12. Используемые в синтезе соединения имели марку чистоты ХЧ. Основная фракция частиц СГА – частицы в диапазоне 50-150 мкм.

Образцы циркония, содержащие 1 мас. % Nb, представляли собой пластинки размером 10×10×1 мм^3. Покрытия формировали методом микродугового оксидирования на установке MicroArc–3.0 при напряжении 250 В, длительности импульсов 100 мкс, частоте следования импульсов 50 Гц.

В качестве электролитов были выбраны электролиты-суспензии, в которых дисперсионной средой служил 30 %-ный водный раствор ортофосфорной кислоты, а дисперсная фаза – смесь ГА и карбоната кальция.

Морфологию поверхности покрытий изучали методом растровой электронной микроскопии (микроскоп Carl Zeiss EVO-50). Шероховатость поверхности измеряли с помощью профилометра модели 296 по R_a (ГОСТ 2789-73). Для определения фазового состава покрытий был выполнен рентгеноструктурный анализ на дифрактометре BRUKER D8 Advance в диапазоне углов 2Θ 5-90º с шагом сканирования 0,01º в Cu – Kα излучении Анализ молекулярных связей в кальцийфосфатных покрытиях проводили с использованием ИК-спектрометра FTIR Spectrometer BIO RAD FTS 175 в интервале длин волн 4000-400 см$^{-1}$.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 представлена зависимость амплитудного тока от длительности нанесения кальцийфосфатного покрытия на поверхность образцов циркония в электролитах на основе БГА (кривая 1) и СГА (кривая 2).

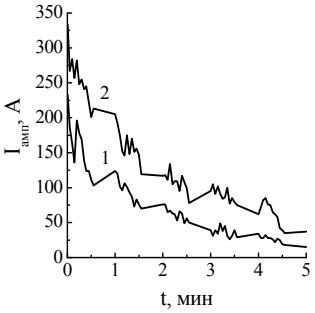


Рис. 1. Зависимость амплитудного тока от времени нанесения микродугового кальцийфосфатного покрытия на цирконий

Видно, что начальный амплитудный ток для электролита на основе БГА составляет 330 А, что почти на 100 А выше, чем начальный амплитудный ток для электролита на основе СГА (240 А). Общий вид зависимости амплитудного тока от времени нанесения покрытий для двух электролитов подобен: ток постепенно падает со временем нанесения покрытия и к концу процесса достигает 35 и 15 А для электролитов, содержащих БГА и СГА соответственно.

Зависимости на рис. 1 позволяют оценить необходимое время для нанесения покрытий на поверхность образца, т. к. выход кривых зависимости амплитудного тока от времени на стационарное значение свидетельствует об окончании формирования на поверхности циркония второго диэлектрического (кальцийфосфатного) слоя. Это время и было определено из экспериментальных кривых. При использовании как электролита на основе БГА, так и СГА, оно составило 5 минут.

При использовании БГА рельеф покрытия содержит участки со скоплениями сферолитов, образующихся на более плотном подслое покрытия, представляющим собой наслоение «чешуек» фосфатов кальция (рис. 2а). Сферолиты в электролите на основе СГА формируются с меньшей вероятностью (рис. 2б). По-видимому, указанные различия в нанесении покрытий связаны с различной природой ГА, которая влияет на его свойства (стехиометрию, растворимость, дисперсность). Покрытия на основе СГА отличаются более равномерной поверхностью. Параметр шероховатость таких покрытий R_a составляет 3,5-4 мкм, что значительно меньше, чем у покрытий на основе БГА (5 мкм). Следует отметить, что шероховатость является важным фактором в процессах остеоинтеграции имплантата в окружающие ткани. Известно, что для успешной адгезии стволовых клеток к поверхности покрытия и их дальнейшей дифференцировки в костную ткань оптимальным является показатель шероховатости R_a 2,5-5 мкм [1].

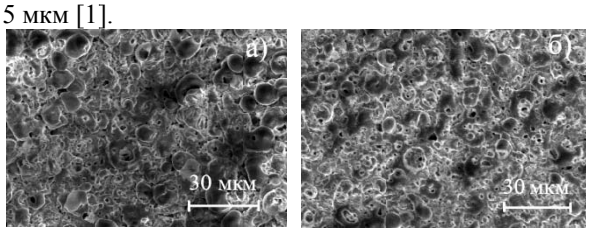


Рис. 2 РЭМ-изображения поверхности микродуговых кальцийфосфатных покрытий на цирконии, сформированных в электролитах на основе БГА (а) и СГА (б)

На рис. 3 и 4 приведены типичные ИК-спектр и рентгенограмма покрытий, полученных на поверхности циркония. ИК-спектр характеризуются наличием полос поглощения OH^- - групп при 3550-3200 $см^{-1}$, 1650-1620 $см^{-1}$ и 660-630 $см^{-1}$, а также довольно интенсивными полосами при 1130-1030 и 960-930 $см^{-1}$, которые принадлежат, соответственно, антисимметричным и симметричным колебаниям фосфатной связи P–O и полосы при 600-520 $см^{-1}$, соответствующей трёхкратновырожденным деформационным колебаниям связей O–P–O в фосфатной группе.

Результаты ИК-спектроскопии хорошо согласуются с рентгеноструктурным данными, подтверждая высокую концентрацию фосфатов кальция и циркония в покрытии. Основными фазами, присутствующими в покрытиях, являются $CaZr_4(PO_4)_6$, ZrO_2, ZrP_2O_7; причём наибольшая интенсивность пиков у основной фазы – $CaZr_4(PO_4)_6$. Следует отметить, что покрытия на цирконии имеют кристаллическую структуру, в отличие от аналогичных кальцийфосфатных покрытий, полученных на поверхности титана [1].

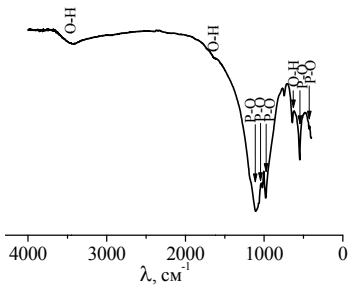


Рис. 3 ИК–спектр микродугового кальцийфосфатного покрытия на цирконии

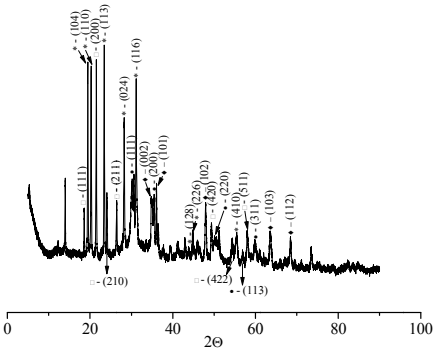


*Рис. 4 Типичная рентгенограмма микродугового кальцийфосфатного покрытия на поверхности циркония: * - $CaZr_4(PO_4)_6$ (rhombohedral), □- ZrP_2O_7 (cubic), ♦ - Zr (hexagonal), ● - ZrO_2(tetragonal)*

Вывод. Гидроксиапатит, синтезированный по методике жидкофазного синтеза, может быть рекомендован в качестве основного компонента электролита для нанесения биоактивных кальцийфосфатных покрытий микродуговым оксидированием на поверхность циркония. Применение синтезированного ГА в качестве основного компонента электролита позволяет получить биопокрытия с параметрами, необходимыми для успешной остеоинтеграции имплантата в окружающие ткани при введении его в организм.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержки программы Президиума РАН "Фундаментальные науки – медицине», проект 5.5 и интеграционного проекта фундаментальных исследований СО РАН № 126.

Автор выражает благодарность с.н.с. лаборатории физики наноструктурных биокомпозитов ИФПМ СО РАН Легостаевой Е.В. за помощь в постановке эксперимента и обсуждении результатов.

Литература

1. Шаркеев Ю.П., Колобов Ю.Р., Карлов А.В. и др. Структура, механические характеристики и остеогенные свойства биокомпозиционного материала на основе субмикрокристаллического титана и микродугового кальций-фосфатного покрытия // Физическая мезомеханика – 2005. – Т. 8. – Спец. выпуск. – С. 83-86.

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ СУЛЬФИДА КАДМИЯ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Лысык В.В., Олешко В.И.
Научный руководитель: Олешко В.И., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lvv1287@mail.ru

Введение

Кристаллы группы A^2B^6 являются перспективными материалами для создания приборов квантовой электроники [1-4]. В частности, представляет интерес использование широкозонных полупроводников в качестве источников вынужденного излучения. Для создания приборов на основе лазеров с электронной накачкой важной задачей является определение механизмов генерации вынужденного излучения в кристаллах A^2B^6.

Исследованию механизмов стимулированного излучения посвящено большое число работ [3-6]. Тем не менее, результаты исследований не всегда удается четко интерпретировать.

Целью данной работы является выяснение механизмов излучательной рекомбинации, ответственных за вынужденное излучение реальных кристаллов сульфида кадмия при высоких уровнях возбуждения.

Методика

Возбуждение образцов осуществлялось сильноточным электронным пучком с параметрами: средняя энергия электронов в пучке ~0,35 МэВ, длительность импульса на полувысоте ~15 нс, плотность энергии 0,01–0,1 Дж/см^2. Давление остаточных газов в экспериментальной камере составляло ~10^{-4} Па, температура изменялась от 15 до 300 К. В работе использовались монокристаллы CdS полученные методом Давыдова – Маркова. Образец устанавливался под углом 90° к направлению распространения потока электронов. Свечение образца с помощью линзы проецировалось на входную щель монохроматора МДР-204 и регистрировалось с помощью ФЭУ-97 и запоминающего осциллографа Tektronix TDS 2022. Временное разрешение регистрирующего тракта ~15 нс, спектральное ~0,01 эВ.

Экспериментальные результаты

На рисунке 1 приведены спектры оптического поглощения двух кристаллов CdS № 1 и № 2 измеренные при 300 К. Сдвиг края фундаментального поглощения образца №2 в длинноволновую область спектра свидетельствует о высокой концентрации кислорода, который входит в решетку сульфида кадмия в процессе выращивания кристалла. При низком уровне рентгеновского возбуждения (G ~ 10^{22} см$^{-3}$·с$^{-1}$) в спектре импульсной рентгенолюминесценции (ИРЛ) образца №1 преобладают экситонные полосы при λ_m = 492,5 нм и λ_m = 500 нм, соответствующие первому и второму фононному повтору полосы свободного А-экситона. Дополнительно, наблюдается линия связанного экситона λ_m = 489,5 нм с ее фононным повтором при λ_m = 497,5 нм (рис. 2). В спектре образца № 2 отсутствуют экситонные полосы и появляются новые в области 500–520 нм.

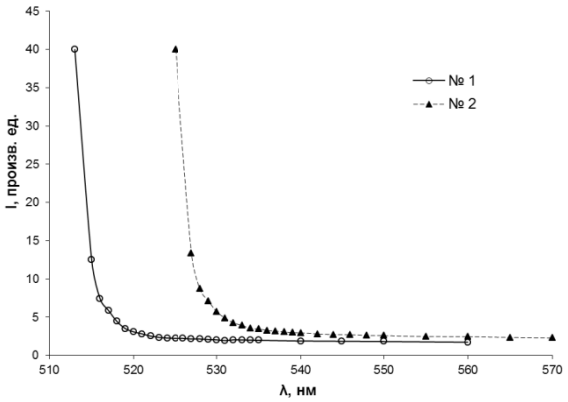


Рис. 1. Спектры поглощения кристаллов CdS.

При увеличении уровня возбуждения кристаллов (электронное возбуждение) наблюдается переход от спонтанной люминесценции к стимулированной. Интенсивность люминесценции увеличивается на несколько порядков, а спектр приобретает вид узких полос. Дальнейшее увеличение уровня возбуждения приводит к перестройке спектров импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) кристаллов №1 и №2 (см. рис. 2). Видно, что положение максимума и форма линии вынужденного излучения определяется уровнем возбуждения. При уровне возбуждения G = 1,56 ·10^{26} см$^{-3}$ ·с$^{-1}$ у образца № 1 наблюдается усиление люминесценции на первом фононном повторе.

С увеличением уровня возбуждения происходит перестройка спектра ИКЛ, максимум излучения постепенно сдвигается в спектральную область, соответствующую второму фононному повтору линии свободного экситона. Подобное поведение можно объяснить возникновением взаимодействия между экситонами при высокой концентрации электронно-дырочных пар ($\geq 2 \cdot 10^{17}$ см$^{-3}$) и образованием электронно-дырочной плазмы (ЭДП).

Для образца № 2 усиление наблюдается в максимуме полосы спонтанной люминесценции λ_m ~ 505 нм. Это свидетельствует о том, что генерация происходит на уровнях дефектов, ответственных за спонтанную люминесценцию. Так как кристалл CdS № 2 специально не легирован, а высокая концентрация дефектов, по-видимому, связана с присутствием кислорода, то можно предположить, что стимулированное излучение определяется комплексными дефектами, в состав которых входит кислород.

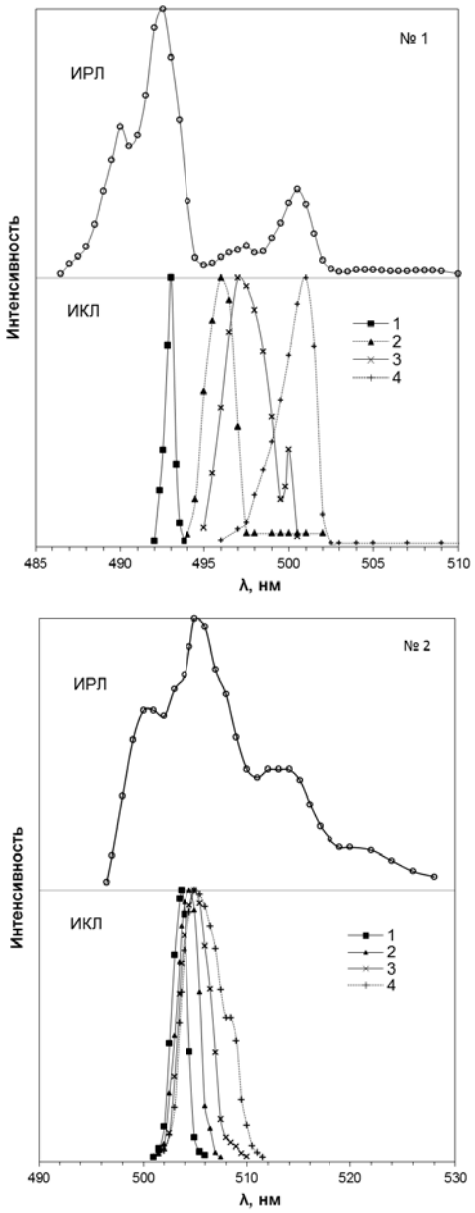


Рис. 2. Спектры спонтанной (ИРЛ) и стимулированной (ИКЛ) люминесценции кристаллов CdS № 1 и № 2:

1 – G = 1,56 ·10^{26}см$^{-3}$ · с$^{-1}$; 2 – G = 3,9 ·10^{26}см$^{-3}$ · с$^{-1}$;

3 – G = 6,52 ·10^{26}см$^{-3}$ · с$^{-1}$; 4 – G = 7,8 ·10^{26}см$^{-3}$ · с$^{-1}$.

На рис. 3 представлены температурные зависимости интенсивности и положения максимума полос вынужденного излучения в исследуемых кристаллах. Видно, что с увеличением температуры от 15 до 300 К в образце №1 происходит сдвиг максимума излучения в длинноволновую область спектра в соответствии с температурным уменьшением ширины запрещенной зоны кристалла.

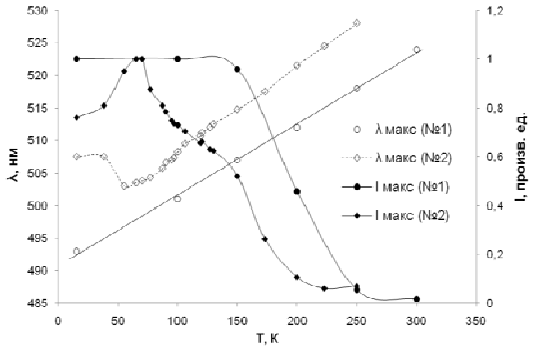


Рис. 3. Температурные зависимости амплитудного значения интенсивности и положения максимума вынужденного излучения в кристаллах №1 и №2.

В CdS № 2 наблюдается более сложная зависимость, как положения максимума, так и интенсивности вынужденного излучения от температуры. Выяснение причин наблюдаемых закономерностей требует специальных исследований.

Выводы

1. Изучено влияние уровня возбуждения на амплитудные и спектральные характеристики люминесценции кристаллов сульфида кадмия различной предыстории.

2. Показано, что в кристаллах CdS наблюдается конкуренция различных механизмов усиления - экситонного, межзонного и примесного. Реализация конкретного механизма, ответственного за генерацию вынужденного излучения в реальных кристаллах, зависит от типа и концентрации дефектов и уровня возбуждения.

3. Для создания эффективных полупроводниковых лазеров с электронным возбуждением необходимо применять высокочистые кристаллы или образцы с высокой концентрацией мелких акцепторных уровней.

Литература

1. Физика соединений A^2B^6/ Под ред. Георгобиани А.Н., Шейнкмана М.К. – М.: Наука, 1986. – 320 с.

2. Гурский А.Л. Лазеры с возбуждением электронным пучком на основе соединений A^2B^6 (обзор) // ЖПС, **66** (1999), №5, 601-618.

3. Лазерные электронно-лучевые трубки. – М.: Наука, 1991. – 230 с. – (Труды ФИАН, Т. 202).

4. Басов Н.Г., Елисеев П.Г. и др. Полупроводниковые лазеры // УФН, **148** (1986), №1, 35 – 53.

5. Крюкова И.В., Купряшина Е.С., Прокофьева С.П. О механизме генерации в неохлаждаемых лазерах на легированном сульфиде кадмия // Письма в ЖТФ, **5** (1979), Вып. 9, 525 – 531.

6. Днепровский В.С., Климов В.И., Новиков М.Г. Динамика рекомбинации электронно-дырочной плазмы в CdS // ФТТ, **30** (1988), №10, 2938 – 2947.

ОСОБЕННОСТИ СВ-СИНТЕЗА ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ШПИНЕЛЕЙ

Львов О.В. , Радишевская Н.И.* , Найбороденко Ю.С.**
Научный руководитель: Найбороденко Ю.С., к.ф-м.н.
Томский государственный университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 36
*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30
**Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН, 634021, г. Томск, пр. Академический 10/3
E-mail: Lvovov@net-ka.ru

Процессы горения в СВС системах обладают целым рядом особенностей, обусловленных сложной кинетикой формирования продуктов реакций [1]. Так как образование пигментов шпинельного типа сопровождается выделением тепла, то для их получения может быть использован метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). В основе этого метода лежат реакции экзотермического взаимодействия двух или нескольких химических элементов, соединений, протекающих в режиме направленного горения.

СВС пигментов проводили на воздухе при атмосферном давлении. Для синтеза пигментов использовали образцы шихт различной пористости - от свободнонасыпных до прессованных. В работе использовали порошки оксидов алюминия, кобальта, цинка, магния, азотнокислого магния квалификации «ч» и «х.ч.» и порошок алюминия марки АСД-4.

Микроструктуру полученных образцов исследовали с помощью оптической микроскопии (Unimet, Axiovert 200M) и растровой электронной микроскопии – Camebax. Термическое окисление веществ изучали на термоанализаторе SDT Q-600 в интервале температур 25-1600^{0}C на воздухе. Идентификацию полученных пигментов проводили при помощи рентгенофазового анализа на дифрактометре – ДРОН-УМ1 (фильтрованное Co Kα-излучение) и инфракрасной спектроскопии в области 4000-400см$^{-1}$ на ИК-Фурье спектрометре Nicolet 5700 на приставке диффузного отражения в KBr. Дисперсный состав смесей определяли на установке для механического рассева (модель 029) на фракции в диапазоне 50-600 мкм.

В настоящей работе исследуются особенности СВС-процессов тугоплавких пигментов на основе шпинелей с использованием алюмотермических реакций. Ведущими реакциями горения при получении алюмокобольтовых пигментов являются следующие:

$$CoO+2Al+O_2=Al_2O_3+Co+1436 \text{ кДж} \quad (1)$$

$$3Co_3O_4+8Al=4Al_2O_3+9CoO+3983 \text{ кДж} \quad (2)$$

Практически одновременно во всех случаях протекает конкурирующая (параллельная) реакция окисления алюминия, сопровождающаяся также большим тепловыделением:

$$4Al+3O_2=2Al_2O_3+3350 \text{ кДж} \quad (3)$$

В зависимости от условий синтеза могут реализовываться одновременно обе реакции. В результате их протекания происходит разогрев исходной шихты. При температуре выше 1000ºC начинается процесс синтеза самой шпинели, сопровождающийся также выделением тепла.

$$CoO+Al_2O_3=CoAl_2O_4+75 \text{ кДж} \quad (4)$$

Обнаруживаются сферические оболочки α-Al_2O_3 (рис.1.) и частицы кобальта покрытые оксидной оболочкой CoO (рис.2).

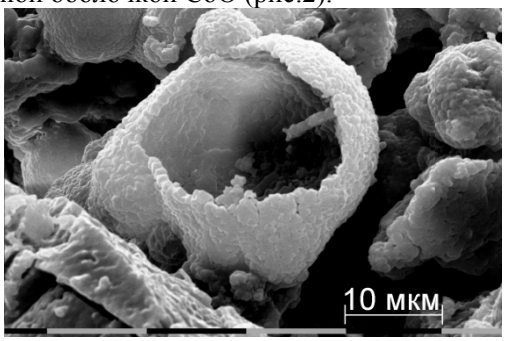


Рис.1. Микрофотография продуктов окисления алюминия (прямое окисление) - Philips SEM 515.

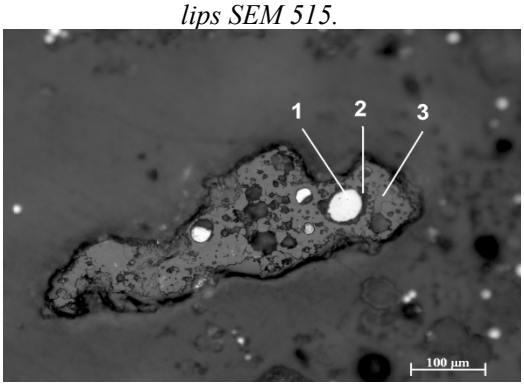


Рис.2. Микрофотография шлифа продуктов окисления алюминия после термитной реакции в системе CoO-Al_2O_3, где 1-Co, 2-CoO, 3- $CoAl_2O_4$ - Axiovert 200M

При этом пигмент, полученный на основе оксидов алюминия и кобальта, имеет темно-синий цвет и используется как базовый. Для улучшения цветовых характеристик и усиления интенсивности протекающих процессов в исходную смесь (Al_2O_3, Co_2O_3, Al) вводили различные добавки: ZnO, MgO, Cr_2O_3 и другие. В качестве газифицирующегося компонента, выделяющего кислород, в некоторые составы вводился $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$. Синие и голубые

пигменты были получены в системах ZnO-CoO-Al_2O_3, MgO-CoO-Al_2O_3 и MgO-ZnO-CoO-Al_2O_3.

Процесс получения методом СВС алюмокобальтового пигмента протекал в течение короткого времени с достижением максимальной температуры синтеза 1600^oC. Измерения проводились вольфрам-рениевой термопарой, помещенной в центр образца и с его поверхности, которая давала одинаковый результат на образцах малого размера и фиксировала различие на образцах больших диаметров. При этом на образцах с диаметром 1 см, 1,5 см и 2 см наблюдался плоский фронт, который нарушался на образцах больших диаметров, что приводило к искривлению фронта горения. Кроме того, на больших образцах фиксировалось длительное свечение после прохождения фронта, что свидетельствовало о протекании постпроцессов, в частности окислении кобальта, выделившегося в результате алюмотермической реакции, взаимодействии его с оксидом алюминия с образованием шпинели. Это приводило к получению качественного продукта за счет увеличения полноты превращения.

Несмотря на все особенности горения, алюмокобальтовая шпинели в свободно насыпных системах, обладающих в основном открытой пористостью, образуется в мелкодисперсном состоянии, и процесс завершается полным взаимодействием реакционной смеси, что обеспечивается тщательно подобранным составом и дисперсностью исходных компонентов. Как видно, процесс получения керамических пигментов шпинельного типа в состоянии свободной насыпки методом СВС в мелкодисперсном состоянии представляет собой сложный стадийный (комбинированный) процесс, протекающий с восстановительной стадией и одновременной естественной фильтрацией воздуха, обеспечивающей доступ газового реагента извне за счет перепада давления в зоне реакции. В зависимости от диаметра, в некоторых случаях реализуется очаговое зажигание с поверхности, в результате которого по мере перемещения может происходить слияние (схлопывание) возникших очагов. При этом может сформироваться и спиновый очаг за счет перераспределения температуры в сечении цилиндра. В результате этого скорость на образцах большого диаметра незначительно уменьшается. Алюминий, использующийся в составе шихты для получения пигментов, при сжигании разрыхляет образец за счет своего окисления, сопровождающегося увеличением объема при переходе Al→ Al_2O, что приводит к изменению его пористости. Из литературных данных известно, что при окислении алюминия в γ-Al_2O наблюдается увеличение объема на 38,57об.%, однако при высоких температурах (~1100ºС) фазовый переход γ-Al_2O в α-Al_2O сопровождается его уменьшением на 8,0 об.% [5]. При разложении оксидов кобальта выделяется кислород, также разрыхляющий образующиеся шпинелиды, что может приводить к затруднению процессов теплопередачи, изменять фильтрацию воздушной среды и сопровождаться уменьшением скорости фронта распространения волны, усложняя механизм горения.

Кобальтсодержащие пигменты шпинельного типа методом СВС получены в мелкодисперсном состоянии с размером частиц преимущественно ‹50 мкм, что позволяет исключить трудноосуществимую для этих материалов стадию измельчения.

Литература

1. Мержанов А.Г., Мукасьян А.С. Твердопламенное горение.- М.: ТОРУС ПРЕСС, 2007.- 336с.

2. Тарасов А.Г., Горшков В.А., Юхвид В.И. Конкурирующие химические превращения в волне горения смеси Fe_2O_3/Cr_2O_3 /Al//Физика горения и взрыва.-2006.-Т.42, №3.- С.89-91.

3. Джадд Д., Вышецкий Г. Цвет в науке и технике/ Пер. с англ. под ред. Артюшина Л.Ф.- М: Мир, 1978.-592 с.

4. Сеплярский Б.С., Брауэр Г.Б., Тарасов А.Г. Механизм распространения фронта реакции в смеси Cr_2O_3+2Al //Физика горения и взрыва.- 2010.- Т.46, №3.- С.69-74.

5. Хорошавин Л.Б. Шпинелидные наноогнеупоры. Екатеринбург: Уро РАН, 2009.-600 с.

СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ V_2O_3

Лях О.В., Суриков В.И., Данилов С.В
Научный руководитель: В.И. Суриков, к.ф.-м.н., профессор
Омский государственный технический университет
644083, г. Омск, пр. Менделеева 19/2-48
E-mail: ljach@mail.ru

Трехокись ванадия хорошо известна как соединение, обладающее фазовым переходом металл – диэлектрик (ФПМД) при температуре $T_к$~ 170 К. Несмотря на то, что первые сведения о свойствах этого соединения появились в литературе достаточно давно [1], оно по-прежнему является предметом изучения многих авторов [2,3]. Связано это как с широким практическим применением соединения, так и с особенностями ФПМД в этом материале [4]. В частности, трехокись ванадия – соединение метастабильное, спонтанно окисляющееся на воздухе до пятиокиси. С целью стабилизации ФПМД часть атомов ванадия в V_2O_3 замещают атомами переходных металлов. Разумеется, подобное легирование приводит и к изменению свойств материала. В настоящей работе сообщаются результаты исследования свойств твердых растворов $V_{2-\delta}\,Me_{0,02}O_3$, где Me – Fe, Cr, Al. Составы изученных соединений приведены в таблице.

Таблица 1. Параметры твердых растворов на основе V_2O_3

Соединение	c/a	$T_К$, К	$\Delta lgR/R_0$	$\chi_d \cdot 10^6$, см^3/г
V_2O_3	2,826	169,8	9,0	8,0
$V_{1,973}Fe_{0,020}O_3$	2,831	164,2	4,2	4,5
$V_{1,954}Fe_{0,020}O_3$	2,829	161,8	3,8	3,9
$V_{1,929}Fe_{0,020}O_3$	2,828	161,0	3,4	3,6
$V_{1,973}Cr_{0,020}O_3$	2,828	164,9	5,0	5,2
$V_{1,954}Cr_{0,020}O_3$	2,829	164,1	4,4	4,0
$V_{1,929}Cr_{0,020}O_3$	2,829	163,2	3,8	3,6
$V_{1,973}Al_{0,020}O_3$	2,818	174,1	4,4	4,2
$V_{1,954}Al_{0,020}O_3$	2,820	168,2	4,0	3,6
$V_{1,929}Al_{0,020}O_3$	2,822	166,1	3,8	3,5

Образцы для исследования в виде мелкодисперсных порошков готовились путем восстановления в атмосфере очищенного водорода при повышенных температурах бронз состава $V_{1,98}Me_{0,02}O_4$. Последние готовились путем спекания в вакууме при Т=1300 К в течение 72 ч необходимых навесок V_2O_5, V_2O_3 и Me_2O_3. Каждый из полученных образцов подвергался анализу на содержание кислорода и рентгеновскому фазовому анализу. Содержание кислорода определялось путем окисления препаратов до исходного состояния (ошибка за счет неполноты окисления не более 0,001. Рентгеновский фазовый анализ проводился на установке ДРОН – 4М. Сравнивая расчетные и литературные данные о межплоскостных расстояниях можно прийти к выводу, что все полученные образцы являются однофазными и принадлежат структуре V_2O_3. Полученные нами отношения параметров кристаллической решетки приведены в таблице. В этой же таблице приведены значения температур ФПМД, определенные нами из данных о температурной зависимости теплоемкости (подробно эти данные будут опубликованы позднее). Для всех изученных препаратов стандартным методом было изучено электросопротивление. Относительная погрешность измерения сопротивления не превышала 5%. На рис.1 приведена температурная зависимость сопротивления образца V_2O_3. Увеличение температуры образца вызывает в начале монотонное (полупроводниковое) уменьшение сопротивления, а затем в области температур фазового перехода ($T_К$) скачком на ~ 9 порядков уменьшается, далее вплоть до комнатных температур меняется слабо.

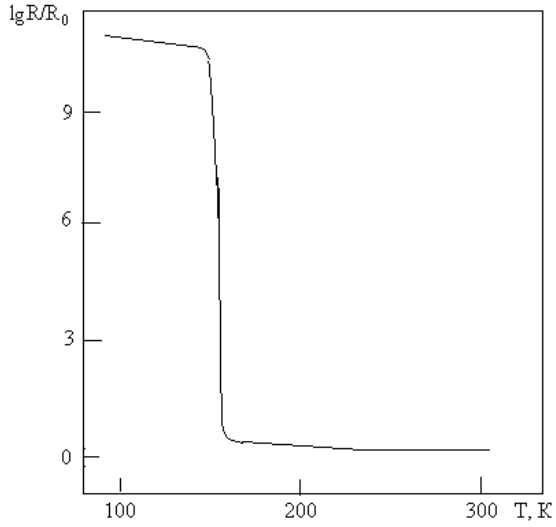


Рис.1. Температурная зависимость электрического сопротивления V_2O_3

В таблице приведены значения скачков электросопротивления при ФПМД, $\Delta lgR/R_O$ (R_O – сопротивления образца при комнатной температуре), для всех исследованных образцов.

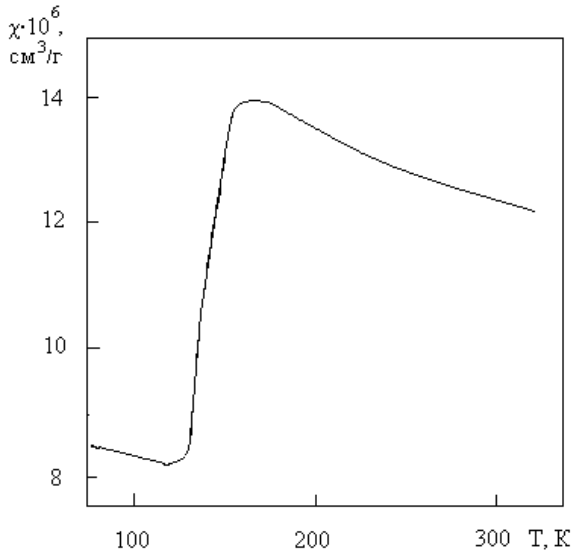


Рис. 2. Магнитная восприимчивость $V_{1,973}Al_{0,020}O_3$

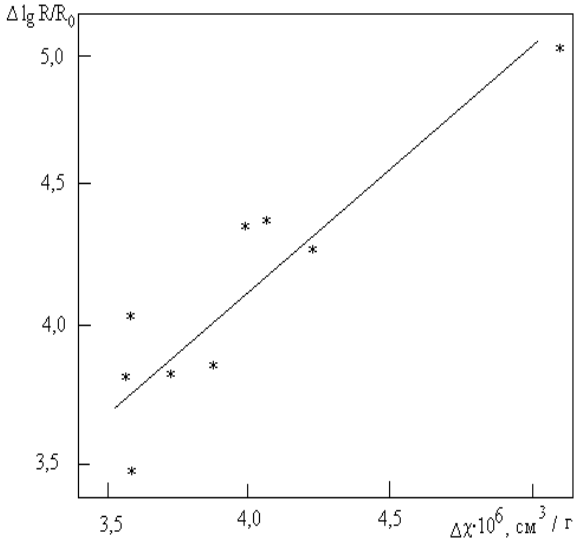


Рис.3. Зависимость $\Delta lgR/R_O$ *от* $\Delta\chi$ *для образцов* $V_{2-\delta}\mathrm{Me}_{0,02}O_3$

Для всех препаратов методом Фарадея была изучена температурная зависимость магнитной восприимчивости, χ. Результаты измерения для одного из образцов приведены на рис. 2, где видно, что фазовый переход металл – диэлектрик сопровождается изменением магнитного порядка (антиферромагнетик – парамагнетик) при этом температурная зависимость выше и ниже температуры перехода слабо выражена. Как отмечалось в [4], выше T_K парамагнитная восприимчивость имеет температурную зависимость, промежуточную между кюри – вейссовской и паулевской, причем $\chi(\mathrm{T}) = \chi_d(\mathrm{T}) + \chi_{VV} + \chi_{dia}$, где χ_{VV} и χ_{dia} – Ван-флековский и диамагнитный члены восприимчивости, меньшие по порядку величины $\chi_d(\mathrm{T})$ – температурно-зависимого члена, подчиняющегося закону Кюри – Вейсса. Полагая, что $\chi_d(\mathrm{T})$ связано с появлением в $3-d$ зоне электронов проводимости при фазовом переходе металл – диэлектрик, мы отождествили $\chi_d(\mathrm{T})$ со скачком магнитной восприимчивости при фазовом переходе. Необходимо отметить, что при вычислении $\Delta\chi$ одним из значений χ мы брали значение магнитной восприимчивости при комнатной температуре. Определенные нами $\chi_d = \Delta\chi$ также приведены в таблице. Поскольку χ_d можно связать с плотностью электронных состояний вблизи уровня Ферми $N(E_F) = \chi_d(1-\mu)/2\mu_Б^2$ [5], (μ – коэффициент электрон – электронного взаимодействия, $\mu_Б$ - магнетон Бора)

Мы попытались установить корреляцию между скачком магнитной восприимчивости ($\Delta\chi$) и скачком электрического сопротивления ($\Delta lgR/R_O$) (рис.3). Прослеживается общая тенденция возрастания скачка эклектического сопротивления с ростом магнитной восприимчивости, что, мы полагаем, можно связать с появлением в $3-d$ зоне электронов проводимости [4].

Литература

1. Н.Ф.Мотт. Переходы металл – изолятор. – М.: «Наука», 1979, 343 С.
2. P.A. Metcalf, E.B. Slamovich, L.P. Gonzalez, J.O. Barnes, S. Guha, J.M. Honig. Electrical, structural, and optical properties of Cr-doped and non-stoichiometric V_2O_3. thin films. Thin Solid Films. 2007. Т. 515. № 7-8. С. 3421-3425.
3. M.M. Qazilbash, A.A. Schafgans, K.S. Burch, D.N. Basov, S.J. Yun, B.G. Chae, B.J. Kim, H.T. Kim. Electrodynamics of the vanadium oxides VO_2 and V_2O_3. - Physical Review B: Condensed Matter and Materials Physics, 2008, Т. 77, №11, С. 1098-0121
4. А.А.Бугаев, Б.П.Захарченя, Ф.А.Чудновский. Фазовый переход металл – полупроводник и его применение. – Л.: «Наука», 1979, 183 С.
5. М.Коэн, Г.Глэдстоун, М.Йенсен, Дж.Шриффер. Сверхпроводимость полупроводников и переходных металлов. М., Мир, 1972, 316 С.

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА СОЕДИНЕНИЙ V_2O_3 НА ПАРАМЕТРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ – ДИЭЛЕКТРИК

Лях О.В., Суриков В.И., Данилов С.В.
Научный руководитель: В.И. Суриков, к.ф.-м.н., профессор
Омский государственный технический университет,
644083, г. Омск, пр. Менделеева 19/2-48
E-mail: ljach@mail.ru

В работе сообщается о исследовании структуры и электрического сопротивления $V_{2\pm\delta}O_3$ с учетом дефицита ванадия. Определены некоторые параметры фазового перехода металл – диэлектрик и установлены зависимости температуры фазового перехода от отношения параметров кристаллической решетки $«c/a»$ и зависимости скачка электрического сопротивления и гистерезиса как функции изменения энтропии образца.

Трехокись ванадия, как и некоторые другие окислы этого металла, при невысоких давлениях испытывают при $T_K \sim 170\,K$ фазовый переход металл – диэлектрик, который сопровождается изменением ряда физических свойств. Несмотря на то, что уникальные свойства этого соединения известны достаточно давно, интенсивность их исследований со временем не уменьшается [1 – 4]. В настоящей работе сообщаются результаты исследований структурных и электрических свойств трехокиси ванадия в пределах области гомогенности.

Из ряда образцов методом рентгеновского фазового анализа были выделены однофазные образцы, состав которых указан в таблице 1.

Таблица 1. Некоторые параметры $V_{2\pm\delta}O_3$, определенные из экспериментальных исследований рентгеноструктурных свойств, электрического сопротивления

Соединение	c/a	T_K, K	ΔT, K	$\Delta \ln\left(\frac{R}{R_0}\right)$	ΔS, $\frac{Дж}{моль\ К}$
$V_{2,003}O_3$	2,829	166,1	15	3,0	12,7
$V_{2,000}O_3$	2,826	169,8	5	9,0	7,5
$V_{1,997}O_3$	2,827	169,0	6	7,5	9,3
$V_{1,985}O_3$	2,828	167,2	8	8,0	8,7
$V_{1,976}O_3$	2,828	166,8	10	6,5	10,5
$V_{1,949}O_3$	2,830	164,8	10	6,0	9,9

Рентгеновские исследования проводились на установке ДРОН – 4М. Дифрактограммы были получены с помощью излучения меди $CuK\alpha$ $(\lambda = 1{,}54056\,Å)$ при температуре $293\,K$ в диапазоне углов $0 - 40^0$. Из сравнительного анализа полученных для $V_{2\pm\delta}O_3$ рентгенограмм можно заключить, что изменение содержания ванадия в образцах существенно влияет на интенсивность рентгеновских рефлексов. Положение же рефлексов от образца к образцу изменяется весьма слабо (изменение порядка нескольких минут), что указывает на незначительные изменения параметров решетки. Известно, что высокотемпературная фаза трехокиси ванадия относится к гексагональной структуре. С использованием для этой структуры квадратичной формы, были рассчитаны параметры кристаллической решетки $«a»$ и $«c»$ для исследованных образцов. Отношения $«c/a»$ приведены в таблице 1. Как видно из полученных результатов, значения $«c/a»$ минимально для образца стехиометрического состава и возрастает с увеличением отклонения от стехиометрии. Температура фазового перехода металл – полупроводник (критическая температура, T_K), определенная по данным о теплоемкости, приведена в таблице 1. На рис. 1 представлена зависимость критической температуры от $«c/a»$. Видно, что с уменьшением отношения $«c/a»$ T_K увеличивается, что согласуется с моделью Мотта – Хаббарда, где показано, что соотношение $«c/a»$ непосредственно связано с температурой фазового перехода [1].

Из экспериментальных данных о теплоемкости рассчитано изменение энтропии, ΔS, при фазовом переходе металл – диэлектрик. Видно, что изменение энтропии при фазовом переходе минимально для стехиометрического состава и возрастает с отклонением состава от стехиометрии как в сторону дефицита ванадия, так и в сторону его переизбытка. Поскольку фазовый переход металл – диэлектрик (и, соответственно, ΔS) связывают с появлением в $3-d$ зоне электронов проводимости [5], можно предположить, что плотность электронных состояний вблизи уровня Ферми с приближением образца к стехиометрическому составу уменьшается.

На рис. 2 приведены некоторые экспериментально определенные значения электрического сопротивления R, нормированные на значение электрического сопротивления R_0 при 0^0 К для образца $V_{2,000}O_3$, в зависимости от температуры образа T. Измерение электрического сопротивления в интервале температур от 80 до $300\,K$ проводилось стандартным методом с относительной погрешностью измерения не более 3%. Как видно, электрическое сопротивление образца $V_{2,000}O_3$ при фазовом переходе металл – диэлектрик скачком изменяется ~ на 9 порядков. С изменением состава образца величина скачка

$\Delta \lg(R/\mathrm{R}_0)$ изменяется (см. таблицу 1). Кроме того, измерение электрического сопротивления при нагреве образца и его охлаждении обнаруживает гистерезис фазового перехода, который изменяется от образца к образцу. Величина гистерезиса, ΔT, для каждого образца приведена в таблице 1. На рис. 3 приведены величины гистерезиса и скачка электрического сопротивления как функции изменения энтропии образца при фазовом переходе (иными словами, как функции плотности электронных состояний вблизи уровня Ферми [6]).

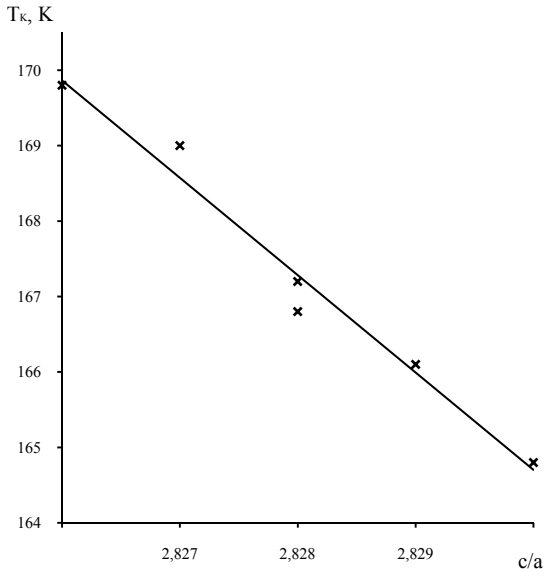


Рис 1. Изменение температуры фазового перехода в зависимости от отношения « c/a »

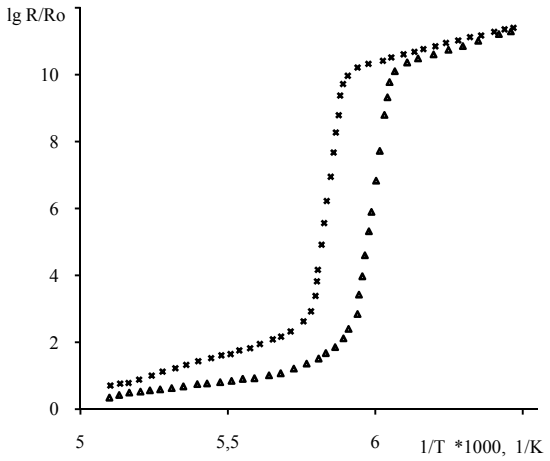


Рис. 2 Температурная зависимость электрического сопротивления в режиме нагрева $(\times)$*и охлаждения* (Δ)*для образца* $V_{2,000}O_3$

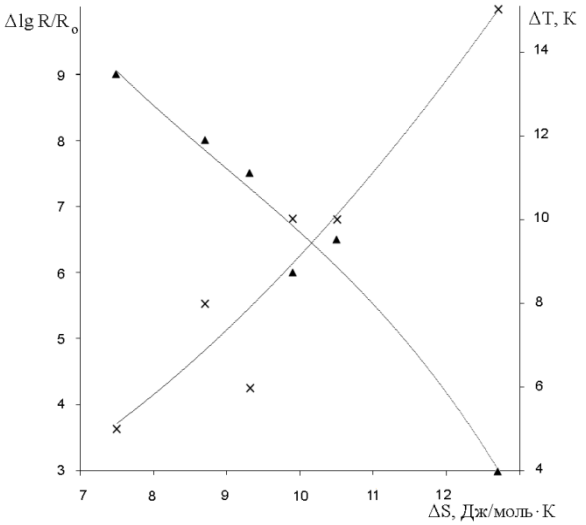


Рис 3. Зависимости скачка электрического сопротивления (Δ) *и гистерезиса* $(\times)$ *от изменения энтропии* (ΔS) *при фазовом переходе в* $V_{2\pm\delta}O_3$

Заключение. Проведенные исследования структуры и электрического сопротивления $V_{2\pm\delta}O_3$ в пределах области гомогенности позволили определить некоторые параметры фазового перехода металл – диэлектрик и установить зависимости температуры фазового перехода от отношения параметров кристаллической решетки « c/a », с одной стороны, и зависимости скачка электрического сопротивления и гистерезиса как функции изменения энтропии образца при фазовом переходе, с другой. Наличие подобных зависимостей может, указывать на корректность применения модели Мотта – Хаббарда к описанию фазового перехода в трехокиси ванадия.

Литература

1. Н.Ф.Мотт. Переходы металл – изолятор. – М.: «Наука», 1979, 343 С.

2. E.A. Kröger, D.I. Sayago, F. Allegretti, M.J. Knight, M. Polcik, W. Unterberger, T.J. Lerotholi, K.A. Hogan, C.L.A. Lamont, M. Cavalleri, K. Hermann, D.P. Woodruff. The local structure of OH species on the V_2O_3 (0 0 0 1) surface: A scanned-energy mode photoelectron diffraction study. Surface Science, 2008, т. 602, № 6, с. 1267-1279

3. C. Grygiel, Ch. Simon, B. Mercey, W. Prellier, R. Fre'sard. Thickness dependence of the electronic properties in V_2O_3 thin films. Applied Physics Letters, 2007, т. 91, № 26, с. 262103.

4. В.Н. Андреев, В.А. Климов. Эффекты локализации электронов в $V_{2\pm\delta}O_3$. ФТТ, 2006, т. 48. № 12. с. 2328-2331

5. А.А.Бугаев, Б.П.Захарченя, Ф.А.Чудновский. Фазовый переход металл – полупроводник и его применение. – Л.: «Наука», 1979, 183 С.

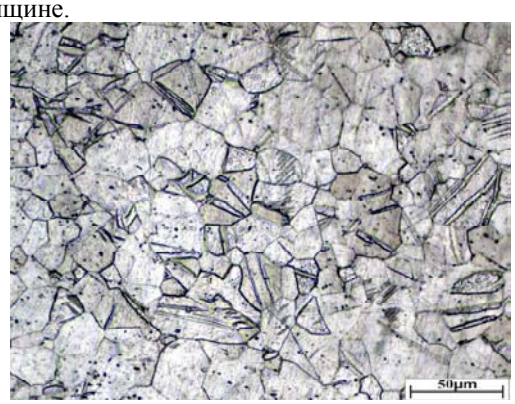
СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТИТАНА ВТ1-0 ДЕФОРМИРОВАННОГО В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ

Макарова Е.Б., Журавина Т.В., Руктуев А.А.
Научный руководитель: Батаев А. А. д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, 630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: geni-makk@mail.ru

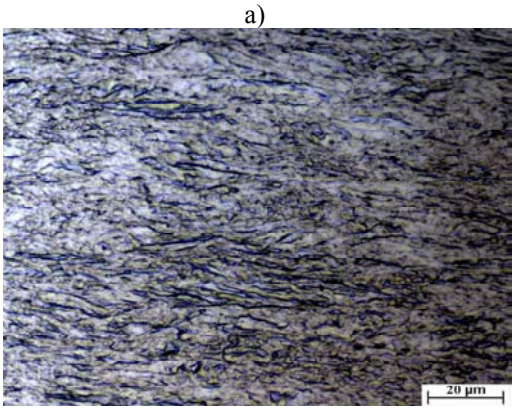
В последние годы ведутся многочисленные исследования, направленные на разработку эффективных технологических процессов упрочнения титана, основанных на интенсивной пластической деформации. Обусловлено это тем, что технически чистый титан обладает недостаточно высокими прочностными свойствами. Методами упрочнения титана, активно применяемыми в различных исследованиях, являются деформация кручением под высоким давлением, равноканальное угловое прессование и многоступенчатое всестороннее прессование. Заготовки, полученные этими способами, имеют характерные недостатки. Важнейший из них заключается в значительном снижении показателей пластичности и ударной вязкости. Кроме того, отмеченные способы обработки отличаются низкой производительностью. Учитывая отмеченные недостатки, целесообразна разработка новых подходов для решения отмеченной проблемы.

Цель исследования заключалась в изучении возможности применения для упрочнения чистого титана технологии ротационной вытяжки трубчатых заготовок. Вытяжка труб из титана ВТ1-0 была осуществлена на стане типа «Ляйфельд». Функцию инструмента выполняли три ролика диаметром 160 мм из стали 9ХС, расположенные равномерно (через 120°) по периметру окружности. Во избежание перегрева заготовки в процессе вытяжки интенсивно поливались охлаждающей жидкостью. Внутренний диаметр заготовок составлял 50 мм, внешний диаметр - 52 мм, длина - 300 мм. При обратном способе заготовка устанавливается на оправку до упора в бурт. В процессе обработки три раскатанных ролика прижимаются к вращающейся заготовке и постепенно помещаются в сторону бурта. В результате происходит удлинение заготовки и уменьшение толщины ее стенки. Течение материала происходит в противоположном направлении относительно перемещения деформирующих роликов. Деформация осуществлялась за один проход в холодном состоянии. Степень обжатия образцов составляла 25, 53, 61, 64 %.

Методами структурного анализа установлено, что при обжатии труб на 25…65 % не наблюдается образования трещин, что свидетельствует о хороших пластических свойствах материала. В исходном состоянии титан имеет равноосные зерна α-фазы, средний размер которых составляет 23 мкм. Под действием деформирующих валков зерна вытягиваются в окружном и осевом направлениях (рис.1). Анализ экспериментальных данных по измерению микротвердости свидетельствует о том, что трубчатые титановые заготовки упрочняются равномерно по всей толщине.



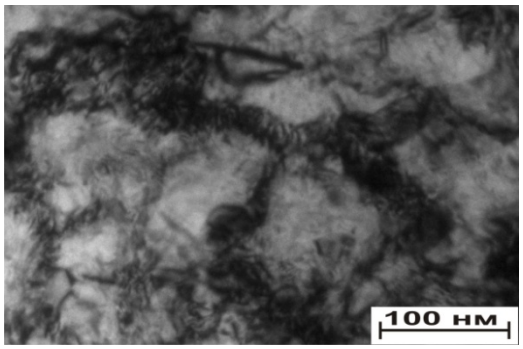
а)



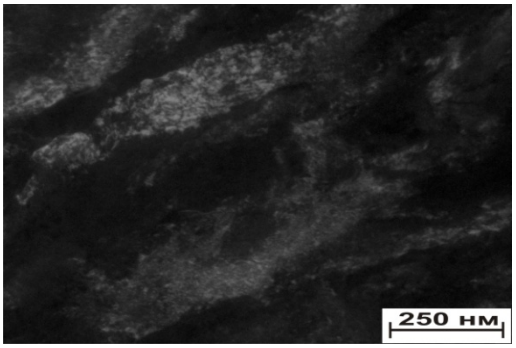
б)

Рис.1. Структура титана в исходном состоянии (а) и после деформации со степенью 53 % (б)

Установлено, что в процессе ротационной вытяжки трубчатых заготовок повышается плотность дислокаций. Результатом коллективной перестройки дислокационной структуры является формирование ячеистых и полосовых построений (рис. 2). Наблюдается ячеистая дислокационная структура с размером ячеек 200-500 нм. Ширина границ ячеек составляет порядка 50 нм. Расстояние между границами в полосовой структуре составляет 200-300 нм. Анализ приведенных результатов свидетельствует о высокой степени неравновесности сформированной структуры.



а)



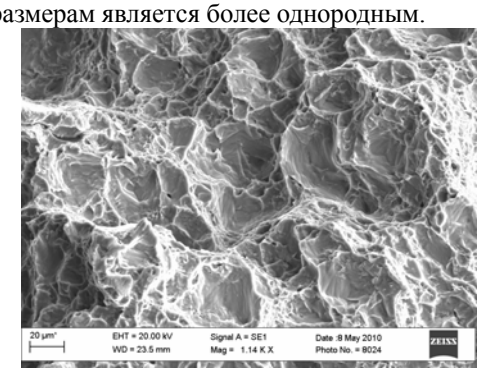
б)

Рис.2. Структура титана после ротационной вытяжки со степенью 53 %, выявленная методом просвечивающей электронной микроскопии: а) ячеистая дислокационная структура; б) полосовая дислокационная структура

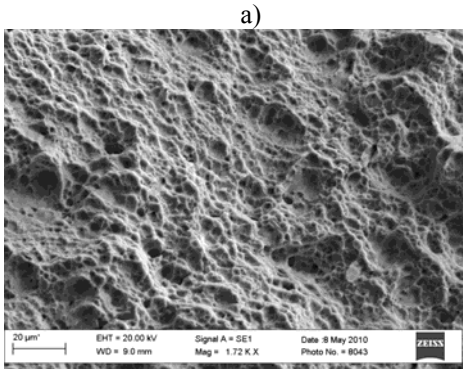
Прочностные свойства материала в условиях растяжения определяли на измерительном комплексе Instron 3369. Испытывались образцы в форме колец и лопаток. Максимальный предел прочности достигается при обжатии со степенью 64 %. Показатели пластичности образцов при этом существенно снижаются. Лучшее сочетание прочностных свойств и относительного удлинения зафиксировано на образцах, деформированных со степенью 53…55 % (рис. 3).

Рис.3. Предел прочности титановых труб по результатам испытаний на заготовках, вырезанных в продольном сечении

С целью изучения особенностей разрушения холоднодеформированных образцов были проведены исследования изломов с применением метода растровой электронной микроскопии (рис. 4). На всех образцах наблюдается характерный для вязкого разрушения чашечный вид излома. В исходном титане отчетливо выражены отдельные ямки. С увеличением степени обжатия труб ямки становятся более мелкими, и распределение чашек по размерам является более однородным.



а)



б)

Рис.4. Морфология поверхности образцов, разрушенных в процессе растяжения: (а) исходные образцы, (б) образцы, деформированные со степенью 64 %

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что в процессе ротационной вытяжки реализуется напряженное состояние, позволяющее за один проход без разрушения деформировать титановые трубы с обжатием не менее 64 %. Ротационная вытяжка труб обеспечивает формирование однородной структуры с уровнем микротвердости, постоянным по всей толщине стенки. Анализ результатов испытания образцов на растяжение свидетельствует о том, что лучшее сочетание показателей прочности и пластичности обеспечивает вытяжка с обжатием труб на 50…55 %. Ротационная вытяжка титановых труб с обжатием 53 % обеспечивает почти двукратный рост предела прочности (от 385 МПа до 700 МПа). При этом величина относительного удлинения составляет не менее 10 %. Титановые заготовки, полученные методом ротационной вытяжки труб, могут быть использованы для получения слоистых композиционных материалов методом сварки взрывом.

АГРЕГАТИЗАЦИЯ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ

Маркидонов А.В., Барчук А.А.
Научный руководитель: Старостенков М.Д., д.ф.-м.н., профессор
ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Новокузнецкий филиал, 654066, Россия, г. Новокузнецк, пр. Дружбы, 39
E-mail: markidonov_artem@mail.ru

Известно, что при различных высокоэнергетических воздействиях, таких как, например, радиационное облучение или ударная деформация, образуются пары Френкеля. Условием образования пары является сообщение атому энергии, достаточной для того, чтобы не только сместиться из узла кристаллической решетки, но и превысить некоторый радиус спонтанной рекомбинации образующейся вакансии и межузельного атома. При более значительных энергиях образуется целая цепочка атомных столкновений, и тогда процесс представляет собой уже каскад атомных столкновений. При низких же значениях вся переданная энергия рассеивается в тепло. Тем не менее, облучение материала даже ионами низких энергий приводит к ряду физических явлений [1]. Сообщение атому кристаллической решетки незначительного импульса приводит к коллективным атомным смещениям, представляющими собой продольную волну, распространяющуюся радиально от возмущенного атома. Подобные волны, распространяющиеся со звуковыми скоростями, рассмотрены в работе [2].

Целью данной работы является исследование влияния описанных выше продольных волн, образующихся при низкоэнергетических воздействиях, на процесс релаксации кристаллической структуры содержащей группы точечных дефектов.

Эксперимент проводился на расчетном блоке, имитирующем трехмерный кристалл чистого алюминия, состоящем из 30000 атомов. Взаимодействие между атомами описывалось с помощью парного потенциала Морзе:

$$\varphi(r_{ij}) = D\beta e^{-\alpha r_{ij}} (\beta e^{-\alpha r_{ij}} - 2),$$

где α, β, D – параметры потенциала, r – расстояние между атомами. Значение параметров потенциала брались из [3]. Применение простого полуэмпирического потенциала является оправданным, так как упругие нелинейные характеристики взаимодействия определяются объемным модулем упругости, по которому достаточно точно подгонялись параметры потенциала. Взаимодействие между атомами ограничивалось пятью первыми координационными сферами. Температура расчетной ячейки задавалась через начальные скорости атомов в соответствии с распределением Максвелла. Направление скоростей задавалось случайно, но с условием, чтобы суммарный импульс атомов равнялся нулю:

$$|v_i| = v_{кв}\sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\xi kT}{m_i}}, \quad \sum_{i=1}^{N} m_i \vec{v}_i = 0,$$

где $v_{кв}$ – среднеквадратичная скорость атома, ξ – мерность системы, k – постоянная Больцмана, T – температура, m_i – масса i-го атома, N – число атомов в расчетной ячейки.

Компьютерный эксперимент выполнялся по методу молекулярной динамики с использованием программы [4]. За пределами расчетный блок повторялся введением периодических граничных условий. Время одной итерации равнялось 10^{-14} с.

В начале эксперимента в центр расчетного блока внедрялись точечные дефекты. После конструирования расчетного блока включалась процедура релаксация путем разогрева кристалла вблизи 0 К. Затем при помощи визуализатора распределения потенциальной энергии рассматривались образующиеся после релаксации конфигурации точечных дефектов. С помощью данного визуализатора рассчитывалась потенциальная энергия для каждого из атомов, и он окрашивался в определенный цвет. Так более темный цвет атомов соответствует меньшему значению энергии, а светлый – большему. Для наглядности атомы с определенными значениями энергии не показывались. Более подробно данный визуализатор описан в [5].

Для начала рассмотрим процесс релаксации кристаллической структуры, содержащей комплекс вакансий, без какого либо воздействия на нее. На рис.1.*а* показано распределение энергии атомов в расчетном блоке после процедуры релаксации. Конфигурация атомов в данном случае представляет собой практически идеальный октаэдр, вершины которого ориентированы вдоль направлений <100>, <010> и <001>.

Рассмотрим теперь процесс релаксации структуры содержащей межузельные атомы. Так при внедрении дефектов в октаэдрическую пустоту, в процессе релаксации межузельные атомы образуют объемный комплекс из трех краудионов, ориентированных вдоль направления <011> (см. рис.1.*б*). При внедрении межузельных атомов в энергетически менее выгодное положение – тетраэдрическую пустоту – все трое начинают равномерно удаляться друг от друга, и в дальнейшем образуют гантели.

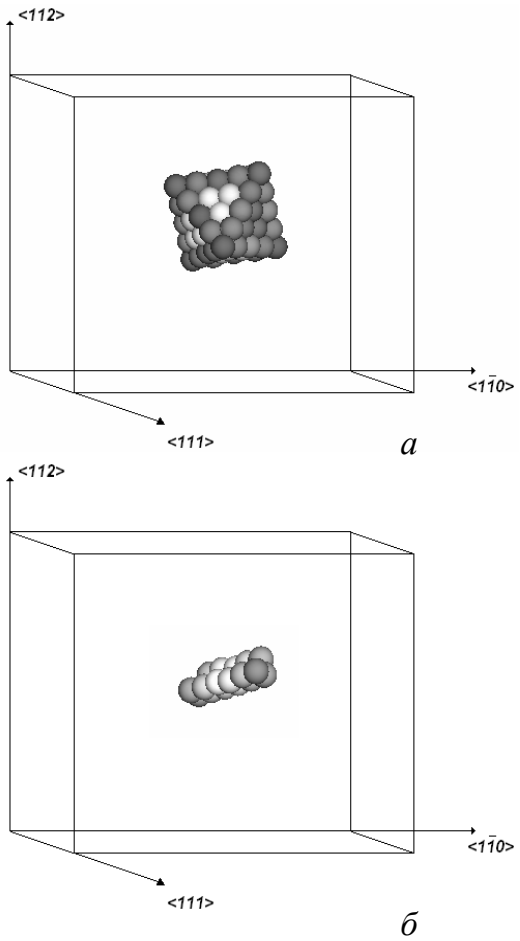


Рис.1. Распределение энергии атомов в расчетном блоке, содержащем комплекс из трех вакансий (а) и трех межузельных атомов (б).

Рассмотрим теперь, какие изменения в процесс релаксации внесет продольная волна, возбужденная в кристаллической структуре. Данная волна создавалась путем сообщения трем центральным атомам крайней плоскости скорости равной 100 анг/пс вдоль направления <111>. С некоторой погрешностью скорость распространения волны можно принять равной скорости, сообщаемой атомам, то есть 100 анг/пс.

Исследование показало, что фронт волны, проходящий через комплекс вакансий, не оказывает на него никакого влияния. При этом волна возбуждалась как в начале эксперимента, так и после трансформации вакансионного комплекса.

Совсем иная картина наблюдается в эксперименте с межузельными атомами. Прохождения фронта продольной волны через агрегат межузельных атомов приводит к тому, что в случае расположения их в октаэдрической пустоте образуется комплекс представленный на рис.2, а при внедрении их в тетраэдрическую пустоту – объемный краудионный комплекс, ориентированный вдоль направления $< 1\bar{1}\,0 >$.

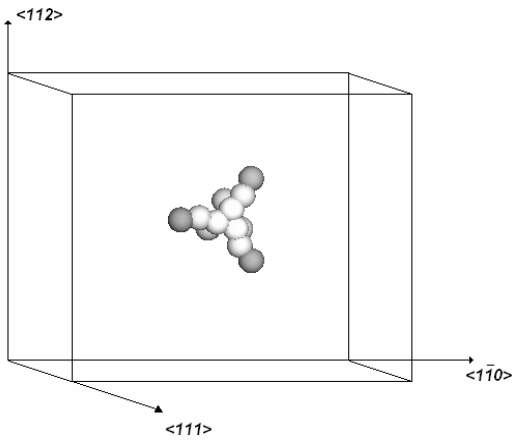


Рис.2. Распределение энергии атомов в расчетном блоке, содержащем комплекс из трех межузельных атомов, после прохождения продольной волны.

Эксперимент показал, что продольная волна начинает оказывать влияние на образующийся в процессе релаксации комплекс дефектов только в том случае, если ее скорость превышает скорость звука в кристалле.

Таким образом, исследование показало, что даже при низкоэнергетическом воздействии на материал, когда не образуются точечные дефекты, возникающая при этом продольная волна способна оказывать влияние на процесс формирования комплекса дефектов.

Литература:

1. Белоус В.А., Лапшин В.И., Марченко И.Г., Неклюдов И.М. Радиационные технологии модификации поверхности. I. Ионная очистка и высокодозовая имплантация // Физическая инженерия поверхности. 2003. т.1. №1. С.40-48.

2. Полетаев Г.М. Атомные механизмы структурно-энергетических превращений в объеме кристаллов и вблизи границ зерен наклона в ГЦК металлах / Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. – Барнаул, 2008. 412 с.

3. Царегородцев А.И., Горлов Н.В., Демьянов Б.Ф., Старостенков М.Д. Атомная структура АФГ и ее влияние на состояние решетки вблизи дислокации в упорядоченных сплавах со сверхструктурой $L1_2$ //ФММ, 1984, т.58, вып.2, с.336-343.

4. Ракитин Р.Ю. Границы зерен в металлах (GB3D) / РОСПАТЕНТ. Свидетельство № 2009610714 от 30 января 2009.

5. Аксенов М.С., Полетаев Г.М., Ракитин Р.Ю., Краснов В.Ю., Старостенков М.Д. Стабильность вакансионных кластеров в ГЦК металлах // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2005. т.2. №4. С.24-31.

ВЛИЯНИЕ ФОНОННОГО ТРЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ КРАУДИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Маркидонов А.В., Барчук А.А.
Научный руководитель: Старостенков М.Д., д.ф.-м.н., профессор
ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Новокузнецкий филиал, 654066, Россия, г. Новокузнецк, пр. Дружбы, 39
E-mail: markidonov_artem@mail.ru

В кристаллических структурах, одной из возможных конфигураций собственного межузельного атома является краудион – цепочка атомов смещенных вдоль плотноупакованного направления. Деформация кристалла, вызванная наличием избыточного атома, происходит, в основном, именно вдоль такого направления, и даже расположенные вдали от дефекта атомы смещаются из своих положений равновесия в идеальной решетке. Краудионы легко перемещаются вдоль плотноупакованных рядов, так как потенциальный барьер, разделяющий два равновесных положения краудиона, достаточно мал, и их движение носит явно выраженный кооперативный характер. Данные дефекты могут играть значительную роль, например, при пластической деформации в случае ограниченной подвижности дислокаций [1, 2].

Помимо одиночных краудионов в кристалле могут возникать также их различные агрегаты. В [3] показано, что кластеры из нескольких межузельных атомов, а также дислокационные петли, в процессе релаксации кристалла Ni образуют краудионные комплексы.

Данная статья посвящена изучению влияния температуры кристалла на скорость движения описанных выше комплексов различных конфигураций.

Эксперимент проводился на расчетном блоке, имитирующем трехмерный кристалл чистого алюминия, состоящем из 30000 атомов. Взаимодействие между атомами описывалось с помощью парного потенциала Морзе:

$$\varphi(r_{ij}) = D\beta e^{-\alpha r_{ij}}\,(\beta e^{-\alpha r_{ij}} - 2),$$

где α, β, D – параметры потенциала, r – расстояние между атомами. Значение параметров потенциала брались из [4]. Применение простого полуэмпирического потенциала является оправданным, так как упругие нелинейные характеристики взаимодействия определяются объемным модулем упругости, по которому достаточно точно подгонялись параметры потенциала. Взаимодействие между атомами ограничивалось пятью первыми координационными сферами. Температура расчетной ячейки задавалась через начальные скорости атомов в соответствии с распределением Максвелла. Направление скоростей задавалось случайно, но с условием, чтобы суммарный импульс атомов равнялся нулю:

$$\left|v_i\right| = v_{кв}\sqrt{2} = \sqrt{\frac{2\xi kT}{m_i}}, \quad \sum_{i=1}^{N} m_i \vec{v}_i = 0,$$

где $v_{кв}$ – среднеквадратичная скорость атома, ξ – мерность системы, k – постоянная Больцмана, T – температура, m_i – масса i-го атома, N – число атомов в расчетной ячейки.

Компьютерный эксперимент выполнялся по методу молекулярной динамики с использованием программы [5]. За пределами расчетный блок повторялся введением периодических граничных условий. Время одной итерации равнялось 10^{-14} с.

В начале эксперимента в соответствующие плотноупакованные ряды расчетного блока внедрялись избыточные атомы, а соседние атомы перемещались из своих первоначальных положений равновесия. После конструирования расчетного блока, кристалл охлаждался в течение нескольких пикосекунд. Затем включалась процедура релаксации структуры, посредством разогрева возле 0 К. Через определенные интервалы времени фиксировалось изменение структуры кристалла, происходящее в процессе релаксации без диссипации энергии за пределы расчетного блока.

В работе рассматривались одиночные краудионы (ОК), плоские краудионные комплексы (ПКК), состоящие из различного числа краудионов, а также объемные краудионные комплексы (ОКК). ПКК представляют собой краудионы, расположенные в соседних плотноупакованных рядах одной плоскости {111}, ОКК – несколько краудионов, расположенных в параллельных плоскостях {111}.

Эксперимент показал, что одиночный краудион, даже при небольшой термоактивации, в процессе структурной релаксации, трансформируется в гантель. При этом, чем больше была начальная температура расчетного блока, тем на большем расстоянии от начального положения центра краудиона могла образовываться гантель.

Комплексы краудионов, в свою очередь, являются достаточно устойчивыми к температуре. Повышение температуры приводило лишь к тому, что краудионные комплексы начинали смещаться. Так, например, движение плоского комплекса состоящего из четырех краудионов было отмечено начиная с 400 К, а объемного комплекса, состоящего из того же числа краудионов, – начиная с 200 К. Распад краудионных комплексов на отдельные составляющие начинался при

температурах близких к температуре плавления кристалла.

Рассмотрим теперь кристалл, содержащий краудионные комплексы, через который проходит продольная волна в направлении оси краудионов. Продольная волна может возникать в результате ударной деформации, при интенсивном радиационном облучении и др. За счет ее распространения в кристалле комплексы приходят в движение. Если на некотором расстоянии от краудионов расположить вакансии, то по времени аннигиляции дефектов можно оценить скорость движения краудионов. Увеличение температуры кристалла приводит к уменьшению скорости движения краудионов за счет фононного трения. Взаимодействие с фононами осуществляется в направлениях перпендикулярных к оси краудиона [6]. При этом на ПКК фононное трение влияет в большей мере, чем на ОКК. Так на рис.1 приведен график зависимости времени аннигиляции двух комплексов состоящих из четырех краудионов и вакансий в зависимости от температуры.

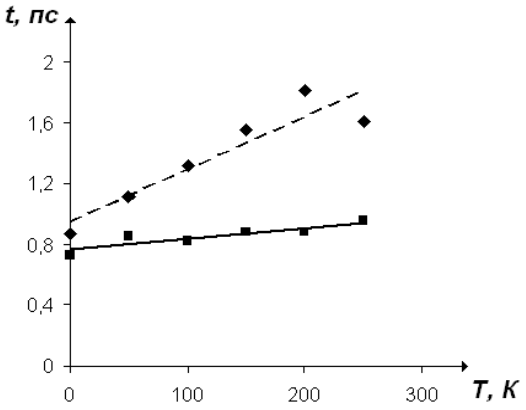


Рис.1. Зависимость времени аннигиляции краудионов и вакансий от начальной температуры кристалла. Ромбами отмечена зависимость для плоского краудионного комплекса, квадратами – для объемного комплекса.

Центры дефектов в эксперименте были расположены на двенадцати межатомных расстояниях друг от друга, время отсчитывалось с начала эксперимента. В движение комплексы приходили за счет прохождения через них продольной волны, распространяющейся в кристалле со звуковой скоростью. Как видно из графика, на время аннигиляции объемных краудионных комплексов температура практически не влияет. Линия тренда имеет отклонение в большей степени из-за относительно меньшего времени аннигиляции при нулевой начальной температуре. Процесс распространения таких комплексов можно сравнить с бездиффузионными процессами, например, мартенситным фазовым превращением, скорость которых также не зависит от температуры.

Следует отметить, что температура кристаллу задается путем присвоения атомам кинетической энергии, при этом скорость задается со случайным направлением. Поэтому время аннигиляции комплексов даже при одной и той же температуре могло получаться различным. На графике приведены средние значения времени, полученные в нескольких экспериментах. При б*о*льших значениях температуры, для плоского краудионного комплекса, отклонение значений времени аннигиляции от линии тренда увеличивается.

Подведем итог. В настоящей работе рассмотрены краудионные комплексы, являющиеся наиболее выгодной конфигурацией межузельных атомов. Показано, что одиночный краудион является не достаточно устойчивой конфигурацией, и даже при небольшой термоактивации образует гантель. Комплекс краудионов является более устойчивой конфигурацией. При этом на движущийся объемный краудионный комплекс фононное трение оказывает меньшее влияние, чем на плоский комплекс. Развитые положения могут найти свое отражение в радиационном материаловедении, например, при объяснении эффектов дальнодействия.

Литература:

1. Инденбом В.Л. Межузельный (краудионный) механизм пластической деформации и разрушения // Письма в ЖЭТФ. 1970. т.12. С. 526 - 528.

2. Дранова Ж.И., Дьяченко А.М., Михайловский И.М. О краудионном механизме пластической деформации // Письма в ЖЭТФ. 1971. т.13. С. 40 - 43.

3. Полетаев Г.М. Атомные механизмы структурно-энергетических превращений в объеме кристаллов и вблизи границ зерен наклона в ГЦК металлах / Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. – Барнаул, 2008. 412 с.

4. Царегородцев А.И., Горлов Н.В., Демьянов Б.Ф., Старостенков М.Д. Атомная структура АФГ и ее влияние на состояние решетки вблизи дислокации в упорядоченных сплавах со сверхструктурой $L1_2$ // ФММ, 1984, т.58, вып.2, С.336 - 343.

5. Ракитин Р.Ю. Границы зерен в металлах (GB3D) / РОСПАТЕНТ. Свидетельство № 2009610714 от 30 января 2009.

6. Пушкаров Д.И. Квантовая теория краудионов при низких температурах // ЖЭТФ. 1973. т.64. вып.2. С. 634 – 642.

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ СИЛУМИНА ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Е.А. Маркова, Ю.Ф. Иванов
Научный руководитель: Ю.Ф. Иванов, д.ф.-м.н., в.н.с.
Институт сильноточной электроники СО РАН 634055, г. Томск, пр. Академический, 2/3
E-mail:elizmarkova@yahoo.com

Силумины занимают ведущие позиции во многих отраслях промышленности, несмотря на значительный прогресс в материаловедении в области создания новых сплавов и композитов, превосходящих силумины по свойствам. Это связано с их относительно низкой стоимостью. Основной недостаток силуминов – сравнительно низкие прочностные свойства, что существенно сужает сферу их применения [1].

Как правило, в процессе эксплуатации наиболее сильному воздействию подвергается поверхностный слой деталей. Поэтому остро стоит задача получения высокопрочных, износостойких поверхностных слоёв [2]. Одним из методов повышение прочностных свойств металлов и сплавов является обработка импульсным электронным пучком. Целью настоящей работы является исследование структуры и свойств поверхностного слоя силумина, подвергнутого электронно-пучковой обработке.

Объектом исследований являлся промышленный антифрикционный эвтектический сплав на основе алюминия (силумин) следующего состава: 12.49 % Si, 2.36 % Mg, 0.6 % Cu, 0.35 % Ni, 0.3 % Fe, ост. Al, (в ат.%). Образцы в виде цилиндров диаметром 10 мм и толщиной 5 мм подвергали обработке высокоинтенсивным импульсным электронным пучком на установке «SOLO».

Параметры электронно-пучковой обработки: длительность импульса воздействия пучка электронов τ = 50, 100, 150, 200 мкс, число и частота следования импульсов облучения N = 3 имп. и f = 0,3 Гц, плотность энергии пучка электронов E_S = 10, 15, 20 и 25 Дж/см^2. Облучение проводили в среде аргона. Механические свойства приповерхностного слоя характеризовали путем измерения микротвердости, определяемой по методу Виккерса на приборе ПМТ-3. Структуру поверхности обработки анализировали на сканирующем электронном микроскопе SEM-515 Philips, оснащенном микроанализатором EDAX ECON IV.

Установлено, что электронно-пучковая обработка поверхности образцов приводит к диспергированию структуры поверхностного слоя вплоть до формирования субмикро- и нанокристаллического состояния (рис. 1). Последнее обусловлено сверхвысокой скоростью нагрева и охлаждения (10^6…10^7 К/с) поверхностного слоя из температурной области существования жидкой фазы.

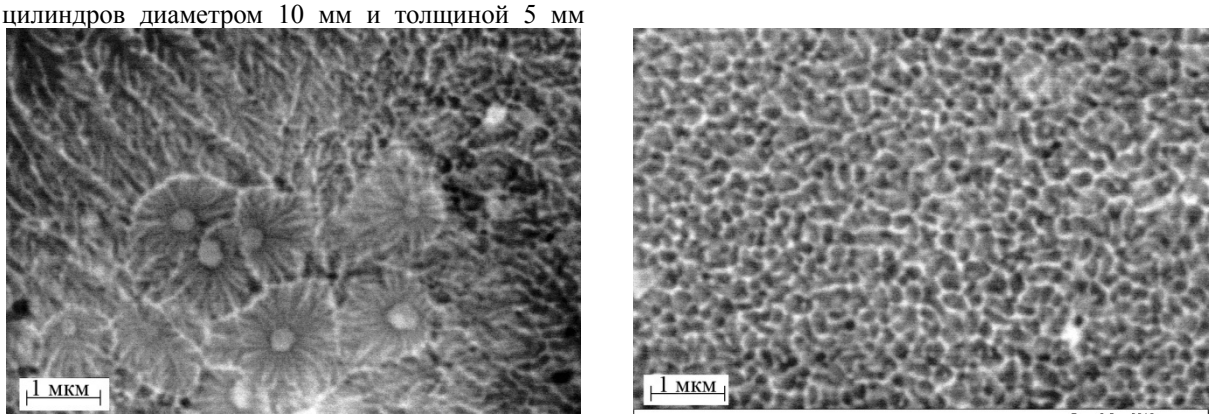


Рис. 1. Структура поверхности электронно-пучковой обработки силумина при плотности энергии пучка электронов 20 Дж/см^2 (200 мкс, 3 имп.) (а) и 25 Дж/см^2 (б) (150 мкс, 3 имп.). Сканирующая электронная микроскопия.

Исследования фазового состава поверхностного слоя силумина, подвергнутого обработке электронным пучком, осуществляли методами рентгеноструктурного анализа. Было выявлено изменение соотношения фаз поверхностного слоя. Электронно-пучковая обработка приводит к уменьшению интенсивности дифракционных линий кремния, что может быть связано как с его диспергированием в условиях сверхбыстрого охлаждения (10^6…10^7 К/с), так и с растворением кремния в решетке алюминия с формированием раствора замещения (рис. 2).

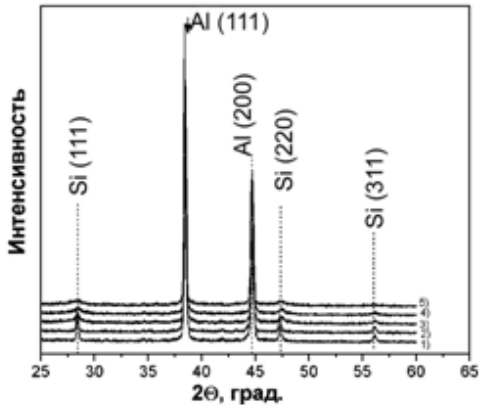


Рис.2. Участки рентгенограмм исходного образца силумина (1) и образцов, подвергнутых воздействию электронных пучков при различной плотности поглощенной энергии: 10 Дж/см^2 (2), 15 Дж/см^2 (3), 20 Дж/см^2 (4), 25 Дж/см^2 (5).

При анализе энергетических спектров обнаружено перераспределению легирующих элементов в поверхностном слое силумина (табл. 1).

Таблица 1. Элементный состав силумина, облученного электронным пучком (150 мкс, 3 имп., 0,3 Гц).

Плотность энергии пучка электронов, Дж/см^2	Al	Si	Mg
0 (необлученный)	83,59	12,49	2,36
10	71,99	24,27	1,73
15	82,67	12,25	2,85
20	86,7	8,84	2,79
25	87,48	5,38	3,42

Изменение элементного состава приповерхностного слоя силумина, обработанного электронным пучком, отразилось на состоянии кристаллической решетки алюминия. По смещению дифракционной линии (311) Al было выявлено уменьшение параметра решетки алюминия при облучении силумина электронным пучком при плотности энергии (10…15) Дж/см^2, что связано, очевидно, с внедрением атомов кремния в решетку алюминия. Радиус атома кремния меньше радиуса атома алюминия и, следовательно, обогащение твердого раствора на основе алюминия атомами кремния будет сопровождаться уменьшением параметра его решетки. При облучении силумина электронным пучком при плотности энергии 20…25 Дж/см^2 выявлено увеличение параметра решетки алюминия, что связано с обогащением твёрдого раствора магнием, обладающим большим по сравнению с алюминием атомным радиусом. Следовательно, электронно-пучковая обработка приводит к растворению фаз на основе кремния и магния и обогащению твердого раствора на основе алюминия этими элементами.

Выполнены исследования поведения микротвердости поверхности электронно-пучковой обработки. В результате выполненных исследований выявлено повышение твердости поверхностного слоя образцов силумина (рис. 3). При оптимальном режиме облучения (20 Дж/см^2; 150 мкс; 3 имп.; 0,3 Гц) твердость поверхности облучения увеличивается в ~1,5 раза.

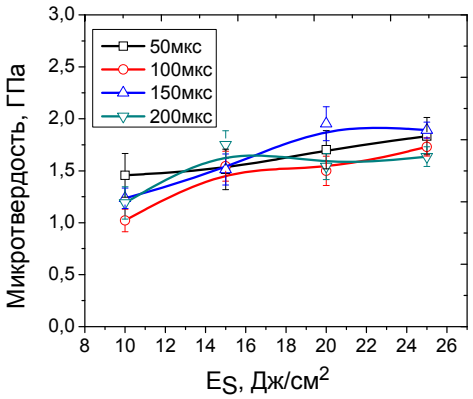


Рис. 3. Зависимость микротвердости поверхности силумина от плотности энергии пучка электронов при различной длительности импульса воздействия (количество импульсов воздействия 3). Микротвердость исходного образца 1,30±0,07 ГПа.

Заключение. Установлено, что облучение образцов силумина высокоинтенсивными электронными пучками субмиллисекундной длительности воздействия на установке «SOLO» приводит, во-первых, к насыщению кристаллической решетки алюминия легирующими элементами с формированием твердого раствора замещения, во-вторых, к перераспределению легирующих элементов по толщине модифицированного слоя, в-третьих, к диспергированию структуры поверхностного слоя вплоть до наноструктурного состояния и, в-четвертых, к увеличению микротвердости поверхностного слоя (по отношению к сердцевине) при оптимальном режиме облучения (20 Дж/см^2; 150 мкс; 3 имп.; 0,3 Гц) в ~1,5 раза.

Литература

1. Белов, Н. А. Фазовый состав и структура силуминов / Н.А. Белов, С.В.Савченко, А.В. Хван. - М.: МИСИС, 2008. 282 с.

2. Михеев Р.С., Чернышова Т.А. Обработка поверхности пластин силумина высококонцентрированным источником энергии // Металлы. 2009. № 6. С. 53-59.

ИЗУЧЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Е.В. Мельников[1,2], Г.Г. Захарова[2], М.С. Тукеева[2]
Научный руководитель: Е.Г. Астафурова[2] с.н.с. ИФПМ СО РАН, к.ф.м.н., доцент
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт физики прочности и материаловедение СО РАН, 634021,
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

Введение

В конце 19 века Роберт Гадфильд разработал уникальную по своим свойствам сталь, обладающую высокой износоустойчивостью, вязкостью и пластичностью, склонностью к упрочнению при деформации. Сталь нашла широкое применение в промышленности: угольной, нефтяной, горной и др. Ее свойства широко изучались на поликристаллах [1-3]. Однако исследование монокристаллов позволяет изучить анизотропию механических свойств и механизмов деформации материала.

В данной работе представлены экспериментальные данные о механизме деформации и эволюции следов деформации на поверхности образцов при сжатии <144>, <113>, <123>, <001>, <1510> и <111> монокристаллов аустенитной стали Гадфильда Fe-13Mn-(1.0-1.3)C (мас. %).

Материалы и методы исследования

Образцы для механических испытаний в форме параллелепипедов с размерами 3×3×6 мм^3 вырезали из монокристаллических заготовок. После травления и механической шлифовки образцы электролитически полировали в растворе 25 мл Cr_2O_3 + 210 мл H_3PO_4. Механические свойства изучали на электромеханической установке INSTRON 3369 при комнатной температуре со скоростью $\dot{\varepsilon} = 4 \times 10^{-4} сек^{-1}$. Металлографические наблюдения эволюции линий скольжения поверхности деформируемых образцов проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX71. Для обнаружения следов двойников на поверхности деформированного кристалла использовали опыты с переполировкой и травлением. Дислокационную структуру исследовали на электронном микроскопе Philips CM 30.

Изображения поверхности, для метода корреляции цифровых изображений, получали с помощью микроскопа Axiovert 25CA с камерой высокого разрешения Infinity 1M (1280×1024 пикселей) Затем производили механическое воздействие на материал (образец) и снова выполняли съемку его поверхности в той же области. Процесс повторяли несколько раз.

Поле векторов смещений (векторное поле) получали при обработке оптических изображений с помощью компьютерной программы.

Результаты исследования

Деформация <144>, <113>, <123>, <001> и <1510> монокристаллов связана с развитием механического двойникования. Это подтверждают металлографические (рис. 1 *а, б*) и электронно-микроскопические (рис. 1 *г, д*) исследования. Из них видно, что близко к пределу текучести деформация монокристаллов этих ориентировок реализуется за счет развития механического двойникования. В отличие от сложившихся представлений о том, что механическому двойникованию при деформировании ГЦК материалов предшествует большая степень скольжения, в стали Гадфильда смена механизма деформации от скольжения к двойникованию происходит на стадии, близкой к пределу текучести [4]. Исследования кривых «напряжение-деформация» показали, что стадийность пластического течения монокристаллов <144>, <113>, <123>, <001> и <1510> ориентаций зависит от числа действующих систем сдвига.

Металлографические (рис. 1 *в*) и электронно-микроскопические (рис. 1 *е*) исследования <111> монокристаллов показали, что с предела текучести деформация развивается скольжением в нескольких системах одновременно. На данной стадии образуются полосы локализованной деформации (рис. 1 *в*). Они делят весь объем кристалла на деформированные и недеформированные области. Пластическая деформация сосредоточена в полосах и происходит как скольжением, так и двойникованием. При деформировании > 15% пластическое течение становится устойчивым, по сравнению со стадией образования полос сдвига и происходит во всем объеме материала.

Используя метод корреляции цифровых изображений [5, 6] для <111> монокристаллов стали Гадфильда, были построены зависимости деформаций ε_{xx} (x) (рис. 2) в направлении приложенной силы на разном расстоянии от края образца.

Из рисунка 2 видно, что деформация вдоль оси сжатия протекает неоднородно. Сдвиг координат полосы локализованной пластической деформации связан с ее наклоном, а отрицательные значения продольной компоненты тензора соответствуют условиям нагружения – одноосное сжатие.

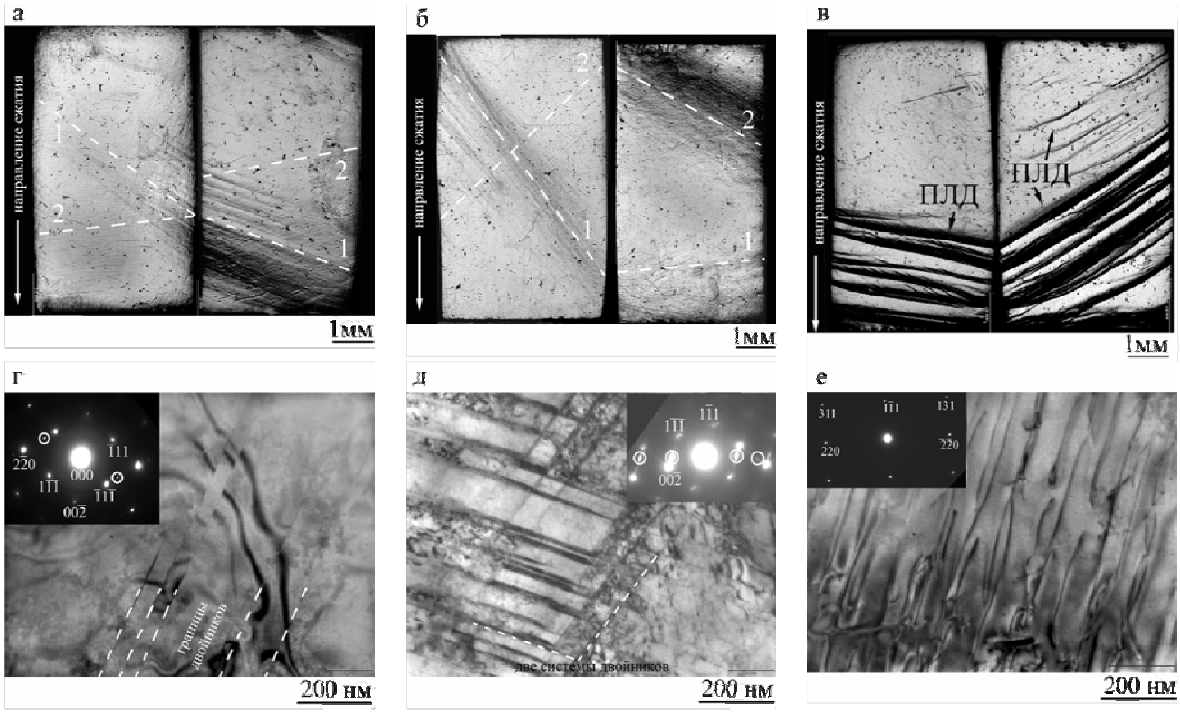


Рис. 1. Металлографические картины поверхности (а, б, в), светлопольные электронно-микроскопические изображения структуры и соответствующие им микродифракционные картины (г, д, е) для монокристаллов стали Гадфильда после сжатия: а, г - ε=3%, ориентация <113>; б - ε=2%, д - ε=3%, ориентация <144>, в - ε=3,5%, е - ε=5% ориентация <111>.

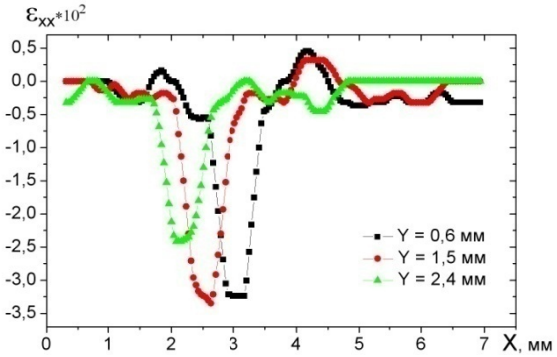


Рис. 2. Пространственные распределения деформации $\varepsilon_{xx}(x)$ при сжатии монокристалла стали Гадфильда ($\varepsilon = 2{,}3\%$, $\Delta\varepsilon = 0{,}6\%$) на разном расстоянии от края образца.

Амплитуда поперечной деформации приблизительно соответствует деформации продольной, но отличается знаком.

Выводы

Деформация <111> монокристалла стали Гадфильда имеет неоднородный характер и сопровождается формированием и развитием полосы локализованной пластической деформации.

В монокристаллах, ориентированных для сжатия вдоль направлений <144>, <113>, <123>, <001> и <1510 деформация с предела текучести по всему объёму развивается однородно двойникованием.

Ориентационная зависимость локализации деформации связана с ориентационной зависимостью механизма деформации. Множественное скольжение с предела текучести способствует образованию полос локализованной деформации, а механическое двойникование подавляет их развитие.

Авторы работы выражают благодарность к.ф.-м.н. В.В. Кибиткину за консультации и помощь в организации эксперимента с использованием метода корреляции цифровых изображений

Литература

1. Штремель М.А. Прочность сплавов. – М.: МИСИС, 1997. – Ч. 1, 2. − 527 с.

2. Dastur Y.N., Leslie W.C. Mechanism of work hardening Hadfield manganese steel // Met. Tans. A. – 1981. – V.12A. – pp.749−759.

3. Raghavan K.S., Sastri A.S., Marcinkowski M.J. // Trans. of the Met. – 1969. – V.245. – P.1569–1575.

4. Е.Г. Астафурова, Ю.И. Чумляков. Деформационное упрочнение при двойниковании <111>, <144>, <011> монокристаллов стали Гадфильда // Физика металлов и металловедение, 2009, т. 108, №5, с. 541-550

5. Peters W.H., Ranson W.F. Digital imaging technique in experimental stress analysis. – Optical Engineering, 1982, v. 21, p. 427 – 431.

6. Sutton M.A., Wolters W.J., Peters W.H., Ranson W.F., McNeil S.R. Determination of displacements using an improved digital image correlation method. – Image Vision Computing, 1983, v. 1, N 3, p. 133 – 139.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СПЕКАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ ДИЛАТОМЕТРИИ

Михайленко Л.С.
Научный руководитель: Гынгазов С.А., с.н.с.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: lyuba_mihailenko@sibmail.com

Введение

Наноматериалы и нанотехнологии становятся в настоящее время ведущими научными и техническими направлениями, обеспечивающими прогресс современной цивилизации. Становятся актуальными работы в области материаловедения, направленные на создание материалов с уникальными свойствами на базе использования нанотехнологий.

Перспективность керамики обусловлена исключительным многообразием ее свойств по сравнению с другими типами материалов, доступностью сырья, низкой энергоемкостью технологий, долговечностью керамических конструкций в агрессивных средах. Производство керамики, как правило, не загрязняет окружающую среду в такой мере, как металлургия. Керамические материалы обладают большей биологической совместимостью, чем металлы и полимеры, и это позволяет использовать их в медицине, как для имплантации искусственных органов, так и в качестве конструкционных материалов в биотехнологии и генной инженерии.

Компактирование является одной из главных технологических операций, обеспечивающей получение высококачественной керамики. Первой проблемой, с которой сталкиваются при производстве наноструктурной керамики, является компактирование порошка перед спеканием. Идеальная прессовка/отливка должна предусматривать однородное плотное упорядочение порошка без трещин и дефектов. Качество порошкового компакта зависит как от характеристик порошка, так и от применяемого метода компактирования (прессования/литья). Задача современных методов формования изделий из порошков – добиться плотности компакта, составляющей 70…90 % от плотности беспористой структуры [1].

Окончательные свойства получаемых изделий во многом зависят от плотности сформованных заготовок и распределения плотности по их объёму. Общая относительная плотность заготовок и характер распределения плотности по объёму определяются способом формования, прикладываемым давлением, средним размером зерен и гранулометрическим составом материала, дефектностью порошковых структур и наличием пластификатора.

Целью исследования было сравнение типов прессования образцов и разных режимов спекания. В работе проводились эксперименты по прессованию порошков и изучалась кинетика спекания полученных образцов.

Методика эксперимента

Для исследования использовалась керамика из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия состава ZrO_2+3% Y_2O_3. Прессование осуществлялось двумя способами:

- Одностороннее статическое прессование (ОСП)
- Магнито-импульсное прессование (МИП)

Диоксид циркония характеризуется полиморфизмом при изменении температуры. Поскольку обратимые полиморфные превращение ZrO_2 протекают сравнительно быстро и сопровождаются изменениями объема, то они являются причиной растрескивания изделий из ZrO_2. Для улучшения свойств полученной керамики необходима стабилизация состояния, для чего оптимальным является оксид иттрия [2].

При статическом прессовании к образцу, помещенному в пресс-форму, прикладывается давление с одной стороны. Магнито-импульсное прессование является более перспективным методом. Обработка давлением порошковых материалов с применением энергии сильного импульсного магнитного поля относится к области высокоскоростных процессов.

Исследование кинетических кривых проводилось на дилатометре DIL-402C. Спекание проводилось при различных температурах, времени выдержки и для двух типов компактирования.

Дилатометрия - метод, в котором измеряются изменения размеров образца в зависимости от температуры, при этом образец нагревается или охлаждается по определённой температурной программе.

Нанодисперсный порошок, являющийся исходным для получения экспериментальных образцов, обладает очень малой насыпной плотностью ((0,01-0,2) г/см^3) и имеет в своей структуре до 20 % полых сфероидов [3]. Это обстоятельство резко ухудшает его технологичность и требует предварительной обработки. В работе использовался метод механообработки, заключающийся в последовательной процедуре типа «прессование - помол».

Экспериментальные результаты

Эксперимент состоял в построении кривых усадки при спекании для двух типов компактирования образцов и для различной

скорости нагрева с помощью лицензионной программы «Netzsch Termokinetics».

Исследовались два образца: один полученный с помощью одностороннего статического прессования, другой – магнито-импульсного (рис.1). Нагревание проводилось со скоростью 10 К/мин, температура спекания $T_{сп}$=1550С, выдержка при температуре спекания 1 час. Как видно из графика образец, спрессованный МИП, дает меньшую усадку. Это показывает, что прессование магнитным импульсом позволяет получить большую плотность компактирования.

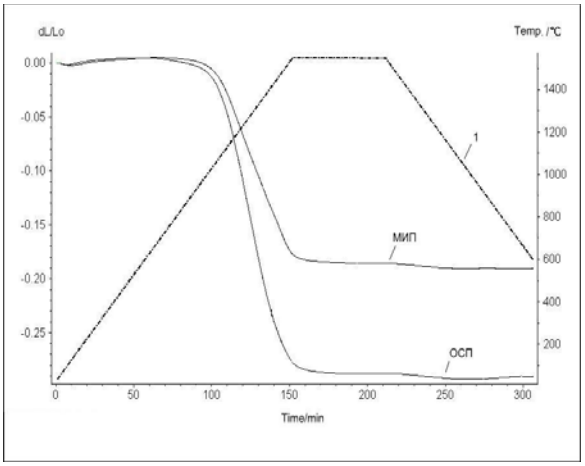


Рис.1. Кинетические кривые спекания для одностороннего статического (ОСП) и магнито-импульсного (МИП) прессования; 1 – температурная программа спекания.

График 1 представляет выбранную температурную программу нагревания. На рис.1 видно, что усадка образца, спрессованного статическим методом, на 10% больше. При выдержке и охлаждении второй образец ведет себя более стабильно.

Далее рассматривались образцы, спеченные методом ОСП. $T_{сп}$=1450С, время выдержки 1 час, скорости нагрева соответственно 2, 5 и 20 К/мин (рис.2). Экспериментальные кривые показывают, что меньшая скорость нагрева обеспечивает большую усадку исходного образца.

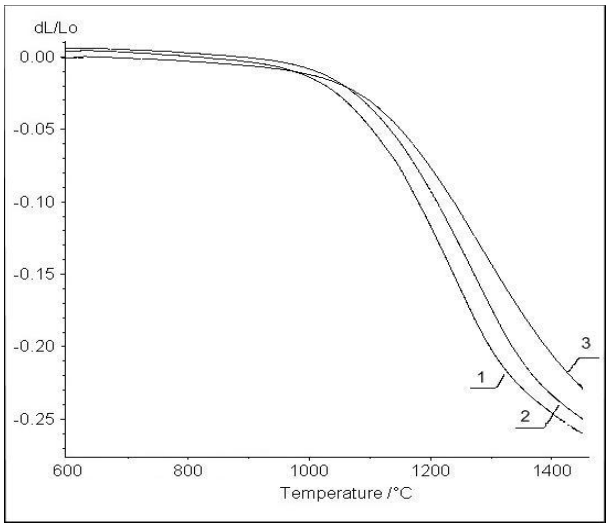


Рис.2. Кинетические кривые спекания для различных скоростей нагрева: 1- 2 К/мин, 2 - 5 К/мин, 3 - 20 К/мин.

Магнито-импульсное прессование является более эффективным способом компактирования керамики, так как позволяет получить образцы с высокой плотностью и ускорить процесс спекания. Для процесса спекания явно заметно преимущество низкой скорости нагрева образцов, но в производстве керамики низкая скорость означает большие затраты, поэтому необходимо выбирать оптимальный температурный режим.

Выводы

В ходе работы были получены кривые усадки керамики при спекании. Кривые содержат информацию о том, что:

1) Степень усадки образцов зависит от метода компактирования, который обуславливает начальную плотность компакта перед спеканием.

2) Усадка зависит от скорости нагрева образцов в процессе спекания.

Используемая литература

1. Е.В.Дудник, З.А.Зайцева, А.В. Шевченко и др. Методы формования дисперсных порошков на основе диоксида циркония. (Обзор) // Порошковая металлургия. - 1993. - № 8. - С. 16 - 23.

2. Ю.М. Анненков, Н.Н. Апаров, Т.С. Франгульян, А.В. Возняк, А.М. Горностаев. Влияние стабилизирующей добавки Y_2O_3 на прочностные свойства циркониевой керамики, спеченной из плазмохимических порошков. // Стекло и керамика. – 1997. - №12. - С. 21-23

3. K. Lu. Sintering of nanoceramics. // International Materials Reviews 2008 vol. 53, No. 1, pp 21-38.

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ ПРИ ТВЧ-НАГРЕВЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

Мишустин Н.М., Ишков А.В., Иванайский В.В.
ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»
656049, Россия, г. Барнаул, пр-т Красноармейский, 98
E-mail: olg168@rambler.ru

В машиностроении, на заключительных стадиях металлообработки, широкое применение нашли технологические процессы упрочнения и изменения эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деталей. Для улучшения физико-механических характеристик, повышения износо- и коррозионной стойкости, продления срока службы деталей, типа почвообрабатывающих органов (**ПОО**), наряду с различными вариантами термической обработки используют и методы химико-термической обработки (**ХТО**) [1]. Среди различных вариантов ХТО процессы борирования (насыщения поверхностного слоя бором и получение соответствующих боридных покрытий) занимают особое место [2]. При борировании на поверхности стальной детали удается получать протяженные слои, однако большинство из известных процессов борирования длительны и плохо встраиваются в технологические схемы современных производств.

Интенсификация процессов борирования может быть достигнута повышением температур в процессе с обычных 850-950 ^{o}C до 1100-1350 ^{o}C при использовании токов высокой частоты (**ТВЧ**) [3]. Однако время ТВЧ-нагрева ограничено 1-3 мин и большинство диффузионных процессов не успевают развиться в достаточной степени, чтобы обеспечить получение борированного покрытия приемлимой толщины [4].

Целью настоящей работы являлось исследование физико-химических процессов и инженерных приемов, лежащих в основе получения износостойких боридных покрытий на деталях типа ПОО сельхозтехники для повышения ресурса их работы в почве.

В качестве основного объекта исследования была выбрана легированная углеродистая сталь *65Г* (ГОСТ 4543-71), наиболее часто используемая при изготовлении ПОО. В качестве борирующих агентов различной природы использовали технический карбид бора B_4C по ГОСТ 5744-85 и реактивный аморфный бор квалификации х.ч. В качестве флюса использовали известный состав для индукционной наплавки (флюс *П-0,66*), состоящий из прокаленной буры, борного ангидрида, силикокальция и сварочного флюса *АН-348А* (30% $Na_2B_4O_7$, 20% B_2O_3, 10% $CaSi_2$, 40% *АН-348А*). Активаторами борирования служили CaF_2 и NH_4Cl квалификации х.ч.

ТВЧ-нагрев подготовленных образцов осуществляли в петлевом водоохлаждаемом медном индукторе диаметром 160 мм, подключенном к высокачастотному ламповому генератору *ВЧГ 7-60/0,066*. Настройка контура и геометрия индуктора обеспечивали нагрев исследуемых образцов до температуры 1300-1350 ^{o}C в течение 40-60 сек, с последующей стабилизацией. После выдержки при указанной температуре в течение от 1 до 2 мин образцы вынимались из индуктора и остывали свободно.

Поверхностному упрочнению подвергались типовые ПОО - стрельчатые лапы (**СЛ**), сеялки-культиватора *СЗС-2,1*, производства ОАО «Авторемзавод Леньковский» цельноштампованной конструкции, выполненные из листа стали *65Г*, толщиной 6 мм, которые, после борирования одним из составов, либо остывали свободно, либо подвергались объемной закалке в масле И-20.

Исследование свойств полученных покрытий осуществляли в полевом эксперименте (с. Семёновка Кулундинского р-на Алтайского края, посевная кампания весна-лето 2010 г). Для определения износа СЛ в реальных условиях эксплуатации поверхностно-упрочненные лапы устанавливались на культиваторную секцию почвообрабатывающего комплекса (**ПК**) *«Кузбас» ПК-9,7* как в первый, так и во второй ряд сошников, за исключением позиций по колее трактора, после чего комплексом проводился прямой посев яровой пшеницы по стерневому фону без осенней обработки. Характеристика почвы: тип - тяжелая каштановая среднесуглинистая песчаная, твердость 1,6-1,8 МПа, плотность 1090-1620 кг/м^3, влажность 19-21 об.%. Средняя скорость ПК составила 1,94-2,17 м/с.

Для выбранных борирующих агентов прохождение поверхностной реакции борирования на сталях обеспечивается за счет осуществления следующих основных самопроизвольных и экзотермических процессов [5]:

$$Fe + B = FeB, (\Delta G, \Delta H < 0), (1)$$

$$Fe + B_4C = FeB + C, (\Delta G, \Delta H < 0), (2)$$

$$Fe + FeB = Fe_2B, (\Delta G, \Delta H < 0), (3)$$

причем реакции 1, 2 осуществляются непосредственно на поверхности стального образца при его контакте с обмазкой (засыпкой) и нагреве, составляют его первую стадию и ускоряют процесс, а реакция 3 осуществляется в глубине уже борированного образца, и может идти как по механизму соединения, так и диспропорционирования, имеет меньшую скорость и происходит уже на второй стадии процесса.

Нами был использован флюс для индукционной наплавки, состоящий из прокаленной буры, борного ангидрида, силикокальция и сварочного флюса *АН-348А*, взятых в соотношениях, мас. %: 30 %, 20 %, 10 %, 40 %. Нами были исследованы шесть вариантов различных смесей для борирования при ТВЧ-

нагреве, которые испытаны на стали *65Г*. Составы борирующих смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Состав борирующих смесей, мас. %

№	Борирующий агент	Активатор	Флюс П-0,66
I	B_4C (90)	-	10
Ia	B_4C (84)	NH_4Cl (6)	10
II	B_4C (84)	-	16
IIa	B_4C (90)	CaF_2 (5)	5
III	*B* (90)	-	10
IIIa	*B* (90)	CaF_2 (5)	5

Установлено, что при скоростном ТВЧ-нагреве стали *65Г*, покрытой исследованными борирующими составами при выбранных параметрах процесса (T=1200-1300 °С, выдержка 1-2 мин) на всех образцах образуются покрытия, по внешнему виду напоминающие наплавленный твердый сплав.

Рентгенофазовый анализ показал присутствие фаз: *α-Fe*, *FeB* и Fe_2B (с выраженным преобладанием одной из фаз), $Fe_3(C,B)$ и $Fe_{23}(C,B)_6$, мета- и ортоборатов железа (Fe_3BO_3, Fe_3BO_6, Fe_3BO_5), следы вюстита *FeO* и шпинели $FeO{\cdot}Fe_2O_3$. То есть, при ТВЧ-нагреве легированных углеродистых сталей под слоем флюса *П-0,66*, содержащего от 84 до 90 % борирующих агентов на их поверхности образуются сложные боридные покрытия.

В качестве основных технологических факторов, влияющих на износ поверхностно-упрочненных лап были исследованы: способ нанесения обмазки на поверхность лапы, предварительная подготовка поверхности, время выдержки в индукторе при оптимальной температуре, последующая термообработка. Параметрами, контролируемыми при износе, являлись: ширина захвата лапы (B), ширина крыла лапы (b), длина крыла лапы (l), площадь перекрытия лапы (S), средний весовой износ (m), а также качественные параметры износа поверхности лап и их отдельных участков.

Площадь перекрытия СЛ рассчитывали по формуле 4:

$$S = \sqrt{p(p-B)(p-l_1)(p-l_2)}\,, \quad (4)$$

где: $p = 1/2(B+l_1+l_2)$ - полусумма сторон проекции стрельчатой лапы, B - ширина захвата, l_1, l_2 - длины левого и правого крыла СЛ,

а относительный износ по выбранному параметру (I_X) - по формуле 5:

$$I_X,\% = \left(1-\frac{X_{изн.}}{X_0}\right)\times 100\,, \quad (5)$$

где: $X_{изн.}$ - значение контролируемого параметра у изношенной лапы, X_0 – исходное значение параметра СЛ.

Было исследовано шесть вариантов нанесения борирующей обмазки: I - нанесение на лицевую сторону, II - нанесение на обратную сторону, III - нанесение на обе стороны, IV - нанесение на 2/3 обратной стороны, V - нанесение на 2/3 обратной стороны и носок, VI – штриховое нанесение полосок на 2/3 лицевой строны (первая позиция шифра) с предварительной зачисткой поверхности СЛ и без (П, БП - третья позиция), при выдержке в индукторе 1 и 2 мин (1, 2 - вторая позиция) , с последующей объемной закалкой СЛ или без нее (З, О - последняя позиция шифра) - табл. 2.

Таблица 2. Относительный износ поверхностно-упрочненных стрельчатых лап

Шифр	Износ по параметру I_X, %				
	B	*b*	*l*	*S*	*m*
I-2-БП,О	12,1	17,2	20,7	33,8	28,6
II-1-П,О	12,7	27,9	21,5	33,4	34,5
III-1-БП,О	12,3	16,8	20,9	34,9	28,6
V-2-БП,З	9,9	8,8	13,7	23,5	19,1
V-1-П,З	9,3	16,3	13,2	25,2	25,0
IV-1-БП,О	27,4	33,8	30,0	49,4	44,1
I-1-БП,О	8,4	11,1	13,6	23,5	20,2
VI-2-П,З	25,9	36,4	31,3	50,5	35,7
контроль	19,9	43,6	32,5	50,4	40,5

Как следует из табл. 2, влияние исследованных технологических факторов на износ упрочненного рабочего органа в реальных условиях неоднозначен. Так, вне зависимости от варианта нанесения обмазки на поверхность СЛ, у всех поверхностно-упрочненных образцов наблюдается износ от 8 до 27 % по отдельным размерным параметрам, в то время как контрольные СЛ в аналогичных условиях (как подвергнутые объемной закалке, так и трехступенчатому упрочнению) изнашиваются от 25 до 40 %.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить влияние различных физических, химических и технологических факторов на получение и свойства износостойких боридных покрытий на сталях, выявить составляющие абразивного износа стрельчатых лап почвообрабатывающего комплекса, поверхностно-упрочненных такими покрытиями и показать возможность увеличение ресурса почвообрабатывающих органов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 11-08-98016-р_сибирь_а.

Литература

1. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. -М.: Металлургия, 1981.

2. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. -М.: Металлургия, 1978.

3. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.Ч., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. -М.: Машиностроение, 1970.

4. Сидоров С.А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1998. -№ 3. -С. 29-33.

5. Гурьев А.М., Козлов Э.В., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А. Физические основы термоциклического борирования. -Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000.

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИСМУТАИ ЕГО ОКСИДОВ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИАПАЗОНА

Мищенко К.В.
Научный руководитель: Юхин Ю.М., д.х.н., профессор
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18
E-mail: kseniya.kuznetsova@gmail.com

Мелкокристаллические висмут и его соединения нашли широкое применение в различных областях науки и технике, медицине, полиграфии и в быту. В металлургии добавки висмута к различным сплавам улучшают качества материалов, например, механическая обработка предотвращает их растрескивание при вальцевании, существенно повышает их литейные свойства и коррозийную стойкость, позволяет сохранить кристаллическую решетку олова от разрушения при низких температурах. Добавка соединений висмута при производстве пластмасс придает материалам огнестойкость и препятствует образованию дыма при горении.

Оксиды висмута широко используются при получении каталитических, сегнетоэлектрических, пьезоэлектрических, сцинцилляционных материалов керамическим методом, а также висмутсодержащих лекарственных препаратов [1-3]. Промышленное производство α-оксида висмута связано, в основном, с термическим разложением азотнокислых солей при 670°C. Явные недостатки данного способа – выделение в атмосферу токсичных оксидов азота и высокая температура, в результате которой имеет место спекание продукта, что не позволяет получать оксид с высокой удельной поверхностью. В связи с этим приобретает актуальность разработка простых и надежных методов синтеза данных соединений. Известны примеры термического разложения солей карбоновых кислот, позволяющие исключать выделение в атмосферу оксидов азота, снизить температуру прокаливания, а также получить метастабильную модификацию β-оксида висмута необходимого для приготовления селективных катализаторов органического синтеза. Среди наиболее изученных монокарбоксилатов висмута является формиат, низкая температура разложения которого (200ºC) делает его перспективным для синтеза, как металлического висмута, так и его оксида. Одним из способов получения наноразмерных частиц металлов или оксидов является термическое разложение соответствующих органических солей. Преимуществом использования формиата висмута в качестве исходного монокарбоксилата, по сравнению с монокарбоксилатами с длинной метиленовой цепью, является возможность его восстановления при более низкой температуре, а также более простая очистка порошков металлического висмута от органических продуктов разложения.

Проведенные исследования по осаждению формиата висмута из растворов минеральных кислот, а также по реакции взаимодействия твердое соединение висмута – раствор муравьиной кислоты свидетельствуют, что мелкокристаллический формиат висмута целесообразно получать в результате взаимодействия оксида висмута с растворами муравьиной кислоты. В работе исследовалось взаимодействие оксида висмута с растворами муравьиной кислоты различной концентрации при температуре процесса (22±1) и (55±2)ºC, а также термическое разложение формиатов висмута для синтеза наноразмерных порошков. Проведенные исследования свидетельствуют (рис. 1), что кривые растворимости состоят из двух ветвей. На восходящем участке кривой с ростом

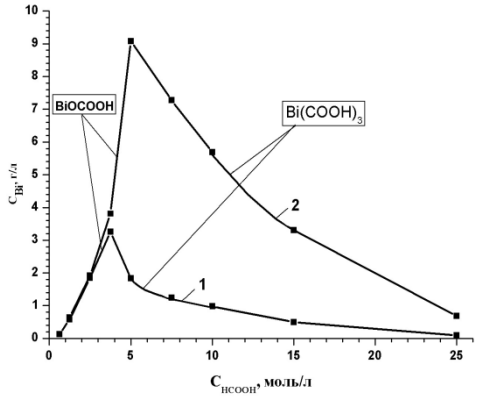


Рис.1. Зависимость концентрации висмута в растворе С (г/л) от исходной концентрации муравьиной кислоты С (моль/л). Температура (°C): 1 – 22; 2 – 55.

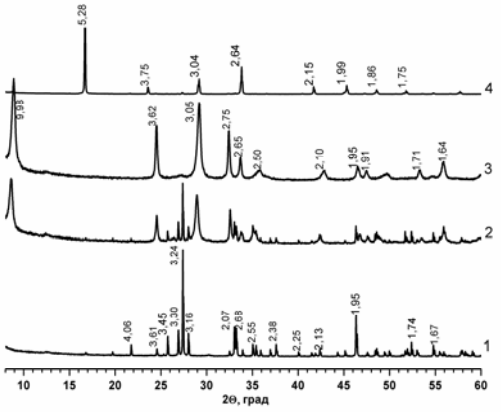


Рис.2. Дифрактограммы моноклинной модификации исходного оксида висмута (1), смеси оксида и оксоформиата висмута (2), оксоформиата висмута (3) и формиата висмута (4). θ - угол Брэгга (град).

концентрации муравьиной кислоты от 0.55 до 3.3 моль/л при температуре процесса 22°C

концентрация висмута в растворе возрастает соответственно с 0.13 до 3.26 г/л, а при температуре процесса 55ºС с ростом концентрации кислоты от 1.1 до 4.4 моль/л концентрация висмута в растворе возрастает соответственно с 0.54 до 9.08 г/л. В случае дальнейшего увеличения концентрации муравьиной кислоты зависимость концентрации висмута в растворе от концентрации кислоты проходит через максимум и при концентрации муравьиной кислоты 25 моль/л при температуре процесса 22°С она составляет 0.046 г/л, а при 55°С – 0.68 г/л.

Рентгенографические исследования (рис. 2) свидетельствуют, что на восходящем участке зависимость C_{Bi}-C_{HCOOH} при молярном отношении муравьиной кислоты к висмуту равном 2.5-7.0 имеет место образование оксоформиата висмута состава BiOCOOH [4, 5], а на нисходящем участке данной зависимости при молярном отношении муравьиной кислоты к висмуту равном 11 и выше образуется формиат висмута состава $Bi(HCOO)_3$ [4]. В области максимума осадок представляет собой смесь основного и среднего формиатов висмута.

Электронно микроскопические исследования свидетельствуют о том, что при термическом разложении формиатов висмута при 180°С в вакууме в течение 2 часов, образцы содержат частицы металлического висмута размером около 20 нм в органической матрице (Рис. 3.). Таким образом, представляет интерес исследование возможности получения наноразмерных частиц висмута термическим разложением его формиатов при относительно низких температурах с последующей их отчисткой от продуктов разложения на стадии промывки. Мелкокристаллические порошки висмута с размером частиц 0,1-1 мкм получены также в результате восстановления формиатов висмута в высококипящем органическом растворителе (бензиловом спирте) при температуре 180 – 205°С. При восстановлении оксоформиата имеет место образование плоских частиц 0,1-1 мкм.

Термогравиметрические измерения формиата висмута в режиме линейного нагрева в атмосфере гелия свидетельствуют о протекании реакции разложения в одну стадию. Имеющий место на кривой ДТА эндопик при 270°С соответствует точке плавления металлического висмута (271.3°С). Данные термического анализа образцов формиата висмута в режиме линейного нагрева при проведении реакции в атмосфере воздуха свидетельствуют о протекании ряда последовательных эндо- и экзотермических стадий и указывает на возможность получения различных модификаций оксида висмута при термическом их разложении. Образующийся на

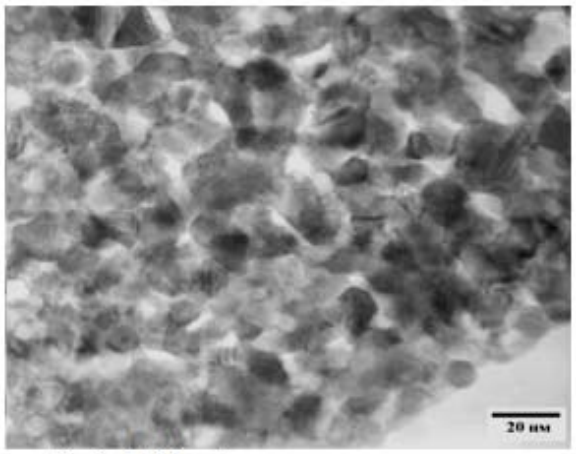


Рис.3. SEM-изображение частиц висмута, полученных в результате термического разложения формиата висмута в вакууме при 180°С.

начальной стадии разложения металлический висмут окисляется уже в ходе реакции. Проведенные исследования свидетельствуют также, что термический отжиг формиата висмута при 210°С в течение 3 ч позволяет получать метастабильную тетрагональную модификацию β-Bi_2O_3, которая при прокаливании при температуре 350°С в течение 4 ч переходит в моноклинную модификацию α-Bi_2O_3.

Таким образом, при обработке оксида висмута раствором муравьиной кислоты с концентрацией 2.0 моль/л при весовом отношении раствора кислоты к оксиду равном 10 получен оксоформиат висмута состава BiOCOOH с выходом висмута в конечный продукт 98.5%, а при обработке раствором кислоты с концентрацией 25.0 моль/л получен средний формиат состава $Bi(HCOO)_3$ с выходом висмута в продукт 99.4%. Показано, что термическое разложение формиата висмута в атмосфере гелия позволяет получать металлический висмут в виде порошка, а в атмосфере воздуха тетрагональную (β) и моноклинную (α) модификации оксида висмута.

Список литературы

1. Писаревский А.П., Мартыненко Л.И. // Координац. химия. 1994. Т. 20. С. 324.
2. Юхин Ю. М., Михайлов Ю. И. Химия висмутовых соединений и материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 360 с.
3. Briand G.G., Burford N. // Chem. Rev. 1999. V. 56. P 2601.
4. ICPDS-International Center for Diffraction Data, 1998.
5. Duan F., Zheng Y., Liv L. et. al. // Materials Letters. 2010. V. 64. P. 1566.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TiO_2 И Ti-O-N, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Морозова Н.С., Тургалиев Д.А.
Научный руководитель: д.ф.-м.н., зав. каф.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: morozova_n_s@mail.ru

Проблема биосовместимости медицинских имплантатов является одной из важнейших проблем медицинского материаловедения. Порядка 10% пациентов с сердечнососудистыми заболеваниями страдают от рестеноза в стентах (PBC), поэтому разработка новых методов модифицирования поверхности изделий для контакта с кровью, а также их соответствие биомеханическим свойствам живых тканей является актуальной. Пленки TiO_2 и Ti-O-N являются одними из наиболее перспективных покрытий для коронарных стентов.

В данной работе приводятся результаты исследования морфологии, измерения контактного угла смачивания, расчета поверхностной энергии и механических свойств пленок на основе оксидов и оксинитридов титана, которые были синтезированы методом импульсного реактивного магнетронного напыления [1,2]. Напыление производилось при давлении 0.1-0.5 Па в среде чистого кислорода и в смеси кислорода с азотом. В качестве подложки для нанесения покрытий использовалась нержавеющая сталь медицинского назначении 12Х18Н10Т. Морфология поверхности анализировалась с помощью атомно-силового микроскопа. Нанотвердость измерялась методом царапания, а модуль Юнга - методом кривых нагружения на приборе NanoScan при нагрузке 3 и 5 мН [3]. Толщина измерялась спектрометрическим методом. Для определения фазового состава покрытий использовался метод дифракции рентгеновских лучей (XRD). XRD проводился на сканирующем шаговом дифрактометре в геометрии скользящего луча ($\omega = 1°$), Cu Kα-излучение. Контактный угол смачивания был измерен на установке Easy Drop методом сидячей капли, для расчета поверхностной энергии использовались данные контактного угла смачивания по двум жидкостям (диионизированная вода и глицерин).

Исследования морфологии покрытий методом атомно-силовой микроскопии показывают, что структура полученных TiO_2 и Ti-O-N покрытий является однородной, плотной и не содержит видимых дефектов и трещин (рис.1). Структура покрытия мелкозернистая, основными элементами структуры покрытия являются сферические фрагменты («зерена»), которые формируют структуру покрытия. С увеличением времени распыления рельеф магнетронных TiO_2 и Ti-O-N покрытий становится более выраженным.

Формирование и рост покрытия идет за счет образования островков (рис.1) и последующего их роста до смыкания друг с другом. Размер зерен варьируется в интервале 6 и 75нм

Функция распределения зерен по размерам двухмодальная (рис.2) с максимумами в области 10-20 нм и 30-40 нм.

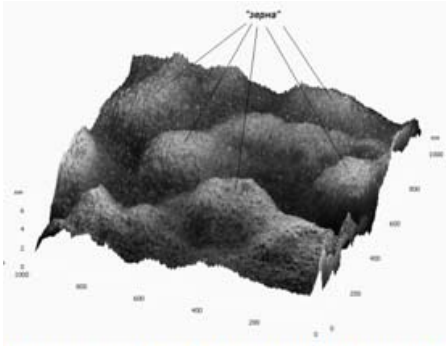


Рисунок 1. АСМ изображение поверхности TiO_2

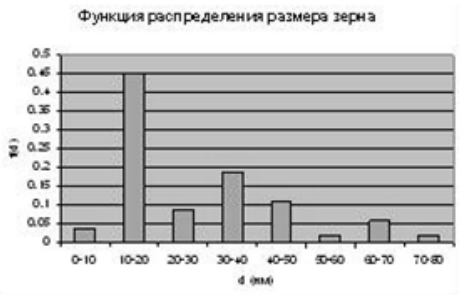


Рисунок 2. Функция распределения размера зерна

Из рис.1 видно, что отдельные зерна имеют «тонкую структуру» и состоят из колумнарных (столбчатых) субнанокристаллических *snc*-зерен. Колумнарные образования перпендикулярны границе раздела подложка/пленка.

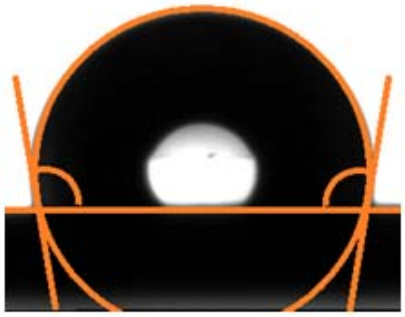


Рисунок 3. Изображение сидячей капли для измерения контактного угла смачивания

Таблица 1. Основные характеристики TiO_2 и Ti-O-N покрытия. <H>- среднее значение нанотвердости, <E>- модуль Юнга, Ra- шероховатость, $\Theta_{вода}$ – контактный угол смачивания поверхности диионизированной водой, U – поверхностная энергия

Измеренные величины	Материал подложки 12Х18Н10Т	Толщина покрытия, нм					
		TiO_2			Ti-O-N		
		100	270	508	122	220	427
<*H*>, GPa	2	3,8	7,3	9	2,7	4,3	9,2
<*E*>, GPa	220	52,3±2,5	65,6±1,0	86,8±11,2	57,47±0,04	67,1±2,9	92,6±5,5
Ra,нм	32	39	34	35	54	34	48
$\Theta_{вода}$, ^{0}	88,3±2,9	99,95±1,7	110,06±8,3	98,8±4,1	108,1±1,8	99,4±3,8	90,7±3,3
U, Дж/м^2	27,8±0,99	24,0±0,99	27,4±0,9	29,4±0,99	22,8±0,99	30,3±0,90	40,6±0,99

На рис. 3 представлено изображение сидячей капли на поверхности пленки оксида титана. Из рисунка видно, что контактный угол смачивания более 90^0, что свидетельствует о гидрофобности покрытий. Гидрофобность характерна для всех исследуемых режимов напыления. Основные результаты измерения контактного угла смачивания и механических характеристик представлены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают высокие значения нанотвердости. Достаточно высокое значение модуля Юнга свидетельствует о высокой механической прочности и хороших упругих свойствах осажденных покрытий. Это также означает, что уменьшается вероятность образования трещин на поверхности покрытия. Прослеживается отчетливая зависимость нанотвердости от толщины покрытия. В исследованном интервале толщин пленок от 0,1 мкм до 0,4 мкм наблюдается рост нанотвердости и модуля упругости. Отсутствие трещин, сколов благоприятно сказывается на механических свойствах пленки. Данные электронной микроскопии показывают, что в общей структуре пленки высока доля межзеренных границ, объемная доля которых достаточно высокая (до 50 %).

Значения контактного угла смачивания, представленные в таблице 1, означают, что покрытия гидрофобные независимо от толщины покрытия. Но при этом, прослеживается зависимость значения поверхностной энергии от толщины покрытия, с увеличением толщины растет поверхностная энергия.

Таким образом, пленка состоит, как минимум, из двух фаз с нанокристаллической и аморфной структурой. Это позволяет предположить, что данные покрытия могут быть отнесены к классу нанокомпозитных с улучшенными физико-механическими свойствами, такими как высокая твёрдость (H > 40 ГПа). Прочность границ раздела способствует увеличению стойкости покрытия к деформации, а отсутствие дислокаций внутри кристаллитов увеличивает их упругость.

Таким образом, проведенные исследования показали, что метод импульсного магнетронного напыления позволяет формировать тонкие сплошные покрытия, с основными составляющими элементами (титан – Ti, кислород – O, азот - N). Пленка состоит из двух фаз с нанокристаллической и аморфной структурой. Кристаллическая фаза диоксида титана имеет на 69,8% структуру анатаза и на 8,1 % рутила.

Полученные покрытия TiO_2 TiON, обладают необходимыми механическими свойствами, которые позволяют использовать их в качестве покрытий для медицинских изделий.

Выражаем благодарность нашему научному руководителю, В.Ф.Пичугину за постановку задачи и помощь при выполнении исследований. Работа поддержана государственным контрактом №П861.

Список литературы

1. Каштанов П.В., Смирнов Б.М., и др. УФН. 2007. в. 175. № 5. с. 473-510.
2. Pichugin V.F., Yanovskiy V.P., Morosova N.S., Yermolovich I.M. 10th International Conference on Modification of materials with Particle Beams and Plasma Flows: Proceedings/Tomsk, September 19-24, 2010. - с.672-675
3. Усеинов А.С. ПТЭ, 2003, №6, с.1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛОСКИХ ТЕЛ С ОТВЕРСТИЕМ

Морозов М.Н., Жданова А.О.
Научный руководитель: Соляник А.С.,
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: benm6@yandex.ru

На стадии проектирования технологического процесса обработки заготовок деталей машин необходимо знать величину предельной пластической деформации металла. Величина этой деформации зависит от вида напряжённого состояния, свойств металла, влияния концентраторов напряжений (градиента деформаций), температурных и других условий деформирования. В механике разрушения предельная деформация у острого концентратора (трещины) принята в качестве критерия наступления состояния разрушения, т.е. она может быть браковочным признаком в технологическом процессе обработки заготовок деталей.

Целью настоящих исследований было определение величины предельной деформации для широко применяемых металлов путем непосредственных измерений и отыскание возможности определения наступления предельного состояния металла по другим внешним признакам.

Для этой цели были изготовлены две партии плоских образцов из стали Ст3, латуни ЛС-59, алюминия АОМ с центральными отверстиями. Водной партии диаметр отверстия был постоянным d=10,75 мм, а ширина разная b=17÷100 мм. В другой партии при постоянной ширине образцов b=55 мм варьировались диаметры отверстий d=2÷22,5 мм. Таким приемом достигался различный относительный градиент накопленной деформации.

$$q = \frac{d\bar{e}_y}{dx} * \frac{1}{(\bar{e}_y)_{\max}}.$$

Толщина образцов была одинакова t=2 мм.

Для определения величины деформации из всех известных экспериментальных методов был выбран метод делительных сеток, как достаточно точный, наглядный и позволяющий измерять деформации вплоть до разрушения испытуемого образца. Делительная сетка выбиралась с разной базой от 0,1 мм до 0,5 мм в зависимости от размеров отверстия с учетом рекомендаций [1,2].

Сетку наносили методом царапания алмазной иглой, которая вставлялась в специальное приспособление. Глубина рисок была не более 5 мкм. Пластина устанавливалась на стол микроскопа БМИ-1 так, чтобы центральная продольная ось образца совпадала с осью поперечного хода стола микроскопа. За счет продольного хода стола микроскопа игла царапала риску на полированной поверхности образца в области концентратора. После каждого хода стола поперечным винтом микроскопа стол с образцом перемещался на величину базы сетки. Наносилась следующая риска и т.д. Поворот стола на 90º позволял теми же приемами нанести риски в продольном направлении образца. Образец снимался с микроскопа, и сетка фотографировалась.

Далее пластина растягивалась на испытательной машине ZDM-4 ступенчатой нагрузкой. После каждой нагрузки фотографировалась сетка и измерялись размеры отверстия в двух главных направлениях. Так продолжалось до появления видимой трещины. Увеличенное изображение сетки позволило достаточно легко и точно замерить изменение базы сетки и вычислить логарифмическую деформацию. Наибольшая деформация $e_y^{\max}$ на каждой ступени наблюдалась на контуре отверстия в опасном сечении. Сопоставление изменения размеров отверстия в двух главных направлениях и $e_y^{\max}$ показало их линейную зависимость (Рис 1).

Построив линейные зависимости $e_y^{\max}$ - d_1/d_2, в дальнейших опытах при проявлении трещины предельная деформация инициации трещины определялась экстраполяцией по Рис 1. Это исключало погрешность измерения базы сетки за счет развития трещины. Такой прием использовался для образцов у которых длина трещины не превышала 1мм. Образцы с большей трещиной исключались из опыта. Всего было исследовано порядка 50 пластин.

Компьютерная обработка результатов опытов проводилась с использованием математического пакета Curve Expert Version 1.40.Используя интерполятор, подобрали функции описывающие зависимости $e_y^{\max}$ - d_1/d_2. Они имеют вид:

$$y_1(x) = 0.7129x + 1 - латунь_ЛС - 59$$

$$y_2(x) = 0.6212x + 1 - алюминий_АОМ$$

$$y_3(x) = 0.5808x + 1 - сталь_Ст3$$

На Рис. 2 представлены экспериментальные результаты зависимости $e_y^{\max}$ - q для испытанных металлов.

Испытания показали, что предельная деформация возрастает при увеличении

градиента. При использовании интерполяционной модели MMF, подобраны

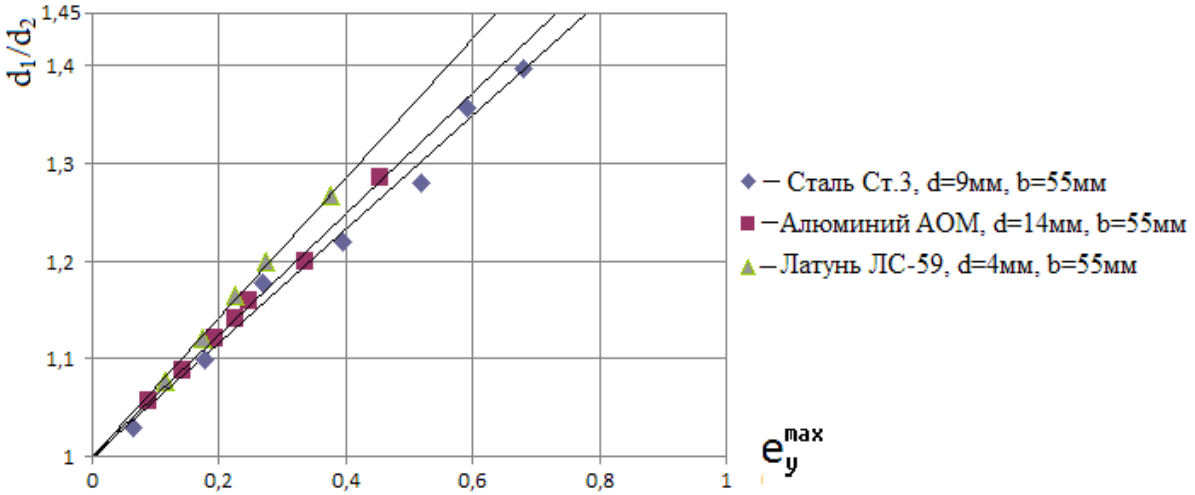


Рис. 1. Зависимость размеров отверстия в двух главных направлениях от $e_y^{\max}$

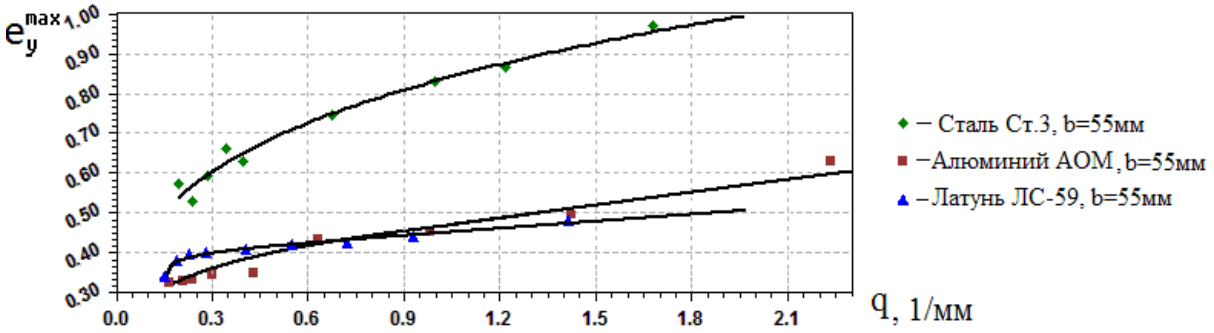


Рис. 2. Зависимости $e_y^{\max}$ *от градиента деформации q*

функции, описывающие эти зависимости. Они имеют вид:

$$y_1(x) = \frac{0.115 + 5.7x^{0.23}}{11.5 + x^{0.23}} - алюминий_AOM$$

$$y_2(x) = \frac{0.124 + 110x^{0.27}}{11.5 + x^{0.23}} - сталь_Ст3$$

$$y_3(x) = 0.392 + 5.802x + \frac{0.001}{x^2} - латунь_ЛС - 59$$

Таким образом поставленная цель исследования была достигнута:

1. Для часто применяемых пластичных металлов (стали Ст3, латуни ЛС-59, алюминия АОМ) определена предельная деформация предшествующая появлению трещины для плоского тела с круговым концентратором.
2. Величина предельной деформации зависит от градиента деформаций. С увеличением градиента возрастает предельная накопленная деформация. Интенсивность ее роста неодинакова. Для цветных металлов (латунь, алюминий) при значении градиента до 0,4 увеличение предельной деформации существенное, а при большем градиенте увеличение $e_y^{\max}$ незначительно. Для стали (Ст3) такая особенность тоже наблюдалась, но при значении градиента q≈1,6.
3. По относительному изменению размеров кругового концентратора можно судить об уровне предельной деформации, а при конструировании технологического процесса можно оценить остаточный резерв деформаций или его отсутствие.

Литература

1. Бородин Н.А. “Выбор базы делительных сеток для изучения местных пластических деформаций” Зав. Лабораторий т.30, №1, 1961г.

2. Ренне И.П., Юдин Л.Г. “О точности значений локальных деформаций при использовании делительной сетки с малой базой” Зав. лабораторий, т.33, № 1, 1967г.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ГОРЕНИИ БОРСОДЕРЖАЩИХ СВС-СИСТЕМ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ

Исаченко Д.С., Кузнецов М.С., Мысков О.С.
Научный руководитель: Долматов О.Ю., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: isachenko@tpu.ru

При рассмотрении самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) как направленного синтеза, важным является определение факторов, обуславливающих формирование того или иного температурного поля, т.е. управление процессом горения.

Известно несколько путей управления самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, которые следует рассматривать применительно к конкретным его стадиям и изменяемым параметрам. Основными стадиями СВС принято считать подготовку исходной шихты, синтез в режиме самораспространения и стадию охлаждения продуктов горения, включая догорание. К изменяемым параметрам СВС можно отнести химический состав, стехиометрическое соотношение компонентов и распределение частиц по размерам исходных реагентов, плотность исходной шихты, начальные размеры образцов, начальную температуру, начальное давление [1].

Выделяются следующие типы управления процессом СВС [1]:

- Управление на стадии подготовки шихты включает в себя правильный выбор химических реагентов (изменение соотношения между содержанием окислителей и восстановителей, изменение степени разбавления шихты конечным продуктом или инертным компонентом), изменение плотности исходного образца, варьирование начальных размеров образца и т.п. Все это может сильно повлиять на термокинетические характеристики процесса и, соответственно, на фазовый состав конечных продуктов.
- Управление при проведении процесса, включающее в себя термический подогрев системы. Это, в принципе, также влияет на фазовые и структурные превращения, приводящие к формированию структуры конечных продуктов (что особенно важно для получения продуктов высокой однородности и чистоты, а также фаз высокого давления).
- Управление при охлаждении готовых продуктов, состоящее в изменении температурного режима охлаждения и типа используемой атмосферы (что особенно важно для стадии дореагирования).

Универсальных методов управления СВС-процессами, пригодных для применения на его различных стадиях, не существует [1]. Более того, высокие значения температуры и скорости горения, а также малые времена синтеза создают существенные трудности для прецизионного управления СВ-синтезом. Поэтому важное место занимают методы управления, связанные с воздействием на исходный образец.

Метод управления самораспространяющимся высокотемпературным синтезом, основанный на разбавлении исходной шихты реагентов, применяется для получения в структуре материалов фазовых составляющих, температурный режим образования которых соответствует какой-либо стадии фазообразования при СВС.

В качестве инертных добавок могут использоваться практически любые элементы, не взаимодействующие с компонентами исходной шихты. С точки зрения получения целевого продукта в качестве инертной добавки может использоваться сам конечный продукт.

В численных экспериментах по определению теплового состояния образцов при уменьшении энерговыделения использовались следующие исходные данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
Скорость реакции горения, мм/с	10
Радиус образца, мм	15
Высота образца, мм	40
Температура окружающей среды, К	300
Начальная температура процесса, К	750
Плотность прессования, кг/м^3	5000

Вариация энерговыделения соответствует той или иной степени разбавления исходной шихты инертной добавкой. При этом величина степени разбавления определялась следующим образом:

$$\frac{V_{\text{доб}}}{V_{\text{тб}}} = \frac{Q - Q_{\text{р}}}{Q_{\text{р}} - Q_{\text{доб}}},$$

где Q – суммарный тепловой эффект реакции, $Q_{\text{р}}$ – тепловой эффект реакции без учета добавки, $Q_{\text{доб}}$ – тепловой эффект реакции при введении инертной добавки, $V_{\text{тб}}$ – объем таблетки, $V_{\text{доб}}$ – объем, занимаемый добавкой.

В численных экспериментах моделировалось влияние следующих количеств инертных добавок:

- 75% вес. инертной добавки, что соответствует суммарному тепловому эффекту реакции 86 кДж/кг.
- 70% вес. инертной добавки, что соответствует суммарному тепловому эффекту реакции 103 кДж/кг.

- 65% вес. инертной добавки, что соответствует суммарному тепловому эффекту реакции 130 кДж/кг.
- 53% вес. инертной добавки, что соответствует суммарному тепловому эффекту реакции 172 кДж/кг.
- 40% вес. инертной добавки, что соответствует суммарному тепловому эффекту реакции 215 кДж/кг.

На рис. 1–2 представлено распределение температуры при различных значениях суммарного теплового эффекта при разбавлении исходной системы инертными добавками в начальный (рис. 1) и конечный (рис. 2) моменты времени. В качестве инертной добавки предполагается использование целевых керамических материалов, полученных ранее. Данные материалы в реакции синтеза участвовать не будут, но за счет уменьшения концентрации реакционно-способных частиц будет снижаться общий тепловой эффект реакции. Наряду с этим также возможно использование смесей, вступающих в эндотермические реакции, также снижающие общий тепловой эффект реакции. В численном эксперименте будем предполагать разбавление исходной шихты целевыми керамическими материалами, полученными ранее.

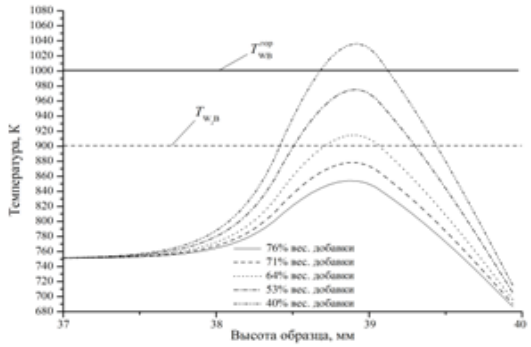


Рис. 1. Распределение температуры по высоте образца при различных значениях суммарного теплового эффекта в момент времени 0,2 с после инициирования синтеза.

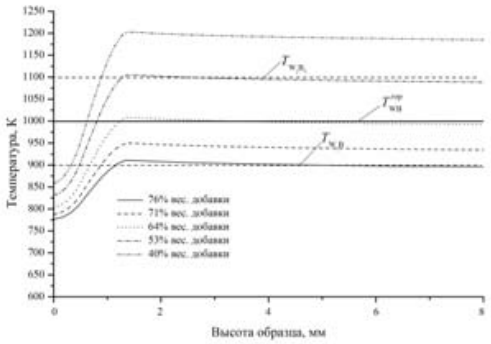


Рис. 2. Распределение температуры по высоте образца при различных значениях суммарного теплового эффекта в момент времени 3,8 с после инициирования синтеза.

Из представленных зависимостей видно, что синтез с использованием инертных добавок возможен. Из расчетного эксперимента можно определить, что существует порог разбавления. При достижении некоторого значения степени разбавления синтез в системе не начнется. Так, видно, что при достаточно низком суммарном тепловом эффекте реакции синтеза (Q = $= 0{,}86\times10^5$ Дж/кг, что соответствует разбавлению 76% и Q = $1{,}03\times10^5$ Дж/кг, что соответствует разбавлению 71%) значения температур ниже температуры синтеза для системы борида вольфрама. В таком случае можно предположить, что синтез в рассматриваемой системе отсутствует. Минимальному значению теплового эффекта, при котором достигается температура инициации процесса синтеза соответствует Q = $1{,}31\times10^5$ Дж/кг (разбавление 64%).

Известно, что процесс образования борида вольфрама в волне горения проходит через ряд стадий: образование борида вольфрама (диапазон температур лежит в пределах 1600–2400 К), пентаборида дивольфрама (900–1300 К), диборида вольфрама (600–900 К). В связи с этим можно предположить, что при разбавлении системы инертными добавками в пределах 40–50% вес. будет образовываться фаза пентаборида дивольфрама, в качестве основной, при этом образования фазы борида вольфрама наблюдаться не будет из-за низкого значения температур, реализующихся в процессе синтеза.

Таким образом, по результатам численных экспериментов можно сделать следующие выводы:

- имеется принципиальная возможность разбавления реакционно-способной шихты реагентов инертными добавками для снижения общего теплового эффекта реакции, что позволяет получать целевой продукт с различными фазовыми составляющими;
- численно определены концентрационные пределы инертных добавок: при разбавлении системы более 64% вес. синтез в системе отсутствует, либо будет протекать при нестационарном режиме, при разбавлении исходной системы менее 50% преобладающей фазовой составляющей целевого продукта будет фаза пентаборида дивольфрама с температурой образования 900–1300 К.

Список литературы

1. Мержанов А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез / «Физическая химия»: Современные проблемы. Ежегодник. Под ред. Я.М. Колотыркина – М.: Химия, 1983. С.6-45.

ПРИРОДА ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Корочкин А.Е., Костерев В.Б., Мясникова В.И.
Научные руководители: Громов В.Е.[1], д.ф.-м.н. профессор, Иванов Ю.Ф.[2], д.ф.-м.н. профессор
[1] Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова 42
[2] Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Томск, Соляная пл, 2
E-mail: gromov@physics.sibsiu.ru

Эффективность современного прокатного производства во многом зависит от стойкости валков, повышения которой добиваются применением упрочняющих поверхностных технологий. Применение эффективной технологии плазменной поверхностной закалки чугунных горизонтальных валков существенно повышает эксплуатационные свойства и улучшает технико-экономические показатели работы стана. Установление оптимальных режимов плазменного упрочнения чугунных валков должна базироваться на знании закономерностей формирования структурно-фазовых состояний при плазменном упрочнении и их эволюции в процессе последующей прокатки.

Ранее нами установлены закономерности эволюции структуры и фазового состава плазменно-упрочненных валков из чугуна марки СШХНФ при прокатке и отмечено повышение рабочего ресурса таких валков не менее чем 1,3 раза.

Целью работы являлось исследование исходных структурно-фазовых состояний литых валков мелкосортного стана 250 из чугуна марки СПХН, их эволюция после плазменного упрочнения и горячей прокатки строительной арматуры.

Материалом исследования являлись образцы, вырезанные из плазменно-упрочненных прокатных валков промежуточной группы мелкосортных станов, выполненных из чугуна марки СПХН. Как и в, поверхностное упрочнение проводили на установке плазменной закалки УПН-303 с применением плазмотрона прямого действия типа СМ с диаметром сопла 6 мм, потребляемой мощностью 45 кВА, расходом плазмообразующего газа (Ar) 1,5м^3/ч и защитного газа (N_2) 3,8 м^3/ч.

Процесс обработки заключался в высокотемпературном нагреве участка поверхности калибра (анодное пятно) и его интенсивном охлаждении на массу валка со скоростями, обеспечивающими образование закалочных структур.

Исследовали структуру и фазовый состав образцов, вырезанных из рабочей зоны калибра, в исходном состоянии, после плазменного упрочнения и после прокатки 10 и 700 тонн арматуры № 10. Температура начала прокатки 1270 ^{0}C, конца – 1100 ^{0}C, скорость прокатки 15 м/с. Выбор тоннажа прокатки обусловлен тем, что после 10 т наблюдаются видимые изменения структурно-фазовых состояний, а при 700 т – они заканчиваются.

Исследования структуры поверхности прямого и косого травленых шлифов осуществляли методами оптической и сканирующей электронной микроскопии

Анализ фазового состава и структуры приповерхностного слоя образцов осуществляли методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии на приборе ЭМ-125. Параметры структуры определяли, используя методы планиметрии. Фазовый анализ осуществляли путем индицирования микроэлектронограмм.

Плазменное упрочнение валков из чугуна марки СПХН приводит к плавлению поверхностного слоя толщиной ~150 мкм; толщина зоны термического влияния – 200…280 мкм. При кристаллизации формируется ледебуритная структура. Ледебурит, образующийся в условиях высокой скорости охлаждения, состоит из трех фаз: γ-фазы, α-фазы и карбидной фазы (цементит). В поверхностном слое толщиной 50…60 мкм формируется мелкодисперсный ледебурит – размеры областей травления структурных объемов в данном слое изменяются в пределах 2,0…3,5 мкм. Карбид железа обнаруживается в виде пластин и зерен; α-фаза – в виде мелких зерен.

При удалении на расстояние 70…150 мкм от поверхности обработки выявляются объемы материала с аустенито-мартенситной структурой, имеющие преимущественно глобулярную форму (рис.1).

Размеры объемов аустенитно-мартенситной структуры изменяются в пределах 10…20 мкм; продольные размеры кристаллов мартенсита – от 2,5 до 20 мкм. Мартенсит по морфологическому признаку относится к пластинчатому, характерному для высокоуглеродистых, высоколегированных сталей и чугуна. Кристаллы мартенсита в зерне аустенита располагаются упорядоченным образом, формируя «зиг-заги», ряды параллельных кристаллов (псевдопакеты), тупоугольные пары, сочленения в виде треугольников, что вызвано необходимостью аккомодации упругой энергии сдвигового $\gamma \Rightarrow \alpha$ превращения.

В зернах аустенита выявляется дислокационная субструктура в виде дислокационного хаоса и сеток, скалярная плотность дислокаций достигает значений $(2,5…5,0)\cdot10^{10}$ см$^{-2}$. В мартенсите наблюдается исключительно сетчатая дислокационная субструктура со скалярной плотностью дислокаций $(10…15)\cdot10^{10}$ см$^{-2}$.

При значительном удалении от поверхности плазменного упрочнения снижается объемная доля мелкодисперсного ледебурита (мелкодисперсный карбид замещается монолитным) и остаточного аустенита. В зернах аустенита увеличивается объемная доля и снижаются размеры кристаллов (максимальные продольные размеры не превышают 10 мкм) мартенсита, выявляются зерна перлита. На расстоянии ~5000 мкм структура чугуна представлена монолитным карбидом железа, графитом и зернами перлита пластинчатой и глобулярной морфологии. В отдельных случаях выявляются зерна феррита, содержащие включения цементита необычной формы.

В цементите выявляется субструктура дислокационного хаоса со скалярной плотностью дислокаций $(0{,}1\ldots1{,}0)\cdot10^{10}$ см$^{-2}$; в объеме зерен перлита и «псевдоперлита», в пластинах феррита также наблюдается преимущественно структура дислокационного хаоса со скалярной плотностью дислокаций $(1{,}0\ldots1{,}5)\cdot10^{10}$ см$^{-2}$ (рис. 1).

На поверхности плазменноупрочненного образца выявляются участки с нанокристаллической структурой (рис. 1). Размеры кристаллитов, формирующих данный слой, изменяются в пределах от 5 до 100 нм (рис. 1, б). Индицирование микроэлектронограммы, полученной с таких областей материала, позволяет заключить, что они сформированы α-фазой; цементитом и оксидом железа.

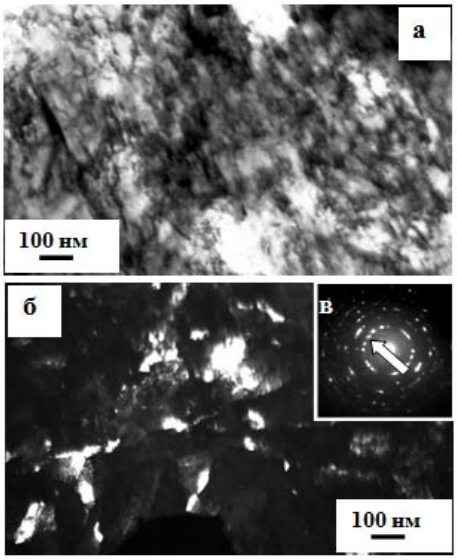


Рис.1. Электронно-микроскопическое изображение структуры, формирующейся на поверхности плазменной обработки чугуна; а – светлое поле; б – темное поле, полученное в расположенных рядом рефлексах [110]α-Fe + [211]Fe_3C+[133]Fe_2O_3; в – микроэлектронограмма. Стрелкой на (в) указан рефлекс, в котором получено темнопольное изображение.

Плазменноупрочненные валки показали увеличение стойкости более чем в 1,2 раза при прокатке строительной арматуры диаметром 10 мм. Эксплуатация плазменноупрочненных валков на прокатном стане сопровождается множественными изменениями структуры и фазового состава чугуна, вызванными высокотемпературной деформацией приповерхностного слоя материала.

После прокатки 700 т арматуры упрочненная зона отсутствует, по всему сечению структура представлена монолитным карбидом железа, графитом и зернами перлита.

После прокатки 10 т арматуры толщина упрочненного слоя уменьшается до 60 мкм. При этом наблюдается измельчение структуры ледебурита поверхностного слоя. Эксплуатация валков сопровождается распадом твердого раствора кристаллов мартенсита с образование частиц цементита, местами расположения которых являются дислокации, микродвойники и границы кристаллов. Размеры частиц, расположенных на дислокациях, составляют 2,5 нм; расположенных на микродвойниках – 5…8 нм; границах кристаллов мартенсита – 10…15 нм.

Уже после прокатки 10 т арматуры кристаллы мартенсита разбиваются на отдельные разориентированные области. Скалярная плотность дислокаций увеличивается ~ в 3 раза. При этом тип дислокационной субструктуры не изменяется – присутствуют дислокационные сетки.

Отмечено преобразование структуры перлита, заключающееся в полиморфном альфа-гамма-альфа превращении по сдвиговому механизму с образованием пакетного мартенсита, размеры которого ограничены продольными размерами пластин феррита перлитного зерна. Поэтому формирующийся мартенсит имеет малые размеры: поперечные размеры изменяются в пределах 20…30 нм; продольные – 200…300 нм.

Таким образом, плазменное упрочнение валков из чугуна марки СПХН, повышающее их стойкость более чем в 1,2 раза, приводит к формированию в приповерхностном слое многофазной, морфологически многоэлементной, разномасштабной, градиентной структуры, зависящей от расстояния до поверхности упрочнения.

При эксплуатации плазменноупрочненных валков измельчается карбидная фаза ледебурита, образуются карбидные частицы при распаде твердого раствора углерода в мартенсите, увеличивается плотность дислокаций, в структуре пластинчатого перлита наблюдается α→γ→ α превращение по сдвиговому механизму с образованием мартенсита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках реализации АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)" (проект 2.1.2/13482) и РФФИ (проект 10-07-00172-а).

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ОДНОРОДНОСТИ МАГНИТОМЯГКИХ ФЕРРИТОВ ТГ(М)/ДТГ(М) МЕТОДОМ

Назмутдинов И.М., Лысенко Е.Н.
*Научный руководитель: Лысенко Е.Н., к.ф-м.н, с.н.с. ПНИЛ ЭДиП ТПУ
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 40
*Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nurikmar@mail.ru

Введение.

В серийном производстве многокомпонентных ферритов применяется дешевый и простой в реализации керамический синтез. Этот способ твердофазного синтеза заключается в многократном высокотемпературном обжиге брикетированных смесей оксидов и карбонатов металлов с промежуточными помолами и перемешиваниями. При этом для оценки фазового состава синтезированного материала широко применяют метод рентгенофазового анализа (РФА). Однако, для литиевых феррошпинелей, данный метод является не всегда корректным из-за наложения рефлексов разных фаз. Поэтому, в данной работе для оценки эффективности синтеза мы применили в комплексе с РФА термогравиметрический метод (ТГ(М)/ДТГ(М)) регистрации магнитных фаз в присутствии внешнего магнитного поля.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании методами ТГ(М)/ДТГ(М) и РФА литий-цинковых ферритов, полученных керамическим синтезом по традиционной схеме, включающей промежуточные помолы брикетов и перемешивание порошков. Выбор объекта исследования обусловлен тем, что литиевые феррошпинели, легированные цинком, являются основой ферритов, широко применяющихся в микроволновой технике [1].

Техника эксперимента.

В работе исследовался синтез литий-цинкового феррита $Li_{0,3}Fe_{2,3}Zn_{0,4}O_4$ из механической смеси Li_2CO_3-Fe_2O_3-ZnO. Выбор состава обусловлен его наибольшим значением намагниченности насыщения в ряду литийзамещенных феррошпинелей [2]. Образцы компактировались односторонним холодным прессованием под давлением 200 МПа в виде таблеток. Термический обжиг образцов осуществляется в печи сопротивления.

Определение фазового состава исследуемых образцов проводилось на рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA с полупроводниковым Si (Li) Пельтье детектором на Cuk_α-излучении. Идентификация фаз проводилась с использованием порошковой базы данных PDF-4 Международного центра дифракционных данных (ICDD). Содержание цинка уточнялось по значению параметра решетки литий-цинковых ферритов. Полученные рентгенограммы обрабатывались методом полнопрофильного анализа с использованием программного комплекса *Powder Cell* 2.4.

ТГ(М)/ДТГ(М) исследования осуществлялись с помощью термического анализатора STA 449C Jupiter фирмы Netzsch (Германия) в воздушной атмосфере. Для контроля за магнитным состоянием образцов с внешней стороны измерительной ячейки были закреплены постоянные магниты, создающие вблизи образцов поле ~5 Э. Измерения производились в режиме линейного охлаждения со скоростью 20^0C/мин после нагрева образцов до температуры 800^0C. Такой режим измерений обеспечивал начальное размагниченное состояние образцов и одновременно позволял контролировать калориметрические эффекты в достаточно широком интервале температур.

Экспериментальные результаты.

Для изучения влияния традиционного метода гомогенизации были приготовлены обжигом при 800^0C 4 группы образцов состава: $Li_{0,3}Fe_{2,3}Zn_{0,4}O_4$. Образцы A - после компактирования исходной реакционной смеси обжигались в течение 120 мин. Образцы B – обжигались в течение 240 мин. Образцы C и D - обжигались в течение 360 мин. Приготовление образцов B и C включало в себя операции промежуточного перемешивания порошка. Эти операции проводились через каждые 120 мин обжига. Промежуточное перемешивание осуществлялось истиранием образцов после предыдущего обжига в агатовой ступке с 10 кратным протиранием через сетку и повторным компактированием без добавления связующих. Образцы группы D, как и образцы A обжигались без промежуточного перемешивания и отличались между собой только длительностью обжига.

РФА анализ показал, что при длительности обжига 120 мин фазовая неоднородность образцов A проявляется в большой ширине рентгеновских отражений, в появлении признаков расщепления рефлексов и в наличии сверхструктурных отражений $(210)^*$ и $(211)^*$ фазы пентаферрита лития $LiFe_5O_8$, слабо легированной цинком.

Трехкратное повышение длительности обжига без промежуточных помолов и перемешиваний (образцы D) в значительной степени подавляет признаки расщепления рефлексов и понижает их ширину. Однако сверхструктурные отражения пентаферритовой фазы еще присутствуют на дифрактограмме. И только введение 2-х кратной операции промежуточного измельчения образцов с перемешиванием порошка предельно упрощает вид дифрактограммы (образцы C). В составе дифрактограммы присутствуют только наиболее

узкие отражения шпинельной фазы, без сверхструктурных отражений и без признаков расщепления. Это свидетельствует о максимально достигнутой степени гомогенизации синтезированного порошка.

На рисунке 1 представлены зависимости ДТГ(М), которые показывают наличие в магнитном поле двух весовых переходов: весовой скачок при 628^0C объясняется переходом через точку Кюри в пентаферрите лития и размытый низкотемпературный переход связанный, очевидно, с формированием фаз литий-цинковых ферритов.

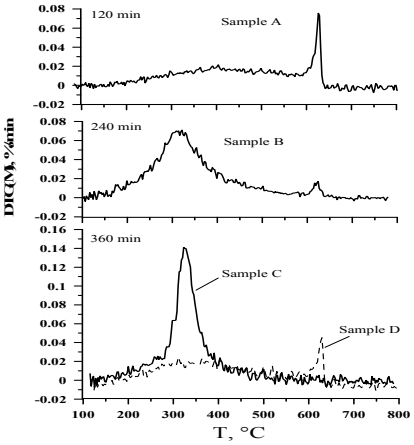


***Рис. 1**. ДТГ(М) для образцов $Li_{0,3}Fe_{2,3}Zn_{0,4}O_4$, термически синтезированных при 800^0C с различной длительностью обжига и частотой помола и перемешивания.*

Для образцов группы А фазовая неоднородность порошка проявляется в сильной «размытости» низкотемпературного магнитного перехода в фазе Li-Zn феррита, смещения его максимума в высокотемпературную область и наличии высокотемпературного перехода через температуру Кюри пентаферритовой фазы (пик при ~ 630^0C). Присутствие пентаферритовой фазы ($Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$) свидетельствует не только о чрезвычайно низкой гомогенности материала, но и о незавершенности самой реакции синтеза. Увеличение длительности обжига и введение промежуточных перемешиваний порошков уменьшают ширину перехода в фазе литий-цинкового феррита и снижают содержание пентаферритовой фазы (образцы В) вплоть до ее исчезновения (образцы С).

Важность операции перемешивания видна из сравнения кривых ДТГ(М) для образцов С и D, имеющих одинаково высокую длительность обжига (360 мин). Отсутствие промежуточного перемешивания в образцах D приводит к широкому переходу в фазе литий-цинкового феррита, свидетельствующему о существенно большем разбросе содержания цинка в этих фазах.

Измерения кривых ДТГ(М) на эталонных образцах состава $Li_{0.5(1-x)}Zn_xFe_{2.5-0.5x}O_4$ с контролируемым содержанием цинка X_{Zn}, позволили установить концентрационную зависимость температурного положения пиков ДТГ(М). Образцы были получены термической ферритизацией при 800^0C в течение 360 мин с промежуточными помолами через каждые 120 мин обжига. На рис.2 приведены кривые ДТГ(М) для указанных образцов. Положение максимума каждой кривой соответствует точке Кюри состава с X_{Zn}=0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6. На врезке рисунка приведена концентрационная зависимость температуры Кюри, имеющая убывающий линейный вид, что характерно для литий-цинковых феррошпинелей . Также видно, что по мере увеличения содержания цинка возрастает ширина магнитного перехода (ширина пика ДТГ).

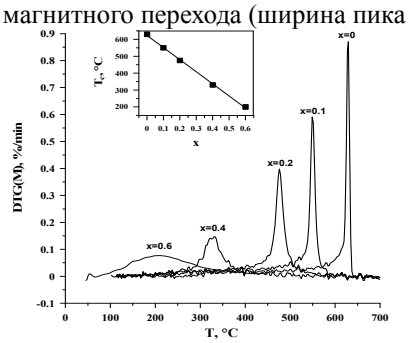


***Рис. 2.** ДТГ(М) кривые для $Li_{0.5(1-x)}Zn_xFe_{2.5-0.5x}O_4$ с X_{Zn}=0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 термически синтезированного при 800^0C в течение 360 мин с использованием промежуточных помолов и перемешиваний.*

Заключение

По результатам изложенного можно заключить, что в поликомпонентной гетерогенной системе, каковой является порошковая смесь реагентов, в силу топологического характера реакции твердофазного синтеза, формирование конечного продукта проходит через образование непрерывного ряда шпинельных фаз вида $Li_{0.5(1-x)}Zn_xFe_{2.5-0.5x}O_4$, где X - изменяется от 0 до 1. Данное обстоятельство приводит к расширению магнитного фазового перехода Li-Zn феррита при температуре Кюри. Ширина перехода определяется условиями и длительностью обжига.

Применение промежуточных помолов брикетированных смесей с перемешиванием порошков приводит к интенсификации твердофазного синтеза литий-цинковых ферритов и уменьшению разброса по концентрации цинка, т.е. к повышению гомогенности конечного продукта.

Список литературы

1. Jiang XN, Lan ZW, Yu Z, Liu PY. Sintering characteristics of LiZn ferrites fabricated by a sol–gel process. J Magn Magn Mater. 2009;321:52-55.

2. Gorter EW. Saturation magnetization and crystal chemistry of ferrimagnetic oxides. J Philips Res Rep. 1954;9:295.

РЕЛАКСАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Невский С.А.[1], Коновалов С.В.[1], Мясникова В.И.[1]
Научные руководители: Громов В.Е.[1], д.ф.-м.н. профессор, Иванов Ю.Ф.[2], д.ф.-м.н. профессор
[1] Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, Новокузнецк, ул. Кирова 42
[2] Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Томск, Соляная пл, 2
E-mail: nevskiy_sa@physics.sibsiu.ru

Проведено исследование влияния изменения электрического потенциала на релаксацию механических напряжений и дислокационную субструктуру алюминия, формирующуюся при данном виде пластической деформации. В ходе исследования было установлено, что вне зависимости от знака подводимого электрического потенциала средняя скорость релаксации увеличивается, а активационный объем процесса релаксации уменьшается (Рис. 1 и 2).

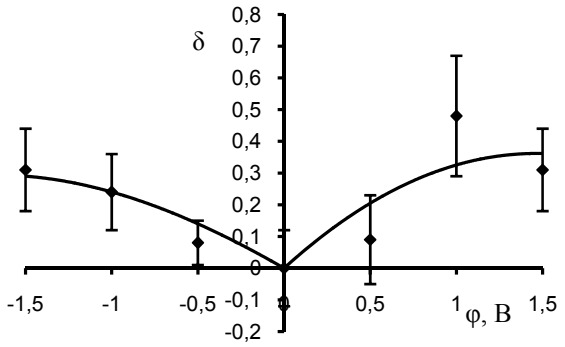


Рис.1. Зависимость относительного изменения средней скорости релаксации от величины электрического потенциала

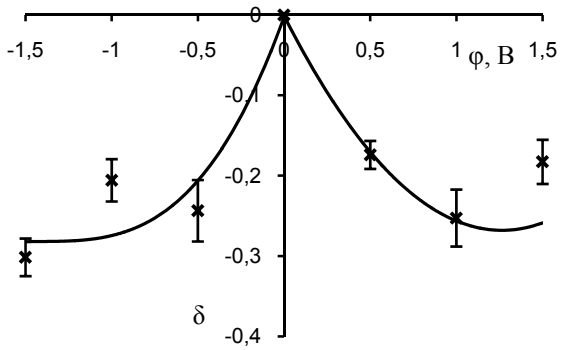


Рис.2. Относительное изменение активационного объема при различных значениях электрического потенциала

Такое изменения параметров процесса релаксации не могут не отразиться на дислокационной подсистеме материала. Проведенные в [1] оценки плотности дислокаций показали, что плотность дислокаций увеличивается, что свидетельствует о существенных структурных перестройках дислокационного ансамбля. Для подтверждения данного предположения были проведен ПЭМ анализ образцов алюминия испытанных на релаксацию напряжений, как в обычных условиях, так и при потенциалах 0,5 и 1 В. В [2] было выдвинуто предположение, что при воздействии электрического потенциала особую роль будет играть поверхность образца, поэтому фольги брались с боковой поверхности образца.

Результаты анализа параметров дислокационной субструктуры показали, что при увеличении электрического потенциала скалярная плотность дислокаций увеличивается в 2,5 раза, линейная плотность изгибных контуров снижается в 2,7 раза, а их средние размеры снижаются в 1,2 раза (рис. 3).

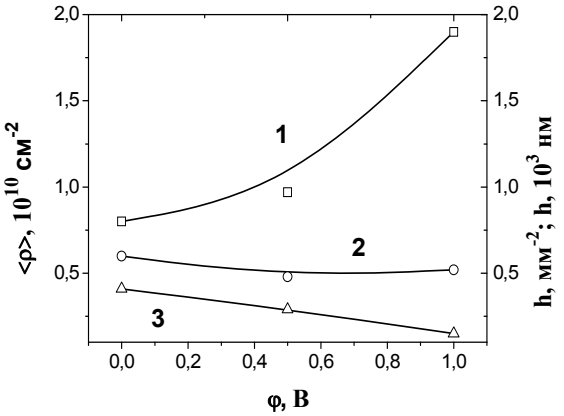


Рис. 3. Зависимость от величины потенциала скалярной плотности дислокаций <ρ> (кривая 1), средних поперечных размеров изгибных экстинкционных контуров h (кривая 2) и линейной плотности изгибных экстинкционных контуров η (кривая 3).

В объеме зерен и субзерен материала присутствует хаотическая и сетчатая дислокационные субструктуры (рис 3 а–в). Как правило, сетчатая субструктура сосредоточена вблизи границ зерна, а хаотическая равномерно распределена по объему зерна. Кроме хаотической и сетчатой субструктуры выявлена полосовая субструктура. Изменение объемных долей дислокационных субструктур при различных значениях потенциала представлено в таблице 1.

Табл.1. Объемная доля дислокационных субструктур при различных значениях потенциала

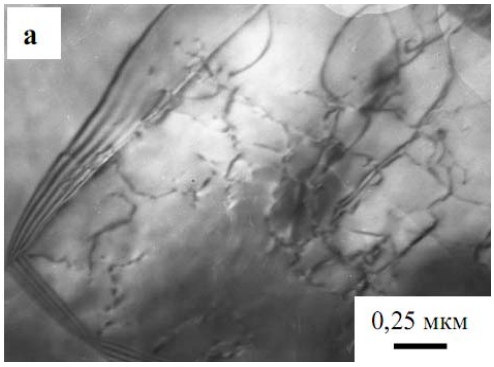
Тип ДСС / Электрический потенциал φ, В	Хаотическая	Сетчатая
0	0,89	0,11
0,5	0,87	0,13
1	0,97	0,03

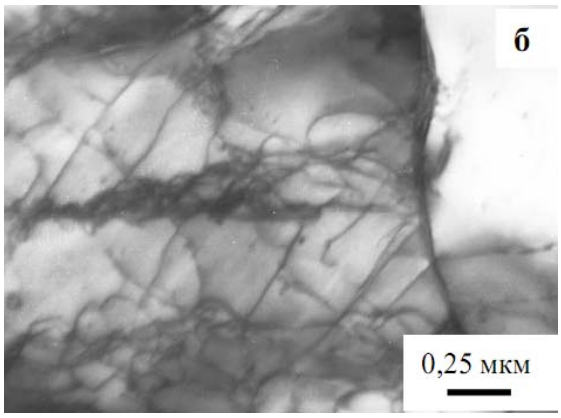
Табл. 2. Объемная доля полосовой субструктуры при различных значениях потенциала

Электрический потенциал, В	P_V
0	0,03
0,5	0,04
1	0,21

Как видно из таблицы 1 основным типом дислокационной субструктуры является дислокационный хаос, объемная доля которого увеличивается при увеличении потенциала до 1 В.

Рост объемной доли полосовой субструктуры с ростом потенциала свидетельствует о существенно ускорении процесса пластической деформации. Таким образом, увеличение электрического потенциала поверхности образца активизирует работу источников дислокаций (увеличивается плотность как распределенных по объему дислокаций, так и дислокаций, сосредоточенных в субграницах полосовой структуры), следовательно процесс релаксации напряжений ускоряется при изменении электрического потенциала поверхности образца.





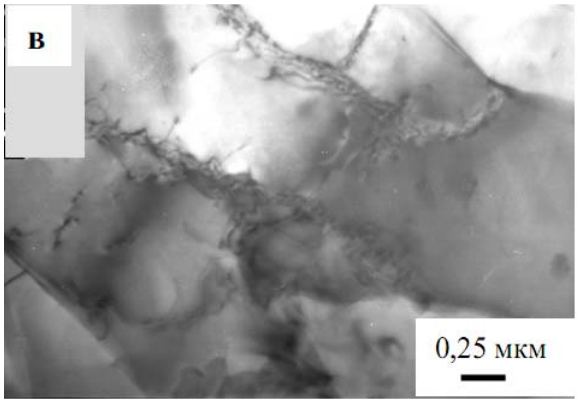


Рис. 3. Дислокационные субструктуры алюминия, формирующиеся при релаксации напряжений (а – хаотическая, б – сетчатая, в – полосовая).

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт № П411) и РФФИ (проект 10-07-00172-а).

Список литературы

1. Невский, С. А. Влияние электрического потенциала на активационные параметры релаксации напряжений технически чистого алюминия / С. А. Невский, С. В. Коновалов, В. Е. Громов // Вестник Тюменского государственного университета – 2010. – № 6. – С. 54 – 60.

Коновалов, С. В. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия / С. В. Коновалов [и др.]. // ФТТ. – 2007. – Т.49. – Вып.8. – С.1389 – 1391.

ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИИ ПОДРЕШЕТОК НА ЗОННУЮ СТРУКТУРУ КРИСТАЛЛОВ Ag_2O И Cu_2O

Нефёдова Д.С., Николаева Е.В.
Научный руководитель: Поплавной А.С., д.ф.-м.н., профессор
Кемеровский государственный университет, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6
E-mail: darinuca@mail.ru

Классические подходы представления идеального кристалла основаны на его построении в виде бесконечно повторяющейся в пространстве элементарной ячейки, которую целесообразно выбирать по принципу минимального объема. Однако любое сложное кристаллическое соединение можно построить и иным образом – виде совокупности трансляционно совместимых подрешеток Бравэ одинаковых или различных сингоний [1]. Такой подход (метод подрешеток) дает возможность исследовать характеристики кристалла с помощью учета соответствующих структурных параметров его подрешеток, позволяет описать имеющуюся в них дополнительную, «скрытую» симметрию и предсказать вызванные ею топологические особенности спектров элементарных возбуждений кристаллов[2-4].

Электронное строение оксидов мели и серебра являлось предметом исследования многих авторов, это обусловлено как чисто практическим, так и теоретическим интересом. Cu_2O широко изучался для выяснения его роли в возникновении высокотемпературной сверхпроводимости, и здесь важно понимание механизмов образования связи Cu – O и возможной прямой связи Cu – Cu, Ag_2O также рассматривается как возможный кандидат в сверхпроводники. Однако большее применение он нашел как обязательный элемент в проводящих стеклах Ag_2O – AgI – P_2O_5, Ag_2O – AgI – V_2O_3. Электронное строение помогает установить характер химической связи между Ag и O, что необходимо для понимания локальной структуры стекла и механизма ионной проводимости[5].

Ag_2O и Cu_2O являются изоструктурными соединениями. Рассмотрим данные кристаллические соединения на предмет выявления высокосимметричных подрешеток. Кристаллическая решетка данных соединений – простая кубическая с постоянными для Ag_2O равными 4,718Å, а для Cu_2O – 4,2696Å и пространственной группой № 224 (O_h^4). В этих соединениях имеются две высокосимметричные подрешетки: **объемноцентрированная кубическая (ОЦК)** подрешетка кислорода и **гранецентрированная кубическая (ГЦК)** подрешетка Ag/Cu, сдвинутые относительно друг друга на ¼ телесной диагонали элементарной ячейки.

Влияние подрешеток на зонные спектры можно проследить путем построения **зон Бриллюэна (ЗБ)** кристалла и подрешеток. На рис. 1. представлены ЗБ кристалла и его подрешеток: ЗБ кристалла представляет собой куб, а ЗБ его подрешеток: а) ОЦК – икосаэдр с объемом в 2 раза большим ЗБ решетки; б) ГЦК – додекаэдр с объемом в 4 раза большим ЗБ решетки.

При трансляции симметричных точек и линий ЗБ подрешеток на векторы трансляций обратной решетки получена перестройка ЗБ подрешеток, построена таблица сопоставления звезд волновых векторов подрешеток и кристалла (табл. 1), на основе, которой можно предсказать, как будут «сворачиваться» зонные спектры подрешеток в ЗБ кристалла.

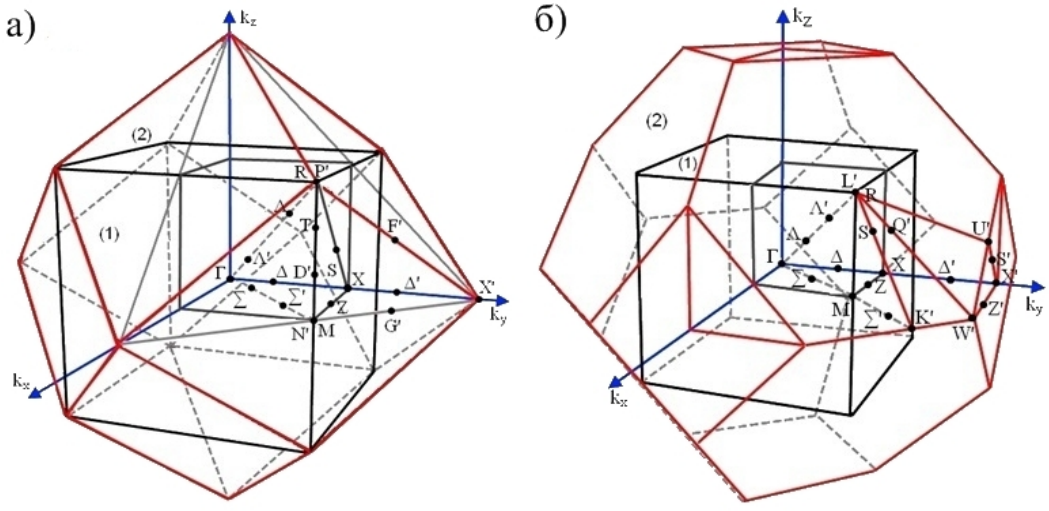


Рис.1. а) ЗБ кристаллической решетки (1) и ОЦК подрешетки кислорода (2); б) ЗБ кристаллической решетки (1) и ГЦК подрешетки серебра (2) кристалла.

Табл.1. Разложение непроводимых звезд подрешеток по непроводимым звездам кристалла со структурой

куприта

Кристаллическая решетка ПК		Подрешетка ОЦК		Подрешетка ГЦК	
Тип звезды	Векторы звезды ед. 2π/a	Тип звезды	Векторы звезды ед. 2π/a	Тип звезды	Векторы звезды ед. 2π/a
Γ	(0,0,0)	X'	(0,1,0)	X'	(0,1,0)
		Γ'	(0,0,0,)	Γ'	(0,0,0)
M	(1/2,1/2,0)	N'	(1/2,1/2,0)	Σ_0	(3/4,3/4,0)
X	(0,1/2,0)	Δ	(0,1/2,0)	W'	(1/2,1,0)
Δ	(0,μ/2,0), -1<μ<0	Δ'	(0,μ,0), 1/2<μ<1	Z'	(μ/2,1,0), 0<μ<1
			(0,μ,0), -1/2<μ<0	Δ'	(0,μ,0), 1/2<μ<1;-1/2<μ<0
	(0,μ/2,0), 0<μ<1	Δ'	(0,μ,0), 0<μ<1/2	Z'	(μ/2,1,0), 0<μ<1
			(0,μ,0), -1<μ<-1/2	Δ'	(0,μ,0), 0<μ<1/2;-1<μ<-1/2
Σ	(μ/2,μ/2,0), -1<μ<-1/2	Σ'	(μ/2,μ/2,0), -1<μ<-1/2	Σ'	(3μ/4,3μ/4,0), 2/3<μ<1; -2/3<μ<-1/3
		G'	((1-μ)/2,(1+μ)/2,0), 0<μ<1/2		
	(μ/2,μ/2,0), -1/2<μ<0	Σ'	(μ/2,μ/2,0), -1/2<μ<0	Σ'	(3μ/4,3μ/4,0), -1/3<μ<0
		G'	((1-μ)/2,(1+μ)/2,0), 1/2<μ<1	S'	(μ/4,1,μ/4), -1<μ<0
	(μ/2,μ/2,0), 0<μ<1/2	Σ'	(μ/2,μ/2,0), 0<μ<1/2	Σ'	(3μ/4,3μ/4,0), 0<μ<1/3
		G'	((1-μ)/2,(1+μ)/2,0), -1<μ<-1/2	S'	(μ/4,1,μ/4), 0<μ<1
	(μ/2,μ/2,0), 1/2<μ<1	Σ'	(μ/2,μ/2,0), 1/2<μ<1	Σ'	(3μ/4,3μ/4,0), 1/3<μ<2/3,-1<μ<-2/3
		G'	((1-μ)/2,(1+μ)/2,0), -1/2<μ<0		

Рассмотрим влияние высокосимметричной подрешетки кислорода на структуру зонного спектра кристаллов со структурой куприта.

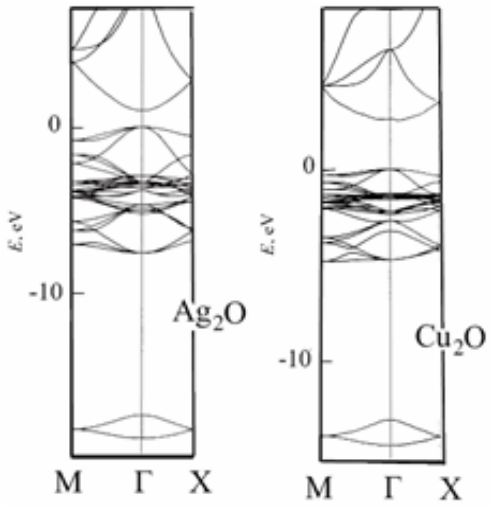


Рис. 2. Зонная структура Ag_2O и Cu_2O

На рис. 2 приведен зонный спектр кристаллов Ag_2O и Cu_2O, который вычислен в работе [5]. Нижние валентные зоны образованы 2s-состояниями кислорода. В Cu_2O верхняя валентная зона в области энергий -(5-3) eV образована в основном из O_{2p}-состояний, но с заметным участием и Cu_{3d}. Собственно Cu_{3d} следует далее в достаточно узком интервале энергий ~ 1,5 eV. Электронные состояния в окрестности вершины валентной зоны имеют смешанную анион-катионную природу. В Ag_2O вклад O_{2p}-состояний в верхнюю валентную зону значительно выше, чем в Cu_2O. Как видно из рис. 1. и табл. 1. в направлении Δ $(0,k_y,0)$ граница ЗБ кристалла находится на середине линии (Γ-X'), точка X' ЗБ подрешетки кислорода попадает в центр ЗБ кристалла в точку Γ. В направлении Σ $(k_x,k_y,0)$ граница ЗБ кристалла совпадает с границей ЗБ подрешетки, но на направление (Γ-M) переходит направление (N'-X'), при этом M и N' совпадают. Следовательно, в точках M и X ЗБ кристалла будет происходить свертка зонного спектра, что и видно на рис. 2.

Итак, при помещении зонных спектров подрешетки в ЗБ кристалла в результате свертки число ветвей, отвечающих состояниям O удвоится, а Ag/Cu – учетверится. Такое увеличение происходит за счет того, что ЗБ подрешеток O и Ag/Cu с ЗБ решетки соотносятся как 2:1 и 4:1 соответственно.

Список литературы

1. Поплавной А.С., Силинин А.В. Подрешетки в кристаллах // Кристаллография. - 2005. - Т. 50, № 5. - С. 782-787.

2. Поплавной А.С. Симметрия подрешеток и генезис спектров элементарных возбуждений в кристаллах // Материаловедение. – 2005. - № 9. – С. 2-10.

3. Поплавной А.С., Силинин А.В. Кристаллы с подрешетками кубической сингонии и особенности их спектров элементарных возбуждений // Известия вузов. Физика. – 2006. – Т. 49, № 5. – С. 21-27.

4. Поплавной А.С. Симметрия фононных спектров в кристаллах с подрешетками // Известия вузов. Физика. – 2008. – Т. 51, № 7. – С. 31-37.

5. Гордиенко А.Б., Журавлев Ю.Н., Федоров Д.Г. Зонная структура и химическая связь в Cu_2O и Ag_2O // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49, № 2. – С. 216-220.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ И ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТА

Новосёлова А.П., Сударев Е.А.
Научный руководитель: Лотов В.А., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: a_novoselovaa@mail.ru

На протяжении многих веков бетон был и остается основополагающим элементом строительства, символизируя прочность и монолитность любого капитального сооружения. Однако его популярность не была бы столь высокой без постоянных разработок и внедрения передовых технологий. Так, с течением времени в бетонные конструкции стали добавлять металлический каркас, в результате чего появился широкий спектр железобетонных изделий. А с развитием химической промышленности стало возможным изменять технические характеристики бетона на структурном уровне, используя всевозможные химические добавки. Но наряду с химическими добавками в современном строительстве в последнее время стало актуальным применять активные минеральные добавки (МД), представляющие собой порошки различной минеральной природы, получаемые из природного (диатомит, опока и др.) или техногенного сырья (золы, шлаки и др.).

Среди техногенных добавок, особое внимание уделяется микрокремнезему (МК), который представляет собой пылевидный отход производства кремнийсодержащих сплавов (ферросилиция, силикомарганца, кристалличекого кремния и др.) с очень маленькими размерами (0,1-0,5 мкм) и высокоразвитой удельной поверхностью (13000-30000 $м^2/кг$). Поскольку дисперсность частиц активного кремнезема, почти в 100 раз меньше зерен цемента, то данная добавка обладает повышенной реакционной способностью, вступая при этом в химические реакции с продуктами гидратации цемента.

Механизм действия микрокремнезема в основном обусловлен ее химическим взаимодействием с известью, выделяющейся в результате гидролиза трехкальциевого силиката (C_3S) при гидратации цемента [1]. При этом, в основном, образуются низкоосновные гидросиликаты кальция типа CSH (I), по следующей химической реакции:

$$SiO_2 + Ca(OH)_2 + n(H2O) \rightarrow$$
$$\rightarrow (1\text{-}1{,}5)\ CaO{\cdot}SiO_2{\cdot}(0{,}5\text{-}2{,}5)\ H_2O.$$

Образующееся по реакции дополнительное количество гидросиликатов кальция, создает стесненное состояние в системе «цемент-вода», за счет вовлечения активной части добавки в процессы формирования структуры цементного камня, придавая тем самым этой структуре повышенную плотность и прочность в процессе твердения.

Поэтому целью настоящей работы является исследование влияния ультрадисперсного кремнезема на процессы гидратации и твердения цемента.

В качестве сырьевых материалов в работе использовался портландцемент ПЦ М500 Д0 (ГОСТ 10178-85, ООО «Топкинский цемент»). Химический и минералогический составы портландцемента приведены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. Химический состав портландцемента, %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ППП	Сумма
21,01	5,48	3,82	66,13	1,32	0,26	0,22	98,24

Таблица 2. Минералогический состав портландце- мента, %

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
65,2	11,1	8,1	11,6

Химический состав использованного в работе микрокремнезема (производство ОАО «Кузнецкие ферросплавы») приведен в таблице 3.

Таблица 3. Химический состав микрокремнезема, %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	C	S
90-92	0,68	0,69	0,85	1,01	0,61	1,23	0,98	0,26

Эффективность действия данной активной минеральной добавки была проверена на кинетике набора прочности цементного камня. Из цементного теста нормальной густоты (В/Ц = 0,25), приготовленного путем смешения цемента с заданным количеством микрокремнезема (% от массы цемента), и затворенного водой, формовались образцы размером 2х2х2 см, которые затем выдерживались в воздушно-влажных условиях. Через определенные сроки твердения образцов, определялся их предел прочности при сжатии, результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Прочность цементных образцов с добавкой микрокремнезема

Добавка	Количество добавки, %	Прочность при сжатии (МПа) после твердения в течение, сут			
		3	**7**	**14**	**28**
Без добавок	-	41,8	47,1	49,2	50,0
МК	1	48,7	50,5	51,4	70,3
	2	44,2	49,2	52,2	61,7
	4	62,6	63,1	65,0	67,9
	6	41,8	47,3	47,6	51,8

Из данных таблице 4 следует, что использование микрокремнезема, интенсифицирует набор прочности цементного камня как в ранние (до 7 суток 4% микрокремнезема), так и в поздние сроки твердения (28 суток 1-6% микрокремнезема). Через 28 суток твердения цементный камень увеличивает прочность при сжатии в среднем на 51,7 %.

Кроме кинетики набора прочности цементных образцов с добавкой микрокремнезема в ходе работы были определены истинные плотности гидратированных образцов (см. таблица 5) и проведена оценка степени их гидратации.

Таблица 6. Истинные плотности гидратированных образцов

Добавки	Истинная плотность, кг/м^3			
	3 сут	**7 сут**	**14 сут**	**28 сут**
Без добавок	2561	2545	2533	2525
1 % МК	2462	2461	2410	2406
4 % МК	2420	2404	2371	2346

Из экспериментальных данных видно, что истинная плотность уменьшается с увеличением сроков твердения. Это происходит за счет синтеза гидратных новообразований с наименьшей плотностью по сравнению с истинной плотностью клинкерных минералов цемента. В образцах с добавкой микрокремнезема видно заметное снижение истинной плотности с начальных сроков твердения. Это говорит о благоприятном влиянии данной добавки на процессы гидратации портландцемента.

О полноте протекания процессов гидратации следует судить по степени гидратации α (таблица 6).

Таблица 6. Степень гидратации цементных систем

Добавки	Степень гидратации, α			
	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
Без добавок	0,57	0,59	0,61	0,70
1% МК	0,70	0,73	0,77	0,82
4 % МК	0,75	0,76	0,83	0,84

Из таблицы 6 видно, что добавка микрокремнезема повышает степень гидратации цемента, что говорит о ее положительном влиянии.

Таким образом, результаты исследований показывают положительное влияние ультрадисперсного кремнезема на процессы гидратации и твердения цемента, использование которого в мировой строительной индустрии позволит получать высококачественные и высокотехнологичные бетоны (High Performance Concrete, HPC).

Список литературы

1. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы.- Ростов н/Д.: Феникс, 2007. - 221 с.

ОГРАЖДАЮЩИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА, АРМИРОВАННОГО БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОМ

Пономарев М.В., Пономарева Г.П., Сладков О.М.
Научный руководитель: Артеменко А.А.., д.т.н., профессор
Энгельсский технологический институт Саратовского государственного технического университета,
413100, Россия, г. Энгельс, пл. Свободы 17
E-mail: pgp54 @ mail. ru

Применяемые в промышленности, ограждающие и строительные конструкции из пластмасс обладают низкой ударной вязкостью, поэтому возникает необходимость в поиске путей создания новых материалов с высокой ударной вязкостью или снижения хрупкости существующих. Особый интерес вызывают пенопласты, среди которых все большее применение находит пенополиуретан (ППУ) [1]. ППУ является привлекательным в силу своей низкой плотности. Но так как он обладает не высокой прочностью при изгибе, возникает вопрос об улучшении этой характеристики с сохранением плотности.

Желаемого результата можно достичь путем модификации или армирования. Улучшение свойств с помощью химической модификации, как на стадии получения компонентов системы т. е. полимеризации, так и на стадии формирования конструкции, дает положительный результат, но может изменить состав и свойства в целом, а не только механические характеристики. Другой путь - механический, включающий в себя физическую модификацию и армирование, т. е. введение в конструкцию различных материалов, что может значительно повысить прочностные характеристики в целом и в частности показатель прочности при сжатии и изгибе без существенного увеличения плотности.

В данной работе рассмотрены способы повышения прочностных свойств ППУ, армированием конструкции базальтовой тканью (созданием слоистой композиции, наружными слоями которой является базальтовая ткань) [2] и введением в конструкцию ППУ базальтовых нитей, равномерно распределенных по всему объему и образующие пространственную решетку в структуре ППУ [3].

Для получения опытных образцов армированного базальтопластиком пенополиуретана использовали:

- компоненты жесткой пенополиуретановой системы (полиольный компонент АТ-205ПН, ТУ 2226-006-43862634-07, изоционатный компонент: Воранат 229 ТУ 2226 – 005 – 43862634 -0);
- базальтовая ткань БТ-12(ТУ5952-031-00204949-95);
- эпоксидный компаунд Этал 146М.

Опытные образцы получали несколькими способами:

1) введением между двумя слоями базальтовой ткани (рис.1) смеси полиольного и изоционатного компонентов жесткой полиуретановой системы, выдерживали под давлением в течение 15 минут до завершения пенообразования, извлекали из формообразующей конструкции и оставляли на созревание до полного отверждения на 24 часа;

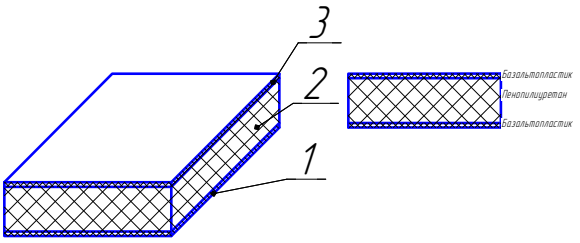


Рис.1 Слоистая композиция: 1 – базальтовая ткань; 2- ППУ ; 3 – базальтовая ткань.

2) в формообразующей конструкции предварительно натягивали с заданным усилием в определенном порядке базальтовые нити, на расстоянии ≈ 10 мм., закрепляли в торцевых стенках формообразующей конструкции. Затем заполняли форму реакционной смесью из компонентов жесткой пенополиуретановой системы, которая, вспениваясь, обволакивает и пропитывает нити (рис.2).

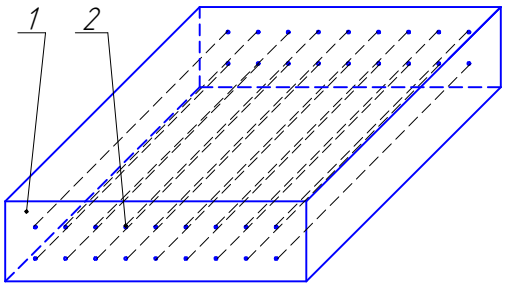


Рис.2 Пенополиуретановая конструкция, армированная базальтовыми нитями, вытянутыми вдоль плиты: 1 – ППУ; 2 – базальтовая нить.

3) в образцах этого типа армирующие нити, натянутые в формообразующей конструкции с определенным усилием помимо продольной ориентации имеют вертикальное положение нитей (рис.3). Причем в образцах третьего типа базальтовые нити были использованы как в чистом виде, так и предварительно пропитанные эпоксидным компаундом. В образовавшуюся пространственную решетку из базальтовых нитей (или базальтопластика), вводится реакционная смесь компонентов же-

сткой пенополиуретановой системы, которая, вспениваясь, обволакивает и пропитывает нити (для нитей, не пропитанных эпоксидным компаундом), и создает прочный адгезионный слой с нитями, пропитанными компаундом (рис.3).

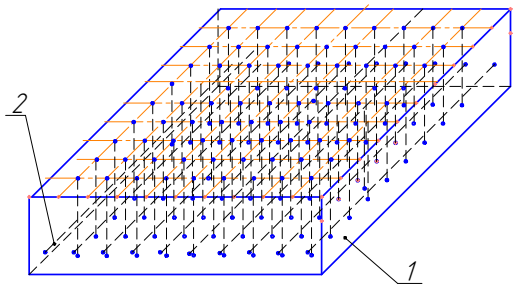


Рис.3 Пенополиуретановая конструкция, армированная базальтовыми нитями, образующими пространственную решетку:
1 – ППУ;2 – базальтовая нить.

В результате проведенных исследований было установлено, что армированные конструкции обладают улучшенными прочностными характеристиками (таб.1) по сравнению с исходным не армированным ППУ.

Таблица 1

Физико-механические характеристики конструкций

Состав композиции	Плотность, кГ/м^3	Прочность при изгибе $\sigma_{изг}$, МПа	Прочность при сжатии $\sigma_{сж}$ МПа
ППУ исходный	57,9	0,25	0,20
ППУ, армированный базальтовой тканью	63,9	0,43	0,22
ППУ, армированный базальтовыми нитями без наружных слоев	58,0	0,32	0,21
ППУ, армированный базальтовыми нитями, пропитанными компаундом без наружных слоев	5 9,6	0,38	0,29

Плотность полученных образцов по сравнению с исходным увеличилась для первого 9,3 %, для второго на 0,17%, для третьего на 2,9%. Повышается прочность и при изгибе на 41% ,22% и 34% соответственно а также при сжатии и на 9%, 4,6% и 31% соответственно.

Армирование базальтовой тканью утяжеляет конструкцию, плотность увеличивается, в то время как при армировании базальтовыми нитями плотность увеличивается не значительно. Расход армирующего материала при армировании нитями меньше на 85% чем при армировании тканью и, следовательно, стоимость конструкции возрастет при армировании тканью, чем при армировании нитями по сравнению с неармированным ППУ, но незначительно.

Таким образом, армирование ППУ базальтовым наполнителем способствует увеличению прочности конструкции из пенополиуретана и зависит от армирующего элемента. При армировании базальтовыми нитями улучшается прочность при изгибе, но в меньшей степени, чем при армировании базальтовой тканью и существенно повышается при армировании базальтовыми нитями, пропитанными эпоксидным компаундом. Армирование базальтовыми нитями происходит с незначительным увеличением плотности конструкции, а расход армирующего материала снижается. Однако армирование базальтовой тканью поверхности конструкции способствует снижению горючести, сводя ее до минимуму, т.к. базальтовая ткань является не горючим материалом.

Список использованной литературы

1. Абрамов С. А. Полиуретаны фирмы ООО «Эластокам» для применения в строительстве, производстве сэндвич-панелей в автомобильной и мебельной промышленности.//С. А. Абрамова // Пластические массы. - 2007. - №9. – С. 3-7.

2. Курсакова И. В. Гибридная панель на основе пенополиуретана и базальтопластика/ И.В. Курсакова, Г. П. Пономарёва, О. М. Сладков //XV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» 4-8 мая 2009г.- Томск.: Томский политехнический университет

3. Заявка 2009148727 Российская Федерация МПК E04C 1/100, Пенополиуретановый блок/ Пономарева Г.П., Сладков О.М., Артеменко А.А., Пономарев М.В.; заявитель Пономарева Г.П., Сладков О.М., Артеменко А.А., Пономарев М.В / №2009148727/22; заявл.28.12.2009.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ С УЧЁТОМ ЕЁ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Посысаев С. С.
Научный руководитель: Колмакова Т. В., к. ф.-м. н.
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: cooller22@mail.ru,

Основной чертой нового тысячелетия является возрастающий интерес к качеству и продолжительности жизни человека. Достижение этой цели, в частности, предполагает создание материалов для искусственных органов и тканей, в том числе материалов для замены костной ткани. Материалы, претендующие на роль костных имплантатов должны обладать биологической совместимостью, т. е. быть нетоксичными, не отторгаться организмом как инородное тело, иметь достаточную пористость для прорастания костной ткани сквозь имплантат. Кроме вышеперечисленных свойств имплантаты должны обладать близкими к костной ткани структурой, составом и механическими свойствами. Костная ткань непрерывно изменяется на протяжении жизни человека. Этот процесс получил название ремоделирования или «костного оборота». В течение первых двух десятков лет жизни человека идет процесс моделирования костей скелета, когда кости скелета растут и приобретают присущую им форму. После того как сформировался скелет взрослого человека кости способны лишь к ремоделированию [1]. Особенность этого физиологического феномена в том, что в многочисленных микроскопических участках поверхности кости возникают явления ее рассасывания (резорбции) и восстановления. Костная структура изменяется с возрастом, адаптируется и модифицируется в зависимости от окружающей механической обстановки. Изменения костной структуры зависят от образа жизни, который ведет человек, его питания, состояния здоровья. Таким образом, для разработки имплантатов актуальным является исследование механического поведения костной ткани с учетом индивидуальных особенностей ее строения.

Кость представляет собой многоэтажный композит [2, 3], обладающий анизотропными свойствами. Большинство костей взрослого человека состоит из пластинчатой костной ткани. Из нее образовано компактное и губчатое вещество, распределение которых зависит от функциональных нагрузок на кость. Губчатый компонент костей составляет приблизительно 20% всего скелета, компактное вещество составляет 75-80% [2]. Компактное (кортикальное) вещество кости образует диафизы трубчатых костей, в виде тонкой пластины покрывает их снаружи, а также губчатые и плоские кости, построенные из губчатого вещества [4], т.е образует внешнюю оболочку вокруг всех костей. Губчатое (трабекулярное, спонгиозное) вещество кости напоминает губку, построенную из костных пластинок (балок) с ячейками между ними [1].

Костная ткань является биологическим композитом, основу которого составляет органический и минеральный матрикс [1,3,5]. В компактной кости органический матрикс составляет около 20%, неорганические вещества– 70% и вода–10% [5]. Основным элементом конструкции компактной костной ткани являются остеоны [3,5], которые представляют собой конструкцию из 4-20 концентрически расположенных ламелл (цилиндрических оболочек) толщиной 3-7мкм с разными направлениями и углами навивки волокон коллагена (рис. 1). Остеон образуется вокруг центрального гаверсова канала, приблизительно кругового сечения, внутри которого проходят кровеносные сосуды, нервы. Ориентированы остеоны вдоль продольной оси кости.

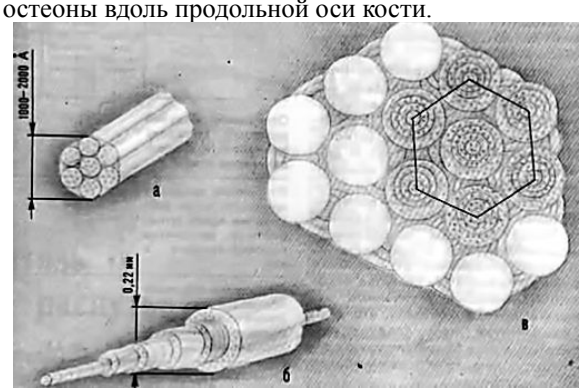


Рис.1. Строение трубчатой кости: а - фибрилла, составленная из шести микрофибрилл; б - остеон, состоящий из пяти ламелл с разными направлениями навивки, в - расположение остеонов в поперечном сечении кости [3]

Ориентация фибрилл и кристаллов определяет соответствующие механические свойства кости такие как прочность, жесткость, твердость в зависимости от направления приложенных сил [1].

На рис. 2 представлены изображения поперечного сечения компактной костной ткани при поляризованном свете различных видов остеонов [4]. Яркость в костной ткани при поляризованном свете связана с ориентацией коллагеновых волокон в ламеллах [4]. На основе изображений выделяют 3 типа остеонов. Считается, что снимки светлых остеонов соответствуют ламеллам, в которых коллагеновые волокна расположены параллельно плоскости и перпендикулярно Гаверсову каналу (тип I–

поперечные волокна), а также могут располагаться под углом ± 45˚ к оси остеона. Темные остеоны состоят из ламелл, в которых коллагеновые волокна располагаются параллельно оси кости (тип III–продольные волокна). В чередующихся (темно-белых) остеонах коллагеновые волокна меняют ориентацию при переходе от одной лемелле к другой (тип II–переменные волокна) согласно предыдущей классификации.

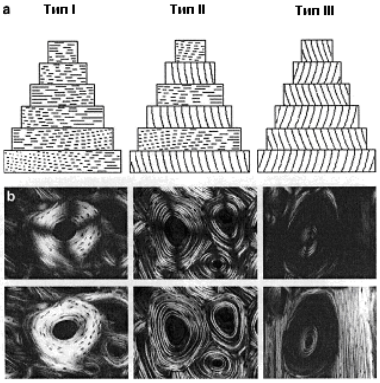


Рис.2. а Схематичное представление ориентации коллагеновых волокон в ламеллах остеона; b поперечное сечение компактной костной ткани при поляризованном свете различных видов остеонов [4]

В работе костная ткань рассматривается как композиционный материал, где в качестве армирующих элементов конструкции выступают остеоны, а в качестве матрицы – оставшиеся после ремоделирования старые кусочки цилиндрических ламелл, прочно склеенные между собой, которые образуют довольно однородную по механическим свойствам массу [3]. В качестве структурного элемента компактной кости выбирается некоторый объем с размерами $a \times b \times c$, внутри которого расположен остеон диаметром $d1$ и диаметром гаверсова канала d (рис. 3).

Размер b определяется средней длиной остеонов в кости, размеры a и c определяются полурасстоянием до центра следующего остеона в разных направлениях $a1$, $a2$, $c1$, $c2$. Образец кортикальной кости представляется набором таких структурных элементов.

Механические свойства матрицы и армирующих элементов–остеонов определяются свойствами и ориентацией коллагеново-минеральных волокон (согласно описанным выше типам). Материал матрицы считается макроскопически изотропным, материал остеона–ортотропным.

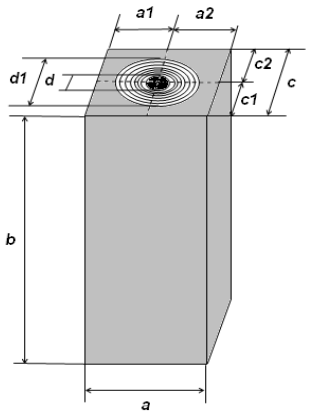


Рис.3. Геометрическая модель структурного элемента компактной костной ткани

На рисунке 4 представлена конечно-элементная модель структурного элемента компактной костной ткани.

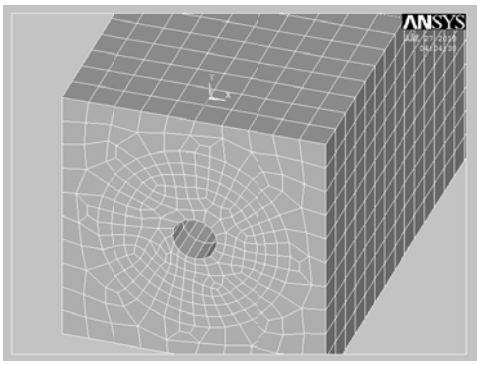


Рис.4. Конечно-элементная модель структурного элемента компактной костной ткани

Литература

1. Аврунин А. С. Формирование остеопоротических сдвигов в структуре костной ткани (костные органы, структура костной ткани и ее ремоделирование, концепция патогенеза остеопороза, его диагностики и лечения)/ А. С. Аврунин, Н. В. Корнилов, А. В. Суханов, В. Г. Емельянов.– Санкт-Петербург. 1998. –84 с.

2. Архипов-Балтийский С. В. Рассуждение о морфомеханике. Норма: в 2х томах.– Калининград.– 2004.– 820 с.

3. Утенькин А. А. Кость-многоэтажный композит// Химия и жизнь.–1981.– №4. – С. 38-40.

4. Фигурска М. Структура компактной костной ткани// Российский журнал биомеханики. – 2007. – том.11. – №3. – С.28-38.

5. Данильченко С. Н. Структура и свойства апатитов кальция с точки зрения биоминералогии и биоматериаловедения (Обзор)// Вісник СумДУ. Серия Физика, математика, механика.– 2007. – №2. – С.33-59.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ

Романов Д.А., Будовских Е.А.
Научный руководитель: Громов В.Е., д.ф.-м.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Россия, г. Новокузнецк, пр. Кирова 42
E-mail: romanov_da@physics.sibsiu.ru

Современное состояние электротехники выдвигает ряд проблем, стимулирующих разработки в области создания электроконтактных материалов. Объемные материалы систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu обладают высокой электроэрозионной стойкостью. Электроконтактные материалы системы WC-Cu обладают высокой прочностью, электропроводностью, твердостью и износостойкостью. В последнее время альтернативой созданию объемных материалов все чаще выступает формирование покрытий, обладающих аналогичными свойствами. Задачами, не нашедшими до настоящего времени технологической реализации, являются формирование покрытий систем W-Cu, Mo-Cu, Ti-B-Cu, обладающих высокой электроэрозионной стойкостью. Их решение связано с трудностью жидкофазного смешивания в поверхностных слоях молибдена и меди, так же как и вольфрама и меди. Существует проблема формирования упрочняющей фазы диборида титана в поверхностных слоях медной матрицы. Электроконтактные материалы, работающие в условиях динамических нагрузок, помимо высокой электропроводности должны иметь достаточно высокие твердость и износостойкость. С этой целью материалы, предназначенные для изготовления электроконтактных изделий, изготавливают на основе карбида вольфрама с добавлением легирующих материалов, например меди. Добавление углерода в поверхностный слой на основе системы W-Cu приводит к формированию высокотвердых карбидов вольфрама α-W_2C, WC_{1-x}, WC.

Подчас некоторые вопросы не удается снять путем разработки новых объемных материалов, а единственным и наиболее экономически выгодным способом их решения является напыление покрытий. Одним из актуальных является разработка способа соединения алюминия и меди при дальнейшей эксплуатации контактов в условиях протекания электрического тока.

Важными требованиями к способам нанесения покрытий, пригодных для практического использования, являются обеспечение высокой адгезии и отсутствия пор в покрытии. В противном случае возможно отслаивание покрытия, что приводит к нарушению работы электроконтактов, а в ряде случаев полностью выводит их из строя. Пористость покрытий является их существенным недостатком, поскольку она отрицательно сказывается на их электрической проводимости, что может вызвать перегрев рабочей части электроконтактов.

В последние годы разрабатывается способ обработки поверхности многофазными плазменными струями продуктов электрического взрыва проводников. Технология электровзрывной обработки поверхности позволяет получать высококачественные беспористые покрытия, обладающие адгезией с основой на уровне когезии. С ее помощью можно получить заранее прогнозируемые функциональные свойства поверхности изделий. Одной из областей применения этого способа является модификация поверхностных слоев материалов электротехнического назначения. Путем изменения параметров воздействия способ позволяет как наносить покрытия из продуктов взрыва проводников, так и осуществлять формирование поверхностных слоев, легированных продуктами взрыва, и обеспечить высокий уровень их свойств [1].

Целью исследования в настоящей работе были особенности формирования электровзрывным способом структурно-фазовых состояний и свойств контактных поверхностных слоев.

Нанесение покрытий осуществляли на лабораторной установке ЭВУ 60/10 [1]. Она включает емкостный накопитель энергии и импульсный плазменный ускоритель, состоящий из коаксиально-торцевой системы электродов с размещенным на них проводником, разрядной камеры, локализующей продукты взрыва и переходящей в сопло, по которому они истекают в вакуумную технологическую камеру с остаточным давлением 100 Па. Электровзрыв происходит в результате пропускания через проводник тока большой плотности при разряде накопителя.

В настоящее время показана возможность электровзрывного напыления медных покрытий на зажимные поверхности электротехнических соединительных изделий [2]. В работах [3–5] показана возможность формирования композиционных молибден-медных, вольфрам-медных покрытий композиционной наполненной и слоистой структуры, титан-бор-медных покрытий, а также покрытий карбид вольфрама-медь. Изучены особенности структуры и шероховатости их поверхности [6]. Продолжаются исследования металлофизических особенностей сформированных электроэрозионностойких покрытий и выбора оптимальных режимов воздействия. Основные результаты, касающиеся особенностей формирования электровзрывных поверхностных слоев металлов

электротехнического назначения, достигнутые к настоящему времени отражены в монографии [7].

При анализе литературных источников не выявлены предложения, которые превосходят предлагаемые способы по уровню формируемых свойств и простоты технической реализации. Это определяет новизну полученных результатов. На способы формирования электроэрозионностойких молибден-медных, вольфрам-медных, титан-бор-медных покрытий электротехнического назначения поданы заявки на изобретение. В настоящее время они находятся на стадии экспертизы по существу.

Практическим применением разрабатываемых способов является повышение электроэрозионной стойкости электрических контактов, например контактов типа КГТ, поскольку они одни из самых распространенных в промышленности. Замена действующих объёмных электроконтактов на медные с напыленными покрытием возможна в ряде выключателей и коммутационных аппаратов, например в пускателях электромагнитных серии ПМА-4000.

Эти результаты представляет интерес для таких предприятий Кемеровской области, как ОАО «ЗСМК», ОАО «Кузнецкие ферросплавы», US «Русал», горно-угольные компании и другие организации. Внедрение результатов может быть реализовано путем организации участков плазменной обработки контактных поверхностей с использованием оборудования и технологических процессов, разработанных в Сибирском государственном индустриальном университете.

При этом область применения электровзрывных электроэрозионностойких покрытий не ограничена контактами типа КГТ и контактов пускателей электромагнитных серии ПМА-4000. Они могут быть нанесены на любые металлические поверхности плоской формы площадью до 40 $см^2$ за один цикл обработки, либо на внутреннюю поверхность цилиндра это существенно расширяет номенклатуру обрабатываемых изделий. Поэтому предлагаемый проект имеет перспективы дальнейшего развития. Его важным преимуществом является использование электровзрывной установки, которая характеризуется конструктивной простотой, высокой надежностью, низкой стоимостью, отсутствием специальных требований к помещениям и обслуживающему персоналу. Оценка экономической эффективности показывает, что срок окупаемости оборудования при использовании его в условиях производства может составить менее 1 года.

Таким образом, результаты исследования позволят разработать новые способы упрочнения поверхности материалов электротехнического назначения, защитить их патентами и применить для упрочнения конкретной номенклатуры деталей, таких как электрические контакты, выработать рекомендации по их практическому использованию.

Список литературы

1. Физические основы электровзрывного легирования металлов и сплавов: моногр. / А.Я. Багаутдинов, Е.А. Будовских, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов. – Новокузнецк, СибГИУ. – 2007. – 301 с.
2. Пат. 2404493 Российская Федерация МПК H 01R 11/00. Электротехническое соединительное изделие / Е.А. Будовских, Д.А. Романов. – Бюл. 2010, № 32.
3. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Особенности структуры поверхностных слоев электротехнических контактов, сформированных электровзрывным способом // Прочность и разрушение материалов и конструкций: Материалы VI Междунар. науч. конф. Оренбург: ОГУ, 2010. С. 161–168.
4. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Рельеф поверхности и структура электровзрывных композиционных поверхностных слоев системы титан-бор-медь // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: Тр. Всерос. науч.-практ. конф. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. С. 241–245
5. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Формирование электровзрывных электроэрозионностойких покрытий на контактных поверхностях // Наука. Технологии. Инновации: Материалы Всерос. науч. конф. молодых ученых в 4-х частях. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2010. Ч. 1. С. 228–230.
6. Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Топография поверхности электровзрывных псевдосплавных молибден-медных покрытий // IX Международная научно-техническая Уральская школа-семинар молодых ученых-металловедов: Сб. науч. статей. Екатеринбург: УрФУ, 2010. С. 231–233.
7. Формирование структурно-фазовых состояний металлов и сплавов при электровзрывном легировании и электронно-пучковой обработке / под ред. В.Е. Громова – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2011. – 212 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.» (гос. контракт № 14.740.11.0813) и грантом РФФИ (проект № 10-07-00172-а).

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КВАНТОВОГО ВЫХОДА ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Гончарова Ю.С., Саврук Е.В.
Научный руководитель Смирнов С.В., д.т.н., профессор
Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Россия, г. Томск, пр. Ленина 40
E-mail: Xel9I@mail.ru

Для преобразования монохроматического излучения длиной волны 440-470 нм светодиода на основе нитрида галлия в белый свет используются алюминатные люминофоры со структурой граната образованные с участием оксидов иттрия и гадолиния, активированные церием. В научно-технической литературе этот люминофор обозначается как YAG: Ce [1]. Химический состав этих люминофоров отвечает стехиометрической формуле $(Y + \sum Ln) \cdot Me^{3+} \cdot O_{12}$, где Ln = Gd,Ce; Me^{3+} - алюминий или галлий. Содержание церия обычно составляет от 0,05 до 0,1 ат.% . Люминофор имеет максимум в спектре люминесценции при 580- 680 нм с полушириной полосы излучения 120-140 нм и при смешивании с излучением светодиода дает «белый» свет с цветовой температурой 4000-5000 К.

Важнейшей характеристикой люминофора является также зависимость его квантовой эффективности от температуры. Для большинства широко используемых люминофоров на органической и неорганической основе при повышении температуры окружающей среды наблюдается гашение люминесценции, что приводит к уменьшению силы света.

Целью данной работы являлось исследование эффективности люминофора ФЛЖ-7 производства ООО НПК «Люминофор» в рабочем для полупроводникового источника света диапазоне температур от 0 ^oC до 100 ^oC.

Люминофор выпускается в виде порошка желтого цвета со средним размером частиц порядка 5 мкм. Люминофор в составе 10 весовых процентов кристаллической фазы и 90 весовых процентов кремний-органической связки, наносился тонким слоем толщиной порядка 50 мкм на поверхность покровного стекла или светодиодной матрицы размером 15х15 мм. Внешний вид образца для испытаний представлен на рисунке 1. На рисунке 2 показана микроструктура поверхности люминофорного покрытия, полученная на растровом электронном микроскопе при увеличении 1000 раз; темное поле - кремнийорганическая связка, светлые включения порошок иттрий алюминиевого граната. Несмотря на тщательное перемешивание, распределение кристаллической фаракуции в кремнийорганической связке неоднородно. Нагрев и охлаждение образца осуществлялось с помощью элемента Пельтье, с точностью задания температуры не хуже чем ±2^oC. Возбуждение излучения осуществлялось с помощью излучающего диода (фирмы Semi LED, Тайвань) с длиной волны в максимуме 455 нм со световым потоком порядка 50 лм. Контроль яркости свечения люминофора осуществлялся с помощью системы высокого разрешения фирмы Avantes (Голландия) в спектральном диапазоне 0т 540 до 740 нм.

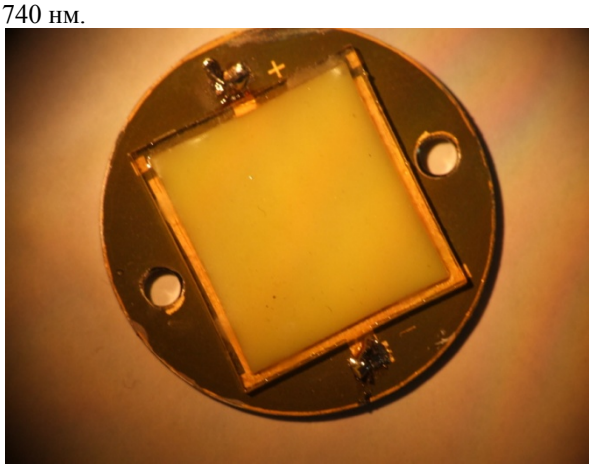


Рис. 1. Внешний вид образца для температурных испытаний люминофорных покрытий

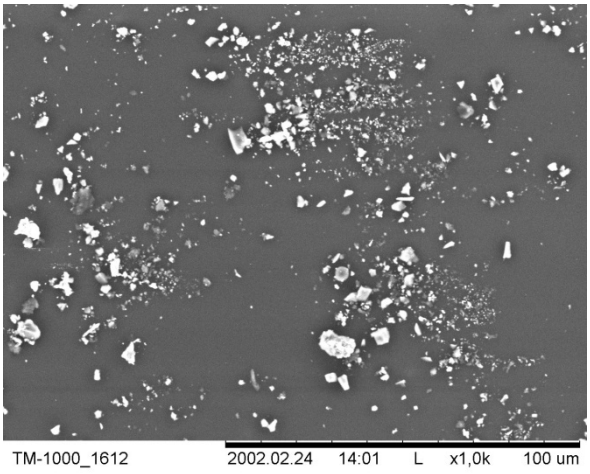


Рис. 2. Микроструктура люминофорного покрытия

Измерения осуществлялись, как на «просвет», то есть при прохождении синего света светодиода сквозь слой люминофора, так и на «отражение». Анализ суммарного излучения светодиода и люминофора показал, что при измерениях на отражение соотношение синего и желто-оранжевого излучения у образца составляло примерно 5:1, что соответствовало цветовой температуре порядка 10000 К. Цветовая температура суммарного излучения при измерениях на «просвет» зависит от толщины слоя люминофора и концентрации в связке кристаллической фазы и может иметь величину

порядка 4000-5000 К. Экспериментальные результаты, показанные на рисунке 3 представляют собой спектры «на отражение», из которого следует, что использование церия в качестве сенсибилизатора приводит к появлению в спектре излучения ряда характерных для возбужденных ионов Ce^{3+} линий, которые могут быть обусловлены неоднородностью фазового состава люминофора [2].

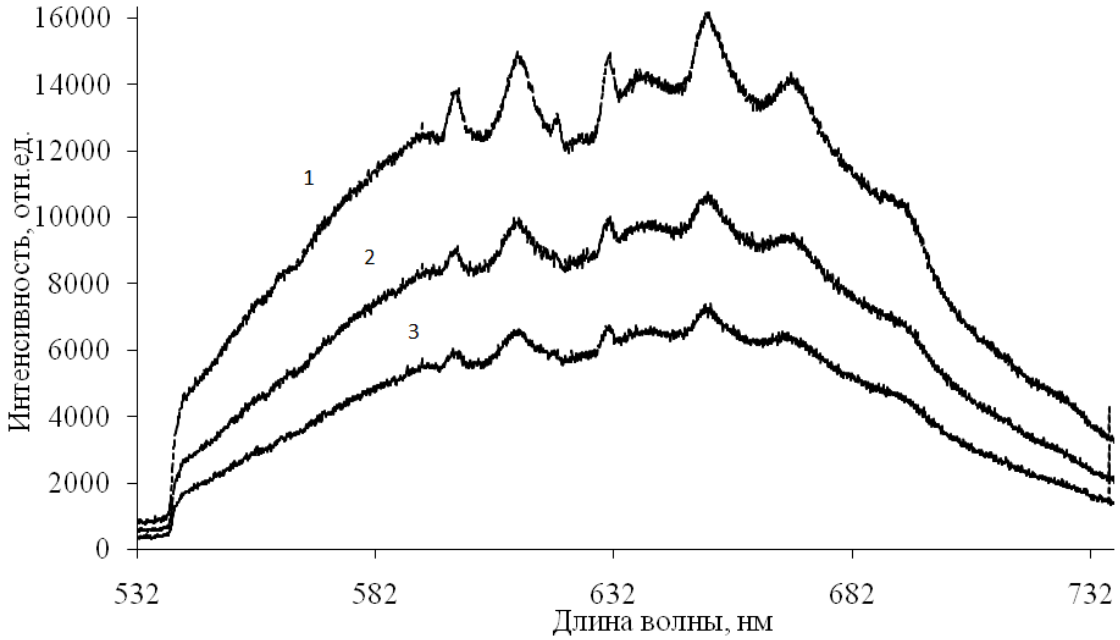


Рис. 3. Спектры люминесценции люминофора при различных температурах: 1 – 100С^0, 2 – 20С^0, 3 – 0С^0

Анализ литературных данных о кристаллической структуре люминофора показал, что это вещество в зависимости от условий получения может иметь орторомбическую, гексагональную и кубическую структуру. Таким образом, данный материал можно рассматривать как гомогенный твердый раствор кубического алюмината иттрия $Y_5Al_5O_{15}$ в фазе допированного церием иттрий алюминиевого граната[3].

Интегральная яркость свечения люминофора увеличивается с возрастанием температуры от 0 ^oC до 100 ^oC более чем в 1,5 раза. Зависимость яркости от температуры соответствует модели основанной на уравнения Аррениуса и имеет вид $I(T)=I_o \exp(\Delta E/k_bT)$. Подобная зависимость может привести к существенному перераспределению спектра излучения полупроводникового источника света и уменьшению при нагреве его цветовой температуры от 6500 до 3500 К. Уменьшение выхода люминесценции при понижении температуры может быть вызвано локализацией возбужденных носителей заряда на дефектах. [4] Оценка энергии тепловой активации процесса люминесценции дает величину порядка 0,75 эВ, но для полного понимания физического механизма исследуемой зависимости требуется более детальное рассмотрение локальной микроструктуры кристаллической решетки люминофора.

Литература.

1. Ф.Е. Шуберт. Светодиоды/-М. Физматлит, 2008, 496 с.

2. С.С. Новосад, И.С. Новосад, Л.В. Костык. Рекомбинационные процессы в $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ // Неорганические материалы, том 44, №5, 2008,с.592-597.

3. Maresh J.A. About the luminescence properties of YAG :Nd, Ce single crystals// Czech/J/ Phys, B36. 1986. P 1079-1089.

4. А.В. Расулева. В.И. Соломонов. Идентификация полос люминесценции в алюминатах иттрия $Y_3Al_5O_{12}$ и $YAlO_3$// Физика твердого тела, том 47, вып. 8, 2005.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНСОЛИДАЦИИ НАНОПОРОШКОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ

Садилов Д.Д., Дутлова Ю.В.
Научный руководитель: Матренин С.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел.(3822)-564-114
E-mail: vm-s@mail.ru

Введение

Тугоплавкие металлы и сплавы на их основе благодаря высокой жаропрочности, находят все более широкое применение во многих отраслях промышленного производства: в космической технике, ракето- и самолетостроении, металлургии, энергетике, химической промышленности и т.д. Вследствие высокой температуры плавления эти материалы и изделия из них производят практически только методами порошковой металлургии [1]. В связи с этим, существенный теоретический и практический интерес представляет исследование активации процесса спекания тугоплавких металлов с целью повышения плотности спеченных изделий, получения более мелкозернистой структуры и улучшения их эксплуатационных характеристик.

Целью работы было исследование процессов формования и спекания НП вольфрама и молибдена с добавками НП никеля, оценка структуры и свойств спеченных материалов.

Эксперимент

Для исследований использовали электровзрывные НП W, Mo и Ni с диаметром частиц до 100 нм [2]. НП отжигали в вакууме при 750°C в течение 2 часов. Порошковые шихты получали мокрым смешиванием НП W и Mo с добавкой 1 мас. % НП Ni в спирте и пластификацией смесей каучуком. Подготовленные шихты формовали методом одноосного прессования, давление прессования составляло 300 МПа. Прессовки спекали в вакууме и аммиачной плазме тлеющего разряда при температуре 1175…1450°C. Время изотермической выдержки составляло 1 ч.

Использовали следующие методики исследования: определение насыпной плотности и текучести порошков, измерение плотности прессовок и спеченных образцов с помощью гидростатического взвешивания, изучение микроструктуры, остаточной пористости, (металлографический микроскоп «Альтами – М»).

Индентирование осуществляли с помощью прибора Nano Indenter G200. В качестве индентора использовали пирамиду Берковича, нагрузка составляла 500 мН (50 г). Конструкция прибора позволяет выводить диаграмму внедрения индентора на монитор в режиме реального времени. Первичные данные – нагрузка и глубина внедрения. По диаграмме внедрения прибор автоматически рассчитывал модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} в соответствии со стандартом ISO 14577.

В таблице 1 приведены расчетные значения плотности прессовок $\rho_п$ и их относительной плотности $\theta_п$. Было получено по 3 прессовки каждого состава при одинаковом давлении прессования. Рассчитанные значения плотностей затем усреднялись.

Таблица 1 – Плотность прессовок

№ образца	Состав	$\rho_ц$, г/см^3	$\theta_п$, %
1	Mo – 1 мас. % Ni	6,8	66
2		6,6	64
3		6,7	65
4	Mo	6,67	65
5		6,64	65
6		6,63	65
7	W	11,57	60
8		11,57	60
9		11,64	60
10	W – 1 мас. % Ni	12,42	64
11		11,75	61
12		11,74	61

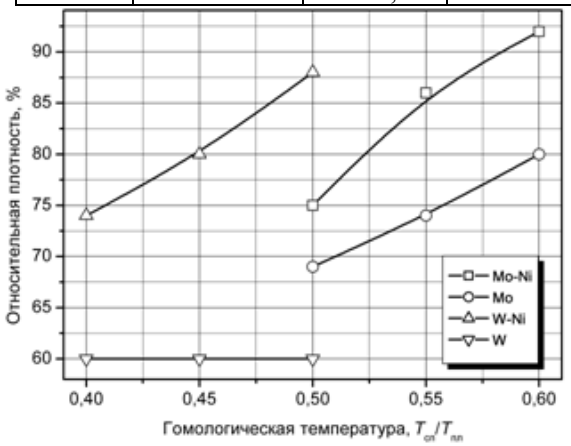


Рис. 2. Зависимость относительной плотности образцов от гомологической температуры спекания

На рис. 2 и в таблице 2 приведены результаты измерения плотности и усадки спеченных прессовок исследованных составов, а также данные испытаний на индентирование. Для сравнительной оценки указаны значения гомологической температуры спекания $T_{сп}/T_{пл}$ и относительной плотности $\Theta_{сп}$. Температура спекания 1175°C соответствовала гомологической 0,4 для W и 0,5 для Mo, 1313°C – 0,45 и 0,55, 1450°C – 0,5 и 0,6 соответственно.

Видно, что прессовки из НП W практически не спеклись при данных температурах, но добавление НП Ni резко активировало процесс спекания. Молибденовые прессовки спекались при указанных температурах, однако имели значительную пористость. И в этом случае добавка НП Ni существенно активировала спекание. Модуль упругости E_{IT} и микротвердость H_{IT} определяли только у

образцов, которые спеклись до плотности более 80%.

Таблица 2 – Свойства образцов, спеченных в вакууме

№	Состав	$t_{сп}$, °С	$\rho_{сп}$, г/см^3	$\theta_{сп}$, %	$У$, %	$E_{ИТ}$, ГПа	$H_{ИТ}$, ГПа
1	Mo – 1 мас. % Ni	1450	9,39	92	11,2	264	3,2
2		1313	8,25	86	8,2	-	-
3		1175	7,65	75	5,2	-	-
4	Mo	1450	8,17	80	7,3	203	2,3
5		1313	7,67	74	5,4	-	-
6		1175	7,12	69	2,8	-	-
7	W	1450	11,53	60	0,2	-	-
8		1313	11,56	60	0,3	-	-
9		1175	11,62	60	0,4	-	-
10	W – 1 мас. % Ni	1450	16,98	88	10,5	322	3,4
11		1313	15,64	80	8,4	-	-
12		1175	14,47	74	7	-	-

В таблице 3 приведены результаты измерения плотности и усадки прессовок, спеченных в аммиачной плазме тлеющего разряда, их модуль упругости и микротвердость. Образец вольфрама без добавки никеля, как и в случае вакуумного спекания, практически не уплотнился. Очевидно, что температура 1450°С (0,5 $T_{пл}$) недостаточна для твердофазного спекания НП W. Добавка 1 % Ni в виде НП в исходную шихту активировала спекание вольфрама. Модуль упругости спеченного легированного никелем вольфрама близок к табличному (398 ГПа) [3]. Сравнение результатов спекания прессовок из НП W в вакууме и в аммиачной плазме тлеющего разряда показало, что во втором случае образцы при примерно одинаковой плотности имели более высокие значения модуля упругости и, особенно, микротвердости. Этот эффект объясняется тем, что спекание порошковых прессовок в плазме тлеющего разряда являются активированным, что было показано в работах [4,5].

Таблица 3 – Свойства образцов, спеченных в плазме

№	Состав	$t_{сп}$,° С	$\rho_{сп}$, г/см^3	$\theta_{сп}$, %	$У$, %	$E_{ИТ}$, ГПа	$H_{ИТ}$, ГПа
1	Mo-Ni	1450	7,86	77	5,3	257	3,1
2	Mo		6,83	66	0	173	1,8
3	W		11,87	61	0	-	-
4	W-Ni		16,33	84	10,	394	4,1

					4		

Минимальная глубина внедрения индентора, которая определяет площадь контакта и твердость материала, получена на образцах, спеченных с добавкой никеля. Результаты испытаний образцов из W, не содержащих добавку Ni не указаны, поскольку данные образцы имели высокую пористость после спекания при 1450°С.

Заключение

При выполнении работы были исследованы процессы формования и спекания НП вольфрама и молибдена с добавками НП никеля, определены плотность, усадка, модуль упругости и микротвердость спеченных образцов. Установлено положительное влияние влияния добавки НП никеля на процесс уплотнения прессовок при спекании, которое приводит к повышению механических свойств спеченных тугоплавких металлов. Показано, что образцы, полученные прессованием НП W с добавкой НП Ni и спеканием в плазме тлеющего разряда, имеют более высокие значения модуля упругости и твердости по сравнению с образцами, спеченными в вакууме.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, проект НК – 616П(8), ГК № П-920.

Литература

1. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.

2. Назаренко О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / Под ред. А.П.Ильина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2005. – 148 с.

3. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005. – 432 с.

4. Слосман А.И., Матренин С.В**.** Электроразрядное спекание керамики на основе диоксида циркония // Огнеупоры, 1994. - №9.- С.24 – 27.

5. Матренин С.В., Слосман А.И., Мячин Ю.В. Спекание железотитанового сплава в аммиачной плазме тлеющего разряда // Металловедение и термическая обработка металлов (МИТОМ), 2007. – № 6. – С. 17 – 23.

ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБЖИГЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ СУГЛИНКОВ

Сафонова Т.В., Зыкова Ю.А.
Научный руководитель к.т.н.Баяндина Е.В., доцент
Филиал Иркутского Государственного Технического Университета в г.Усолье-Сибирское,
665470, Россия, г.Усолье-Сибирское, ул.Менделеева, 65
Tanya1082@mail.ru

Как известно, свойства керамических материалов зависят от процессов структурообразования, происходящих при термической обработке. Поэтому процесс спекания является главным этапом в формировании готового продукта с заданными свойствами. Процессы, проходящие в керамических материалах при обжиге, зависят от минералогического и химического состава сырьевых компонентов. Реакции фазообразования при обжиге, от которых и зависят состав и свойства изделий, будут протекать по-разному в сырье различного состава. С целью выяснения зависимости этих реакций от минералогического состава глин и выявления процессов, происходящих при обжиге данных материалов, проведено комплексное исследование технологических свойств суглинков нескольких месторождений, являющихся основным сырьём для производства строительного кирпича в Иркутской области. Суглинки представляют собой расположенные близко к дневной поверхности глинистые породы с содержанием глинистых менее 10%.

Исследованы пробы шести месторождений глинистого сырья Иркутской области: Новомальтинского, Максимовского, Слюдянского, Чудничного, Тимлюйского, Олонского, а также глина Шара-Кундуйского месторождения Читинской области. Характеристика сырья представлена в табл.1.

Для изучения процессов, происходящих при термической обработке данных материалов, исследовано изменение механической прочности при обжиге от температуры дегидратации глин до их полного спекания (реакционная способность), проведены термический и рентгенофазовый анализы.

Процессы при обжиге глин многими авторами [1,3] разделяются на 3 стадии. Первая – обжиг до 800°С. При данных температурах характерно активное спекание в твёрдом состоянии фракций менее 1 микрона. Вторая стадия – обжиг при 800-1000°С. Этот интервал характеризуется уплотнением структуры керамических материалов в результате контактного спекания сферического стекловидного вещества частиц аморфизированных глинистых агрегатов и других составляющих глиняной смеси, а также уменьшением размера пор и утолщением поровых стенок и перегородок. В этом периоде обжига возрастает прочность керамики вследствие плавления в первичном щелочно-железистом расплаве глинистых минералов и аморфизированных глинистых веществ.

В третьем периоде (1000-1150С°) структура керамических материалов упрочняется за счёт уплотнения и образования тонкого и пористого стекловидного слоя, покрывающего стенки пор и межпоровые перегородки, которые были представлены ранее (при более низких температурах) аморфизированным глинистым веществом.

Рассмотрим, как подобные представления согласуются с поведением легкоплавких суглинков Иркутской области при высокотемпературной обработке. Из исследованного материала в первом температурном интервале механическая прочность интенсивно изменяется только у образцов из тугоплавкой глины Шара-Кундуйского месторождения, обладающей наибольшей пластичностью. Автор работы [2] доказывает, что высокая пластичность – необходимое условие для протекания реакций в твёрдой фазе. Однако изменение водопоглощения в данном интервале температур не происходит. Легкоплавкие малопластичные суглинки при температурах обжига 500-800°С не испытывают фазовых превращений (почти не меняют значений прочности). При температуре 700-800°С происходит декарбонизация кальцита, содержащегося в породах, что также не отражается на прочности образцов (рис.1).

Изменение прочности легкоплавких суглинков в данном интервале происходит по-разному. В тех образцах, на кривых ДТА которых при температуре 870°С имеется экзотермический эффект, связанный с кристаллизацией γ-Al_2O_3, (что подтверждают данные РФА), при этой температуре наблюдается потеря прочности. Это новомальтинский, олонский суглинки и чудничный аргиллит. При повышении температуры обжига до 1000°С прочность увеличивается, как и в другом исследовавшемся сырьё. В данном температурном интервале образцы на основе легкоплавких суглинков изменяют свою прочность в среднем на 50%. 25% прочности имеют сырцы, сформованые полусухим прессованием. Эта величина практически не изменяется при повышении температуры от 0 до 800°С. Ещё на 25% прочность возрастает в третьем периоде (1000-1150С°), характеризующимся уплотнением структуры керамических материалов за счёт уплотнения и образования тонкого и пористого стекловидного слоя. Прочность тугоплавкой наиболее пластичной глины нарастает на протяжении всего периода обжига и при конечной температуре имеет большее значение по сравнению с остальным сырьём.

Таким образом, прочность, которой обладает строительный кирпич на основе непластичных легкоплавких суглинков, складывается в интервале температур 800-1000° С, когда глинистые минералы плавятся щелочно-железистом расплаве. Данный интервал является решаюшим в сложении прочности строительного кирпича.

Табл.1. Свойства глинистых материалов

Сырьё	Огне-упорность	Число пластичности	Минералогический состав
Глина шара-кундуйская	туго-плавкая	17	Ректорит, каолинит, гидрослюда, плагиоклаз, ортоклаз, кварц
Аргиллит чуднич ный	легкоплавкий	2 (после мокрого помола 21)	Смешанослойный минерал хлорит- смектит, каолинит, гидрослюда, кварц
Суглинок ново-мальтинский	легкоплавкий	4,5	Смешанослойный минерал хлорит-смектит, каолинит, гидрослюда, кварц, альбит, галлуазит
Суглинок максимовский	легкоплавкий	4	Смешанослойный минерал хлорит-смектит, каолинит, гидрослюда, кварц, альбит, микроклин, галит, кальцит
Суглинок тимлюйский	легкоплавкий	3	Смешанослойный минерал хлорит-смектит, каолинит, гидрослюда, кварц, плагиоклаз
Суглинок олонский	легкоплавкий	4	Смешанослойный минерал хлорит-смектит+смектит, каолинит, гидрослюда, кварц, плагиоклаз
Суглинок слюдянский	легкоплавкий	10	Смешанослойный минерал вермикулит-слюда, каолинит, гидрослюда, кварц

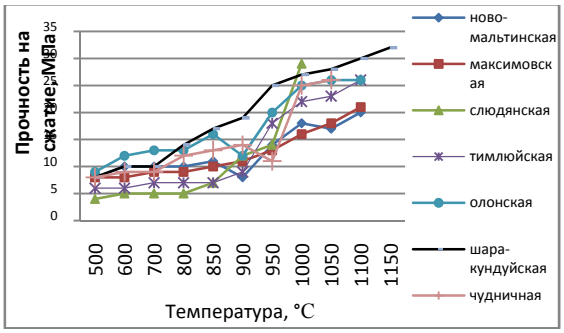


Рис.1 Изменение механической прочности глинистых материалов при обжиге

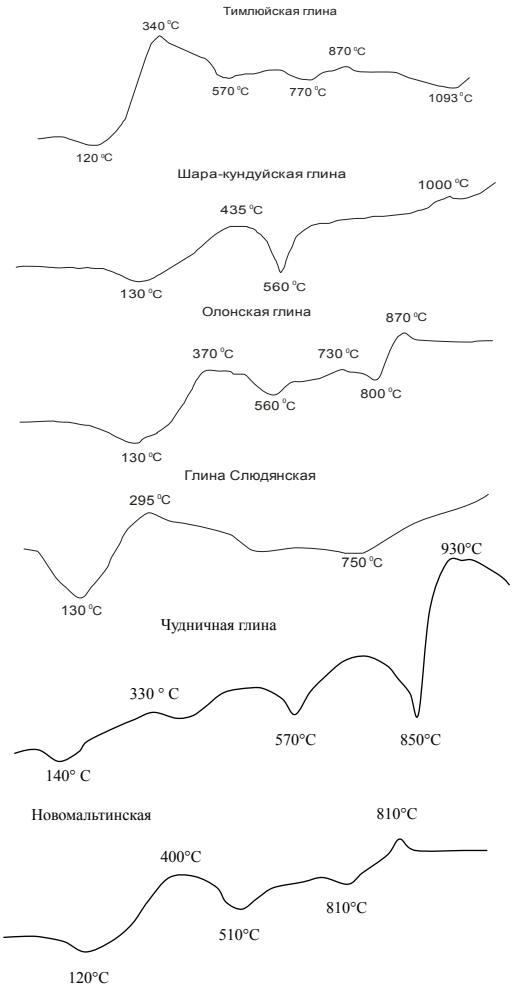


Рис. 2 ДТА глинистых материалов

Список литературы:

1.Абдрахимова Е.С./ Физико-химические процессы при обжиге кислотоупоров// Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов. СПб.: Недра, 2003.-284с.

2.Павлов В.Ф./Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики// В.Ф.Павлов. М., Стройиздат, 1976.-240с.

3.Воронова В.Ф./Исследование физико-химических процессов в покровных суглинках при термической обработке/ В.Ф.Воронова. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск, 1969.-210с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ГИДРОКСИАПАТИТА НА КЕРАМИКЕ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ

Е.С.Семанцова, П.Ф. Муль, А.А.Величко
Научный руководитель Величко А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет, :
30092, Россия,г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail:vel6049@yandex.ru

Тонкие пленки ГАП – Ca10(PO4)6(OH)2, находят широкое применение в качестве биосовместимых покрытий керамических или титановых медицинских имплантатов. Обычно пленки ГАП осаждают методами магнетронного или плазменного напыления. Однако в процессе осаждения и последующего отжига возможно изменение состава ГАП за счет поверхностных реакций с материалом керамики, или с адсорбированной на его поверхности примесью, а также при взаимодействии с остаточной атмосферой камеры распыления и отжига. По структуре керамику подразделяют на пористую, имеющую крупнозернистую неоднородную в изломе структуру (пористость 5-50%), и плотную - с однородной мелкозернистой структурой (пористость <5%).

Целью данной работы являлось исследование спектров отражения ГАП в зависимости от плотности керамических подложек и класса шероховатости поверхности подложек.

Пленки ГАП осаждались методом магнетронного напыления в течение 1 часа с последующим отжигом при 500°С. Исследования состава пленок ГАП проводились с использованием Фурье спектрометра Nikolet 6700. Изменение состава осажденной пленки ГАП определялся по сравнению их спектров отражения со спектрами, полученными от мишеней ГАП.

В таблице 1 представлены исследуемые образцы.

№1- это прессованный ГАП используемый в качестве мишени в процессе осаждения пленки. Образцы № 2, 3, 4 это керамические пластинки, с осаженной на поверхности тонкой пленкой ГАП. Образцы № 2, 3, 4 имели различный состав добавок, влияющий на пористость керамики, приведенный в таблице 1.

Таблица.1. Таблица исследуемых образцов

№	Пористость, %	Состав добавок	Состав пленки ГАП
1		$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
2		$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$
3	>5%	$ZrO_2 + Y_2O_3$	$Ca_3(PO_4)_2$
4	20% здесь не было 20 % пористости 7-9% предел.	$(NH_4)_2(CO_3)$	$Ca_3(PO_4)_2$
5	45%	$Al(OH)_3 + (NH_4)_2(CO_3)$	$Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$

Результаты исследования коэффициентов отражения объемного материала ГАП (мишени) приведены на рис.1 кривые 1, 2. Измерения спектров отражения объемного ГАП (мишень) показали, что они полностью соответствуют спектрам, приведенным в литературе [1] (рис.1). Кривая 3 на рис.1, взята из библиотеки Omnic Nicolet 6700, соответствует чистому фосфату кальция. Особенностью ИК спектров ГАП является наличие двух сдвоенных пиков. Первый обнаруживается при значениях волновых чисел ν =1050-1150 см$^{-1}$, второй при ν = 550-650 см$^{-1}$. ИК спектр фосфата кальция также имеет два сдвоенных пика, положение которых сдвинуто в сторону меньших волновых чисел. Используя спектры приведенные на рис.1, в качестве эталонных спектров, нами анализировалось изменение состава пленок ГАП, осажденных на керамику с различной структурой и морфологией поверхности.

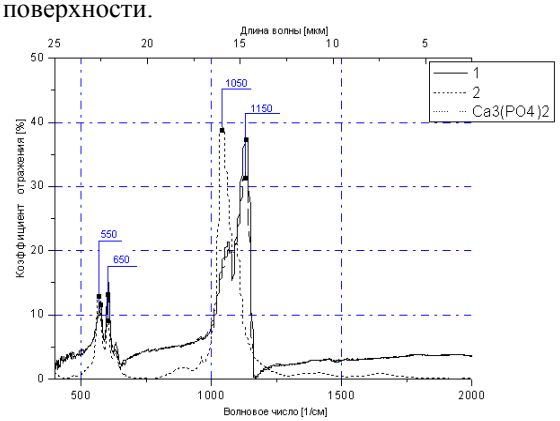


Рис. 1 Спектры отражения объемного материала ГАП и фосфата кальция.

На рис. 2 приведены спектры отражения обр-азцов 3, 4, 5.

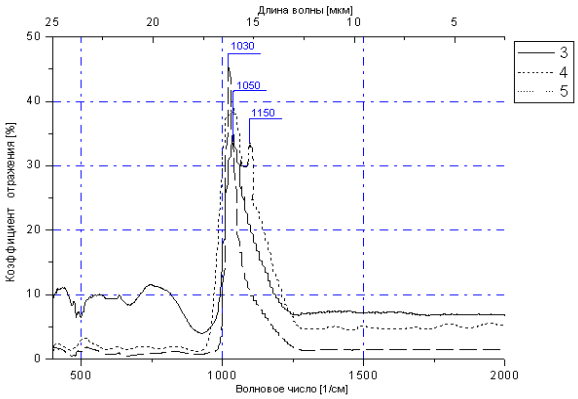


Рис. 2 Графики спектров отражения образцов 3,4,5 .

На спектре отражения образца №2 есть неразрешенный ярко выраженный сдвоенный пик на волновых числах 1050-1100см$^{-1}$. Из сравнения

рис.2 (кривая 1) и рис.1 видно, что пик по своему положению соответствующий скорее фосфату кальция, чем ГАП. Кроме того, отсутствие второго пика на волновых числах 550-650 $см^{-1}$ вероятно связано с изменением хим. состава во время отжига.

Была исследована также зависимость коэффициента отражения тонких пленок (1мкм) ГАП на поверхности керамики различной пористости: образцы №4 и №5 соответственно таблицы 1. На спектре отражения тонкой пленки гидроксиапатита образца №5 присутствует неразрешенный сдвоенный пик на волновых числах 1050-1150 $см^{-1}$. Хотя пик и неразрешенный по его положения видно, что на керамической подложке произошло образование структуры близкой по составу к гидроксиапатиту. Отсутствие на спектре исследуемого образца второго характерного пика фосфатсодержащих материалов на волновых числах 550-650 $см^{-1}$ вероятно, связано с изменением химической связи кислорода (Р-О) в гидроксиапатите при взаимодействии с подложкой. По полученному спектру отражения исследуемой тонкой пленки можно сделать вывод, что в процессе напыления пленки произошло образование структуры гидроксиапатита в пленке на пористой керамической подложке.

На спектре отражения образца №4 присутствует неразрешенный сдвоенный пик на волновых числах 1050-1150 $см^{-1}$, и также как и в предыдущих случаях отсутствует пик при ν = 550-650 $см^{-1}$. По расположению неразрешенного сдвоенного пика на волновых числах 1050-1150 $см^{-1}$ для образца №4, относительно эталонных спектров, следует, что на плотной керамической подложке произошло осаждение пленки фосфата кальция.

Проведя сравнительный анализ коэффициентов отражения образцов №4 и №5 (рис.2) можно сделать вывод: в первом случае произошло образование структуры типа ГАП, а во втором структура пленки ближе по составу к фосфату кальция. Поскольку методика, режимы напыления и отжига пленок ГАП на образцы №4 и №5 были одинаковы, а керамические подложки имели одинаковый состав, фактором, который может вызвать этот эффект, является различная пористость керамических пластин.

В свою очередь, пористость обуславливает различную адсорбционную способность поверхности керамики. Сохранение ОН-группы в пленке можно объяснить наличием адсорбированной воды в крупных порах керамической подложки. В процессе напыления пленки адсорбированная вода вступает в химическую реакцию с напыляемым веществом с образованием гидроксиапатита $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ или компенсирует частичный уход «воды» при отжиге. Для плотной керамики (образцы №3, №4) размер и концентрация пор меньше чем для пористой, соответственно адсорбированной воды на поверхности плотной керамики меньше и в процессе образования пленки на поверхности плотной керамики образуется пленка из фосфата кальция $Ca_3(PO_4)_2$.

Выводы

1. Исследована спектральная зависимость коэффициента отражения чистого материала гидроксилапатита $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Характерной особенностью спектров отражения является наличие двух сдвоенных пиков коэффициента отражения на волновых числах 1050-1150 $см^{-1}$ и 550-650 $см^{-1}$, которые характеризуют гидроксилапатит.

2. Были оценены коэффициенты отражения тонких пленок ГАП на подложках из плотной (плотность 7-9%) и пористой керамики (плотность 45%). На пористой керамике в процессе напыления произошло формирование структуры гидроксилапатита $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ в тонкой пленке, на плотной керамике в тонкой пленке образовался фосфат кальция $Ca_3(PO_4)_2$.

3. Образование пленки гидроксилапатита на пористой керамике вероятно обусловлено наличием адсорбированной воды в поверхностных порах керамики, которая химически взаимодействует с напыляемым веществом с образованием гидроксилапатита.

Литература

1. Чайкина М.В.//Механохимия природных и синтетических апатитов. Новосибирск: ГЕО, -2002- стр.223

2. Пичугин В.Ф., Ещенко Е.В., Сурменев Р.А. и др.//Использование высокочастотного магнетронного распыления для формирования на поверхности титана тонких кальций - фосфатных биосовместимых покрытий. – Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования,-2006-№11-стр1-5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ГИДРОКСИЛАПАТИТА НА КРЕМНИИ И СИТАЛЛЕ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ

Е.С.Семанцова, П.Ф. Муль, А.А.Величко
Научный руководитель Величко А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
30092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail:vel6049@yandex.ru

Гидроксиапатит (ГАП) (Ca10(PO4)6(OH)2) является биоматериалом, созданным химическим синтезом. Он широко используется в медицинской практике в качестве биосовместимого покрытия для создания костных имплантатов. Успешность применения имплантата определяется качеством гидроксиапатита, под которым понимается сохранение химического состава, определенной кристаллической мелкодисперсной структуры, и хорошей адгезии на поверхности керамических или титановых имплантатов. Все эти параметры ГАП существенным образом зависят от способа осаждения, от материала и от структуры и свойств поверхности имплантата. При исследовании ГАП методами ИК спектроскопии часто проводят измерения спектров поглощения на Si подложках-свидетелях. Это связано с тем, что Si является широко используемым материалом в полупроводниковой промышленности и прозрачным материалом для ИК области, в которой проводят исследование тонких пленок ГАП. Целью работы являлось изучение влияния толщины и условий отжига пленок ГАП, осажденных на кремний и ситалл методом магнетронного распыления на особенности ИК спектров отражения при различных углах отражения. В эксперименте использовались подложки кремния и ситалла, на которые осаждались пленки ГАП методом магнетронного распыления. Параметры образцов приведены в таблице 1.

Таблица.1. Таблица исследуемых образцов

	Материал подложки	Толщина, [мкм]
	Объемный ГАП	-
	Объемный ГАП	-
	Si	0,95
	Si	0,3
	ситалл	0,6
	ситалл	0,3

После осаждения пленки отжигались при T=500^{o}C в течение 1 часа. В качестве мишени использовались таблетки из прессованного мелкокристаллического гидроксиаппатита.

Исследования проводились на ИК Фурье спектрометре Nicolet 6700. Перед исследованием пленок ГАП на кремнии и ситалле предварительно были для калибровки сняты спектры мишеней ГАП с известным составом Ca10(PO4)6(OH)2. (образцы № 1и 2 таблица 1). Экспериментальным путем установлено, что для шероховатой поверхности образцов гидроксиапатита оптимальным является угол отражения равный 60^{0}. Для удобной интерпретации полученных спектров из библиотеки программы Omnic был взят эталонный спектр чистого фосфата кальция Ca3(PO4)2, который является химической основой гидроксиапатита. Спектры мишени ГАП и фосфата кальция имеют два сдвоенных пика, расположение которых по волновым числам очень близко. Отличием спектра фосфата кальция от пиков ГАП является смещение большего «пичка» в сдвоенном пике в сторону меньших волновых чисел. Полученные спектры отражения чистого ГАП совпадают с литературными данными и далее могут быть использованы для интерпретации спектров отражения тонких пленок гидроксиапатита, полученных методом высокочастотного магнетронного распыления

В ходе исследования тонких пленок гидроксиапатита была проведена оценка коэффициентов поглощения и отражения пленок ГАП на Si подложках-свидетелях. Полученные спектры поглощения и отражения для двух разных образцов №3 и №4 (таблица 1) приведены на рис. 1, 2.

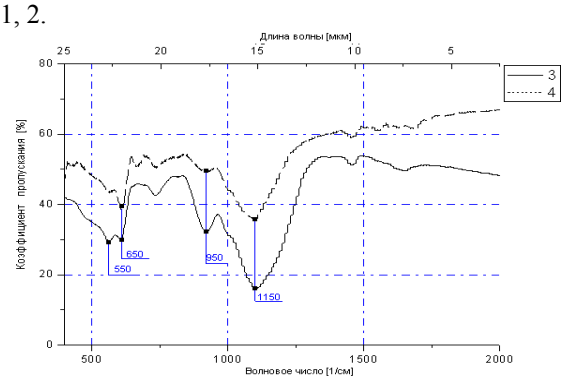


Рис. 1 Спектры поглощения пленки ГАП на кремниевой подложке для образцов №3и №4, в соответствии с таблицей 1.

На рис. 1, 2 виден характерный для ГАП сдвоенный пик на волновых числах 950-1150 см$^{-1}$. Разрешение этого пика слабее, чем для мишени ГАП, что может быть связано с малой толщиной пленки по сравнению с толстым образцом чистого ГАП.

Отсутствие на спектре исследуемого образца второго характерного пика с волновыми числами 550-650 см$^{-1}$, вероятно связано с изменением химической связи кислорода (P-O) в гидроксиапатите при взаимодействии с подложкой.

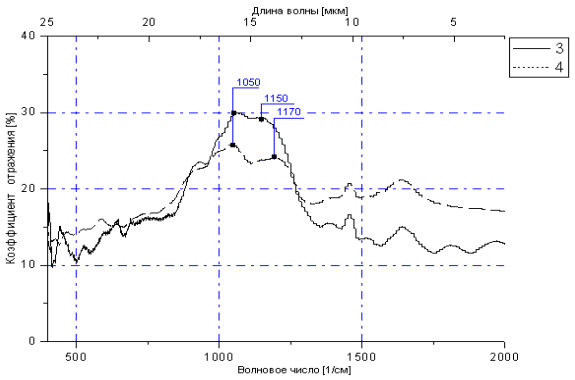


Рис.2 Спектры отражения пленки ГАП на кремниевой подложке для образцов №3и №4, в соответствии с таблицей 1.

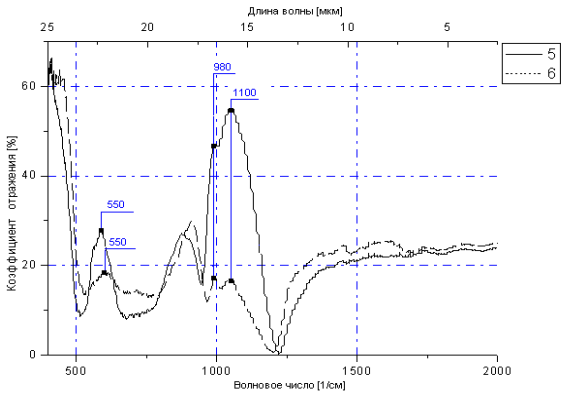


Рис. 3 Спектры отражения пленки ГАП на ситалловой подложке для образцов №5 и №6, в соответствии с таблицей 1.

Коэффициент отражения образца №3 (рис. 2) больше, чем коэффициент отражения образца №4 это связано с большей толщиной пленки гидроксиапатита образца №3. Полученные спектры поглощения соответствуют литературным данным и свидетельствуют об образовании на Si подложке тонкой пленки близкой по составу напыляемому ГАП.

Ситалл (Al2O3) является широко используемым в микроэлектронике материалом и может использоваться в качестве подложек-свидетелей для напыления и исследования свойств тонких пленок ГАП. Исследование коэффициента поглощения пленок ГАП на ситалле показал отсутствие характерных для ГАП пиков. Дополнительные исследования показали, что в диапазоне 500-1500 $см^{-1}$ пики ГАП попадают в область сильного поглощения и шумов подложки и не могут быть разрешены. Исследования коэффициентов отражения пленок ГАП на ситалле представлены на рис.3. На волновых числах 1050-1150 $см^{-1}$ находится характерный для гидроксиапатита слабо разрешенный ярко выраженный сдвоенный пик, второй характерный сдвоенный пик гидроксиапатита на волновых числах 550-650 $см^{-1}$ неразрешен. На спектрах отражения наблюдается также третий пик коэффициента отражения в области прозрачности ГАП при $\nu = 950$ $см^{-1}$. Его величина практически одинакова для образцов №5 и №6 т. е. не зависит от толщины пленок ГАП. Можно предположить, что третий пик свидетельствует о химическом взаимодействии напыляемой пленки ГАП с ситалловой подложкой. Следует также отметить, что величина коэффициента отражения пленок ГАП для образца №5 больше, чем у образца №6, это связано с большей толщиной пленки ГАП на образце №5 по сравнению с толщиной пленки ГАП на образце №6.

Выводы

1. Исследованы коэффициенты поглощения и отражения пленок ГАП на Si подложках. На спектрах наблюдаются пики, характерные для спектров отражения и поглощения объемного ГАП мишени.

2. Оценены коэффициенты поглощения и отражения слоев ГАП на ситалловых подложках. В диапазоне волновых чисел 1050-1150 $см^{-1}$, наблюдается малоразрешенный сдвоенный пик коэффициента отражения соответствующий ГАП. Наличие дополнительных пиков может свидетельствовать о возможной химической реакции ГАП и ситалла в процессе отжига.

Литература

1. Чайкина М.В.//Механохимия природных и синтетических апатитов. Новосибирск: ГЕО, -2002- стр.223

2. Пичугин В.Ф., Ещенко Е.В., Сурменев Р.А. и др.//Использование высокочастотного магнетронного распыления для формирования на поверхности титана тонких кальций - фосфатных биосовместимых покрытий. –Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования,-2006-№11-стр1-5.

3. Чайкина М.В., Пичугин В.Ф., Сурменева М.А., Сурменев Р.А. //Механохимический синтез гидроксилапатита с замещениями для нанесения покрытий на медицинские имплантаты методом высокочастотного магнетронного распыления. - Химия в интересах устойчивого развития, - 2009-№17- стр513-520.

4. Уханов Ю.И. Оптические свойства полупроводников. М.: Наука, -1977- стр366.

5. Фэн Х.И. Поглощение инфракрасного излучения в полупроводниках. М.: УФН, -1958- стр.360.

СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (СВМПЭ), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СПЕКАНИЯ

Смачная О.В., Панин С.В., Иванова Л.Р.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30
smachnajaolga@rambler.ru

1. Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – конструкционный полимерный материал с уникальными физико-механическими свойствами для разнообразных областей применения, в том числе для экстремальных условий [1].

Пористые полимерные материалы, в частности, на основе СВМПЭ используются для изготовления фильтров. Фильтрация играет важную роль в производственных процессах многих отраслей промышленности (химической, нефтяной, фармацевтической, пищевой и др.), связанных с переработкой и очисткой от загрязнений жидкостей и газов, регулированием их давления и пр. Фильтры необходимы в медицине, при очистке воды, улавливании пыли, при очистке топлива, в измерительной технике и т.п. [2].

В данной работе методом свободного спекания были получены пористые образцы СВМПЭ и оценены их физико-механические и триботехнические характеристики.

2. Материал и методики исследований

В работе для получения объемных пористых материалов на основе СВМПЭ был использован метод холодного прессования с последующим свободным спеканием. Технология процесса проста: холодное прессование порошкового полимера производится при давлении прессования 8-12°МПа. Сформированные заготовки спекают при температуре 140-150°С.

В качестве наполнителей использовали полиэтилен с привитыми ангидридными и карбоксильными группами HDPE-g-SMA, нановолокона оксида алюминия. Использовали оксиды алюминия 2-х типов: 1) – полученный гидролизом алюминия методом электровзрыва проволочек (ЭВП) в азоте и 2) – полученный прямым ЭВП в кислородсодержащей среде. Также варьировали время механоактивации порошковой смеси для спекания от 10 до 40 мин.

Механические испытания в условиях одноосного статического сжатия и запись диаграмм нагружения проводились на испытательной машине Instron-5582 со скоростью перемещения захвата 0,5 мм/мин. Образцы для испытаний в условиях одноосного статического сжатия были вырезаны в форме параллелепипеда размерами и 7×15×41 мм^3 соответственно.

Исследование надмолекулярной структуры проводили с помощью растрового электронного микроскопа путем сканирования поверхности серебряных реплик, напыленных на поверхность сколов образцов из СВМПЭ.

3. Результаты экспериментальных исследований

В ходе проделанной работы методом свободного спекания были получены образцы пористого СВМПЭ.

3.1. Определение плотности и пористости

Свойства пористых образцов СВМПЭ до и после спекания представлены в таблицах 1 - 4.

Таблица 1 Свойства пористых образцов СВМПЭ до и после спекания

Состав образцов	Плотность, ρ, г/см^3		Пористость, П, %	
	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания
СВМПЭ	0,538	0,407	42	56
СВМПЭ+1 вес.% HDPE- g-SMA	0,488	0,422	47,5	55
СВМПЭ+3 вес.% HDPE- g-SMA	0,528	0,434	43	53
СВМПЭ+5 вес.% HDPE- g-SMA	0,540	0,383	42	59
СВМПЭ+7 вес.% HDPE- g-SMA	0,544	0,450	41,5	52
СВМПЭ+10 вес.% HDPE- g-SMA	0,551	0,472	41	49

Таблица 2 Свойства пористых образцов СВМПЭ+Al_2O_3(1) до и после спекания

Состав образцов	Плотность, ρ, г/см^3		Пористость, П, %	
	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания
СВМПЭ	0,500	0,410	47	56
СВМПЭ+0,1 вес. % Al_2O_3(1)	0,515	0,421	45	55
СВМПЭ+0,3 вес. % Al_2O_3(1)	0,501	0,423	45	55
СВМПЭ+0,5 вес. % Al_2O_3(1)	0,523	0,426	44	54
СВМПЭ+1 вес. % Al_2O_3(1)	0,522	0,426	44	54

Таблица 3 Свойства пористых образцов СВМПЭ+Al_2O_3(2) до и после спекания

Состав образцов	Плотность, ρ, г/см^3		Пористость, П, %	
	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания
СВМПЭ	0,500	0,410	47	56
СВМПЭ+0,1 вес. % Al_2O_3(2)	0,507	0,521	44	45,5
СВМПЭ+0,3 вес. % Al_2O_3(2)	0,458	0,523	44	51
СВМПЭ+0,5 вес. % Al_2O_3(2)	0,467	0,532	43	50
СВМПЭ+1 вес. % Al_2O_3(2)	0,421	0,539	42	55

Таблица 4 Свойства пористых образцов МА СВМПЭ до и после спекания

Состав образцов	Плотность, ρ, г/см^3		Пористость, П, %	
	До спекания	После спекания	До спекания	После спекания
СВМПЭ	0,500	0,410	47	56
10 мин МА	0,534	0,419	43	55
20 мин МА	0,520	0,512	44	45
30 мин МА	0,567	0,510	39	45
40 мин МА	0,467	0,464	50	50

Показано, что при увеличении содержания наполнителей всех типов плотность полученных образцов увеличивается, их пористость снижается при увеличении процентного содержания модификатора. Максимальной пористостью обладают образцы составов СВМПЭ+5 мас. % HDPE-g-SMA, времени механоактивации 10 мин, СВМПЭ+0,3 мас.% Al_2O_3(1), СВМПЭ+1 мас. % Al_2O_3(2).

3.2. Механические свойства при сжатии пористых образцов СВМПЭ с наполнителями

При увеличении процентного содержания наполнителей всех типов механические характеристики при сжатии пористых компактов на основе СВМПЭ (предел прочности, предел текучести, модуль упругости) увеличиваются. Максимальной прочностью при сжатии обладают образцы, содержащие 10 мас.% HDPE-g-SMA, 0,3 мас.% Al_2O_3(1), 1 мас.% Al_2O_3(2), образцы, время активации для которых составляет 30 мин.

3.3. Исследование структуры пористого СВМПЭ с введением наполнителей

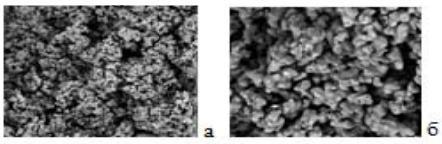


Рисунок 1. РЭМ-изображения пористого СВМПЭ без наполнителей (ρ=0,410 г/см³): а) ×400, б) ×1000

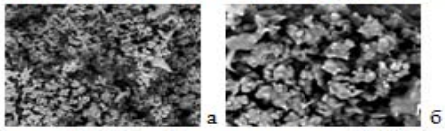


Рисунок 2. РЭМ-изображения пористого СВМПЭ: СВМПЭ+10 % HDPE-g-SMA (ρ=0,472 г/см³): а) ×400, б) ×1000.

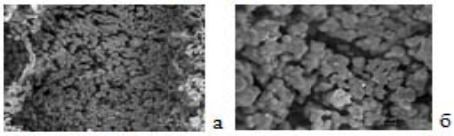


Рисунок 3. РЭМ-изображения пористого СВМПЭ: СВМПЭ+0,5 вес.% Al_2O_3(2) (ρ=0,532 г/см³) а) ×400, б) ×1000.

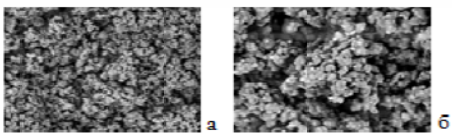


Рисунок 4. РЭМ-изображения пористого СВМПЭ: СВМПЭ+0,3 вес.% Al_2O_3(1) (ρ=0,423 г/см³) а) ×400, б) ×1000.

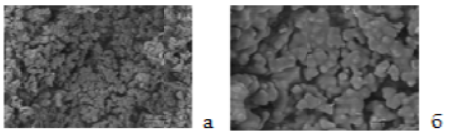


Рисунок 5. РЭМ-изображения пористого СВМПЭ, изготовленного из порошка, подвергнутого МА, время МА 20 мин: (ρ=0,512 г/см³) а) ×400, б) ×1000.

Структуры пористых образцов механоактивированного СВМПЭ (время активации 20 мин) и образцов состава СВМПЭ+10 мас. %HDPE-g-SMA характеризуются квазиоднородным распределением пор по объему, форма пор близкая к сферической. Для структур составов СВМПЭ+0,5% мас. Al_2O_3(2) и СВМПЭ+0,3 мас. % Al_2O_3(1) характерно менее однородное распределение пор по объему, форма пор носит случайный характер, поры имеют по всей длине большое число сужений и расширений.

3.4. Определение водопроницаемости пористых образцов состава СВМПЭ+Al_2O_3(2).

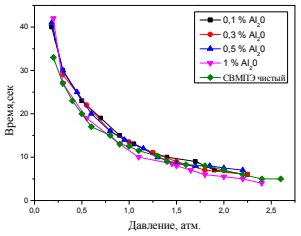


Рисунок 6. График зависимости давления от времени фильтрации

Как видно из рисунка, при введении наполнителя в виде оксида алюминия Al_2O_3(2) водопроницаемость пористых образцов с наполнителем на основе остается на уровне ненаполненного СВМПЭ.

Заключение

Исследованы структура и свойства пористых компактов на основе СВМПЭ, полученных методом свободного спекания при введении наполнителей в виде привитого полиэтилена, оксида алюминия и при механической активации порошка СВМПЭ.

Установлено, что при увеличении процентного содержания наполнителей плотность образцов увеличивается, а их пористость снижается. Механические характеристики при сжатии образцов СВМПЭ (предел прочности, предел текучести, модуль упругости) увеличиваются.

На основании полученных результатов следует заключить, что оптимальная концентрация модификаторов для повышения комплекса физико-механических характеристик 10% мас. HDPE–g–SMA, 0,3 мас. %Al_2O_3 (1), 0,5 мас. %Al_2O_3 (2), 20 мин МА.

При введении модификатора в виде оксида алюминия второго типа Al_2O_3(2) повышаются прочностные свойства пористых компактов на основе СВМПЭ, водопроницаемость остается на уровне ненаполненного СВМПЭ.

Литература:

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности / Под ред. И.Н. Андреева, Е.В. Веселовская, Е.И. Наливайко и др. – Л.: Издательство Химия, 1982.- 80с.

2. Требин Г.Ф. Фильтрация жидкостей и газов в пористых средах. – М., 1959.

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА ПЛЕНОК АЛЮМИНИЙ НА ПОДЛОЖКЕ Д16АТ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ИЗГИБЕ

[1]Срайыл З.Б., [2]Панин С.В., [1,2]Полтаранин М.А.
[1]Томский политехнический университет,
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Введение

Анализ временных рядов в настоящее время широко используется во многих отраслях техники, в физических науках и экономике. Одним из важнейших видов анализа временных рядов является спектральный анализ. Спектральный анализ - это один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать частотный состав измеряемого сигнала. Преобразование Фурье является математической основой, которая связывает временной и пространственный сигнал с его представлением в частотной области.

Материал и методы исследования

Для проведения экспериментов изготавливали образцы из сплава Д16АТ для проведения последующих усталостных испытаний по схеме циклического изгиба. Испытания образцов проводили по схеме консольного симметричного изгиба. Амплитуда нагружения составляла ~3,5 мм. Образцы вырезали из листа Д16АТ толщиной 1 мм в состоянии поставки в виде односторонней лопатки (содержащей галтельный переход большого радиуса ~5 мм). Материалом покрытия выступал алюминий высокой степени очистки. Осаждение покрытия (пленки) производилось на установке ВУП-4 в вакууме путем растворения образца алюминия в тигеле из молибденовой спирали. Осаждение покрытий проводилось послойно. Толщиной осажденного слоя (пленки) менялась в диапазоне 1,5÷8 мкм. В данной статье анализировали только изображения образцов, на поверхности которых была сформирована пленка толщиной ~2 мкм (см. рис. 1).

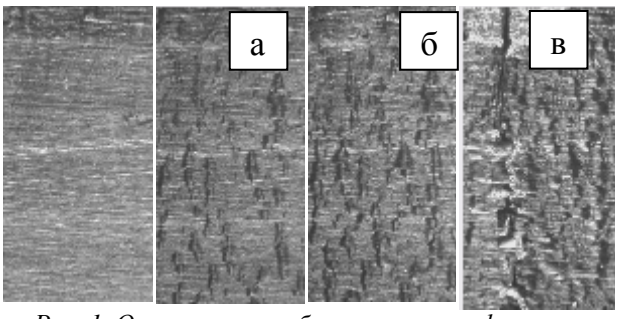
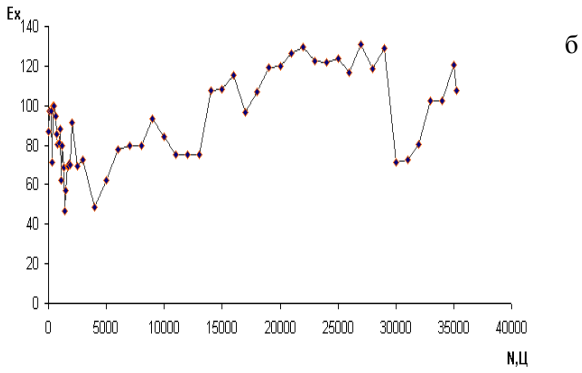


*Рис. 1. Оптические изображения рельефа на поверхности пленки, при различных величинах циклической нагрузки: а) 5*10^3, б) 10*10^3, в) 20*10^3, г) 30*10^3 циклов*

Результаты эксперимента и их обсуждение

Вейвлет спектральный анализ.

На рис. 2 и 3 представлены зависимости энергии Ex от приращения циклической нагрузки.



б

а

Рис. 2.Зависимости энергии Ex (горизонтальная составляющая) от приращения циклической нагрузки N

Шероховатость оптических изображений.

На рис. 3 представлены зависимости контролируемых параметров шероховатости от приращения циклической нагрузки исходного изображения. График параметра R_q достаточно плавно возрастает по мере увеличения циклической нагрузки.

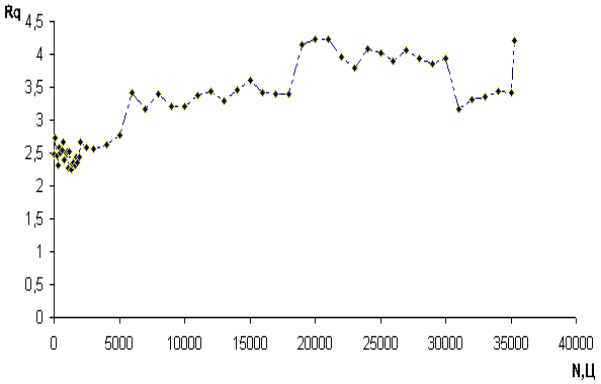


Рис. 3. Зависимости R_q (среднеквадратичного отклонения профиля от средней линии) от приращения циклической нагрузки N

Фурье спектральный анализ и расчет фрактальной размерности. На рис. 4 приведен график изменения энергии амплитудного двумерного спектра Фурье в пространственном диапазоне частот от 1 до 100. Видно, что данная характеристика наиболее плавно и адекватно возрастает по мере формирования на поверхности пленки складок, что свидетельствует об ее высокой эффективности при анализе оптических изображений даже без использовании процедуры фильтрации.

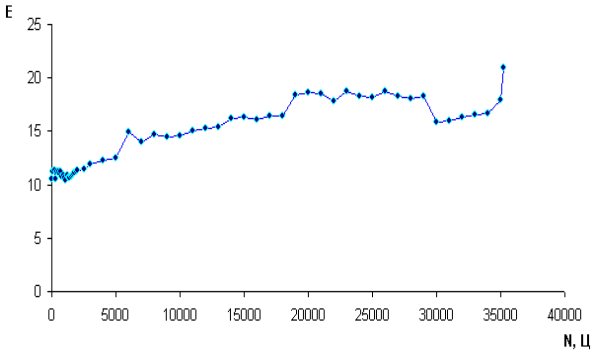


Рис.4. Зависимость энергии амплитудного спектра E от приращения циклической нагрузки N

Заключение

Для количественного анализа эволюции деформационного рельефа на поверхности напыленной пленки на образцах алюминиевого сплава Д16АТ в работе использовали метод расчета энергии амплитудного Фурье-спектра, фрактальной размерности, шероховатости оптических изображений. На основе проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1) Для всех использованных характеристик показано, что по мере увеличения степени деформации и возрастания количества складок на поверхности напыленной пленки возрастают практически все рассчитывавшиеся параметры.

2) На основании построенных зависимостей выбраны те, изменение которых во времени более полно отражает специфику наблюдаемых деформационных процессов: 1) энергия вертикальной компоненты вейвлет- спектра E_{BW},

2) параметр шероховатости R_q (среднеквадратическое отклонение высоты профиля от среднего уровня), 3) энергия амплитудного Фурье-спектра E_{AF}, 4) фрактальная размерность D_f.

3)Изменение энергии вертикальной компоненты вейвлет-спектра и параметр шероховатости R_q имеет стадийный характер, что отражается в наличии трех характерных участков данных зависимостей, в пределах которых их значение сохраняет практически постоянное значение. Изменение энергии амплитудного Фурье-спектра и фрактальной размерности по мере формирования складок на поверхности пленки носит плавный характер и не характеризуется вышеупомянутым стадийным характером.

Литература

1.С.В. Панин, И.В. Шакиров, В.И. Сырямкин, А.А. Светлаков. Применение вейвлет–анализа изображений поверхности для изучения процессов пластической деформации и разрушения на мезомасштабном уровне. Автометрия, 2003, Т. 39, №1. С.37-53.

2. Панин С.В., Сырямкин В.И., Глухих А.И. Применение спектрального анализа изображений поверхности для изучения процессов усталостного разрушения на мезомасштабном уровне. Автометрия, 2003, Т. 39, №4. С. 79-92.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Супуева А.С, Леонов А.П.
Научный руководитель: Леонов А.П., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: adelia_kinglion@mail.ru

В условиях развития современного производства и рынка предъявляются все более строгие требования к качеству выпускаемой продукции. Электрические машины являются одним из самых массовых изделий электротехнической промышленности и широко используются во всех без исключения отраслях. В связи с этим вопрос об их надежности и качестве изготовления особенно важен.

В комплексе задач, стоящих перед разработчиками изоляции электрических машин, наиболее трудной и ответственной считается выбор электроизоляционных материалов. Анализ отказов асинхронных двигателей показывает, что значительная часть их (до 90%) происходит в результате отказа обмоток.

Система изоляции электрических машин включает в себя корпусную, междуфазную, междуслойную и межвитковую изоляции. Наиболее слабым элементом обмотки электрических машин является межвитковая изоляция, представляющая собой композицию из двух слоев эмалевой изоляции обмоточных проводов и отвержденного слоя пропиточного состава между ними. Эти элементы конструкции связаны друг с другом силами адгезии. При изменениях температуры или воздействии внешних нагрузок они вынуждены деформироваться совместно.

Однако, деформации в сопряженной системе затруднены именно вследствие разности теплофизических и физико-механических параметров таких как температура стеклования T_c, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР), модуль упругости и др.

Вследствие различия физико-механических параметров материалов, составляющих систему - эмальпровод - пропиточный состав в процессе отверждения и последующего охлаждения в них неизбежно возникают внутренние механические напряжения, которые могут привести к разрушению межвитковой изоляции.

Возникновение внутренних напряжений в пленке полимерного покрытия на поверхности субстрата, схематически показано на рисунке 1.

Под действием внутренних напряжений в межвитковой изоляции образуются различного рода дефекты (трещины, расслоения), которые снижают пробивное напряжение в процессе испытания и эксплуатации. Согласно современным представлениям образование дефектов происходит следующим образом. При достижении трещиной эмалевой изоляции значительно усложняется механизм ее развития. Перед острием трещины, являющимся концентратором напряжений расположена область локального перенапряжения материала, в которой величина внутренних механических напряжений существенно выше, чем в остальном объеме полимера. При разрушении композитных материалов, в данном случае системы "пропиточный состав - эмалированный провод", развитие трещины может быть приостановлено, если напряженная зона, перемещающаяся в виде волны перед бегущей трещиной *3*, вызывает появление полости *4* на границе раздела фаз. Возникшая полость *4* становится ловушкой для трещины, и дальнейшее продвижение трещины приостанавливается (рис. 1).

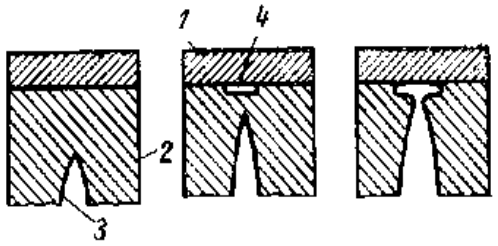


Рисунок 1. Схема торможения трещины в межвитковой изоляции: 1 - эмалевая изоляция обмоточного провода; 2 - пропиточный состав; 3 - растущая трещина; 4 – отслаивание на границе «пропиточный состав - эмалевая изоляция».

Торможение трещины по описанному механизму возможно только при условии, что адгезионная прочность на границе раздела фаз не превышает определенного уровня, иначе трещина может прорасти в пленку эмальлака.

Из выше сказанного следует, что адгезионная прочность является важным показателем характеризующим стойкость к разрушению системы «пропиточный состав - эмалированный провод».

Прочность адгезионных соединений определяется различными факторами, важнейшими из которых являются: химическая природа и физические свойства полимера и субстрата; условия формирования адгезионного соединения; деформация компонентов соединения до его разрушения; внутренние напряжения, способствующие разрушению адгезионного соединения и др.

Образование адгезионной связи в системе адгезив - субстрат протекает в две стадии: формирование поверхности контакта и возникновение связей между адгезивом и субстратом, являющиеся основными факторами адгезионной прочности.

Адгезионную прочность в общем виде можно представить как:

$$A = K_1 S_{ист} \sum U_i n_i - f(\sigma_{вн}) \quad (1)$$

где K_1 - коэффициент, связанный с формой, размерами и условиями разрушения образца; U_i, и n_i - соответственно энергия и число адгезионных связей, приходящихся на единицу поверхности; $f(\sigma_{вн})$ - работа внутренних напряжений против сил адгезии.

В случае микрореологического характера формирования

$$S_{ист} = f(T_k, P_k, t_k) \quad (2)$$

где $T_к$, $P_к$, t_k - соответственно температура, давление и время контакта соединяемых поверхностей.

Физический смысл K_1:

$$K_1 = f(T_p, P_p, t_p) \quad (3)$$

где $T_р$, $V_р$, t_p - соответственно температура, скорость и время действия разрушающей силы.

Кроме внешней силы, которую прикладывают при разрушении адгезионного контакта, также свой вклад вносят внутренние механические напряжения $\sigma_{вн}$.

Величины $T_к$, $P_к$, t_k, T_p, V_p, t_p можно считать постоянными, так как они являются постоянными для всей серии исследуемых систем.

Из выше сказанного, можно сделать вывод, что величина адгезионной прочности определяется главным образом энергией и числом связей, определяющих адгезию. В этом случае адгезионная прочность:

$$A = N \cdot W_a \quad (4)$$

Определение адгезии пленок экспериментальными методами связано с определенными трудностями, так как существующие методы не позволяю получить точную количественную оценку работы адгезии, а лишь дают сравнительные данные при отсутствии прямой связи между этими данными и адгезионной прочностью

В данной работе предлагается определение адгезионной прочности расчетно-экспериментальным методом в различных системах «обмоточный провод - пропиточный состав».

Предлагаемый метод основан на определении свободной поверхностной энергии компонентов межвитковой изоляции и межфазной поверхностной энергии γ_{LS}.

Величины γ_L (свободная поверхностная энергия адгезива), γ_S (свободная поверхностная энергия субстрата) , γ_{LS} помогут вычислить термодинамическую работу адгезии W_a, равную:

$$W_a = \gamma_L + \gamma_S - \gamma_{LS} \quad (5)$$

Суммарная свободная энергия поверхности образуется из вкладов различных межмолекулярных сил, действующих на этой поверхности, и ее величину можно записать следующем виде:

$$\gamma = \gamma^d + \gamma^h \quad (6)$$

где индексы d и h указывают соответственно на дисперсионную составляющую и полярную составляющую, обусловленную образованием водородных связей и дипольным взаимодействием.

Такое предположение позволило связать составляющие сил свободной энергии поверхности твердого тела (γ^d_S, γ^h_S) и жидкости (γ^d_L, γ^h_L) со значением косинуса угла смачивания φ твердого тела жидкостью:

$$\gamma(1+\cos\varphi) = 2\left(\sqrt{\gamma^{d}{}_S \cdot \gamma_L{}^d} + \sqrt{\gamma^{h}{}_S \cdot \gamma_L{}^d}\right) \quad (7)$$

Из уравнения (6) можно найти γ^d_S и γ^h_S по данным измерения углов смачивания φ двумя жидкостями, если значения γ, γ^d_L, γ^h_L для обеих жидкостей известны.

В нашем случае используется дистиллированная вода и глицерин, для которых параметры γ, γ^d_L, γ^h_L приведены ниже в таблице 1.

Таблица 1. Значения γ, γ^d_L, γ^h_L для различных жидкостей.

	$\gamma\cdot10^3$, Н/м	$\gamma^d\cdot10^3$, Н/м	$\gamma\cdot10^3$, Н/м
Глицерин	63,0	37,0	26,0
Вода	73,0	22,0	51,0

Определение величин поверхностных энергий пропиточного состава и эмалевой изоляции производится путем последовательного гидростатического взвешивания. С помощью электронных аналитических весов CAUW 120D измеряется кажущееся изменение массы образца при его контакте с жидкостью.

В качестве объекта исследования используются провода марок ПЭТ-155, ПЭЭА-155, ПЭФД-2-200, пропиточные составы КО-916, МЛ-92, ПЭ-9153.

Оценка W_a поможет прогнозировать прочность адгезионных соединений систем «обмоточный провод – пропиточный состав».

Изучение процессов взаимодействия компонентов межвитковой изоляции, подбор с учетом их физико-механических параметров и уровня адгезионной прочности между компонентами позволит замедлить процессы дефектообразования и повысит надежность полученной композиции.

Список литературы:

1. Басин В.Е. Адгезионная прочность. М.: Изд-во «Химия», 1981.

2. Галушко А.И., Максимова И.С., Оснач Р.Г. Надежность изоляции электрических машин. М.: Энергия. 1979.

3. Каган Д.Ф., Гуль В.Е., Самарина Л.Д. Многослойные и комбинированные пленочные материалы. М.: «Химия», 1989.

4. Леонов А.П., Похолков Ю.П., Шуликин И.Н. К вопросу о совместимости пропиточных составов и эмалированных проводов/ Электротехника, 2009, - № 7. - с. 30-33.

РАСЧЁТ ДИАГРАММ РАСТЯЖЕНИЯ КОМПОЗИТА Al + 10%Al_2O_3 С УЧЁТОМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕЙКИ

Сухомлинова М.С.
Научный руководитель: Дерюгин Е.Е.,д.ф-м.н, профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: MayaSukhomlinova@gmail.com

Диаграммы нагружения Al + 10%Al_2O_3 при испытании на жесткой испытательной машине имеют пилообразный вид, обусловленный эффектом прерывистой текучести (эффектом Портевена-ле-Шателье). В процессе нагружения таких материалов периодически происходят срывы внешнего напряжения. Каждый скачок внешнего напряжения обусловлен спонтанным образованием в поперечном сечении образца макрополосы локализованного сдвига (ПЛС) [1-4]. В Al + 10%Al_2O_3 макроскопическое течение начинается с формирования площадки текучести, где с самого начала наблюдается прерывистый характер пластического течения. При этом процесс не требует увеличения усредненного внешнего приложенного напряжения. За площадкой текучести последующее образование ПЛС уже требует более высокого внешнего напряжения, чем для образования предыдущей ПЛС. Происходит деформационное упрочнение материала в целом [1].

В данной работе при расшифровке экспериментальной кривой растяжения $\sigma-\varepsilon$ плоского образца Al + 10%Al_2O_3 применена методика определения максимальной степени пластической деформации в зоне формирования шейки с использованием возможностей оптико-телевизионной системы TOMSC. Данный метод позволил осуществить корректный переход от экспериментальной диаграммы «нагрузка-удлинение» образца к зависимости «напряжение-деформация», характеризующей изменение механического состояния материала в локальной области шейки, где процесс накопления пластической деформации протекает с максимальной скоростью.

Плоские образцы имели форму двойной лопаточки с рабочей длиной 18, шириной 3,82, толщиной 1,63 и радиусом перехода к рабочей длине образца 2 мм. Перед испытанием прокатанные образцы Al + 10%Al_2O_3 отжигали при температуре T = 550° C в течение 2 ч, затем охлаждали с печью до комнатной температуры. Размер зёрен d составлял 30-40 мкм. Растяжение проводили на установке типа ИМАШ-20-78 при комнатной температуре со скоростью движения захватов в ненагруженном состоянии v_0 = 1,5 мкм/с.

Экспериментально полученный график зависимости между растягивающей нагрузкой F и удлинением образца Δl сначала перестраивали в условную диаграммму «напряжение-деформация»: напряжение σ получали делением значений растягивающей силы F на первоначальную площадь поперечного сечения образца S_0 ($\sigma_{усл} = F/S_0$, а деформацию – делением удлинения Δl на первоначальную рабочую длину образца l_0 ($\varepsilon_{усл} = \Delta l/l_0$). Зависимость «напряжение-деформация» в таком случае качественно не будет отличаться от машинной кривой «нагрузка-удлинение». На рис.1, кривая 1 представляет результат построения условной кривой «напряжение-деформация» для поликристаллов Al + 10%Al_2O_3. По условной диаграмме нагружения обычно определяются табличные механические характеристики стандартного образца.

Типичную условную диаграмму «напряжение-деформация» для сплава Al + 10%Al_2O_3 представляет кривая 1 на рис. 1. Диаграмма нагружения имеет пилообразный вид. Процесс накопления макропластической деформации в сплаве Al + 10%Al2O3l развивается в 4 стадии:

- резкий предел и «площадка» текучести;
- практически линейная стадия высокого деформационного упрочнения;
- стадия параболического упрочнения;
- стадия падающего внешнего приложенного напряжения.

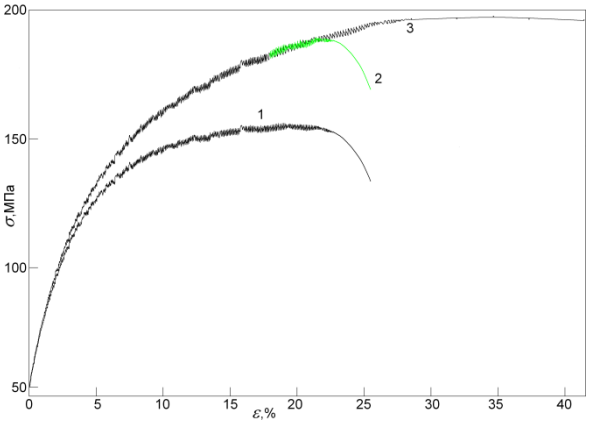


Рис. 1. Кривые «напряжение-деформация», рассчитанные без учета(1) и с учетом изменения сечения образца: в среднем по образцу(2) и в зоне формирования шейки(3)

Для фундаментальных исследований, преследующих цель определения действительных

механических свойств материала при заданных условиях нагружения, важно как можно точнее описать истинную диаграмму «напряжение-деформация». В первом приближении при расчёте напряжения течения учитывают, прежде всего, уменьшение поперечного сечения в процессе нагружения материала, предполагая, что образец в рабочей части деформируется однородно. При этом текущее значение поперечного сечения образца S^*, как правило, определяют из условия постоянства объёма $V_0 = S_0 l_0 = \text{const}$ при пластическом формоизменении материала. Если относительное увеличение длины рабочей части образца в произвольный момент времени равно $\varepsilon_{усл} = \Delta l / l_0$, то при $V_0 = \text{const}$ выполняется равенство $S_0 l_0 = S l_0 (1+\varepsilon_{усл})$, или

$$S = S_0/(1 + \varepsilon_{усл}). \quad (1)$$

Изменённое напряжение течения σ^* тогда будет равно

$$\sigma^* = F(1 + \varepsilon^p)/S_0. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что кривая $\sigma^* - \varepsilon_{усл}$ всегда будет лежать выше условной диаграммы нагружения $\sigma^* - \varepsilon_{усл}$. С увеличением пластической деформации разница $\sigma^* - \sigma$ растёт.

Такой подход правомерен для материалов, не проявляющих эффекты прерывистой текучести, диаграммы нагружения у которых имеют вид гладких кривых. В случае пилообразных кривых проводили кропотливый расчёт напряжений по формуле (2) для множества точек, соответствующих пикам и минимумам на условной диаграмме нагружения. При этом значения ε^p сначала брали по данным условной кривой 1 до величины, соответствующей максимуму нагрузки. Далее степень пластической деформации определяли в локальной зоне формирования шейки. Для этого измеряли сечение образца в ходе нагружения по минимальным значениям ширины и толщины образца, используя компьютерные изображениям лицевой и боковой поверхности образца, фиксируемым через каждые 3 с. Таким образом удалось с определённоё точностью вычислить изменение минимального сечения плоского образца в процессе растяжения до его разрушения, следовательно, и среднее напряжение в данном сечении.

С другой стороны, по смещениям неровностей контуров, или по специально нанесённым отметкам в зоне минимального сечения, определяли среднюю степень пластической деформации в минимальном сечении образца.

Диаграмма «напряжение-деформация» для материала в зоне формирования шейки изображена в виде кривой 3 на рис.1.

Для Al + 10%Al_2O_3 максимальное значение напряжения в зоне шейки отличается от условного уже на 50%.

Перестройка диаграммы нагружения для участка образца в зоне будущего разрушения (в минимальном сечении рабочей части образца), как и следовало ожидать, существенно изменила качественные и количественные характеристики кривой «$\sigma - \varepsilon$». Результат представлен кривой 3 на рис. 1. Видно, что предел прочности материала в момент разрушения (≈ 200 MPa) более чем на 50% превосходит σ_{max} на условной диаграмме нагружения. Измерения пластической деформации в локальной зоне будущего разрушения позволили определить степень пластической деформации материала на стадии предразрушения $\varepsilon^p \approx 42\%$. Это почти в 2 раза больше, чем по инженерной оценке пластичности, соответствующей достижению временного сопротивления прочности ($\varepsilon^p \approx 27\%$).

На уточнённой диаграмме отсутствует стадия падающего напряжения. Образец испытывает деформационное упрочнение вплоть до момента разрушения. На заключительном этапе предразрушения происходит настолько быстрое уменьшение сечения образца, что накопление пластической деформации в шейке не успевает компенсировать рост напряжения, вызванный этим уменьшением сечения, и падения напряжения не наблюдается.

Проведённые исследования показывают, что для выяснения механизмов локализации деформации и разрушения материалов, чрезвычайно важно учитывать непрерывное формоизменение образцов в зоне формирования шейки.

Литература

1. Криштал М.М. Взаимосвязь неустойчивости и неоднородности пластической деформации: Дис. на соиск. уч. ст. доктора физ.-мат. наук. – Тольятти (2003) 330с.

2. Дерюгин Е.Е., Панин В.Е., Шмаудер З., СтороженкоИ.В. Эффекты локализации деформации в композитах на основе Al с включениями Al_2O_3 // Физическая мезомеханика 4 №3(2001) 35-47.

3. Deryugin Ye.Ye., Panin V.E., Shmauder S. and Soppa E. The effects of macrolocalization of deformation in Al–based composites with Al_2O_3 inclusions // Fatigue Fract Engng Mater Struct 26 (2003) 295-304.

4. Deryugin Ye.Ye., Lasko G.V., Schmauder S. Relaxation Element Method in Mechanics of Deformed Solid // In book: Computational Materials / Editors: Wilhelm U. Oster, Hauppauge NY: Nova Science Publishers (2009).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНА ВТ1-0 ПРИ НАВОДОРОЖИВАНИИ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Таразанова Е.И[1]., Кретова О.М.[2]
Научный руководитель: Казаченок М.С.[2], к.т.н, н.с.
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: katt@t-sk.ru

Введение

Основной проблемой при эксплуатации титановых изделий в различных областях промышленности (аэрокосмической, судостроительной и др.) является деградация их механических свойств вследствие водородного охрупчивания [1]. Однако водородная обработка металлов может оказывать и положительное влияние на их механические характеристики. Эффект наводороживания в данном случае будет зависеть от итоговой концентрации водорода в исследуемом материале. Еще одним возможным способом повышения эксплуатационных свойств титана является предварительная электронно-пучковая обработка, позволяющая изменить структуру поверхностных слоев титана и, как следствие, влиять на поглощение материалом водорода. Целью данной работы являлось исследование сорбционных и механических свойств титана ВТ1-0, как в исходном, так и в облученном состоянии при наводороживании из газовой фазы.

Материалы и методика исследования

В качестве материала исследований использовали образцы из технического титана ВТ1-0 в виде прямоугольных пластин размерами 1,0×5,0×10,0 мм^3 и двухсторонних лопаток с размерами рабочей части 1,0×3,0×10,0 мм^3 в отожженном состоянии. Часть образцов была предварительно обработана электронным пучком с двух сторон по следующему режиму: длительность импульса – 50 мкс, число импульсов – 3, плотность энергии пучка – 18 Дж/см^2. Насыщение водородом титана осуществляли методом Сивертса в установке Gas Reaction Controller. Для подбора режимов водородной обработки были проведены испытания в маленькой камере при давлении 2 атм, температурах в интервале 450-600 °С с шагом 50 °С и временах насыщения 60, 120 и 180 мин. На основе полученных экспериментальных данных были выбраны следующие режимы для водородного насыщения образцов технического титана в виде двухсторонних лопаток в исходном и облученном состояниях в большой камере: при давлении 0,6 атм и температуре 300 °С в течение 30 мин (1 режим), а также при давлении 2 атм и температурах 550 и 600 °С в течение 180 мин (2 и 3 режимы). Измерение концентрации водорода в образцах технического титана до и после наводороживания (C_{H2}) выполняли с помощью газоанализатора водорода RHEN 602 фирмы LECO. Одноосное статическое растяжение проводили на испытательной машине INSTRON 5582 со скоростью нагружения 0,3 мм/мин. Микротвердость модифицированного поверхностного слоя (H_μ) определяли на наноиндентере NanoTest 600 с использованием пирамидки Виккерса при нагрузке 2 мН.

Результаты эксперимента

На рис. 1 представлена кинетика сорбции водорода титаном для времени насыщения τ=180 мин. Аналогичные результаты были получены для других времен наводороживания.

Точные измерения концентрации водорода в исследуемом материале до и после водородной обработки, полученные с помощью газового детектора по теплопроводности, представлены в табл. 1 (C_{H2} выражена в масс.%).

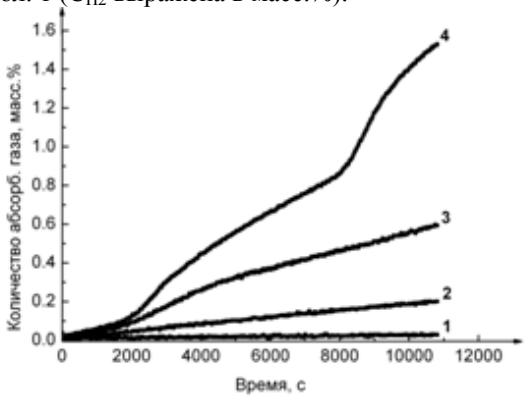


Рис. 1. Кинетика сорбции водорода титаном ВТ1-0 при Т=180 мин: 1-450 °С,2-500 °С,3-550 °С,4-600 °С

Таблица 1. Результаты измерений концентрации водорода в образцах ВТ1-0 при p=2 атм

τ, мин / Т, °С	60	120	180
450	0,0134	0,0131	0,0657
500	0,0539	0,081	0,1547
550	0,139	0,3633	0,6686
600	0,5552	0,6406	1,5673

Из рис. 1 и табл. 1. видно, что при увеличении температуры и/или времени водородной обработки количество абсорбированного титаном газа существенно возрастает. Стоит отметить, что кон-

центрация водорода в исходном материале составляла ~0,0008 масс.%.

Использование наноиндентора позволило оценить механические свойства поверхностного слоя технического титана ВТ1-0, модифицированного путем электронно-пучковой или водородной обработок. H_μ для исходного материала составляла 2,7 ГПа. В работе [2] было показано, что обработка поверхностных слоев титана электронным пучком позволяет повысить их микротвердость до 3,8 ГПа, вследствие формирования нанокристаллической структуры. Наводороживание из газовой фазы оказывает значительное влияние на величину микротвердости поверхностных слоев титана (табл. 2), о чем свидетельствует повышение H_μ вплоть до ~7-8 ГПа.

Таблица 2. Измерение микротвердости поверхностного слоя ВТ1-0 при p=2 атм(H_μ в ГПа)

τ, мин / T, °C	60	180
450	-	6,62±3,12
500	7,13±1,69	6,95±1,6
550	7,89±1,83	8,57±2,5
600	8,23±2,88	8,31±2,07

Исследования на одноосное статическое растяжение показали, что предел прочности и пластичность для исходных титановых образцов составляют 320 МПа и 45% соответственно (табл. 3). Последующая электронно-пучковая обработка приводит к увеличению как прочности, так и пластичности материала. Введение водорода оказывает сложное влияние на механическое поведение технического титана, которое зависит от концентрации водорода в образце, а, следовательно, от режима водородной обработки. Из табл. 3 следует, что при низкой температуре водородного насыщения (при малых концентрациях газа) – 1 режим – имеет место существенное увеличение пластичности образцов ВТ1-0. Влияние на прочностные характеристики в этом случае оказалось несущественным. При более высокой температуре (режимы 2, 3) наблюдалось значительное увеличение прочностных характеристик исходных наводороженных образцов до 375 и 560 МПа соответственно. Однако вследствие водородного охрупчивания пластичность данных образцов не превышала 3-12% [2]. Важно отметить, что массовая доля водорода в облученных образцах ВТ1-0 больше, чем в исходных (табл. 3). Наиболее оптимальными механическими свойствами (сочетанием высокой прочности ~450 МПа и удовлетворительной пластичности ~30%, характеризовались образцы ВТ1-0, подвергнутые предварительной электронно-пучковой обработке и последующему наводороживанию при T=550 °C, p=2 атм, τ=180 мин при итоговой концентрации газа в металле ~0,362 масс.%.

Таблица 3. Изменение механических свойств титана ВТ1-0 в исходном и облученном состояниях, подвергнутого наводороживанию

Вид обработки	C_{H2}, масс.%	σ, МПа	ε, %
исх	0,0008	320	45
пучок	0,00042	350	59
H_2 1 режим	0,0035	325	60
пучок-H_2 1 режим	0,0165	350	59
H_2 2 режим	0,0543	375	12
пучок-H_2 2 режим	0,362	450	29
H_2 3 режим	0,964	560	3
пучок-H_2 3 режим	0,934	540	3

Заключение

Проведенные исследования показали, что эффект наводороживания из газовой фазы на механическое поведение технического титана зависит от итоговой концентрации газа в материале, а, следовательно, от режима водородной обработки. Показано, что при увеличении температуры и времени водородного насыщения концентрация абсорбированного металлом газа возрастает. Наводороживание при высокой температуре (высокой концентрации газа) приводит к резкому сокращению пластичности образцов при одновременном значительном увеличении их прочностных характеристик. Водородное насыщение при более низкой температуре (низкой концентрации газа) сопровождается существенным повышением пластичности при сохранении исходной прочности.

Предварительная обработка электронным пучком технического титана ВТ1-0, позволяющая сформировать нанокристаллическую структуру в его тонком поверхностном слое, оказывает существенное влияние на поглощение материалом водорода, а именно концентрация газа в облученном титане больше, чем в исходном отожженном титане.

Выбран оптимальный режим водородной обработки образцов ВТ1-0, который в сочетании с предварительной электронной обработкой позволяет получить высокие значения механических характеристик материала.

Список литературы

1. Liang C.P., Gong H.R. Fundamental influence of hydrogen on various properties of α-titanium // International journal of hydrogen energy. – 2010. – № 3. – С. 1–5.

2. Кретова О.М., Таразанова Е.И. Влияние наводороживания на механические свойства наностуктурированного технического титана ВТ1-0 // Современные техника и технологии: Труды XVI Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2010. – Т. 2. – С. 144–146.

УПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА $Sm_{1-X}Y_XS$ ВБЛИЗИ ВАЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА

Теслева Е. П., Белькова Т. А.
Научный руководитель: Беломестных В. Н., д. ф.-м. н., профессор
Юргинский технологический институт Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652050, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: tesleva@mail.ru

Редкоземельные металлы и их соединения демонстрируют ряд необычных свойств, связанных, главным образом, с состоянием промежуточной валентности. Нестабильность и колебания валентности в этих соединениях – предмет интенсивного экспериментального и теоретического исследования [1, 2, 3].

Одна из поразительных особенностей материалов с промежуточной валентностью – то, что продольные фононы имеют тенденцию к смягчению по сравнению с поперечными фононами. Так, например, измерения упругих постоянных сплава $Sm_{1-x}Y_xS$ показали [4], что в состоянии с промежуточной валентностью модуль всестороннего сжатия B достигает минимального значения ($B\to 0$, $c_{11}\to 2c_{12}$) при критическом значении состава сплава $x_c=0{,}15$, при котором происходит валентный переход из полупроводникового состояния в металлическое. Другой особенностью, характерной для соединений с промежуточной валентностью, является отрицательные значения упругой постоянной c_{12}, приводящие к потрясающим последствиям – отрицательному значению коэффициента Пуассона ($\sigma\to -1$).

Упругие свойства и ангармонизм межатомных колебаний в материалах с промежуточной валентностью изучались нами ранее [5, 6]. В табл. 1 приведены экстраполированные значения плотности (ρ), постоянных жёсткости (c_{11}, c_{12}, c_{44}) для кубических кристаллов $Sm_{0,85}Y_{0,15}S$ при валентном переходе полупроводник-металл на основе данных работы [4]. Здесь же помещены определённые нами на основе c_{ij} фактор упругой анизотропии A и соотношение Коши Δ. Фактор упругой анизотропии, определяющий меру изотропности кристалла, определяли по соотношению: $A=2c_{44}/c_{11}-c_{12}$ (для упругоизотропного тела A=1). Соотношение Коши, являющееся мерой центральности сил межатомного взаимодействия (при $\Delta=1$ все силы межионного взаимодействия в кристалле должны быть центральными) равно отношению: $\Delta = \dfrac{c_{12}}{c_{44}}$.

Постоянные жесткости c_{11}, c_{12}, и c_{44} сплава использовались также для расчета постоянных податливости и коэффициента Пуассона в разных кристаллографических направлениях. Формулы для расчета коэффициента Пуассона $\sigma_{\langle hkl\rangle}$ приведены в табл. 2. Кроме этого был проведен расчет изотропных упругих модулей B и G (модуль сдвига), для нахождения которых использовали приближение Фохт-Ройс-Хилла [7], Александрова [8] и Пересада [9] (кубическая сингония).

Таблица 1

Постоянные жесткости, плотность, фактор упругой анизотропии и соотношение Коши кубических монокристаллов $Sm_{0,85}Y_{0,15}S$ при валентном переходе полупроводник-металл

Фаза	c_{11}	c_{12}	c_{44}
	ГПа		
полупроводник	127	0	28
металл	119	-62	30
	ρ, 10^3 кг/м^3	A	Δ
полупроводник	5,96	0,441	0
металл	6,10	0,331	-2,067

Таблица 2

Расчетные формулы коэффициентов Пуассона кубических монокристаллов

Параметры	направление в кристалле (направление деформации)	
	<100> (001)	<110,001>
s_{ij}	$-\dfrac{s_{12}}{s_{11}}$	$-\dfrac{2s_{12}}{s_{11}+s_{12}+0{,}5s_{44}}$
c_{ij}	$\dfrac{c_{12}}{c_{11}+c_{12}}$	$\dfrac{2c_{12}}{c_{11}+3BC'/c_{44}}$
Параметры	направление в кристалле (направление деформации)	
	$<110,1\bar{1}0>$	<111> (111)
s_{ij}	$-\dfrac{s_{11}+s_{12}-0{,}5s_{44}}{s_{11}+s_{12}+0{,}5s_{44}}$	$-\dfrac{s_{11}+2s_{12}-0{,}5s_{44}}{s_{11}+2s_{12}+s_{44}}$
c_{ij}	$\dfrac{3BC'-c_{11}c_{44}}{3BC'+c_{11}c_{44}}$	$\dfrac{3B-2c_{44}}{6B+2c_{44}}$

Примечание: $C'=\dfrac{1}{2}(c_{11}-c_{12})$, $B=\dfrac{1}{3}(c_{11}+2c_{12})$.

Значения A показывают, что в смешанных кристаллах увеличение концентрации атомов иттрия в указанных пределах приводит к усилению упругой анизотропии. Соотношение Коши в момент перехода меняется от 0 до –2,067, что свидетельствует о том, что в смешанных кристаллах $Sm_{1-x}Y_xS$ имеет место нарушение центральности сил межатомного взаимодействия.

Модули сдвига, рассчитанные по приближениям Фохт-Ройс-Хилла ($G_{ФРХ}$), Пересада ($G_{Пер}$) и Александрова ($G_{Ал}$) получились достаточно близкими друг к другу, максимальное расхождение между $G_{ФРХ}$ и $G_{Ал}$ не превышает 5% (табл. 3).

Таблица 3

Модули сдвига и всестороннего сжатия

(ГПа)

Фаза	$G_{ФРХ}$	$G_{Пер}$	$G_{Ал}$
полупроводник	39,0	38,9	38,7
металл	47,4	46,7	45,0
Фаза	$B_{ФРХ}= B_{Ал}$		$B_{Пер}$
полупроводник	42,0		42,0
металл	-1,7		1,7

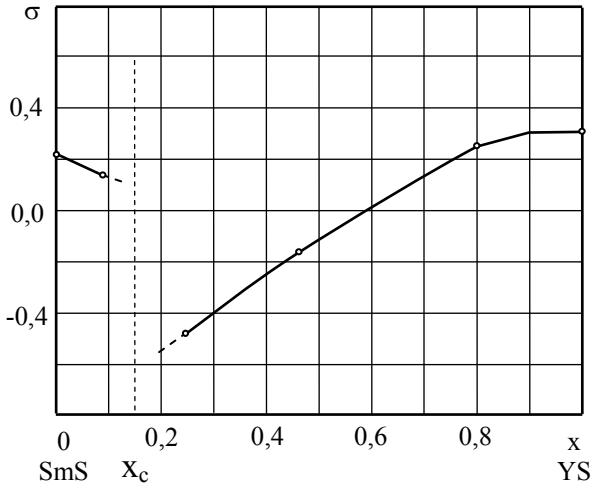


Рис. 2. Зависимость коэффициента Пуассона поликристаллов $Sm_{1-x}Y_xS$ от примесной концентрации Y

Концентрационная зависимость коэффициента Пуассона поликристаллов $Sm_{1-x}Y_xS$ представлена на рис. 1. Как видно из рисунка коэффициент Пуассона при переходе системы из полупроводникового в металлическое состояние при критической концентрации примеси иттрия (x=0,15) изменяется скачком. Такое поведение характерно для резких фазовых переходов (переходов I рода). Концентрационные зависимости σ в докритической концентрации убывающие, в закритической – возрастающие, при этом наблюдается резкое снижение коэффициента Пуассона в момент перехода ($\Delta\sigma \approx 700\%$). Обращают на себя внимание отрицательные значения коэффициента Пуассона при x=0,15÷0,6. Это свидетельствует о том, что при данных составах материал при продольном растяжении расширяется в перпендикулярном направлении, проявляя аномальные ауксетичные деформационные свойства [10].

Список литературы

1. Тонков Е.Ю., Аптекарь И.Л. Критическая точка на кривой изоморфного превращения SmS. //ФТТ. 1974. Т. 16. №5. С. 1507-1508.

2. Schärer U., Wachter P. Negative elastic constants in intermediate valent $Sm_xLa_{1-x}S$ // Solid State Comm. 1995. V. 96, № 7. P. 497-501.

3. Schärer U., Jung A., Wachter P. Brillouin spectroscopy with surface acoustic waves on intermediate valent, doper SmS // Physica. 1998. V. 244. P. 148-153.

4. Hailing T., Saunders G. A., Yoğurtsu Y.K., Bach H., Methfessel S. Poisson's ratio limits and effects of hydrostatic pressure on the elastic behaviour of $Sm_{1-x}Y_xS$ alloys in the intermediate valence state. // J. Phys. C. Sollid State Phys. 1984. V. 17. P. 4559 – 4573.

5. Беломестных В.Н., Теслева Е.П. Анизотропия ангармонизма в смешанных кристаллах с промежуточной валентностью. // Сборник трудов международной научной конференции "Актуальные проблемы физики твердого тела" (ФТТ-2009), 20-23 октября 2009 г., Минск. Т.2. С. 195 – 197.

6. Беломестных В. Н., Теслева Е. П. Анизотропия ангармонизма межатомных колебаний в кристаллах $Sm_{1-x}Y_xS$ с промежуточной валентностью // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2010. Т.7. №1. С. 61-63.

7. Физическая акустика. Под. ред. У. Мэзона. Т.III. Ч.Б. Динамика решетки. Пер.с англ. под ред. И. Л. Фабелинского. – М.: Изд-во "Мир", 1968. – 391 с.

8.Александров К. С. К вычислению упругих констант квазиизотропных поликристаллических материалов.// ДАН СССР. 1967. Т. 176. №2. С. 295 - 297.

9. Peresada G. L. On the calculation of elastic moduli of polycrystalline systems from single crystal data // Phys. Status Solidi. 1971. V. A4.P. K23-K27.

10. Конек Д. А., Войцеховски К. В., Плескачевский Ю. М., Шилько С. В. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (Обзор) //Механика композитных материалов и конструкций. 2004. Т.10. №1. С.35 – 69.

КЕРАМИЧЕСКИЕ ГЛАЗУРИ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Тодовянская О.В.,
Научный руководитель: Седельникова М.Б., к.т.н. доц.
Томский политехнический университет, г. Томск пр. Ленина - 30.
E-mail: smb@tpu.ru,

Глазури служат для придания керамическим изделиям водонепроницаемости, гигиеничности, оформления законченного внешнего вида изделий [1]. Существует большое многообразие декоративных глазурей. Для получения керамических глазурей кроме природного высокосортного сырья используют дорогостоящие материалы - химически чистые оксиды и соли различных элементов. В современном материаловедении большое значение приобретает решение задач охраны окружающей среды, создания безотходных и ресурсосберегающих технологий, утилизации промышленных отходов, комплексного использования добываемого природного сырья.

Актуальной проблемой является исследование возможности применения нетрадиционных сырьевых материалов для получения глазурей. Так, например, в работе [2] использовали флотоотход медно-обогатительной фабрики Алмалыкского горнометаллургического комбината для получения бесциркониевых глушенных глазурей. Авторы [3] использовали в качестве компонентов шихты для получения прозрачной глазури отходы мраморного производства для снижения себестоимости глазури. В работе [4] получили шихту для фриттованной окрашенной глазури с использованием отработанного ванадиевого катализатора. Была рассмотрена возможность использования хромсодержащих отходов гальванических [5], при синтезе глазурных стекол применяли отход феррогидрозолевого осаждения гальванических стоков научно-производственного объединения ИПО «РОТОН»[6].

В представленной работе исследовали возможность получения сырых (нефриттованных) керамических глазурей на основе отработанного СВД – катализатора - отхода Кемеровского ОАО «Азот» и нефелинового шлама Ачинского глинозёмного комбината. СВД-катализатор (сульфованадата на диатомите), формула которого $35SiO_2 \cdot V_2O_5 \cdot 3K_2O \cdot 6SO_3$, имеет химический состав мас.%: SiO_2-64.9; V_2O_5-6.2; Al_2O_3-5.2; K_2O-9.1; SO_3-14.6.[5]. Сырьевыми материалами для СВД-катализатора являются природный диатомит, оксид ванадия (V) и сульфат калия. Диатомит содержит 90% панцирей диатомитовых водорослей, 2-7% кварца, остальное – полевые шпаты, глауконит, слюда. В состав отработанного СВД - катализатора входят как стеклообразующий оксид SiO_2, так и цветонесущий оксид V_2O_5. Присутствие в составе катализатора флюсующего компонента K_2O дает возможность использовать данный материал для получения окрашенных стекловидных покрытий.

Нефелиновый шлам - продукт сложного, хорошо регулируемого технологического процесса переработки природных нефелин-апатитовых руд и получения глинозема, шлам стабилен по своим свойствам. В настоящее время отработанный нефелиновый шлам в большом количестве хранится в отвалах, поэтому актуальной проблемой становится его дальнейшая переработка. Основными химическими компонентами нефелинового шлама являются CaO и SiO_2, соответствующие молярному отношению CaO : SiO_2 – 2:1 и составляющие в сумме 85 – 88 %. Остальные оксиды ($A1_2O_3$, MgO, Na_2O, K_2O) можно рассматривать как второстепенные компоненты, мало влияющие на структуру и свойства получаемых пигментов. Химический состав нефелинового шлама приведен в таблице 1. Минералогический состав нефелинового шлама представлен, в основном, двухкальциевым силикатом, в качестве второстепенных фаз присутствуют гидросиликаты кальция, гидроферриты и др.

Для получения керамических глазурей составляли композиции из тонкоизмельчённых нефелинового шлама, СВД – катализатора, чупинского полевого шпата и хромофоров. Химический состав полевого шпата также указан в таблице 1. В качестве хромофоров использовали оксиды и соли кобальта, железа, никеля, хрома, марганца. Некоторые составы глазурей представлены в таблице 2. Смеси подвергали тонкому помолу мокрым способом в шаровых мельницах, после чего глазури процеживали через сито № 0056. Затем глазури наносили на поверхность предварительно обожжённых керамических плиток, которые обжигали при температурах 1170 – 1200^{o}C. Оптимальной следует признать температуру обжига 1200^{o}C, поскольку при более низкой температуре некоторые глазурные покрытия получились матовыми и шероховатыми.

Из исследованных составов глазурей не все можно назвать удачными. Составы НГ5, НГ6 не дали равномерного блестящего глазурного покрытия при температуре 1170^{o}C, а при более высокой температуре произошло «вскипание» глазурей. После обжига при температуре 1170^{o}C глазурь состава НГ7 получилась матовой, шоколадно-коричневого цвета. Составы НГ1, НГ2, НГ4 и НГ8 дали блестящие, прозрачные покрытия. В ходе ксперимнтов были определены основные свойства глазурей, они представлены в таблице 3.

Полученные глазури могут быть рекомендованы в качестве защитно-декоративных покрытий для фаянсовых, майоликовых изделий, изразцов, архитектурно-строительной керамики, изделий для внутренней облицовки зданий и сооружений.

Таблица 1. Химический состав исходных сырьевых материалов

Вид сырья	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{прк}$
Нефелиновый шлам	29,12	3,67	4,55	53,20	1,45	2,16	0,90	4,96
Чупинский полевой шпат	63,13	21,27	0,30	0,83	0,50	1,62	12,04	0,30

Таблица 2. Химический состав глазурей

№ покры-тия	Содержание оксидов, мас.%									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	V_2O_5	MnO	CoO
НГ1	47,37	12,81	2,49	1,0	27,75	6,64	1,94	-	-	-
НГ2	46,07	12,37	2,48	0,99	27,72	6,40	1,91	-	2,05	-
НГ3	46,07	12,37	2.48	0,99	27,72	6,40	1,91	-	-	2,05
НГ4	46,07	12,37	4,54	0,99	27,72	6,40	1,91	-	-	-
НГ5	68,12	14,30	0,16	0,27	0,45	12,00	0,88	3,81	-	-
НГ6	66,74	13,84	0,16	0,26	0,43	11,74	0,85	3,81	2,18	-
НГ7	66,74	13,84	2,33	0,26	0,43	11,74	0,85	3,81	-	-
НГ8	57,44	13,53	1,36	0,65	14,50	9,24	1,43	1,85	-	-

Таблица 3. Свойства глазурей

№ покрытия	Основные свойства			
	ТКЛР·10^7, $град^{-1}$	Плотность, $г/см^3$	Коэффициент кислотности	Температурный интервал плавления, ^oC
НГ1	91,33	2,87	0,76	1130-1150
НГ2	91,84	2,94	0,73	1110-1130
НГ3	90,86	2,94	0,73	1110-1130
НГ4	91,6	2,94	0,72	1120-1150
НГ5	68,19	2,56	1,96	1400-1450
НГ6	70,23	2,62	1,87	1350-1400
НГ7	68,75	2,62	1,83	1350-1400
НГ8	84,41	2,73	1,16	1200-1250

Список литературы

1. Акунова Л.Ф., Крапивин В.А. Технология производства и декорирования художественных керамических изделий. Москва: Высшая школа 1984. С. 243.

2. Икрамова З.О., Мухамеджанова М. Т., Тухтаева Г. Г. Физико-химические свойства легкоплавких глазурей заглушенных флотоотходом медно-обогатительной фабрики // Стекло и керамика – 2008 – №11. С. 20-21.

3. Брученко А.Е., Колесникова Л.С. Прозрачная глазурь, Патент РФ № 2098367. Опубликовано: 10.12.1997.

4. Радченко С.Л., Радченко Ю.С., Орехова С.Е. Получение глазурных покрытий на основе отработанных ванадиевых катализаторов. /Стекло и керамика. – 2009 – №4, с.29-31

5. Бобкова Н. М., Артемьева С. А., Трусова Е. Е. Цветная глазурь с использованием хромосодержащего отхода.// Стекло и керамика. – 2001 – №5 – с.21 – 22.

6. Утилизация отходов гальванического производства при разработке цветных глазурей// Техника и технология экологически чистых производств: 4 Международный симпозиум молодых ученых, аспирантов и студентов, Москва, (2000): Тезисы докладов. М.: Изд-во МГУИЭ. 2000, с. 58-59.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ЛИТИЕВЫХ ФЕРРИТОВ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИИ

Трофимова О.А., Лысенко Е.Н.
*Научный руководитель: Лысенко Е.Н., к.ф-м.н, с.н.с.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 40
*Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: olya88@yandex.ru

Введение

Материалы на основе литиевых оксидных феррошпинелей характеризуются большим разнообразием составов и структурных модификаций, которые определяют формирование тех или иных функциональных свойств и различные весьма широкие сферы их применения. Пентаферрит лития (ПФЛ) $Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$ является простейшим представителем обширного класса литиевых оксидных феррошпинелей, характеризующихся большим разнообразием составов и структурных модификаций. Поэтому он привлекает к себе внимание, прежде всего, в качестве модельного объекта при изучении фундаментальных физических явлений, протекающих в группе материалов, полученных на основе ПФЛ. Для области СВЧ электроники перспективными считаются литиевые ферриты, которые получают методами керамической технологии [1]. Характерной особенностью такой технологии является существенное влияние окружающей среды при высоких температурах на формирование дефектности кислородной подрешетки ферромагнитных материалов [1].

При взаимодействии с окружающей средой в зависимости от таких внешних термодинамических параметров как температура (T) и парциальное давление кислорода в газовой среде (P) феррит может поглощать кислород (окислительная реакция) или терять его (восстановительная реакция). В результате происходит самопроизвольное нарушение кислородной стехиометрии вещества. Во многих случаях материал способен приобретать оптимальные физико-химические свойства только при определенном содержании кислорода. Поэтому для получения ферритов с требуемыми характеристиками исключительную важность представляют всесторонние исследования процессов диффузионного обмена между сложным оксидом и газовой средой и поучение данных о кинетических и диффузионных характеристиках этого процесса.

При решении такого рода задач достаточно эффективным является метод термогравиметрического анализа. Возможности данного метода значительно возросли в связи с появлением нового поколения высокочувствительного оборудования.

Целью данного исследования является определение методом термогравиметрического анализа кинетических параметров окислительных процессов в нестехиометрических литиевых ферритах.

Методика эксперимента

Литиевый феррит синтезировался по стандартной керамической технологии из смеси исходных компонентов Li_2CO_3 и Fe_2O_3, соответствующей стехиометрическому составу феррита $Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$. Синтезирующий обжиг реакционной смеси проводился при T=1170 К в течение 4 часов. В синтезированные порошки (СП) добавлялась трехокись висмута в количестве 2 вес %. Из полученной смеси прессовались таблетки диаметром 18 мм и толщиной 3 мм, которые затем спекались на воздухе при T=1290 К в течение 2 часов. Скорость нагрева и охлаждения составляла 10 К/мин. Данный режим обжига был выбран для получения состава феррита стехиометрического по кислороду. Спеченные керамические таблетки размалывались в агатовой ступке. Полученные порошки просеивались через систему сит. Выбиралась фракция с размером частиц ~ 40 мкм.

Для изучения процессов взаимодействия с окружающей средой спекаемого порошкового компакта использовался метод термогравиметрии (ТГ). Изменение массы ферритового компакта непосредственно в процессе обжига в воздушной атмосфере регистрировалось с помощью анализатора STA 449 C Jupiter (фирма Netzsch, Германия) с чувствительностью весов 0.1 мкг.

Результаты ТГ анализа позволили определить температурный интервал для нагревания этого материала T=670–920 К, в рамках которой можно правильно анализировать кинетику окисления в нестехиометрических порошках феррита. Кинетический анализ проводился с использованием комбинированного режима нагревания с участием как неизотермических, так и изотермических этапов. Неизотермический нагрев проводился в режиме линейного нагрева со скоростями 0.5, 1.0, 5.0, 8.0 К/мин. Анализируемый образец нагревался с определенной скоростью до T=920 К. За этим следовал сравнительно длинный этап изотермической выдержки при этой температуре до установления равновесия с окружающей средой, т.е. до постоянства массы образца.

При проведении ТГ измерений литиевый порошок помещали в тигель из Al_2O_3 в виде стаканчика. Для корректного измерения базовых

линий тигель нагружали инертным веществом – порошком из Al_2O_3, масса которого была равна массе исследуемого материала.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлено кинетическое поведение изменения массы порошка. Кинетические результаты были обработаны с помощью лицензированного программного обеспечения Netzsch Термокинетика, разработанного для тех, кто использует.

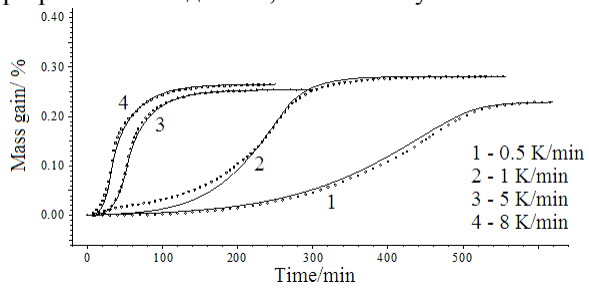


Рисунок 1 – Кинетика окисления порошка пентаферрита лития. Экспериментальные ТГ измерений (точки) и расчетные кривые (сплошные линии).

Анализ показал, что наиболее удовлетворительно полученные кинетические зависимости описываются в рамках модели D_{3F} (модель трехмерной диффузии по Фику). Расчетные значения кинетических параметров представлены в таблице 1, а построенные с учетом этих значений расчетные кривые приведены на рис. 1.

Таблица 1 –
Расчетные значения кинетических характеристик процесса окисления ферритов по данным ТГ.

Кин. модель	Параметр $\log A$, c^{-1}	E, кДж/моль	Параметр E, эВ
D_{3F}	7.42	205	2.12

Программа «Netzsch Thermokinetics» позволяет по известным значениям констант скорости реакции выполнить расчеты кинетических зависимостей степени превращения (α) для изотермических условий (рис. 2). Параметр α представляет собой отношение текущих значений увеличения массы к максимально возможному, которое соответствовало окислению литиевого феррита до стехиометрического состояния.

Поскольку реакция окисления протекает в диффузионном режиме, то на основе рассчитанных зависимостей α от времени можно осуществить оценку эффективных коэффициентов диффузии кислорода в феррите для различных температур окислительного отжига. Обработка кинетических результатов опиралась на решение второго закона Фика [2]:

$$\alpha = 1 - \frac{6}{\pi^2}\sum_{\kappa=1}^{\infty}\frac{1}{k^2}\exp\left\{-[\kappa\pi]^2\frac{D}{R^2}t\right\}, \qquad (1)$$

где D – коэффициент диффузии;
R – радиус частиц;
t – время отжига.

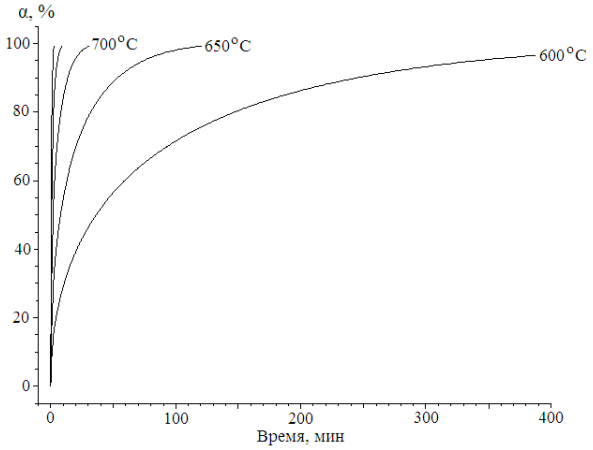


Рисунок 2 – Изотермические зависимости степени превращения α в реакции окисления ферритов, полученные расчетным путем для различных температур.

Расчеты показали, что температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии описывается выражением:
$D(см^2/с)=4.1\ e^{-1.88/kT}$.

В результате энергия активации E_D как правило ниже, чем энергия активации объемной диффузии кислорода, характерной для ферритов (E= 2.5-3 эВ) [1].

Возможная причина такого расхождения может быть существенная роль межзеренных границ в окислительном процессе.

Это несоответствие может быть вызвано значительной ролью границ зерен в окислительном процессе.

Выводы

Методом неизотермической термогравиметрии изучена кинетика окисления литиевого феррита состава $Li_{0.5}Fe_{2.5}O_4$, изготовленного керамическим методом в режиме, обеспечивающим формирование кислород-дефицитной структуры.

Установлены кинетические характеристики окисления нестехиометрического литиевого феррита и коэффициент диффузии кислорода, контролирующий этот процесс.

Значение эффективной энергии активации кислородной диффузии E получено равным 1.88 эВ.

Литература

1. Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. М.: Металлургия, 1979. 471

2. Crank J. //J. Therm. Anal. Cal. – 2000. – V-60. – P. 641-645.

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ И КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА

Тукеева М.С., Мельников Е.В., Захарова Г.Г.
Научный руководитель: Астафурова Е.Г., к.ф.-м.н., доцент
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: tukeeva@sibmail.com

Задача получения и изучения ультрамелкодисперсных структур в сталях носит важное фундаментальное и прикладное значение. Механическое двойникование может выступать одним из факторов, способствующих формированию субмикрокристаллической структуры при интенсивной пластической деформации (ИПД) в аустенитных сталях с низкой энергией дефекта упаковки, например, в стали Гадфильда [1]. Двойники разбивают исходное зерно на субзерна за счет формирования сетки двойников, границы которых являются препятствиями для дислокационного скольжения и двойникования.

В данной работе методами оптической металлографии, просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа проведены исследования структуры монокристаллов стали Гадфильда после ИПД холодной прокаткой вдоль направлений <111> и <001> и кручением под гидростатическим давлением (КГД). Прокатку проводили на плоских валках при температуре 20ºС до степеней обжатия 5-75%. КГД проводили под давлением 5 ГПа на наковальнях Бриджмена при температуре 20ºС. Образцы деформировали на 1-5 оборотов.

После прокатки в монокристаллах обеих ориентаций с ранних степеней деформации (ε=5%) развивается механическое двойникование, с ростом деформации плотность двойников возрастает. После 40% обжатия наряду с двойниками вытравливаются полосы локализованной деформации (ПЛД), которые отклонены на углы до десятков градусов от плоскостей {111} – плоскостей скольжения (двойникования) ГЦК кристаллов. Наряду с двойникованием наблюдается высокая плотность дислокаций скольжения, которые образуют ячеистую дислокационную структуру (рис. 1а). Основной фактор упрочнения – взаимодействие нескольких систем двойникования и дислокаций скольжения (рис. 1б). Двойники оказываются внутренне сдвойникованными (рис. 1в), то есть дополнительно упрочненными, что должно способствовать повышению внутренних напряжений и росту прочности стали. Расстояние между двойниковыми границами изменяется от 5 нм до 100 μм.

Двойники не растут в ширину, с ростом деформации увеличение объемной доли двойникования происходит за счет зарождения новых тонких двойников деформации. Это характерно для деформации двойникованием высоколегированных твердых растворов замещения и внедрения, где двойники, легко зарождаясь, испытывают сопротивление своему росту за счет высокой концентрации легирующих компонентов [2].

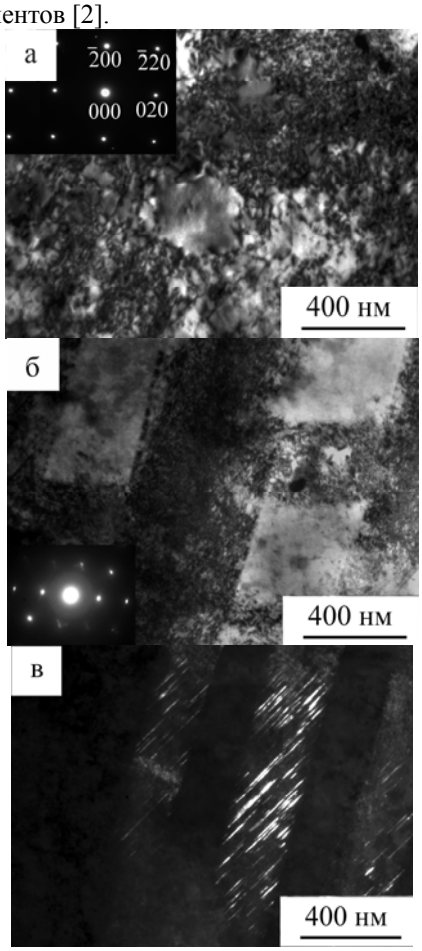


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения структуры прокатанных до 20% обжатия <001> монокристаллов стали Гадфильда: а,б – светлопольные изображения, в – темнопольное изображения в рефлексе двойника

Аналогичная картина наблюдается в монокристаллах, подвергнутых КГД при комнатной температуре. Фрагментация структуры происходит преимущественно за счет образования двойников и ПЛД. Анализ картин деформации после переполировки и травления показывает, что действует несколько систем двойникования, более того, двойники и полосы локализации оказываются внутренне сдвойникованными. Методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии в структуре стали Гадфильда после КГД при

комнатной температуре обнаружена небольшая доля ε- и α'-мартенсита.

Электронно-микроскопически наблюдается формирование грубой сетки двойников, ширина которых составляет десятки нанометров (рис. 2а, в), и микрополос локализованной деформации. Внутри фрагментов такой сетки наблюдается высокая плотность дислокаций скольжения и тонких двойников деформации, толщиной в единицы нанометров (рис. 2б). Таким образом, эффективная величина фрагментов структуры – структурных элементов – составляет единицы нанометров (5-10 нм) и ограничены они двойниковыми границами. Сильное деформационное упрочнение стали после КГД при Т=20ºС связано с взаимодействием двойников, ламелей мартенсита и полос локализованной деформации.

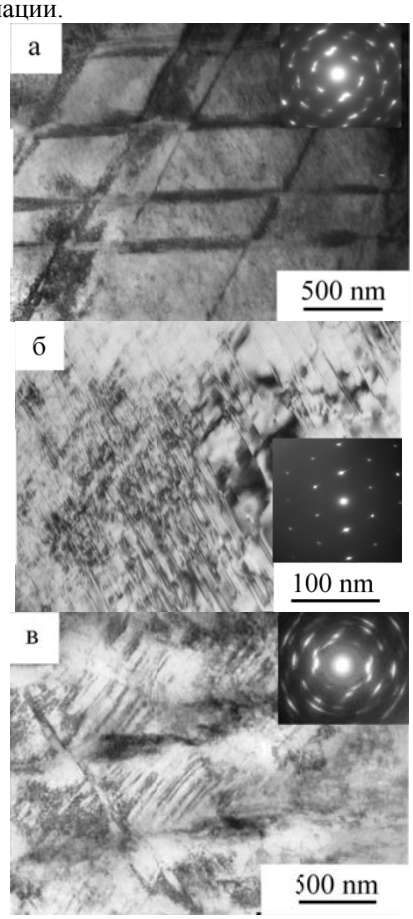


Рис. 2. Электронно-микроскопические светлопольные изображения структуры монокристаллов стали Гадфильда после КГД: а, б – 2 оборота; в – 3 оборота

Холодная прокатка приводит к уменьшению размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) и росту величин микродеформации решетки. Следует отметить, что уже при небольших степенях обжатия (~20-30%) размеры ОКР указывают на формирование ультрамелкозернистого состояния с размерами неискаженных фрагментов структуры 10-20 нм. Границами фрагментов структуры выступают, в основном, границы двойников деформации. Измерение размеров ОКР после кручения под давлением дает близкие значения параметров структуры – после 1-3 оборотов значения ОКР составляют 15-20 нм, после 5 оборотов – 10-15 нм.

Деформация при прокатке и КГД при комнатной температуре развивается за счет образования тонких микро- и нанодвойников, которые «разбивают» исходный кристалл на микро- и нанообъемы и при высокой плотности двойников вызывают сильное деформационное упрочнение. Максимальное упрочнение кристаллов после прокатки происходит на ранних степенях обжатия (до ε=30% H_μ изменяется от 2,4 до 5,0 ГПа) и соответствует зарождению и росту двойников деформации. На больших степенях деформации ε >60% происходит менее быстрый прирост микротвердости (H_μ=6,2-7,1 ГПа), что соответствует стадии взаимодействия двойников друг с другом и с дислокационным скольжением, образованию ПЛД. Аналогичная картина наблюдается при КГД, где деформация на 1-2 оборота дает быстрый рост микротвердости – более чем в три раза по сравнению с исходным значением (H_μ изменяется от 2,5 до 7,8 ГПа), а затем с ростом числа оборотов H_μ изменяется незначительно. Следовательно, при Т=20ºС двойникование является эффективным механизмом упрочнения аустенитных сталей, и прокатка до глубоких степеней деформации дает значения микротвердости (H_μ=7,0 ГПа) сопоставимые с микротвердостью при КГД на 3-5 оборотов (H_μ=7,8 ГПа).

Таким образом, интенсивное развитие механического двойникования в нескольких системах одновременно после интенсивной пластической деформации приводит к формированию субмикрокристаллической структуры и высокому упрочнению монокристаллов стали Гадфильда. Образование сетки тонких двойников способствует быстрой фрагментации монокристалла уже на ранних степенях деформации, при этом наблюдается максимальное увеличение прочностных свойств по сравнению с исходным состоянием.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (ГК № 14.740.11.0707 от 12.10.2010 г.) и гранта Президента РФ (МК-43.2011.8).

Список литературы

1. G.G. Zakharova, E.G. Astafurova. The influence of severe plastic deformation by high pressure torsion on structure and mechanical properties of Hadfield steel single crystals // Journal of Physics: Conference Series 240 (2010) 012139.

2. Панин В.Е., Дударев Е.Ф., Бушнев Л.С. Структура и механические свойства твердых растворов замещения. – М: Металлургия, 1971. – 205 с.

КЕРАМИЧЕСКИЙ ПРОППАНТ С НИЗКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Усова З.Ю.
Научный руководитель: Погребенков В.М., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: zusova@gmail.com

Современное общество заинтересовано в увеличении добычи нефти и газа. И хотя бурение нефтяных и газовых скважин связано с большими техническими трудностями, еще большую проблему составляет непосредственно добыча– наиболее полное извлечение нефти и газа.

С помощью проведения процедуры гидроразрыва пласта производительность газовых и нефтяных скважин может быть существенно увеличена, что увеличивает экономическую эффективность работы скважины.

При гидроразрыве пласта обычно сначала вязкая жидкость закачивается в скважину для того чтобы инициировать трещину. Затем для расширения трещины в скважину закачивается смесь жидкости и расклинивающего агента, называемого проппантом, который обычно представляет собой сферические керамические частицы диаметром 0,2-1,0 мм.

Эффективность операции гидроразрыва во многом зависит от свойств материала, из которого сделан проппант. Материалы, используемые для изготовления проппанта, должны обладать прочностью достаточной для того, чтобы поддерживать трещину в открытом состоянии, а также иметь низкую плотность.

Если проппант крошится при рабочем давлении, то проводимость трещины и, соответственно, производительность скважины уменьшатся. Поэтому тенденция в разработке новых материалов для проппантов направлена на увеличение их прочности и твердости. В дополнение к прочности и твердости стремятся также уменьшить плотность проппантов, поскольку это приводит к снижению стоимости операции гидроразрыва. Низкая плотность проппанта позволяет использовать жидкость гидроразрыва с меньшей вязкостью, что проводит к снижению себестоимости закачки. Производительность скважины увеличивается также за счет того, что жидкость с меньшей вязкостью легче удаляется из трещины.

Кроме того, что потенциальный материал, используемый для изготовления проппанта, должен соответствовать предъявляемым техническим требованиям, он также должен быть широко распространен и доступен [1].

Наиболее популярными материалами для производства проппантов в настоящее время являются пески, а также алюмосиликатные материалы, такие, как каолины и бокситы. Однако, эти материалы не вполне удовлетворяют современным требованиям из-за высокой плотности. В связи с этим предпринимаются многочисленные попытки разработки альтернативных, более легких материалов для производства проппантов.

В данной работе представлены результаты лабораторных исследований по получению и изучению свойств проппанта из керамического материала на основе бората алюминия.

Анализ литературных данных показал [1], что для известных проппантных материалов упрочнение материалов в результате обжига достигается благодаря образованию материалов в фазах, свойственных для систем Al_2O_3 – SiO_2. Прочность проппанта напрямую зависит от содержания оксида алюминия в материале, из которого изготовляется проппант; отношение оксида алюминия к двуокись кремния определяет количественное соотношение фаз в материале после обжига. Плотность материала также определяется соотношением слагающих фаз. Так для более прочных проппантов с высоким содержанием корунда характерные значения плотности 3,5-3,7 г/см^3, для материалов с основной фазой в виде муллита – 3,2 г/см^3.

Согласно литературным данным [2] также известно, что возможными желательными фазами могут быть также бораты алюминия и алюмоборсиликтные фазы и их твердые растворы в оксиде алюминия или муллите.

Керамика на основе бората алюминия ($9Al_2O_3{\cdot}2B_2O_3$) представляет особый интерес благодарная тому, что она обладает высоким модулем упругости, пределом прочности на разрыв, высокой окислительной и коррозионной стойкостью. Известно, что борат алюминия образует игольчатые кристаллы в присутствии жидкой фазы. Соединение обладает низкой плотностью 2, 9 г/см^3 и низким коэффициентом термического расширения [2].

Когда оксид алюминия и оксид бора из исходной смеси вступают в реакцию, то происходит синтез фазы бората алюминия (9:2), с образованием микропористости. Такая микропористость уменьшает плотность конечного продукта; вместе с тем, высокая прочность

алюмоборатной фазы обеспечивает высокую прочность керамических частиц.

Поскольку алюмобораты являются структурными аналогами алюмосиликатов, например, муллита ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), то эти два материала способны образовывать непрерывную последовательность твердых растворов одного соединения в другом, это свойство может применяться для уменьшения температуры обжига материала и/или повышения прочности материала.

Таблица 1. Составы проппантов

Состав	H_3BO_3	Боксит - Yixing	Каолин - Просяновски	Бентонит
	Масс. %			
А 2040	17	78	5	0
В 2040	17	78	5	5

Таблица 2. Свойства проппантов

Код состава проппанта		Предел рекоменд. API	"TEXAS BROWN"	А 2040	В 2040
Гранулометрический состав					
Остаток на сите, масю%	1,20мм	0,1 max	0,0	0,0	0,0
	0,84мм		2,0	0,6	0,2
	0,60мм	90 min	41,6	59,1	51,1
	0,50мм		31,8	23,3	29,4
	0,42мм		18,3	16,1	14,2
	0,30мм		6,3	0,95	5,1
Поддон, вес.%		1,0 max	0,0	0,0	0,0
В размере, вес.%		-	91,7	98,5	94,7
Насыпная плотность, г/см3		-	1,6	1,1	1,1
Округлость		0,6 min	0,6	0,8	0,8
Сферичность		0,6 min	0,7	0,7	0,8
Тест на разрушение, мас.%	27,6 МПа	14 max	9,0	14,6	13,9

В рамках данной работы были изготовлены образцы проппантов по стандартной технологической схеме. Составы масс приведены в таблице 1. Соотношение компонентов рассчитывалось таким образом, чтобы получить молярное соотношение Al_2O_3 к B_2O_3 близкое к четырем (стехиометрическое соотношение 4,5). Для улучшения процесса грануляции в составы масс также вводили каолин и бентонит (сверх 100%). Смешивание масс проводилось в шаровой мельнице. Грануляция проводилась в роторном смесителе Eirich 03. Гранулы обжигались в муфельной печи при температуре 1350°С с выдержкой 2 часа и дальнейшим рассевом.

Тестирование готовых образцов проппантов проводилось по стандартным методикам (ГОСТ 51761-2005, аналогичный API RP 56) [3, 4]. В таблице 2 приведены свойства образцов полученных проппантов, а также свойства песка “TEXAS BROWN”, используемого для операции гидроразрыва. Песок был выбран для сравнения, как наиболее легкий материал, используемый для гидроразрыва на сегодняшний день. В таблице также приведены минимальные требования, предъявляемые к пескам для гидроразрыва Американским нефтяным институтом [4] .

Таким образом установлено, что введение борной кислоты позволяет получить материал с низкой насыпной плотностью, существенно меньшей, чем у песка при аналогичном гранулометрическом составе материала. Вероятно, снижение насыпной плотности происходит за счет образования бората алюминия, синтез которого связан со значительным объемным расширением и образованием внутренней пористости в гранулах проппанта.

Однако, прочность полученного материала несколько ниже, чем требуется для производства проппантов. Поэтому дальнейшая работа по оптимизации составов проппантов на основе бората алюминия должна быть направлена на увеличения прочности материала.

Список литературы

1. Walter G. Luscher, John R.Hellmann, Barry E.Scheetz. Strength enhancment of Alumosilicate affregate through modified thermal treatment// Int.J.Appl.Ceram.Technol.-2006.-№3-157-165.

2. I.Erkin Gunenli. Chemical Preparation of Aluminum Borate Wiskers// Powder diffraction (ICDD, USA).-2000.-№15-104-107.

3. ГОСТ 51761-2005. Проппанты алюмосиоикатные.

4. API RP 56. Recomended Practice for testing sand used in hydraulic fracturing operations.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ ОПОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Устинов А.В., Терёхина Ю.В., Котляр В.Д.
Научный руководитель: Котляр В.Д., к.т.н., доцент
Ростовский государственный строительный университет,
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162
E-mail: diatomit_kvd@mail.ru

Опоки, как установлено лабораторно-технологическими исследованиями и полузаводскими испытаниями, являются перспективным сырьём для производства изделий стеновой керамики. Для производства кирпича способом пластического формования пригодны глинистые разновидности опок [1,2]. Обжиг является заключительной стадией в керамическом производстве. Именно в процессе обжига происходят необратимые изменения и формируются основные свойства керамики - прочность, водостойкость, морозостойкость, химическая стойкость и т.д. Комплекс физико-химических преобразований, происходящий при обжиге керамики, объединяют одним термином – спекание. Под спеканием в общем случае понимается происходящий при высоких температурах процесс уплотнения (уменьшения пористости) и упрочнения пористого зернистого материала, который сопровождается, как правило, уменьшением внешних размеров спекающегося тела (усадкой). В технологии грубой керамики основным видом спекания является твёрдофазное. Однако оно может дополняться совместным действием различных видов спекания.

При производстве кирпича процесс обжига ведут, не доводя до полного спекания черепка, т.к. по требованиям ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» водопоглощение как рядового, так и лицевого кирпича не должно быть менее 6,0 %.

Существуют различные способы характеристики степени спекания, но все они основываются на изменении при спекании пористости и плотности материала. Определение спекаемости для керамического сырья проводят согласно ГОСТ 21216.9-93 «Сырьё глинистое. Метод определения спекаемости глин». Метод основан на определении спекаемости, которую характеризуют определением огневой усадки, водопоглощения и кажущейся плотности образцов, обожжённых при определённых температурах. Легкоплавкое сырьё обжигают, как правило, в интервале температур 900-1100 ^{0}С. Однако, в каждом конкретном случае, данный интервал, в зависимости от свойств сырья, корректируют.

Нами проведены результаты определения спекаемости для ряда месторождений глинистых опок перспективных для производства керамического кирпича способом пластического формования. Усреднённый зерновой состав измельчённых проб опок фракции менее 2,5 мм находился в пределах указанных в таблице 1.

Таблица 1- Зерновой состав измельченных опок

Содержание фракций, мм, %				
2,5-1,25	1,25-0,63	0,63-0,315	0,315-0,16	< 0,16
13-17	19-24	16-21	17-22	23-28

Предварительные исследования показали, что опоки и опоковидные породы являются неспекающимся керамическим сырьём – не дают черепок с водопоглощением менее 5 % без признаков пережога. Интервал обжига 900-1100 ^{0}С был определён в связи с особенностями сырья, что именно при этих температурах достигаются необходимые для стеновой керамики свойства и подавляющее большинство заводов работают именно в этом интервале температур. Результаты определения спекаемости для некоторых из исследованных месторождений глинистых опок приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты определения спекаемости

Название месторождения и литолого-технологический вид	Температура обжига, ^{0}С	Огневая усадка, %	Водопоглощение, %	Средняя плотность, кг/м^3
Каменоломненское - среднеглинистые опоки	900	1,3	31,1	1410
	950	2,0	28,6	1420
	1000	3,1	25,9	1450
	1050	4,0	23,8	1510
	1100	4,8	20,1	1560
Степан-Разинское - среднеглинистые опоки	900	1,9	28,4	1430
	950	3,2	25,6	1480
	1000	5,5	20,7	1510
	1050	6,8	16,3	1620
	1100	пережог	пережог	пережог
Шедокское - глинистые опоки	900	1,9	24,0	1470
	950	2,8	21,2	1510
	1000	3,7	18,9	1540
	1050	4,5	17,7	1600
	1100	пережог	пережог	пережог
Шевченковское - глинистые	900	1,6	22,8	1490
	950	2,2	20,4	1520
	1000	3,7	18,9	1550
	1050	5,1	18,0	1580
	1100	пережог	пережог	пережог
Журавское - карбонатные средне-глинистые опоки	900	1,8	29,7	1280
	950	2,6	26,9	1290
	1000	3,1	22,3	1310
	1050	4,7	20,2	1480
	1100	пережог	пережог	пережог

Анализируя полученные результаты можно наблюдать некоторые закономерности характерные для опок. Средняя плотность керамического черепка на основе опок значительно меньше в сравнении с глинистым сырьём и изменяется в довольно значительных пределах: от 1280 до 1630

кг/м^3. Широкий интервал плотности обусловлен, прежде всего, разнообразием состава и свойств опок. Если учесть, что средняя плотность черепка стеновой керамики на основе глин составляет 1800-2000 кг/м^3, то черепок на основе опок на 15-35 % менее плотный. Соответственно, он обладает и меньшей теплопроводностью – от 0,35 до 0,55 Вт/м · ^{0}С. Положительным является и то, что на обжиг менее плотного материала требуется меньше расхода топлива. Известно, что при уменьшении плотности кирпича на 10 %, расход топлива уменьшается на 6-8 %. Температура обжига оказывает существенное влияние на плотность черепка. С увеличением температуры обжига в интервале 900-1100 ^{0}С средняя плотность возрастает на 9-12 %. При этом наблюдается почти прямая зависимость: выше температура – выше плотность.

Керамический черепок на основе опок и опоковидных пород обладает повышенным водопоглощением. В зависимости от вещественного состава и температуры обжига водопоглощение изменяется от 16 до 31 %. Соответственно керамический черепок обладает и повышенной открытой пористостью. Для стеновых материалов это является положительным моментом, так как повышенная пористость предопределяет повышенную паро-газопроницаемость, что делает жилые здания гораздо более комфортными и экологичными для проживания. Повышенное водопоглощение не может служить прямым критерием низкой морозостойкости. Не установлено чёткой и прямой зависимости между водопоглощением и морозостойкостью. Данный показатель в большей мере определяется характером пористости и дефектами кирпича [3,4]. Известно много видов пористо-пустотелых изделий с водопоглощением более 20 % и морозостойкостью 50 циклов. Значения допускаемого водопоглощения (открытой пористости) для различных видов керамики зависят от назначения и требований, предъявляемых к соответствующим изделиям. Критерием максимального водопоглощения для стеновой керамики могут служить требования ГОСТ 530-2007 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия», где в пункте 5.3.4 указано «Для изделий, изготовленных из трепелов и диатомитов, допускается водопоглощение не более 28 %». Температура обжига оказывает существенное влияние на водопоглощение образцов. С увеличением температуры обжига в интервале 900-1100 ^{0}С водопоглощение черепка уменьшается на 20-45 % в зависимости от вещественного состава опок. При этом наблюдается почти прямая зависимость: выше температура – ниже водопоглощение.

Изменение размеров изделия при обжиге керамики называют огневой усадкой, которая является одним из внешних проявлений и количественной характеристикой процесса спекания. Как видно из результатов исследований, огневая усадка для керамических масс на основе может составлять в зависимости от температуры от 2 до 7 %. Повышенная огневая усадка, при низкой плотности и повышенном водопоглощении, обусловлена изначальной микропористостью опок. Это закономерно, учитывая сущность и кинетику процесса спекания.

Температура обжига оказывает существенное влияние на огневую усадку образцов. Это также вполне закономерно, учитывая, что температура обжига является важнейшим фактором, влияющим на скорость и степень спекания. С увеличением температуры обжига огневая усадка образцов увеличивается. Для большинства разновидностей глинистых и карбонатно-глинистых опок при температуре обжига 1100 ^{0}С начинают наблюдаться признаки пережога образцов. Уменьшение линейных размеров образцов сопровождается увеличением плотности. Поэтому кривые усадки, т.е. зависимости линейной усадки от температуры обжига, адекватны графикам изменения средней плотности и водопоглощения. Для примера данные зависимости приведены на рисунке 1 для опоки Каменоломненского месторождения.

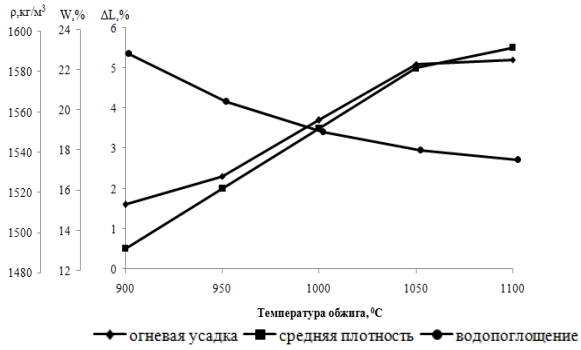


Рис. 1. Адекватный характер изменения средней плотности, водопоглощения и огневой усадки в зависимости от температуры обжига для опоки Каменоломненского месторождения

Список литературы

1. Котляр В.Д. Опоки – перспективное сырье для стеновой керамики / В.Д. Котляр, Б.В. Талпа // Строительные материалы. 2007. - № 2. - С. 31-33

2. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики // Строительные материалы. – 2009. - № 3. - С. 24-27.

3. Беркман А.С. Структура и морозостойкость стеновых материалов / А.С. Беркман, И.Г. Мельникова // - М.: Госстройиздат, 1962. - 166 с.

4. Садунас А.С. Долговечность строительной керамики / А. С. Садунас, Р.В. Мачюлайтис, Д. А. Буре // - Вильнюс.: ЛитНИИНТИ. – 1987. - 36 с.

ВЛИЯНИЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАСС МЕТАЛЛОВ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ЖЕЛЕЗА И ТИТАНА

Филипьев Р.А., Пономарева М.В., Рыбянец В.А.
Научный руководитель: Громов В.Е., д.ф.-м.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
E-mail: Filipiev@live.ru

Необходимость и актуальность исследования ползучести материалов в условиях внешних энергетических воздействий диктуется как научной важностью проблемы, так и требованиями практики.

Нет необходимости особо подчеркивать важность для инженерной практики детального изучения механизмов ползучести и накопления повреждений, а также разрушения при ползучести. Можно рассчитывать, что углубленное изучение этих процессов даст возможность прогнозировать временную зависимость деформации ползучести, и, следовательно, скорость ползучести, долговечность при ползучести и предельную пластичность при разрушении.

Из уже имеющихся работ, связывающих пластические и прочностные свойства металлов с их электронной структурой, известно, что ползучесть металлов изменяется не только при пропускании электрического тока, но и при воздействии электрического и магнитного полей, а также при контакте с металлом, отличающимся от исходного уровнем Ферми. Так в работах академика С.Т. Кишкина и А.А. Клыпина была исследована пластическая деформация при наличии электрического воздействия. В ходе анализа полученных экспериментальных данных было установлено, что в любом случае изменения электрического потенциала образца наблюдается изменение скорости ползучести, и характер влияния может быть различный.

Перспективным путем исследований в этом направлении является установление влияния слабых электрических потенциалов и контактной разности потенциалов на процесс пластической деформации, в частности, ползучести.

Ранее в работах выполненных С.Т. Кишкиным и А.А. Клыпиным [1-3] было обращено внимание на интереснейший факт изменения скорости ползучести металлов, деформируемых в электрическом контакте с другим металлом, а также при влиянии электрического потенциала на пластическое течение металлических систем.

Для того чтобы понять на каком уровне происходят изменения в образце, были проведены экспериментальные исследования микротвердости при присоединении различных масс металлов.

Известно явление облегчения деформации металлов за счет электрического заряжения поверхности, при возникновении двойного электрического слоя, приводящего к снижению удельной поверхностной энергии [4]. С этим явлением часто связывают результат воздействия на процессы трения, изнашивания, металлообработки и т.д. Вместе с тем микроскопический механизм разупрочнения изучен слабо. Известно, что в его основе лежит облегчение выхода скользящих дислокаций на поверхность, обусловленное снижением поверхностного потенциального барьера. Ранее в наших работах [5, 6] было показано, что изменение плотности поверхностной энергии, вызванное электрическим потенциалом (до 5 В), существенно сказывается на таких характеристиках металла, как микротвердость.

Целью настоящей работы, являющейся продолжением исследований [5, 6], являлось установление роли различных масс металлов, подключаемых к образцам, на микротвердость.

Настоящие исследования выполнены на образцах технического чистого железа марки 0,08ЖР и технического чистого титана марки ВТ-1. Для подключения к данным образцам использовали пластины циркония и меди, массы которых варьировались до 40г и 25 г, соответственно. Отметим, что выбор как масс металлов, так и самих металлов связан с тем, что, как показали результаты наших исследований [5-7]. Измерение микротвердости осуществлялось на микротвердомере HVS-1000. Величина нагрузки на индентор составляла 1,5 Н (для титана) и 1 Н (для железа). Температура при проведении испытаний составляла 300 К. Наблюдаемый эффект, состоящий в изменении микротвердости при указанных выше воздействиях, удобно оценивать безразмерным отношением $Q = \frac{\overline{HV}_E - \overline{HV}_0}{\overline{HV}_0}$, где $\overline{HV}_E$ и $\overline{HV}_0$ - средние значения микротвердости исследуемого металла при заданном электрическом воздействии на него и без него, соответственно.

Результаты измерений микротвердости при варьировании массы циркония и меди приведены на рисунке 1 и рисунке 2. Видно, что эффект влияния масс подключаемых металлов неоднозначен.

Как и в [6] максимальный эффект изменения микротвердости наблюдается в интервале масс подключаемых металлов, не превышающих 5 г. Это указывает на существенное влияние именно малых подключаемых масс.

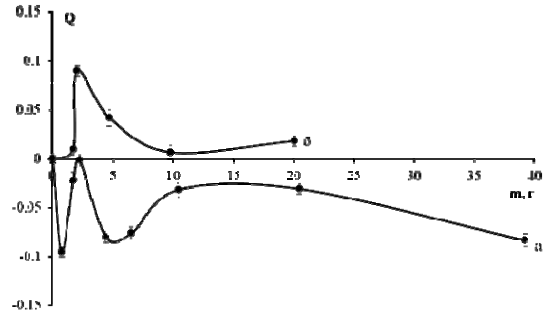


Рис. 1. Зависимости относительного изменения микротвердости железа от масс присоединенного циркония (а) и меди (б)

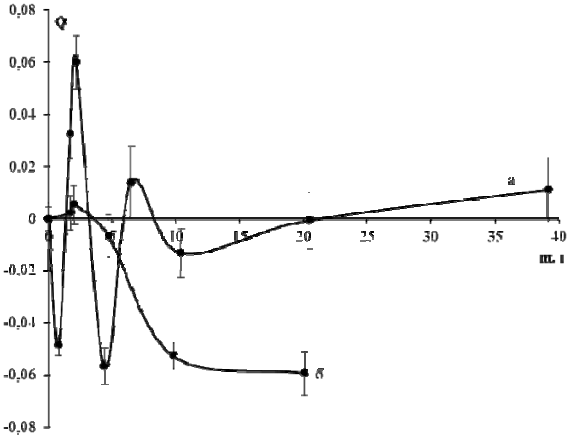


Рис. 2. Зависимость относительного изменения микротвердости титана от масс присоединенного циркония (а) и меди (б)

Из рис.1 и 2 видно, что подключение к железу циркониевых пластин, а к титану медных пластин приводит к уменьшению микротвердости.

Роль массы присоединяемого металла, по-видимому, связана с тем, что увеличение массы металла приводит к соответствующему увеличению площади его поверхности, и, соответственно, к изменению количества зарядов на поверхности исследуемого металла. Однако, пока остается не ясной немонотонность кривых, приведенных на рис. 1и 2.

При контакте двух металлов с различными работами выхода электроны от металла с меньшей работой выхода переходят к металлу с большей работой выхода, и при достижении равновесия первый металл зарядится более положительно по отношению ко второму. Поэтому, чем больше разница работы выхода в испытуемом образце и воздействующем на него, тем более сильное влияние должно проявляться при изменении микротвердости.

Возникающая при контакте разнородных металлов контактная разность потенциалов [7] вызывает перезарядку имеющихся на их поверхности двойных электрических слоев. Это, в свою очередь, приводит к изменению плотности поверхностной энергии исследуемого материала, что, естественно, вызывает соответствующее изменение механических свойств, в частности, микротвердости.

Влияние заряженного поверхностного слоя на микротвердость состоит, по-видимому, из двух эффектов. Первый обусловлен изменением размеров образца вследствие наличия заряда на поверхности (электрострикционный эффект), второй – перемещением дислокаций и других дефектов при изменении характера заряженного поверхностного слоя. Второй эффект, связанный с движением дефектов, предполагает присутствие определенного заряда на дефектах [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт № П411) и гранта РФФИ № 11-08-90710-моб_ст

Список литературы

1. Кишкин Т.С., Клыпин А.А. Эффект электрического и магнитного воздействия на ползучесть металлов и сплавов // Доклады АН СССР. – 1973. – Т. 211. – № 2. – С. 325-327.
2. Клыпин А.А., Лучина А.А. Влияние контакта разнородных металлов на ползучесть меди и алюминия // Известия АН СССР. Металлы. – 1985. – № 2. – С. 138-146.
3. Клыпин А.А. О пластической деформации металлов при наличии электрического воздействия // Проблемы прочности. – 1975. – № 7. – С. 20-25.
4. Кунин Л.Л. Поверхностные явления в металлах [Текст] / Л.Л. Кунин. – М.: Металлургиздат, 1955. – 304 с.
5. Зуев Л.Б. О вариациях механических характеристик металлов при действии электрического потенциала / Л.Б. Зуев, В.И. Данилов, Р.А. Филипьев [и др.] // Металлы. – 2010. – № 4. – С. 39 – 45
6. Зуев Л.Б. О влиянии контактной разности потенциалов и электрического потенциала на микротвердость металлов / Л.Б. Зуев, В.И. Данилов, С.В. Коновалов [и др.] // ФТТ. – 2009. – Том. 51. – Вып. 6. – С. 1077 – 1080.
7. Коновалов С.В. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия / С.В. Коновалов, В.И. Данилов, Л.Б. Зуев, Р.А. Филипьев [и др.] // ФТТ. – 2007. – Том. 49. – Вып. 8. – С. 1389 – 1391.
8. Ашкрофт Н. Физика твердого тела [Текст]. Кн.1./ Н. Ашкрофт, Н. Мермин.–М.: Мир, 1979. – 399 с.

РАССЕЯНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ ФОРМЫ ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА

Фуфачев М.А.
Научный руководитель: Марценюк М.А., д. ф-м. н., профессор
Пермский государственный университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева 15.
E-mail: iwantgroup@mail.ru

При изучении аэрозолей (газов, туманов, пылей), а так же суспензий, взвесей и композитов, возникает необходимость исследовать их оптические свойства. Характерной особенностью таких сред является то, что содержащиеся в них неоднородности имеют размеры сравнимые с длиной волны падающего излучения. Приближения теории Релея для распределенных сред, о том, что частицы находятся в дальних зонах друг друга и их размеры много меньше длины волны, в этом случае не работают, так как имеет место неоднородная поляризация объектов, а так же возникают различные волновые эффекты, например «захват» волны частицей.

Перед тем как приступать к исследованию сред, содержащих подобные неоднородности, необходимо исследовать рассеяние на отдельных частицах.

Целью работы было модельное и экспериментальное исследование рассеяния плоской электромагнитной волны на отдельной диэлектрической частице в форме прямоугольного параллелепипеда. Основной задачей было показать увеличение влияния ориентации частицы на рассеяние с увеличением её размеров по отношению к длине волны; а так же исследовать характер зависимости рассеянного излучения от ориентации.

Геометрия падения волны на частицу, показана на рис. 1. Экспериментально, рассматривалась зависимость интенсивности излучения рассеянного на кубических частицах вперед по ходу СВЧ волны от угла падения волны. Результаты эксперимента сравнивались с модельными расчетами. Рассеяние рассматривалось в дальней зоне, где ослабевает влияние неоднородных полей.

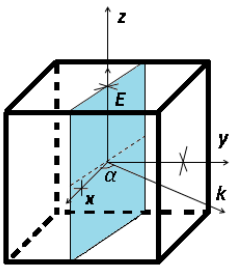


Рис. 1. Падение плоской волны на частицу под углом α. Закрашенная область – фронт волны.

Экспериментально были изучены частицы 6-ти размеров с соотношением $a/\lambda = 0.69$, 1.03, 1.54, 2.07, 2.62, 4.13, a - длина ребра куба. Угловое распределение интенсивности рассеянного излучения $f(\alpha)$ измерялось мостовым методом, основанным на сравнении исходного и рассеянного сигнала. Подробное описание эксперимента приведено в [1]. В результате опытов были получены экспериментальные зависимости $U = f(\alpha)$, где U – напряжение на детекторном диоде, регистрирующем рассеянное излучение. Напряжение U, в данном случае, пропорционально интенсивности рассеянного излучения. Экспериментально полученные зависимости приведены в табл. 2.

Так же была построена модель рассеяния по самосогласованному методу расчета поляризации системы взаимодействующих диполей Кирквуда. Исследуемая частица разбивается на множество сферических фрагментов. Каждый фрагмент поляризуется 1) локальным внешним полем падающей волны и 2) суммарным дипольным полем всех соседних фрагментов, вычисленным в статическом приближении. Далее, высчитывается поле от этой системы диполей в точке наблюдения [1].

При помощи данного метода, для каждой рассмотренной в экспериментах кубической частицы, были построены графики зависимостей $\langle E^2 \rangle_T = f(\alpha)$ где $\langle E^2 \rangle_T$ – среднее значение квадрата напряженности электрического поля за период, пропорциональное интенсивности рассеянного излучения. Полученные расчетные данные приведены в табл. 2. Так же, было построено несколько расчетных диаграмм для параллелепипедов квадратного сечения (табл. 1). Ось вращения показана на рис. 2. Начальное положение – гранью *h2h3* к излучению.

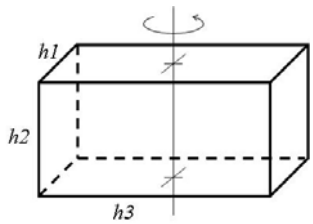


Рис. 2. Ось вращения параллелепипеда

Были рассмотрены параллелепипеды с соотношениями сторон *h1*×*h2*×*h3*: 1×1×1, 1×1×2, 1×1×3, 1×1×4. Длина волны падающего излучения вычислялась из соотношений $h1/\lambda = 0.69$ и 4.13. Из расчетных диаграмм видно, как влияет увеличение длины параллелепипеда на рассеяние. В случае $h1/\lambda = 0.69$ видно, что с увеличением длины параллелепипеда возрастает интенсивность рассеяния при ориентации частицы гранью *h1h2* к

излучению. В случае $h1/\lambda = 4.13$ общий вид зависимости остается неизменным и увеличение длины параллелепипеда влияет на рассеяние слабо.

Табл. 1. Полярные диаграммы зависимости интенсивности излучения, рассеянного вперед, от ориентации частицы (параллелепипеды)

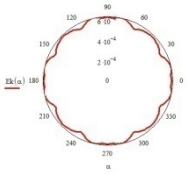
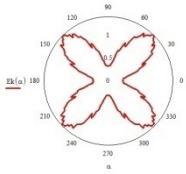
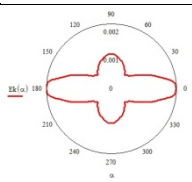
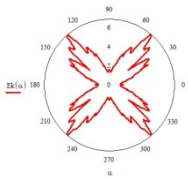
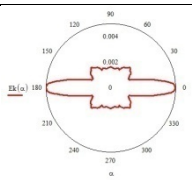
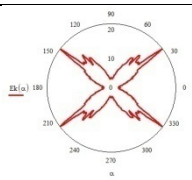
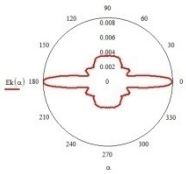
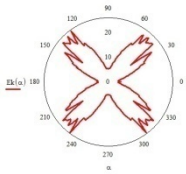
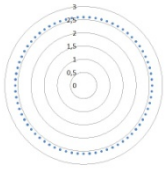
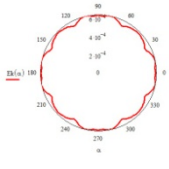
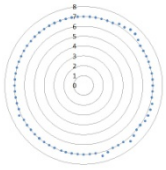
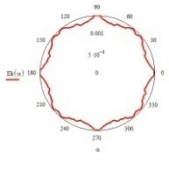
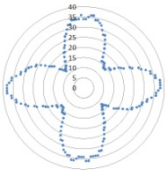
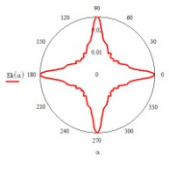
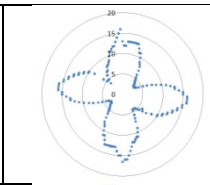
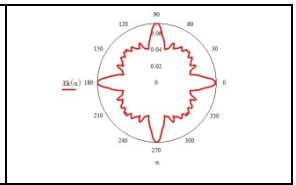
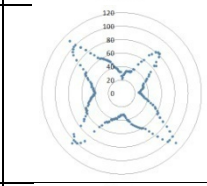
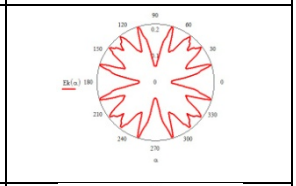
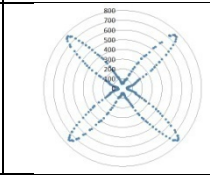
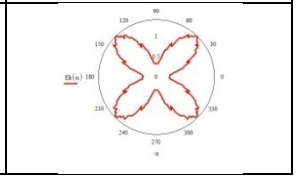
h1×h2×h3	*$h1/\lambda = 0.69$ $<E^2>=f(\alpha)$ отн.ед.*	*$h1/\lambda = 4.13$ $<E^2>=f(\alpha)$ отн.ед.*
1×1×1		
1×1×2		
1×1×3		
1×1×4		

Табл. 2. Полярные диаграммы зависимости интенсивности излучения, рассеянного вперед, от ориентации частицы (кубы)

a/λ	*Эксперимен-тальные дан-ные U=f(α), мкВ*	*Расчетные графи-ки $<E^2>=f(\alpha)$ отн. ед.*
0.69		
1.03		
1.54		
2.07		
2.62		
4.13		

Из табл. 2 видно увеличение влияния размера частицы на характер рассеяния. Для малых частиц экспериментально не выявлено зависимости от ориентации, далее, с увеличением размера, появляются максимумы рассеяния при определенных ориентациях куба.

В ходе экспериментов была обнаружена существенная зависимость результатов от юстировки и позиционирования частиц, о чем говорит некоторая несимметричность графиков, являющаяся следствием «прецессии» частицы вокруг оси вращения при ее повороте и в итоге смещением точки наблюдения. Так же существенное значение в объяснении несимметричности графиков имеет неидеальность формы частицы и ее внутренняя неоднородность.

Предложенная модель рассматривает крупную частицу как совокупность более мелких объектов, поэтому не учитывает явлений связанных с ней, как с целым объектом. Для частиц имеющих размеры порядка нескольких длин волн уже оказывают существенное влияние эффекты, связанные с прохождением волны через границу раздела между двумя средами, имеющими разные диэлектрические проницаемости. Поэтому, для более строгого решения данной проблемы необходимо рассматривать краевую задачу с граничными условиями или учесть запаздывание во взаимодействии частиц.

Как видно из сравнения опытов с расчетами, предложенная модель качественно описывает большинство экспериментов и объясняет, с точки зрения неоднородной поляризации объектов, полученные в ходе экспериментов данные.

Список литературы:

1. Вольхин И. Л. Коротаев Н. Н. Марценюк М. А. Фуфачев М. А. Рассеяние СВЧ излучения на диэлектрических частицах кубической формы. // Вестник Перм. ун-та. 2011. Физика.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ

Хаймин В.А.
Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: neistoricheskaja_lichnost@rambler.ru

Поверхностные слои – наиболее активные области конструкционных и инструментальных материалов, принимающих участие в обмене энергией и веществом с окружающей средой. Это приводит к их более ранней повреждаемости по сравнению с глубинными слоями. В большинстве случаев работоспособность деталей машин, аппаратов, оборудования и элементов конструкций зависит не столько от качества металла всего сечения, сколько от свойств поверхностных слоёв.

Решение проблемы повышения качества машин и их соединений, исходя из необходимости улучшения их эксплуатационных свойств, может осуществляться как за счет применения уже существующих методов обработки, так и за счет их обработки и создания новых [1].

Настоящая работа посвящена изучению влияния ультразвуковой поверхностной обработки и азотирования на механические свойства легированной стали.

При обработке ультразвуком происходят сложные структурные превращения: формирование упорядоченной структуры волокнистого характера, дробление зёрен на блоки [2].

Азотирование – это процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя сталей и сплавов азотом при нагревании в соответствующей среде. В настоящее время во всех промышленно развитых странах применяется процесс азотирования для повышения твердости, износостойкости, задиростойкости, сопротивления усталости и коррозии сталей и сплавов. [3].

Строение и свойства модифицированных слоев, полученных при ультразвуковой обработке и низкотемпературном азотировании, исследовано на стали 20Х13. Отожженная сталь 20Х13 была выбрана в качестве материала исследования, так как ее равновесная структура значительно модифицируется в процессе поверхностной ультразвуковой обработки. Учитывая факт, что наиболее оптимальным для структурообразования являются условия далекие от термодинамического равновесия, система стремится перейти на более высокий уровень упорядочения структуры путём снижения энтропию [1]. При этом, происходит интенсификация процесса азотирования Входящий в состав стали хром является нитридообразующим элементом и увеличивает растворимость азота в феррите, что дает возможность получать азотированный слой при низких температурах азотирования [3].

Ультразвуковая поверхностная обработка проводилось в ИФПМ СО РАН. Для этого использовался технологический комплект УЗГК-02, состоящий из ультразвукового генератора УЗГ-02/22 и инструмента – магнитострикционного преобразователя. Главные технические характеристики комплекса: потребляемая мощность 220 Вт, частота 50 Гц, амплитуда колебания 5-10 мкм. Комплект крепился в резцедержатель суппорта токарного станка. Ультразвуковым инструментом обрабатывалась торцевая поверхность образцов-дисков диаметром 16 мм и высотой 10 мм (рис. 1). Режимы обработки: V = 125 об/мин при подачи S = 0,1 мм/о

Рис. 1. Фотографии исследуемых образцов стали 20Х13

При обработке детали данным методом, формирование упрочненного слоя обеспечивается чередующимися деформациями сжатия и сдвига, возникающими в результате воздействия на поверхность смещаемой детали индентора, нормально колеблющегося с ультразвуковой частотой.

Азотирование образцов в плазме дугового разряда низкого давления проводилось на модернизированной вакуумной ионно-плазменной технологической установке, разработанной в ИСЭ СО РАН [4]. Параметры азотирования: мощность источника питания 3 кВт, объем рабочей камеры 0,05 м^3 при давлении 400Па. Рабочий газ – аммиак.

Азотирование проводили при температуре 200˚С в течении 2, 4 и 8 часов и при температуре 500˚С в течении 40 мин. Азотировали образцы с поверхностью, имеющей исходное строение, и с

поверхностью, модифицированной ультразвуковым воздействием.

Микротвердость поверхности образцов измеряли на приборе ПМТ-3. Нагрузка на индентор составляла 100 г.

Упрочнение поверхностного слоя оценивалось степенью упрочнения u, рассчитанной по формуле:

$$u = (H\mu - H\mu_{исх}) \cdot 100\% / H\mu_{исх},$$

где Hμ – микротвердость образцов после ультразвуковой обработки и азотирования; $H\mu_{исх}$ – исходная микротвердость образцов.

Ультразвуковая обработка поверхности стали с исходной равновесной структурой приводит к формированию модифицированного слоя. Модифицирование структуры приводит к упрочнению поверхностного слоя от 2520 МПа до 3570 МПа.

Для оценки вклада структурных превращений, происходящих при ультразвуковой поверхностной обработке в процесс низкотемпературного азотирования, был проведен отжиг в режимах азотирования образцов из стали 20Х13, обработанных ультразвуком. Установлено, что формирующийся при ультразвуковой обработке модифицированный слой является структурно-неустойчивым. Нагрев в условиях, соответствующих процессу азотирования при температуре 500˚С в течение 2 часов, снимает наклеп, полученный при ультразвуковой обработке. При нагреве до 200˚С происходит частичное снятие наклепа с последующей стабилизацией модифицированной структуры и свойств (рис.2).

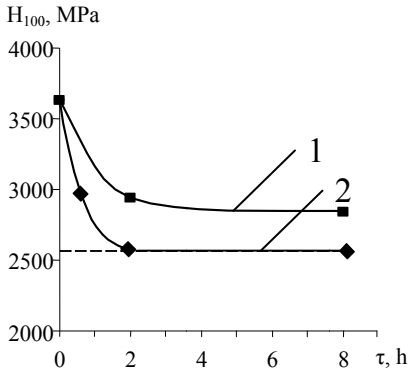


Рис. 2. Зависимость микротвердости на модифицированной поверхности стали 20Х13 от времени отжига при температуре: 1) 200˚С; 2) 500˚С (пунктирная линия указывает значение микротвердости отожженной стали)

Азотирование стали при температуре 200°С 500˚С приводит к упрочнению поверхностного слоя. При температуре азотирования 200˚С степень упрочнения невелика. Для отшлифованных образцов она составляет, в зависимости от времени азотирования, от 60% до 100%, а для образцов с модифицированным поверхностным слоем – от 100% до 160%. Азотирование при температуре 500˚С приводит к значительному повышению значений микротвердости на поверхности, но и в этом случае значения микротвердости, полученные на модифицированной поверхности, выше (рис. 3).

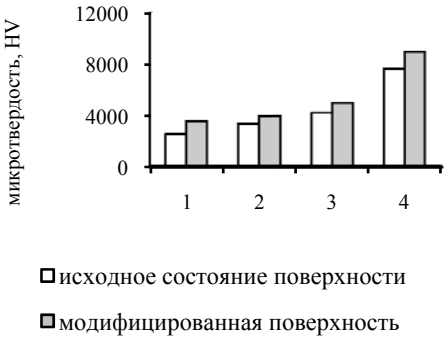


Рис. 3. Значения микротвердости на поверхности образцов азотированных в режиме: 1) перед азотированием; 2) 200˚С, 2 часа; 3) 200˚С, 8 часов;4) 500˚С, 40 минут

Заключение

1. Получаемая ультразвуковой обработкой модифицированная структура термодинамически неустойчива. Однако при нагреве до 200˚С происходит стабилизация модифицированной структуры с частичным сохранением исходных свойств.

2. При низкотемпературном азотировании высокохромистой стали в плазме дугового разряда низкого давления происходит ее поверхностное упрочнение.

3. Предварительное ультразвуковое модифицирование поверхности стали позволяет интенсифицировать процесс азотирования в интервале температур 200˚С – 500˚С.

Литература:

1. Харламов Ю.И. Методы модифицирования поверхностных слоев деталей машин и инструментов // Сучасне Машинобудуваня, 2000. №3-4. С. 9 – 17.

2. Абрамов. О.В. Ультразвуковая обработка материалов. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.

3. Лахтин Ю.М., Коган Я.Д. Теория и технология азотирования. – М: Металлургия, 1991. – 320 с.

4. Щанин П.М., Коваль Н.Н., Гончаренко И.М., Григорьев С.В. Азотирование конструкционных сталей в газовых разрядах низкого давления // Физика и химия обработки материалов, 2001. № 3. С. 16 – 19.

СТРУКТУРНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СПЛАВА Ni_3Al С СИММЕТРИЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ЗЕРЕН <111> ПРИ ТЕРМОАКТИВАЦИИ

Харина Е.Г.[1], Барчук А.А.[1]
Научный руководитель: Ракитин Р.Ю.[2], к.ф-м.н., доцент
[1] Кузбасская государственная педагогическая академия,
654027, Россия, г. Новокузнецк, пр. Пионерский, 13.
[2] Алтайская государственная педагогическая академия, 656031, г. Барнаул, ул. Молодежная, 55
jane-ohara@yandex.ru

Большинство операций по обработке металлических материалов сопровождаются термо-силовыми воздействиями. В процессе прессования, ковки, штамповки и т.д. в материале происходит генерация точечных и планарных дефектов. Кроме того в [1, 2] рассматривалась возможность генерации структурных дефектов даже в материалах с идеальной кристаллической решеткой в результате тепловых флуктуаций при высокоскоростном деформировании. В этой связи изучение возможных термофлуктуационных механизмов образования локальных структурных искажений и трансформации атомной структуры является необходимым для понимания закономерностей формирования и развития пластической деформации материалов.

Концепция термофлуктуационного зарождения дефектов структуры была предложена Паниным В.Е. более 20 лет назад. Особая роль в зарождении и генерации дефектов при этом всегда отводилась границам зерен [3]. Концепция Панина долгое время не находила подтверждения, поскольку исследование подобных процессов сопряжено со значительными трудностями и требует высокого пространственного и временного разрешения. В связи с этим эффективным оказывается применение компьютерного эксперимента.

В настоящей работе компьютерный эксперимент проводился по методу молекулярной динамики на бикристаллах сплава Ni_3Al с симметричной границей зерен, ориентированной в направлении <111>. Свойства фазы Ni_3Al широко исследуются по причине ее аномальной температурной зависимости предела текучести (упрочнение с ростом температуры). Данное свойство обуславливает огромные перспективы рассматриваемого материала в качестве основы для суперсплавов с повышенной жаростойкостью и жаропрочностью.

При проведении компьютерных экспериментов на точность и достоверность получаемых результатов во многом влияет выбранный математический аппарат, в частности потенциалы межатомного взаимодействия. В настоящей работе использовались многочастичные потенциалы Клери-Розато, являющиеся в некотором роде международным эталоном. При этом потенциальная энергия i-того атома находится по формуле:

$$E = \sum_i \left[-\left(\sum_{i \neq j} \xi_{\alpha\beta}^2 e^{-2q_{\alpha\beta}(r_{ij}/r_0^{\alpha\beta}-1)} \right)^{1/2} + \sum_{i \neq j} A_{\alpha\beta} e^{-p_{\alpha\beta}(r_{ij}/r_0^{\alpha\beta}-1)} \right]$$

Здесь $\xi_{\alpha\beta}$, $p_{\alpha\beta}$, $A_{\alpha\beta}$, $q_{\alpha\beta}$ и $r_0^{\alpha\beta}$ - параметры потенциала. Индексы α и β относятся к атомам разных сортов. Параметры потенциалов взяты из [4].

Расчетный блок создавался посредством симметричного разворота двух кристаллов Ni_3Al на угол θ вокруг оси <111> как показано на рис.1.

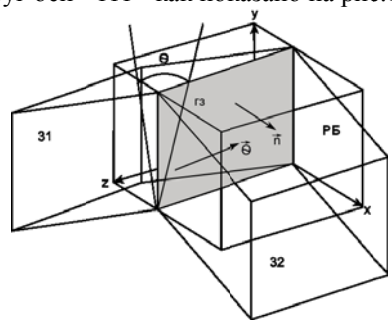


Рис. 1. Схема построения расчетного блока с симметричной границей зерен наклона.
31 и 32 – разориентируемые зерна, РБ – расчетный блок, ГЗ – граница зерен, θ – угол разориентации зерен,
$\vec{n}$ – единичный вектор нормали ГЗ.

В зависимости от задаваемого значения угла θ моделировалась малоугловая или большеугловая граница зерен. В настоящей работе рассматривались три значения угла разориентации θ: 7º, 16º и 22º. Получающийся расчетный блок обрезался по краям с целью предотвращения образования пустот и представлял собой бикристалл сплава Ni_3Al с симметричной границей наклона <111> в центре. Количество атомов в расчетном блоке варьировалось от $3 \cdot 10^5$ до $4 \cdot 10^5$ в зависимости от конфигурации границы. Вдоль оси наклона границы накладывались периодические граничные условия, вдоль двух других осей – жесткие. Ось наклона <111> была сонаправлена с осью Z, показанной на рис. 1.

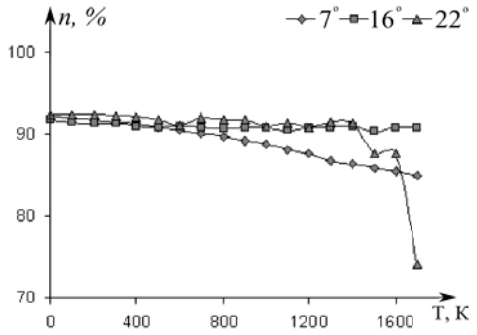
Для приведения полученного расчетного блока в состояние с минимальной энергией проводилась динамическая релаксация при 0 К в течение 10 пс (1000 итераций) компьютерного времени. Вследствие высвобождения избыточной энергии расчетный блок разогревался до температуры порядка 100 К.

Далее расчетный блок с равновесной симметричной границей подвергался выдержке при заданном значении температуры в течение 100 пс (10000 итераций) компьютерного времени и последующему охлаждению до 0 К в течение 20 пс. Рассматриваемые температуры нагрева находились в интервале 100-1700 К. Оценка искажения исходной ГЦК (гранецентрированной кубической) структуры сплава в процессе нагрева проводилась при помощи алгоритма, подробно описанного в [5]. Данный алгоритм учитывает топологию структурных связей каждого атома с ближайшими соседями. Компьютерные эксперименты проводились с использованием авторской программы, имеющей свидетельство о государственной регистрации [6].

Для изучения влияния симметричных границ зерен на искажение исходной структуры сплава Ni_3Al при нагреве, вычислялись концентрации атомов: а) с ГЦК топологией ближайших соседей; б) с ГПУ топологией ближайших соседей; в) с ОЦК топологией ближайших соседей; г) имеющих менее 12-ти соседей в ближайшем окружении; д) имеющих более 12-ти соседей в ближайшем окружении; е) имеющих 12 ближайших соседей из произвольно распределенных по узлам атомов Ni и Al. Следует отметить, что трансформации структуры, отвечающие пунктам в) и д) в настоящей работе не выявлены. Графики изменения концентрации атомов с ГЦК топологией решетки узлов в зависимости от температуры *n(T)* для бикристаллов Ni_3Al с симметричными границами <111> при различных значениях угла θ показаны на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что с ростом температуры концентрация атомов с ГЦК топологией ближайших соседей уменьшается более чем на 20%. Минимальная концентрация атомов с ГЦК топологией ближайших соседей выявлена при предплавильных температурах порядка 1500-1700 К.

Формирование локальных дефектных областей при нагреве происходит преимущественно за счет роста концентрации атомов с координационным числом меньше двенадцати. Кроме того, обнаружены области с распределением компонент сплава по узлам не соответствующим идеальной сверхструктуре $L1_2$, однако вклад атомов с данной топологией в трансформацию исходной структуры расчетного блока был минимальным. Например, в процессе нагрева сплава Ni_3Al с симметричными границами зерен концентрация атомов с ГЦК топологией ближайших соседей уменьшается на 20%. При этом распределение концентрации атомов по топологиям в процессе трансформации в среднем следующее: а) 15-18% атомов с координационным числом меньше 12-ти; б) 2-5% атомов с 12-ю ближайшими соседями с распределением компонент сплава, не отвечающим сверхструктуре $L1_2$.



а)

Рис. 2. График зависимости концентрации атомов с ГЦК топологией ближайших соседей от температуры для сплава Ni_3Al с симметричной границей зерен <111>.

Как видно из рис. 2 четкой корреляции с величиной угла разориентации не прослеживается. Так, в бикристалле Ni_3Al с симметричной границей 7º<111> уменьшение концентрации атомов с ГЦК топологией ближайших соседей начинается при температурах порядка *800-900 К*. Для границ <111> с углами разориентации 7º и 16º зависимость *n(T)* плавная, в то время как при значении угла θ=22º происходит скачкообразное уменьшение концентрации атомов с ГЦК топологией ближайших соседей в точке *T=1400K*. Максимальное уменьшение концентрации атомов с ГЦК топологией выявлено в расчетных блоках с границей зерен <111> с углом θ=22º.

Таким образом, при термоактивации сплава Ni_3Al, содержащего симметричную наклонную границу <111> наиболее значительные трансформации исходной структуры обусловлены образованием областей с координационным числом меньшим, чем в идеальной ГЦК решетке. Изменение состава ближайшего окружения менее вероятно.

Литература:

1. Псахье С.Г., Зольников К.П., Крыжевич Д.С., Тюменцев А.Н. Физическая мезомеханика. 8. №5 (2005) 55.

2. Псахье С.Г., Зольников К.П., Крыжевич Д.С., Липницкий А.Г. Письма в ЖТФ. 32. в.3 (2006) 14.

3. Псахье С.Г., Уваров Т.Ю., Зольников К.П. Физическая мезомеханика. 3. №3 (2000) 69.

4. Cleri F., Rosato V. Phys. Rev. B. 48. №1 (1993) 22.

5. Van Swygenhoven H., Farkas D., Caro A. Phys. Rev. B62. №2. (2000) 831.

6. Ракитин Р.Ю. Границы зерен в сплавах (GBA3B) / РОСПАТЕНТ. Свидетельство № 2009610715 от 30 января 2009.

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛОВ ДЛЯ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

Цапало Л. И., Найбороденко Ю. С., Касацкий Н.Г.**
Научный руководитель: Найбороденко Ю. С., зав. лаб., к. ф.-м. наук
Томский государственный университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 36
**Отдел структурной макрокинетики Томского научного центра СО РАН
634021, г.Томск,пр. Академический, 10/3.
E-mail: Tsapalo@sibmail.com

Темпы развития химической, нефтехимической и фармацевтической промышленности во многом определяются созданием новых эффективных катализаторов и применением прогрессивной технологии их приготовления. Создание новых эффективных катализаторов позволит решить проблемы экономного использования истощающихся запасов углеводородного сырья [1].

Для получения углеводородного сырья помимо основного промышленного процесса – парового риформинга метана в синтез-газ, все больший интерес исследователей привлекают альтернативные процессы, одним из которых является углекислотная конверсия метана [2].

$$CH_4+CO_2 \rightleftarrows 2CO+2H_2$$

$$\Delta H^0_{298}=+247 \text{ кДЖ/моль}$$

В качестве катализаторов этих реакций исследуются металлы, в основном элементы VIII группы периодической системы. Наиболее активными являются катализаторы на основе металлов семейства платины, с которыми сравнимы и никелевые системы. В данной работе получение каталитических материалов осуществляется методом самораспростра няющегося высокотемпературного синтеза [3].

Исследовалась система Ni-Al. Был выбран состав 3Ni+Al, использовались порошки никеля (Ni-ПНК ВЛ7 d<=10мкм; Ni-ПНК УТ1 d<=10мкм; Ni-ПНЭ-1 d=40-70мкм) и алюминия (Al-АСД-4). Смесь прессовали в таблетки диаметром 1,5см высотой 3-4мм до пористости 35-40%. Синтез проводился в режиме теплового взрыва рис 1,2.

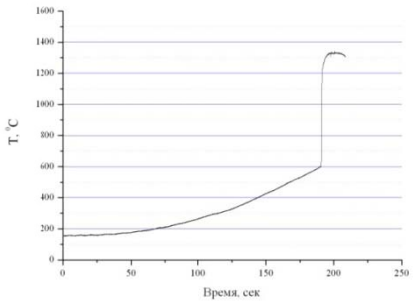


Рис.1. Термограмма состава 3Ni+Al (Ni-ПНЭ-1).

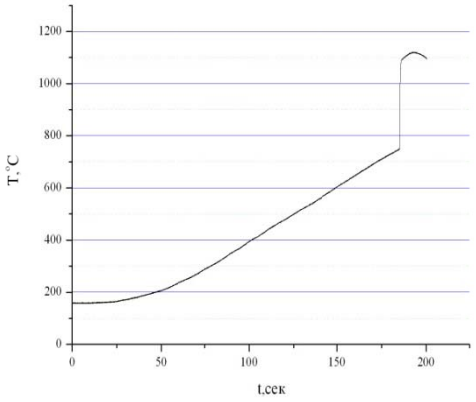


Рис.2. . Термограмма состава 3Ni+Al (Ni-ПНК ВЛ7)

Продукты синтеза исследовались с помощью рентгенофазового анализа (ДРОН-УМ, Co-излучение) и металлографии (Axiovert 200M). По данным рентгенофазового анализа все синтезированные образцы независимо от сорта никеля однофазны. Однако металлографический анализ показал их различную структуру. Из рисунка 3 видим крупно зернистую и мелко зернистую фазу Ni_3Al и раствор алюминия в никеле (светлые пятна).

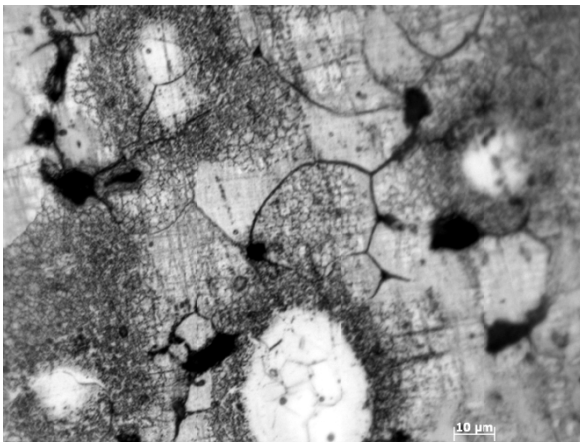


Рис.3. Микроструктура образца Ni_3Al (Ni-ПНЭ-1).

В образцах Ni-ПНК ВЛ7; Ni-ПНК УТ1 продукты однофазны и имеют четкую границу зерен рис. 4,5.

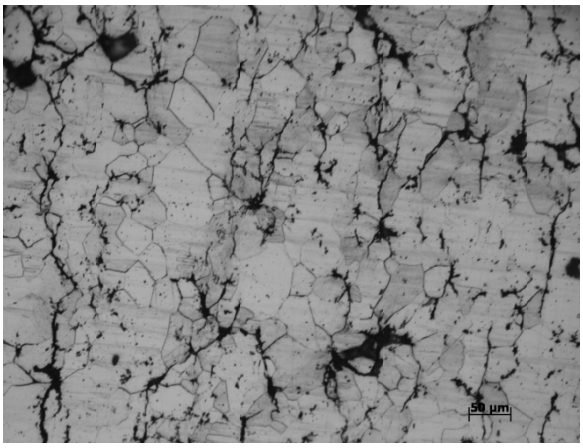


Рис.4. Микроструктура образца Ni_3Al (Ni-ПНК ВЛ7).

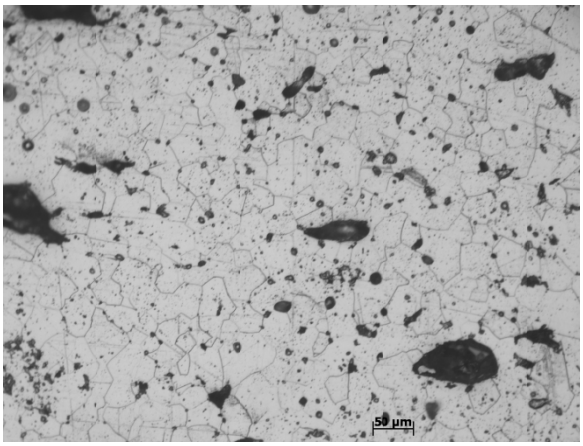


Рис.5. Микроструктура образца Ni_3Al (Ni-ПНК УТ1).

Каталитическую активность исследовали в диапазоне температур 600-950 ^{0}C, отбирали фракцию 400-600 мкм для каждой из синтезированных систем, которую получали путем дробления и просеивания. Активность систем полученных катализаторов сравнивали с активностью Ni_3Al многофазного, полученного послойным горением с предварительным подогревом, который как было показано раньше [4] обладал активностью сравнимой с активностью промышленного катализатора НИАП-22.

Таблица.1. Каталитические свойства Ni_3Al.

Система	T, ^{0}C	Скорость потока смеси мл/мин	CO_2H_2 (мол.) в исходной смеси	Конверсия,%		Выход, %	
				CO_2	CH_4	CO	H_2
Ni_3Al многофазный	600	100	1:1	14,1	18,5	8,3	8
	800			16,6	20	11	7,4
	900			63	59,5	33,5	27,8
	950			94,5	87,5	47,5	42,5
Ni_3Al (Ni-ПНЭ-1)	600	100	1:1	3,54	0	0,3	0
	800			13,4	0	3,08	2,12
	900			52,6	32,83	14,7	14,4
	950			79,1	65,3	22,8	17,8

Остальные образцы Ni_3Al (Ni-ПНК ВЛ7; Ni-ПНК УТ1) имели схожую каталитическую активность что и Ni_3Al (Ni-ПНЭ-1).

Литература

1. Григорян Э.А., Мержанов А.Г. Катализаторы XXI века. // Наука-производству-1998.-№3(5).-С.30-41.

2. Арутюнов В. С., Крылов О. В. Окислительные превращения метана. М.: Наука. 1998.-353с.

3. Итин В. И., Найбороденко Ю. С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. Издательство Томского Университета. 1989.-210с.

4. Л.И. Цапало, Ю.С. Найбороденко, Н.Г. Касацкий. // Высокотемпературный синтез каталитических систем для углекислотной конверсии метана. // XV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых, 4-8 мая 2009г, Томск.

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНА В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ABC-ПРЕССОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МНОГОХОДОВОЙ ПРОКАТКОЙ

Чабанец А.А.[1]
Научный руководитель: Ерошенко А.Ю.[2], к.т.н., м.н.с.
[1]НИУ РЭТ «Томский политехнический университет», 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, 634021, г. Томск, пр. Академический 2/4
E-mail: chaa@sibmail.com

Развитие современной техники предъявляет все более возрастающие требования к качеству конструкционных материалов. Традиционные методы обработки металлов во многом не способны обеспечить требуемый уровень прочностных свойств. В связи с этим весьма перспективным направлением материаловедения является формирование ультрамелкозернистого и наноструктурного состояний в металлах методами интенсивной пластической деформации [1]. Наноструктурные металлы имеют ряд особенностей, связанных с малым размером зерна и существованием высоких внутренних напряжений, вызванных большой плотностью дефектов внутри зерен и на границах.

Многочисленными исследованиями последних лет [2,3] показано, что измельчение зерен способствует увеличению твердости и прочности металлических материалов. Поэтому ожидается, что ультрамелкозернистые материалы должны обладать наиболее высокой прочностью. Более того, введение высокой плотности дислокаций в наноматериалы, полученные с помощью интенсивной пластической деформации, может привести к еще большему их упрочнению.

Рост прочностных характеристик с уменьшением размера зерна обычно объясняют зернограничным упрочнением материала на основе соотношения Холла-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_0 + kd^{-\frac{1}{2}},$$

где $\sigma_т$ – предел текучести; σ_0-сопротивление деформации материала; k – коэффициент Холла-Петча; d – средний размер зерна [3].

Многочисленные результаты по проверке выполнения закона Холла-Петча показали, что он выполняется не во всем интервале размера зерен, что касается наноструктурных материалов, и существенно зависит от способа их получения. Так же не однозначным является поведение коэффициента Холла-Петча от размера зерна. Анализ данных из многочисленных источников показал, что с уменьшением размера зерна коэффициент k уменьшается [2].

В работе представлены результаты по изучению эволюции микроструктуры и механических свойств субмикрокристаллического титана ВТ1-0 в результате отжигов при разных температурах.

В качестве объекта исследований был выбран технически чистый титан марки ВТ1-0 в субмикрокристаллическом состоянии. Субмикрокристаллическое состояние в титане получали комбинированным методом, включающим abc-прессование с последующей прокаткой. Abc-прессование с поворотом оси деформации на 90° проводили со скоростью 10^{-2}-10^{-1} $с^{-1}$ при последовательном понижении температуры в интервале 500–400°С [2]. Каждый цикл при заданной температуре включал однократное трехкратное прессование. Количество циклов прессования составило девять. Полученные заготовки после abc-прессования деформировали прокаткой в ручьевых валках при комнатной температуре до 75%. После прокатки получали заготовки титана в виде прутков размерами (6×6×500) мм. Для увеличения пластичности титана после прокатки заготовки подвергали отжигу при 300˚С в течение 1 часа.

Образцы титана в различных структурных состояниях были получены из субмикрокристаллического состояния отжигами при 350-900ºС. Заданный температурный интервал отжигов позволил получить титан в различных структурных состояниях с размером элементов зеренно-субзеренной структуры в интервале 0,2-30 мкм.

На рис.1 приведены изображения микроструктуры титана после отжигов в указанном диапазоне температур. В исходном (субмикрокристаллическом) состоянии на светлопольных изображениях наблюдаются как субзерна и фрагменты, так уже сформировавшиеся зерна. В основном по границам субзерен проходят изгибные контура экстинкции, которые указывают на наличие высокого уровня внутренних напряжений. На микродифракционной картине наблюдается большое количество рефлексов разной интенсивности, расположенных по окружностям. После отжига при температуре 350˚С наблюдаются признаки процесса рекристаллизации и происходит увеличение среднего размера структурных элементов до 0,3 мкм. В локальных местах появляются четкие границы элементов структуры.

Отжиг при 400˚С приводит практически к исчезновению областей с зернами, имеющих размеры менее 0,1 мкм. Структура неоднородная, основная доля представлена зернами и субзернами размерами в интервале 0,2-0,3 мкм. Однако в присутствуют субзерна размерами 0,6-0,7 мкм. При этом отмечается незначительный рост среднего размера структурных элементов (зерен, субзерен, фрагментов). На светлопольных изображениях границы зерен становятся более четкими, увеличивается ширина экстинкционных контуров, что говорит о снижении уровня внутренних напряжений. Вид микродифракционной картины в целом не меняется.

При температурах 450˚С имеют место процессы рекристаллизации и происходит заметное увеличение среднего размера зерна. После отжига 500°С процессы рекристаллизации и роста зерна протекают более активно. Отжиг при температуре при 700°С приводит к дальнейшему увеличению среднего размера зерна до 5 мкм, а при отжигах выше 700°С происходит еще более значительный рост зерна.

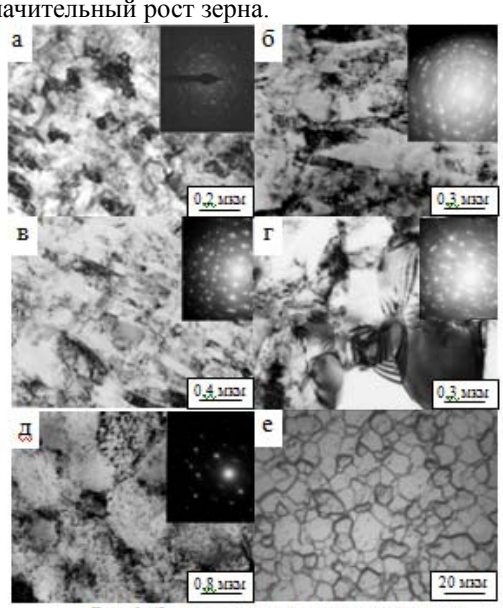


Рис.1. Электронно-микроскопические изображения титана: исходное состояние (а) и после отжигов при температуре 350˚(б), 400˚(в), 450˚(г), 500˚(д), 700˚(в).

Определение верхнего предела термической стабильности механических свойств образцов титана, подвергнутых отжигу при различных температурах, проводилось с помощью измерения микротвердости. На рис. 2 приведена зависимость среднего размера элементов структуры и микротвердости от температуры отжига.

Отжиг при температуре 350˚С не приводит к существенному изменению уровня микротвердости по сравнению с исходным состоянием (2900 МПа). Заметное уменьшение микротвердости до 2100 МПа происходит при температуре 500°С, что по-видимому, обусловлено уменьшением внутренних напряжений вследствие развития процессов возврата на границах зерен. Верхний интервал термической стабильности механических свойств заготовок титана в субмикрокристаллическом состоянии равен 350°С.

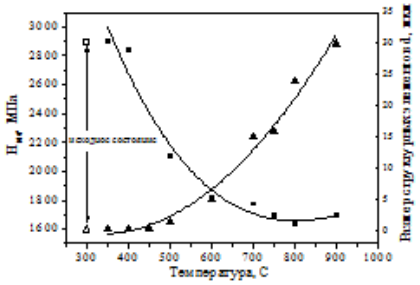


Рис.2. Зависимость микротвердости (1) и размера структурных элементов (2) титана от температуры отжига.

На рис.3 приведена зависимость микротвердости от $d^{-1/2}$. Данная зависимость является линейной. По наклону данной прямой был определен коэффициент k, который составил 0,7 МПа·м$^{1/2}$. Видно, что соотношение Холла-Петча выполняется для титана с размером элементов структуры и зерен в интервале 0,2-35 мкм.

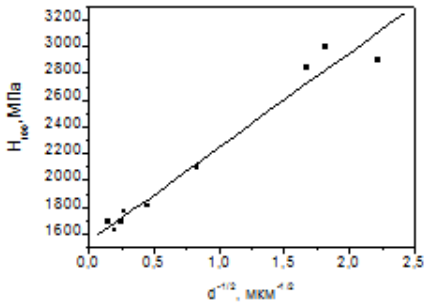


Рис.3. Зависимость микротвердости от размера зерна титана

Таким образом, исследования эволюции микроструктуры и микротвердости от температуры отжига позволили определить верхний предел термостабильности субмикрокристаллического состояния в титане, который составил (350°С). Показано, что соотношение Холла-Петча выполняется для титана с размером элементов структуры и зерен в интервале 0,2-35 мкм.

Литература

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398с.

2. Ерошенко А.Ю., Шаркеев Ю.П., Толмачев А.И., Коробицин Г.П., Данилов В.А., Структура и свойства объемного ультрамелкозернистого титана, полученного abc-прессованием и прокаткой // Перспективные материалы. – 2009. – Спец. выпуск. №7. – С. 107-112.

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ГИП В СИСТЕМАХ «Ti-O-N» и «Ti-Al-O-N» НА ОСНОВЕ СВС-ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ВОЗДУХЕ

Чаплина Е.В., Паутова Ю.И., Громов А.А.
Научный руководитель: Громов А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр.Ленина, 30
e-mail: k_chaplina@mail.ru

Введение

В мире современных материалов керамике принадлежит заметная роль, обусловленная широким диапазоном ее разнообразных физических и химических свойств. Сегодня основные направления в керамической технологии связаны с созданием высокопрочной керамики. В связи с этим получению нитридной и оксинитридной керамики уделяется значительная доля внимания в науке и промышленности [1]. Одним из перспективных направлений в области нитридной керамики является получение композиционных материалов методом СВС на основе переходных металлов и их оксидов.

В данной работе рассматривается получение керамики методом горячего изостатического прессования (ГИП) с предварительной термической обработкой на основе СВС-порошков, полученных на воздухе, в системах: «Ti-O-N» и «Ti-Al-O-N» .

Эксперимент

В соответствии с зарубежными и отечественными источниками [2, 3] для исследования были выбраны следующие составы (здесь и далее используются % масс.):

1. 60% Ti – 40% TiO_2
2. 70% Ti – 30% Al_2O_3
3. 70% Ti – 30% TiO_2 -10% Al
4. 60% Ti – 40% Al
5. 30% Al – 70% TiO_2

В работе использовались грубодисперсные порошки: титана (а=630 мкм), оксида титана (а=80 мкм), алюминия (а=40 мкм), оксида алюминия (а=60мкм).

Исходный керамический материал был получен путем сжигания на воздухе смесей составов, приведенных выше по методике, описанной в [2, 4], полученный материал был исследован посредством РФА (Табл.3). Рентгенофазовый анализ производился на дифрактометре ДРОН-3М, полученные рентгенограммы расшифровывались с помощью программы CrystalloGraphica SearchMatch версия 1.1.

Продукты сгорания были измельчены в агатовой ступке и просеяны через сито с размером ячейки 200 мкм. Из полученного материала были сформованы образцы на лабораторном прессе с использованием формы с D=9,5 мм. Оптимальное давление прессования было определено экспериментально: для составов 1, 2, 3, 5 составило P=450 Мпа, время выдержки 20 сек; для состава 4 – P=846 Мпа, время выдержки 20 сек.

Затем образцы были подвергнуты предварительной термической обработке (Табл.1). После чего они частично спеклись и изменились в размерах: образцы 1, 2, 3, 5 - незначительно, образцы 4 – значительно увеличились в размерах и разрушились (Рис.1), что говорит о протекании сложных физико-химических процессов.

Затем образцы 1, 2, 3, 5 были подвергнуты горячему изостатическому прессованию (Табл.2).

Таблица 1. Параметры предварительной термической обработки

Параметр обжига	Значение
Температура обжига, Т	1550°С
Выдержка при T_{max}	1 час
Атмосфера	вакуум

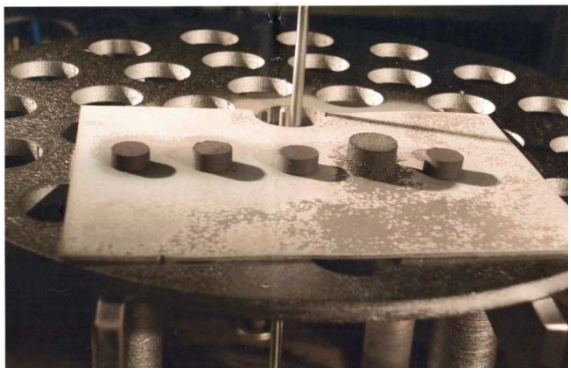


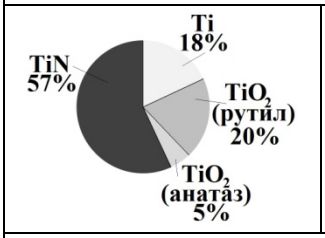
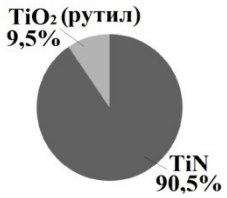
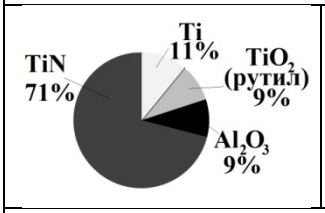
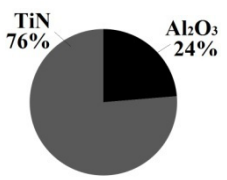
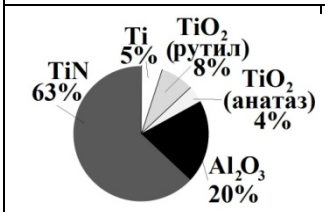
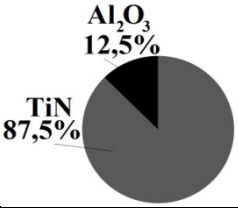
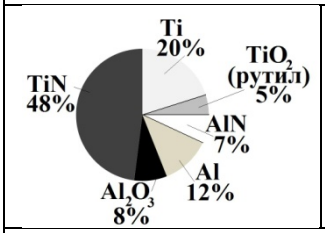
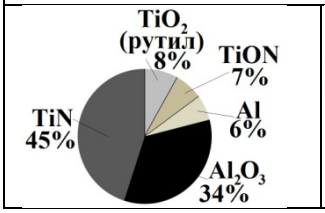
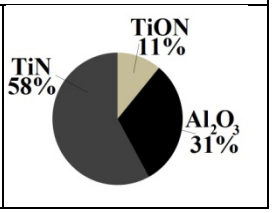
Рисунок 1. Образца после предварительной термической обработки

Таблица 2. Параметры горячего изостатического прессования

Параметр обжига	Значение
Температура обжига, Т	1550° С
Давление, Р	2000 бар
Выдержка	15 мин
Атмосфера	аргон

Полученные образцы были исследованы посредством физико-химических методов анализа: проведен РФА (Табл.3), определены прочность на сжатие и микротвердость (Табл.4). РФА также проиводился на дифрактометре ДРОН-3М. Микротвердость была измерена на микротвердомере ЛОМО ПМТ – 3М (входные

Таблица 3. Результаты РФА

РФА продуктов сгорания исходных смесей	**РФА образцов, прошедших две высокотемпературные обработки (обжиг в вакууме и ГИП)**
60%Ti – 40%TiO_2	
	
70%Ti-30%Al_2O_3	
	
70%Ti-30%TiO_2+10%Al	
	
60%Ti – 40%Al	
	Образцы разрушились
30%Al-70%TiO_2	
	

параметры: напряжение 50 В, нагрузка 2 Н) по стандартной методике. Прочность на сжатие была определена по показаниям манометра гидравлического пресса.

В соответствии с рентгенограммами для всех образцов после двух этапов высокотемпературной обработки не наблюдается пиков металлов, а интенсивность пиков нитридов в образцах увеличивается по сравнению с продуктами сгорания. Для некоторых образцов интенсивность пиков оксидов уменьшилась (Табл.3).

Образцы 1, 2, 3 показали высокие показатели прочности на сжатие и микротвердости, что вероятно связано с преобладанием в них нитрида титана, что подтверждается результатами РФА (Табл.3).

Таблица 4. Параметры полученных образцов

Образец	Микротвердость, HV, МПа	**Прочность на сжатие,** $\sigma_{сж}$ МПа
1	9800	990
2	14500	700
3	15500	1500
4	Разрушились	
5	1700	220

Образцы 5 оказались наименее прочными, что объясняется низким содержанием нитрида титана и повышенным содержанием оксида алюминия по сравнению с образцами остальных составов.

Заключение

В результате проделанной работы были получены керамические материалы методом ГИП с предварительной термической обработкой на основе СВС-порошков, полученных на воздухе, в системах: «Ti-O-N» и «Ti-Al-O-N» с высокими прочностными показателями. Из выбранных составов наилучшие показатели у образцов состава 70%Ti-30%TiO_2+10%Al ($\sigma_{сж}$=1500 МПа и HV=15,5 ГПа). Состав 60%Ti – 40%Al не пригоден для получения керамики, т.к. под действием высоких температур имеют место физико-химических процессы, сопровождающиеся объемными изменениями образцов, в результате чего они разрушаются.

Список литературы

1. Самсонов Г.В. Получение и методы анализа нитридов. - Киев: Наукова думка, 1978. – 320 с.

2. Строкова Ю.И. Технология получения оксинитридных керамических материалов в системах "Ti-Al-N" и Ga-Al-O-N" сжиганием смесей грубодисперсных порошков металлов в воздухе: диссерт. на соискание ученой степени канд.техн.наук. Томский политехнический университет (ТПУ); Томск. - 2008. — 191 с

3. Sjölén J., Karlsson L., Braun S., Murdey R., Hörling A. and Hultman L. Structure and mechanical properties of arc evaporated Ti–Al–O–N thin films // Surface and Coatings Technology. 2007. -Vol. 201. - Iss. 14. – pp. 6392-6403.

4. Горение нанопорошков металлов. / Под ред. Громова А.А. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В КОМПОЗИЦИЯХ С КАРБОНАТСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Чернова Е.А.
Научный руководитель: Хлыстов А.И., д.т.н., профессор
Самарский государственный архитектурно-строительный университет,
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская,194
E-mail: ChernovAleksei1@yandex.ru

Высокая энергоемкость традиционных обжиговых пористых теплоизоляционных материалов и большие капитальные вложения на их производство диктуют острую необходимость разработки и реализации новых эффективных жаростойких композитов, прежде всего безобжиговых, для высокотемпературной изоляции тепловых агрегатов различного назначения.

До настоящего времени физико-химические основы процессов твердения фосфатных вяжущих веществ продолжают оставаться недостаточно изученными.

Журавлев В.Ф. [1], изучая композиции, содержащие в качестве порошковой части оксиды элементов второй группы периодической системы Менделеева Д.И., установил ухудшение проявления вяжущих свойств с повышением радиуса катиона, входящего в композицию. Снижение валентности катионов резко усиливает вяжущие свойства фосфатной композиции.

Будников П.П. и Хорошавин Л.Б. [2] считают, что регулировать процесс твердения можно с помощью оптимального соотношения активностей в системе оксид-кислота. Авторы [2] также отмечают, что механизм твердения основных оксидов обусловлен преимущественно их химическим взаимодействием с фосфатными связками, что приводит к образованию новых химических соединений: одно – и двухзамещенных фосфатов, которые при дальнейшем нагревании превращаются в трехзамещенные фосфаты.

В процессах твердения композициях отдельных оксидов с ортофосфорной кислотой было установлено, что основным фактором, определяющим возможность применения оксидов для получения фосфатных связующих, является тепловой эффект реакции $Me_nO_m + H_3PO_4$. Коэффициент активности оксидов, определяемый по их структурно-энергетическим характеристикам, составляет основу проектирования состава фосфатного связующего, твердеющего в заданных условиях [3].

Белорусским государственным технологическим университетом разработаны состав и технологические параметры получения жаростойкого бетона на основе стабилизированного доломитового клинкера и полифосфата натрия [4]. Данные исследования рассмотрены и взяты за прототип как один из способов повышения прочности материалов на фосфатных связующих.

В связи с вышеизложенным предлагается использовать систему $Me\ (CO_3)_m + H_3PO_4$ для получения фосфатов различной степени замещения. Регулирование процесса твердения возможно путем изменения активности тонкомолотой добавки и концентрации (плотности) кислотного затворителя.

Применяя для получения жаростойких теплоизоляционных бетонов тонкомолотое карбонатсодержащее сырье, в том числе взятое из отходов промышленности, и фосфатные связующие, возможно получить легкий жаростойкий газобетон с температурой эксплуатации до 1700^{o}C.

Особенность фосфатных связующих, заключающаяся в создании значительных трудностей для их использования, может быть устранена применением соответствующих промышленных отходов, во многих случаях являющихся бросовым материалом.

Кремнеземистые и алюмосиликатные тонкомолотые добавки, состоящие преимущественно из кислых и нейтральных оксидов, практически не взаимодействуют при нормальной температуре с фосфатными связующими. Вследствие этого механизм твердения таких добавок обусловлен адгезионным склеиванием частиц наполнителя. Новые химические соединения при этом не образуются, а твердение происходит в результате образования водородных связей фосфатных анионов с поверхностью частиц огнеупорного порошка. Но при повышении температуры образуются новые химические соединения с последующей их кристаллизацией. Основные тонкомолотые добавки (магнезитовые, доломитовые и др.), состоящие из основных оксидов, быстро взаимодействуют при нормальной температуре с водородсодержащими фосфатными связующими, что затрудняет образование нормально твердеющей структуры.

В связи с этим в наших исследованиях в качестве фосфатных связующих используются ортофосфорная кислота низких концентраций; однозамещенный и двухзамещенный фосфорнокислый алюминий: $Al(H_2PO_4)_3$ или $Al_2(HPO_4)_3$, алюмохромофосфатное связующее (АХФС): $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3 \cdot 2P_2O_5$. В качестве тонкомолотых наполнителей: доломитовые высевки, кремнеземистокарбонатные отходы.

Для выполнения исследования были выбраны отходы промышленных предприятий Самарской области: доломитовые высевки Сокского карьера, кремнеземистокарбонатные отходы асфальтобетонного завода. Образцы тонкомолотых наполнителей были затворены ортофосфорной кислотой различной степени концентрации и алюмохромфосфатной связкой различной плотности. В качестве корректирующих добавок использовались отходы промышленности: алюмохромистый отработанный катализатор ИМ-2201- отход производства синтетического каучука Новокуйбышевского нефтехимкомбината, карбонатный шлам водоумягчения Новокуйбышевской ТЭЦ-1, алюминатный шлам щелочного травления алюминия Самарского металлургического завода.

Для предполагаемых реакций был проведен термодинамический анализ и подсчитан их тепловой эффект по закону Гесса:

$3CaCO_3 + 2H_3PO_4 =>$

$=> Ca_3(PO_4)_2 + 3H_2CO_3$ - 753 ккал/моль,

$3MgCO_3 + 2H_3PO_4 =>$

$=> Mg_3(PO_4)_2 + 3H_2CO_3$ - 13 ккал/моль.

Расчеты тепловых эффектов реакций подтвердили выделение тепла, необходимого для воздушного твердения. Фосфаты имеют также достаточно высокую температуру плавления: $Ca_3(PO_4)_2$ около 1700^o С, $Mg_3(PO_4)_2$ около 1400^oC. Следовательно, полученное сырье можно использовать для изготовления жаростойких материалов пористой структуры.

В ходе реакций наблюдалось: вспучивание массы за счет выделения паров воды и углекислого газа, нагрев массы, было замечено образование твердеющих структур с нормальными сроками схватывания. Дальнейшее исследование посвящено регулированию химического процесса для получения пористых структур.

Изучено влияние концентрации (для ортофосфорной кислоты) и влияние плотности (для АХФС) на процесс твердения фосфатных композиций. Исследованиями установлено, что формирование высокопористой структуры жаростойкого газобетона складывается из таких процессов как: получение жидкой фосфатной связки с определенной степенью замещения ионов водорода, введение тонкодисперсных карбонатсодержащих наполнителей в жидкость, предназначенную для затворения, совместное перемешивание вышеперечисленных компонентов.

Установлено, что наблюдаемый при перемешивании разогрев газобетонной смеси, что способствует полноте взаимодействия тонкодисперсных карбонатов с фосфатными связками. Изучено влияние технологических факторов на вяжущие свойства кальций-магний-фосфатных композиций: концентрация ортофосфорной кислоты, кислотность и плотность фосфатных связок, вид тонкодисперсного твердого компонента, его соотношение с фосфатными связующими и т.д..

Плотность безобжигового жаростойкого фосфатного газобетона регулируется такими параметрами фосфатных связующих как плотность, а также введение тонкодисперсных высокоглиноземистых наполнителей. При этом показатели пористости и усадки, и прочности при сжатии при равных условиях получения теплоизоляционного композита зависят от плотности материала.

В ходе исследований научно обоснована и экспериментально установлена возможность применения карбонатсодержащих отходов промышленности в качестве тонкомолотой порошковой составляющей фосфатных цементов; разработаны составы жаростойких газобетонов, пригодных к применению в качестве высокотемпературного теплоизоляционого материала в футеровках тепловых агрегатов. Доказано, что карбонатсодержащие отходы в тонкодисперсном состоянии выполняют роль добавки к высокоглиноземистым наполнителям, обеспечивающей воздушное твердение фосфатных композиций

Список литературы

1. Журавлев В.Ф. Химия вяжущих веществ. - Л.: Госхимиздат, 1951.–385с.

2. Будников П.П., Хорошавин Л.Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках.- М.: Металлургия, 1971. 192 с.

3. Новопашин А.А., Хлыстов А.И. Получение железофосфатных связующих для жаростойких бетонов.// Изв. высших учебных заведений. Строительство и архитектуры. Новосибирск. - 1982. -№2. – С. 64-68

4. Кузьменков М.И., Некрасова Г.Н. Низкотемпературный процесс получения жаростойких бетонов на основе доломита и полифосфатной связки.// Огнеупоры и техническая керамика -2006. -№12. – С. 29- 41.

ФОТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ

Чудин И.С., Горшков А.И., Дмитриенко Т.Г.
Научный руководитель: Дмитриенко Т.Г., д.т.н., профессор
Саратовский государственный технический университет,
410054, Саратов, Политехническая ул., 77
E – mail: dmitrienkotg@mail.ru

Соли селенопирилия и селенопираны применяются в качестве компонентов оптических записывающих сред, фотогальванических элементов, фотоматериалов, инициаторов фотополимеризации, электрофотографии, фотопроводящих материалов в измерительной технике, материалов для быстрорелаксирующих пассивных затворов лазеров, фотоактивных композиционных материалов.

Актуальность освещаемой в настоящей работе проблемы заключается в поиске новых методов синтеза солей селенопирилия и селенопиранов, в частности фотохимическим путем, необходимости установления механизмов фотохимических процессов с участием халькогеносодержащих и, прежде всего, селенсодержащих гетероциклов ввиду их ценных свойств.

Цель данного исследования – изучить особенности и механизм протекания свободнорадикальных реакций фотохимического окисления селена-(тиа)-циклогексанов и 9-Симм.- октагидрохалькогеноксантенов методами газовой хроматографии с масс-селективным детектором (ГХ с МСД), ВЖЭХ и УФ-спектроскопии.

Реакции фотохимического окисления проводились в среде четыреххлористого и четыреххбромистого углерода при инициировании УФ – излучением. Реакционная смесь помещалась в кварцевый реактор, снабженный кварцевой рубашкой с водяным охлаждением при поддержании рабочей температуры 20^0C термостатом ТЖ-ТС-01/16 - 150. При этом реагенты перемешивались электрической мешалкой и облучались с помощью источника полихроматического УФ – излучения

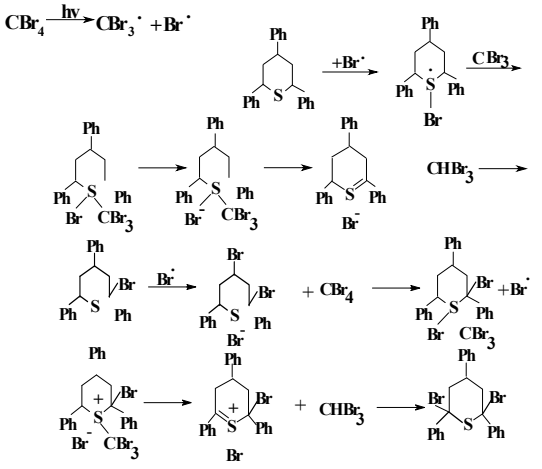
(λ = 200-380 нм), расположенного на уровне реакционного сосуда. Облучение реакционной смеси проводили до полного исчезновения исходного соединения. При этом соотношения халькогеноксантен – CBr_4 и халькогенациклогексан - CBr_4 существенного влияния на выходы конечных продуктов не оказывало.

Ход реакций и индивидуальность полученных соединений контролировали методом ТСХ на пластинах ПТСХ Sorbfil и Silufol UV-254 в сис-темах: гексан – эфир – хлороформ (3:1:1), гексан – эфир (10:1), гексан – эфир (3:1), хлороформ – ацетонитрил (3:1), проявитель – пары иода, а также методом ГХ с МСД HP 5890/5972. Условия хроматографии: $T_{нач.}$= 50 ^{0}C; $T_{кон.}$= 280 ^{0}C. Скорость подъема температуры ΔT= 10 ^{0}C/мин.; $T_{инж.}$= 290 ^{0}C; $T_{детек.}$ = 280 ^{0}C. Хроматографическая колонка HP 5MC, капиллярная, с фазой 5% дифенил- и 95% диметилполисилоксан, d = 0,25 мм, L = 30 м.

УФ – спектры снимались на спектрофотометре HP A 8452. ВЭЖХ анализ проводился хроматографом HP 1090 с обращено-фазовой колонкой (внутренний диаметр 4 мм, длина 125 мм) и автоматическим вводом пробы объемом 1 мкл.

Теоретически можно было предположить, что фотохимическое окисление 2,4,6 – трифенилтиа-(селена)циклогексанов в присутствии CBr_4 происходит посредством элиминирования галогеноводорода.

При фотохимическом окислении 2,4,6-трифенилтиациклогексана нами обнаружено образование соответствующих солей тиопирилия, которые были идентифицированы в виде соответствующих перхлоратов, хроматограмма и масс-спектр 2,4,6 – трифенилтиопирилия приведены на ри.1. Исходя из анализа масс-спектров, мы могли предположить следующую схему 1 превращения.



Нами подтверждено, что 4H-селено(тио)-пираны в условиях фотохимического окисления способны превращаться в соответствующие гетероароматические катионы. Кроме соответствующих солей халькогенопирилия среди продуктов реакции обнаружены методом ГХ с МСД гексабромэтан и бромоформ, что подтверждает свободнорадикальный механизм данной реакции.

При фотохимическом окислении 2,4,6-трифенилтиациклогексана нами обнаружено образование соответствующих солей тиопирилия, которые были идентифицированы в виде соответствующих перхлоратов. Полученные дибромпроизводные фиксировались при помощи хромато-масс-спектрометрии на ранних стадиях реакции, при этом зафиксировано образование 2,4,6-трифенил-2,3 – дигидротиациклогексана.

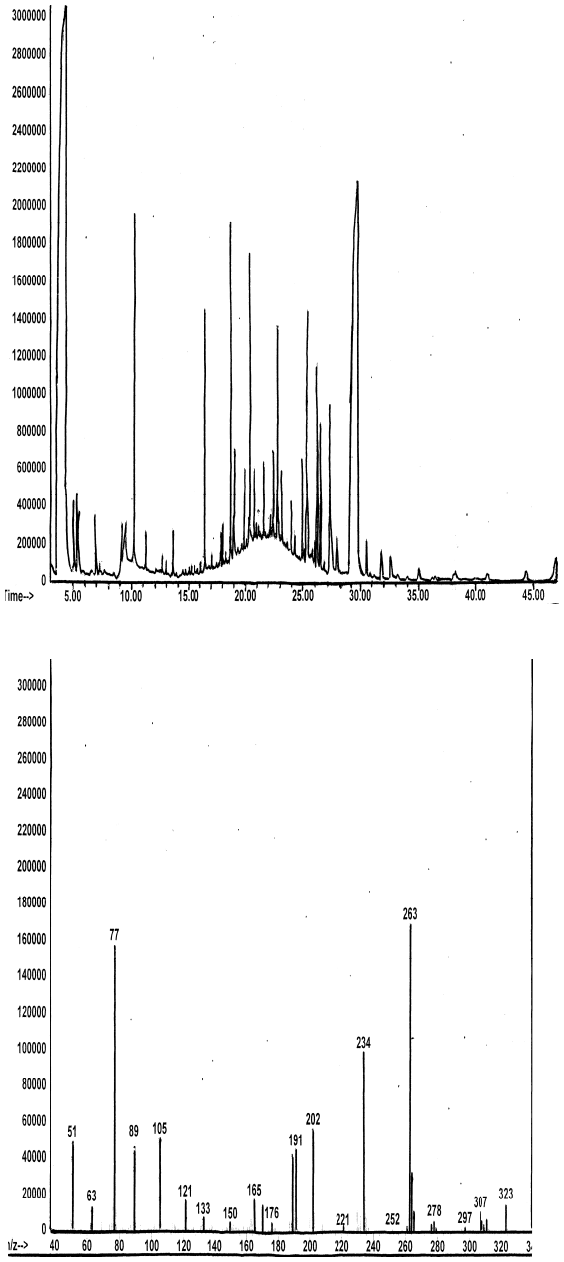
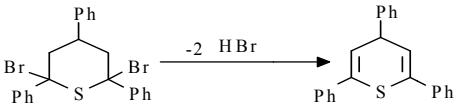
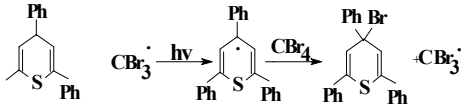


Рис. 1. Хроматограмма и масс-спектр перхлората 2,4,6-трифенилтиопирилия

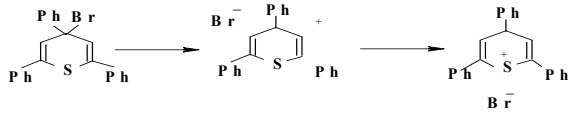
Очевидно, что в дальнейшем полученный дибромид элиминировал бромистый водород:



Получаемый в результате реакции 2,4,6-трифенил 4Н- тиопиран подвергался фотохимическому окислению:

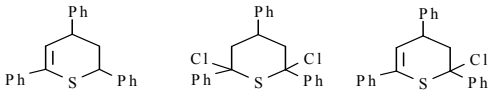


Полученное соединение не может термодинамически существовать в индивидуальном состоянии:



Существование последней структуры термодинамически наиболее выгодно.

При фотохимичестком окислении 2,4,6-трифенилтиациклогексана в реакционной смеси при помощи ГХ с МСД были обнаружены следующие продукты реакции:



I II III

Соответствующий тиопиран не мог находиться долго в данных условиях, так как легко превращается в соль. В данном случае лимитирующей стадией реакции является образование дихлор- и дегидропроизводных трифенилтиациклогексанов. В реакционной смеси основными компонентами являлись: 2,4,6-трифенил-2,3-дегидротиациклогексан и 2,4,6-трифенил-2,3-дегидро-6-хлортиациклогексан. Последний мог возникнуть как в реакционной смеси, так и в результате реакции дегидрохлорирования на адсорбенте при хроматографическом анализе.

Молекула 9-Симм. – октагидроселеноксантена, сталкиваясь с возбужденной молекулой четырехбромистого углерода, превращается в относительно устойчивую структуру, которая затем диспропорционирует с образованием соли халькогенопирилия, тетраброметилена и бромбензола. Это хорошо согласуется с результатами, которые были получены при исследовании радиопротекторных свойств селеноксантенов [1].

Таким образом, образующиеся тио- и селенопираны могут подвергаться реакции фотохимического окисления по свободнорадикальному механизму с образованием соответствующих гетероароматических катионов. Исследованы процессы фотохимических превращений селена(тиа)циклогексанов, обнаружена их способность подвергаться фотохимическому окислению в присутствии CCl_4 и CBr_4 с образованием гетероароматических катионов. Показано, что халькогенациклогексаны могут служить в качестве сенсибилизаторов при фотохимическом окислении. Обнаружена новая модификация перегруппировки Пуммерера, сопровождающаяся полным элиминированием реагента с образованием соответствующего непредельного соединения. Экспериментальным путем показано, что возможно протекание процессов фотохимического окисления халькогенопирановых структур по гетероатому.

1. ***Блинохватов А.Ф.*** Автореферат .докт. хим. наук, Саратов, 1993. 48 с.

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОЙ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ

Чумаченко А.Ю., Батаев И.А., Ромашова Ю.Н
Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
633092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: nastya_ur_ch@mail.ru

Высокоскоростная деформация материалов имеет место при реализации различных процессов. На сегодняшний день в промышленности находят всё большее применение такие технологии, как сварка взрывом, взрывное компактирование порошков, взрывное формование и упрочнение материалов взрывом. В работах М.А. Мейерса и Л.Е. Мурра, опубликованных в сборнике [1], а также работах М.И. Гольдштейна [2], Б.Г. Лившица [3] и ряда других авторов отмечается, что с повышением скорости нагружения и давления в металлах активизируется механизм деформационного двойникования. Причём двойники деформации появляются даже в тех металлах и сплавах, в которых при обычных (квазистатических) условиях их образование является весьма маловероятным. К таким сплавам относятся, например, широко распространенные углеродистые стали. Образование двойников в ферритных зёрнах этих сталей является известным явлением и описано в большом количестве работ, посвящённых сварке взрывом и высокоскоростной деформации материалов [6]. В тоже время формирование двойников в структуре перлита является достаточно редким и малоизученным явлением. Так в работе [1] отмечается, что деформация двойникованием затруднена при наличии даже относительно небольшого количества частиц второй фазы, в то время как в структуре пластинчатого перлита выделения второй фазы составляют более 10%. Первое исследование, направленное на изучение деформации пластинчатого перлита по механизму двойникования, насколько известно авторам настоящей работы, было проведёно М. Прёгером с использованием оптической металлографии [4]. Одна из наиболее значимых работ посвященных двойникованию в эвтектоиде была проведена Х.К. Боуденом и М.П. Келли [5]. Важнейший вывод, сделанный ими, заключается в том, что двойникование в перлите, наиболее вероятно, реализуется лишь в условиях сжимающих напряжений.

В большинстве из перечисленных работ явление двойникования перлита наблюдалось либо при одноосной деформации сжатием, либо в условиях, когда сжимающие напряжения доминировали над растягивающими. Результаты исследований, проведённых в настоящей работе, свидетельствуют о возможности двойникования в перлите в условиях, когда доминирующими являются напряжения растяжения.

В качестве объекта исследования в работе использовали трубы с внешним диаметром 60 мм и толщиной стенки 10 мм, изготовленные из стали со средним содержанием углерода 0,6%. Высота заготовок составляла 150 мм. В исходном состоянии сталь имела феррито-перлитную структуру. Основной составляющей являлся перлит пластинчатого типа. Высокоскоростное деформирование и разрушение труб осуществлялось в процессе детонации заряда взрывчатого вещества, помещённого внутрь трубы. Образованные после разрушения трубы фрагменты исследовали методами оптической металлографии, растровой и просвечивающей электронной микроскопии. Особое внимание в процессе исследований уделялось особенностям двойникования перлитной составляющей стали.

Двойники деформационного происхождения, формирующиеся в пластинчатом перлите, не смотря на малый размер, отчётливо выявляются методом оптической металлографии. На рис. 1 они выглядят в виде тонких слегка изогнутых линий распространяющихся внутри перлитных колоний в одном направлении. Изгиб кристаллографически «правильных» дефектов, вероятно, объясняется тем, что после прохождения высокоскоростных ударных волн, дальнейшая деформация материала протекает по механизму скольжения дислокаций.

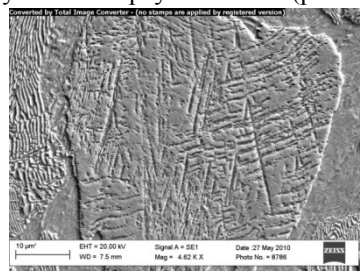
а

б

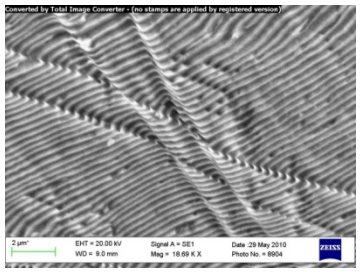
Рис.1. Двойники в перлите стали 60.

Следует отметить тот факт, что в пределах одной перлитной колонии двойники расположены под различными углами к цементитным пластинам. В частности, двойники в перлите расположены поперек пластин и под острым углом к пластинам цементита, что соответствует результатам работы [5].

Этот факт подтверждается результатами растровой электронной микроскопии (рис. 2). Высокие давления и скорости деформации, реализуемые в процессе ударного нагружения, приводят к активизации всех возможных плоскостей семейства {211} в пределах одной колонии перлита, что выражается в появлении своеобразных фигур в виде прямоугольных треугольников (рис. 2 б).



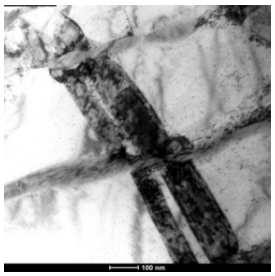
а



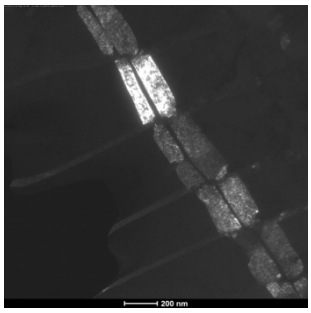
б

Рис. 2. Двойники деформационного происхождения в перлитных колониях.

Наиболее надёжным методом, подтверждающим образование двойников деформации в перлите, является просвечивающая электронная микроскопия. На рис. 3а, представлена фотография двух двойников. На рис. 3б представлено темнопольное изображение того же участка, сделанное в одном из рефлексов двойников. Анализ представленных изображений свидетельствует о том, что кристаллографическая ориентировка двойника, при пересечении им цементитных пластин остаётся постоянной. Этот факт легко объясняется наличием единственной для всей колонии перлита ферритной матрицы.



а



б

Рис. 3. Двойники деформации, зафиксированные методом ПЭМ.
а – светлопольное изображение;
б – темнопольное изображение, полученное в одном из рефлексов двойников.

Электронно-микроскопические исследования стали 60 показали, что в результате высокоскоростного нагружения деформирование материала происходит преимущественно по механизму двойникования. Причем в пределах одной колонии перлита возможно образование нескольких десятков двойников. При этом задействуются все возможные плоскости семейства {211}. Двойники деформации, образовавшиеся на первых этапах деформации, изгибаются при развитии в материале механизмов дислокационного скольжения.

Литература

1. М.А. Мейерс, Л.Е. Мурр. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов.- М.: Металлургия.- 1984 г.- 512 с.;

2. М.И. Гольдштейн, В.С. Литвинов, Б.М. Бронфин. Металлофизика высокопрочных сплавов.- М.: Металлургия.- 1986 г.- 310 с.;

3. Б.Г. Лившиц. Металлография.- М.: Металлургия.- 1971 г.;

4. M. Pröger, Die deformations- und Bruchmechanismen des lamellaren Perlits: Diss.- Stuttgart (1964), 101 S.;

5. H.K. Bowden, P.M. Kelly, Deformation twinning in shock-loaded pearlite: Acta Metallurgica. Vol.15 (1957), pp. 105-111;

6. B. Crossland. Explosive welding of metals and its application, Clarendon Press, Oxford (1982) p. 233.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА БРОНЗЫ БРОС10-10

Шахова Д.С., Петренко Ю.Н., Мартюшев Н.В.
Научный руководитель: Мартюшев Н.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nikitoid@mail.ru

Оловянно свинцовистые бронзы – это широко распространенный антифрикционный материал. Бронзы марки БрОС 10-10 имеют прекрасные триботехнические свойства – низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. Однако наличие в составе этих бронз свинца значительно ослабляет их механические свойства. Свинец практически не растворяется ни в одном из компонентов таких бронз и образует включения, значительно снижающие прочностные характеристики бронзы. На прочность бронз будет влиять не только количество свинца, но также форма и размер свинцовых включений, формирование которых определяется рядом технологических факторов (температурой заливки, скоростью охлаждения и др. /1,2/). Вопросы формообразования свинцовых включений в многокомпонентных бронзах и влиянии морфологии таких включений на механические свойства рассматриваются в работе 3. Из нее следует, что сферическая форма включений, получаемая при низких скоростях охлаждения, позволяет получить наиболее высокие прочностные свойства. Однако эта работа посвящена исследованию исключительно бинарных свинцовистых бронз. В свинцово оловянных бронзах добавляется еще один компонент – олово, который будет вносить свой значительный вклад в формирование механических свойств.

В данной работе была поставлена задача, изучить влияние скорости охлаждения на механические свойства свинцово - оловянных бронз марки БрОС 10-10

Исследуемая бронза выплавлялась в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,066 из технически чистых компонентов в тигле из силицированного графита. Состав шихты этой бронзы приведен в таблице 1.

Таблица 1. Содержание элементов % масс.

Марка бронзы	Содержание элементов, % масс			
	b	u	n	Раскислитель
БрОС-10-10	0	9,5	0	0,5

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой свинца в расплав.

Температуру заливки составляла 1150°С и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением.

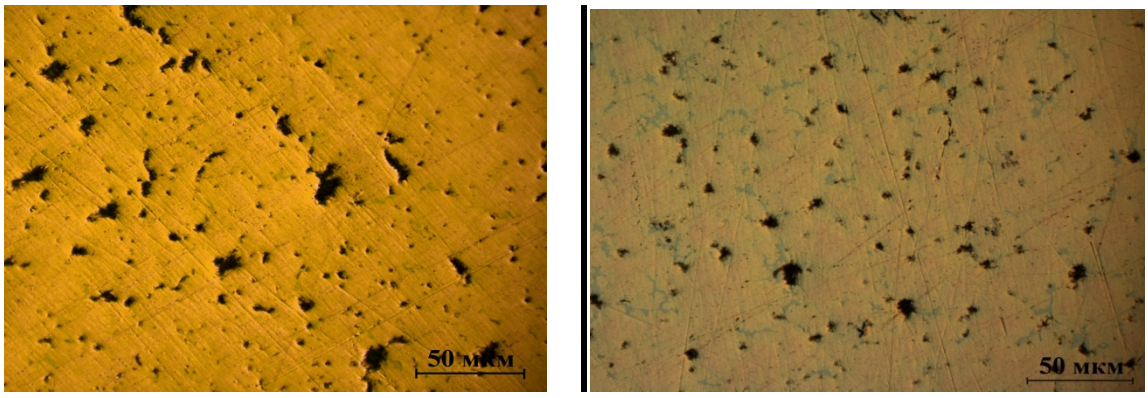
Заливка проводилась в холодные графитовые формы при температуре 25°С после чего они охлаждались на воздухе (скорость охлаждения ~80 °/мин) и в горячие формы, нагретые до различных температур – 200, 400, 600, 800°С, которые так же затем охлаждались на воздухе. Отливки представляли собой цилиндры с диаметром 17 мм и высотой 70 мм.

Микроструктура образцов изучалась на оптическом микроскопе ZEISS AXIO Observer.A1m со встроенной фотокамерой и ZEISS Axiovert 40 MAT. Количественные характеристики микроструктуры (процент структурных составляющих и их средний размер) определяли с помощью разработанной компьютерной программы /4/.

Исследования триботехнических свойств образцов проводилось на испытательной машине СМТ-1 проводились сравнительные испытания по схеме вал-колодка двух типов образцов с использованием смазки М8Г на скорости 300 об/мин. Испытания на растяжения проводили на испытательной машине МИРИ 100К. Испытания на ударную вязкость проводили на маятниковом копре 2130КМ-0,3.

Определялся коэффициент трения двух типов образцов из исследуемой бронзы. Одни полученные с высокой скоростью охлаждения и рваными мелкими включениями свинца, другие с низкой скоростью охлаждения и сферической формой свинцовых включений.

Проведенные металлографические исследования показали, что в результате изменения скоростей охлаждения формируется различная морфология включений легкоплавкой фазы в отливках в соответствии с данными изложенными в /3/. Высокая скорость охлаждения дает мелкие разветвленные включений свинца. Низкая скорость охлаждения отливок дала более сферообразные включений свинца (см. рис. 1). Однако вместе с тем образцы охлаждаемы с более высокой скоростью содержат меньшее количество эвтектоида состоящего из твердого раствора олова в меди и электронного соединения $Cu_{31}Sn_8$.



а б

Рис.1 Микроструктура бронзы марки БрОС-10-10 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения.

Проведенные триботехнические испытания показали, что в диапазоне нагрузок от 20 до 200кг коэффициент трения образцов со сферической формой свинцовых включений на 30-50% выше, чем у аналогичных образцов, но с рваной хлопьевидной формой включений.

Так средний коэффициент трения при скорости вращения вала 300 об/мин. составил 0,082 для образцов с рваной формой включений и 0,122 для образцов со сферической формой включений.

Проведенные с помощью разработанной программы исследования морфологии свинцовых включений показывают что их средние размеры при низкой скорости охлаждения (~4 ºС/с) в 1,6 раз больше чем при высоких скоростях охлаждения (~80 ºС/с). Проведенные исследования на бинарных свинцовистых бронзах показывают, что сферическая форма масляных карманов более благоприятна для процесса трения. Смазка лучше удерживается в них, обеспечивая более низкий коэффициент трения. Но в данном случае коэффициент трения образцов полученных с более мелкими рваными включениями свинца ниже образцов со сферическими гладкими включениями. Это может объясняться наличием в быстро охлажденных образцах большего количества твердого электронного соединения. Компьютерный расчет показал, что быстро охлажденные образцы, содержащие в структуре электронного соединения в 2 раза больше, в сравнении с медленно охлаждаемыми образцами. Увеличение содержания эвтектоида уменьшает содержание олова в медном твердом растворе и как следствие ведет к снижению твердости и предела прочности при растяжении. Так твердость при литье в форму комнатной температуры составляет НВ52,5, при литье в форму нагретую до 800 ºС – НВ 45,5. Подобная картина наблюдается и при испытаниях на растяжения так для форм при 20ºС – σ_B=275МПа; 200ºС – σ_B=252МПа; 400ºС – σ_B=241МПа; 600ºС – σ_B=209МПа; 800ºС – σ_B=180МПа.

Результаты испытаний на ударный изгиб дают противоположные результаты. Рост скорости охлаждения при кристаллизации приводит к падению значения ударной вязкости. При температуре нагрева форм в 20ºС – КС=37,1; 200ºС – КС=38,9; 400ºС – КС=39,4; 600ºС – КС=44,1; 800ºС – КС=46,5. Такие результаты можно объяснить тем, что рост твердости матрицы при увеличении скорости охлаждения приводит к снижению её пластических свойств и как следствие к падению значения ударной вязкости.

В итоге по результатам исследований можно сделать вывод о том, что снижение скорости охлаждения многокомпонентных бронзы БрОС-10-10 приводит к увеличению коэффициента трения и снижению механических свойств. При этом решающее влияние на свойства в данном случае оказывает не сфероидизация свинцовых включений, а количество олова растворенного в медной матрице.

Литература

1. Корчмит А.В., Егоров Ю.П. Влияние температуры заливки на структуру и свойства пятикомпонентной оловянистой бронзы, отлитой в литейные формы с разной теплопроводностью. / Сб.тр. IX Международной научно-практической конференции «Современная техника и технологии». Томск: STT, 2003.– С. 46–47.

2. Горшков И. Е. Литье слитков цветных металлов и сплавов : учебное пособие – М. : Металлургиздат, 1952. – 416 с.

3. Мартюшев Н.В., Петренко Ю.Н., Егоров Ю.П. Производство поршневых колец компрессоров высокого давления. // Литейное производство. – 2008 – №8 – с. 24-25.

4. Мартюшев Н.В., Егоров Ю.П., Утьев О.М. Компьютерный анализ структуры материалов. Сборник докладов. 8-я Международная научно-практическая конференция. Современная техника и технологии СТТ′2002-ТПУ, 2002.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181 ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТОК ПО РАЗНЫМ РЕЖИМАМ

Шевяко Н.А. [1], Литовченко И.Ю. [1,2]
Научные руководители: Тюменцев А.Н. [1,2], д.ф-м.н., профессор, Астафурова Е.Г. [1,2], к.ф-м.н., доцент
[1]Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: Nadejda89tsk@rambler.ru

Перспективными конструкционными материалами для активных зон ядерных и термоядерных энергетических реакторов являются малоактивируемые феррито-мартенситые 12%-ые хромистые стали. Температурный диапазон применения таких сталей снизу ограничен их склонностью к низкотемпературному охрупчиванию при радиационных воздействиях, а сверху – уровнем длительной прочности (жаропрочности). Важным методом улучшения функциональных свойств ферритно-мартенситных сталей является их термическая обработка (ТО), приводящая к образованию различных структурно-фазовых состояний, а оптимизация режимов ТО является важным этапом создания (модификации) конструкционных ферритно-мартенситных сталей [1,2].

Методами просвечивающей электронной микроскопии с использованием электронных микроскопов Philips CM30 (300 кВ) и Philips CM12 (120 кВ) и рентгеноструктурного анализа с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-6000 проведены исследования особенностей микроструктуры и фазового состава малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 (Fe-12Cr-2W-V-Ta-B) после ТО по следующим режимам:

– ТО-I (закалка от температуры 1373 К, отпуск при Т = 993 К);

– ТО-II (закалка от температуры 1373 К, отпуск при Т = 993 К + дополнительное термоциклирование около критической точки A_{c1} между закалкой и отпуском).

Электронно-микроскопический анализ выявил наличие в структуре рассматриваемой стали ряд частиц второй фазы, которые удобно разделить на 3 основных размерных типа (таблица 1).

Таблица 1. Средние значения размеров частиц вторичных фаз внедрения после различных ТО

ТО	ТО-I	ТО-II
$M_{23}C_6$, нм	111 ± 5	299 ± 5
Карбиды ванадия, нм	64 ± 5	120 ± 5
Карбонитриды ванадия, нм	< 5	< 5

Следует отметить, что высокая плотность мелкодисперсных частиц (< 5нм) является важной особенностью гетерофазной структуры после ТО-I. После ТО-II области с подобными частицами встречаются крайне редко, а их плотность существенно ниже (как минимум, на порядок).

На светлопольных электронномикроскопических изображениях наличие указанных выше наночастиц проявляется в формировании слабого «крапчатого» контраста. При этом хорошо различимые дифракционные максимумы на электронограммах, позволяющие получить отчетливые темнопольные изображения таких

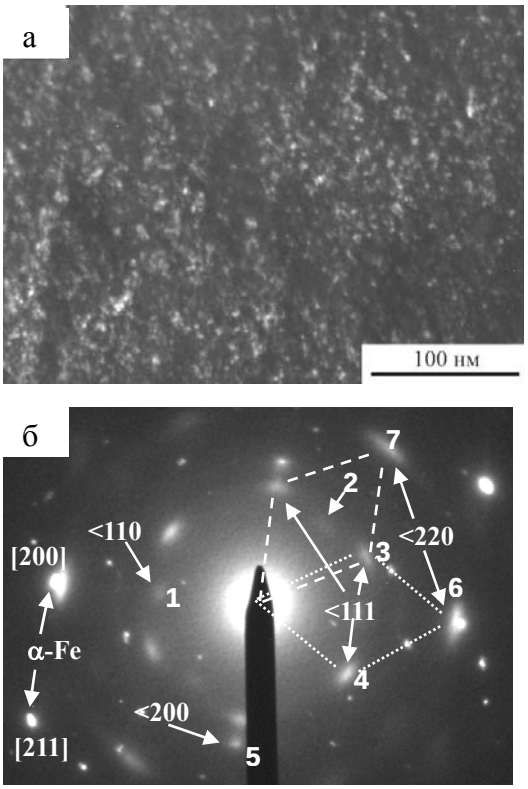


Рис.1. Наночастицы второй фазы (а) и картина микродифракции (б) после ТО-I. Темнопольное изображение в рефлексе <220> (рис. 1 б, № 7). Ось зоны матрицы – [0 $\bar{1}$ 1]. Пунктирными линиями обозначены фрагменты обратных решеток наночастиц, соответствующих двум осям зон типа <110>

частиц, удается получить лишь в достаточно тонких участках фольги, один из которых представлен на рисунке 1.

Электронографический анализ показал, что:

- расстояния между плоскостями кристаллической решетки, формирующими дифракционные максимумы 5, 6 и 7 на рис. 1 б, совпадают с таковыми для плоскостей типа {200} и {220} кубических (с ГЦК решеткой) карбидов и нитридов ванадия. Вероятнее всего, это фаза внедрения на основе карбонитрида ванадия.

- расстояния между плоскостями {220}, отвечающими за формирование рефлексов 6 и 7 различаются на ≈ (1.3-1.4) % , что свидетельствует о наличии в кристаллической решетке наночастиц тетрагональных искажений.

Идентификация рефлексов 3 и 4 (рисунок 1 б) проведена в предположении, что наночастицы имеют гранецентрированную решетку с тетрагональными искажениями. Тогда эти рефлексы, совместно с рефлексами <220> (№№ 6 и 7), формируют фрагменты обратных решеток (показаны на рис. 1 б пунктирными линиями разного типа), соответствующих осям зон типа <110>, и являются действующими отражениями от плоскостей {111}. Проведенный анализ указанных выше фрагментов показал, что для них характерны более значительные (около 3,5 %) различия расстояний между плоскостями {111}, свидетельствующие о наличии моноклинных искажений (изменении углов между гранями элементарной ячейки) кристаллической решетки наночастиц.

Другой важной отличительной особенностью образцов стали ЭК-181, прошедших обработку по режиму ТО-I, является формирование внутри фрагментов мартенсита субструктуры с непрерывными разориентировками. Анализ кривизны кристаллической решетки при наклоне образца в гониометре показал, что эта кривизна, измеренная по формуле $\chi_{21}=\Delta\varphi\times\sin\beta/(\Delta r)$ (где Δr –величина смещения контура экстинкции в процессе наклона образца в гониометре на угол $\Delta\varphi$, β – угол между вектором действующего отражения и направлением проекции оси наклона гониометра) обнаруживается практически во всем объеме образцов. Ее наиболее вероятные значения χ_{21} ≈ 0.5 град/мкм. При этом в локальных участках фольги она может достигать величины χ_{21} ≈ (1-2) град/мкм. Согласно формуле $\rho_{\pm} \approx \chi_{ij}/|\mathbf{b}|$, при указанных наиболее вероятных величинах χ_{21} и **b** ≈ 0.25 нм плотность дислокаций, геометрически необходимых для такой кривизны, составляет величину $\rho_{\pm} \approx 3\times10^{10}$ см$^{-2}$.

Указанные выше субструктуры являются источниками локальных внутренних напряжений, которые оценивают по формуле $\sigma_{loc} \approx \chi_{ij}\, E\, \Delta h\, /2$ (где E – модуль Юнга; Δh – характерные размеры зоны высокой кривизны). Принимая $\Delta h \approx 0{,}1$ мкм, получим, что при $\chi_{21} \approx 0{,}5$ град/мкм величина локальных внутренних напряжений $\sigma_{loc} \approx 4{,}4\times10^{-4}$ E. Однако в локальных зонах повышенной кривизны указанные напряжения могут быть значительно выше. Например, при $\chi_{21} \approx 2$ град/мкм и $\Delta h \approx 0{,}15$ мкм значение $\sigma_{loc} \approx 3{,}5\times10^{-3}$ E. Для E = 220 ГПа они достигают величины $\sigma_{loc} \approx$ 770 МПа, сравнимой с пределом текучести сплава при комнатной температуре.

Таким образом, при анализе причин более высоких значений температуры хрупко-вязкого перехода в результате термообработки по режиму ТО-I [2]необходимо учитывать факторы:

- значительное повышение прочности в структурных состояниях с высокой плотностью наночастиц второй фазы и дефектной субструктурой с непрерывными разориентировками;

- формирование в таких субструктурах зон с более высокими значениями кривизны кристаллической решетки и локальных внутренних напряжений как потенциальных источников зарождения разрушения.

Термическая обработка стали по режиму ТО-II исключает образование наноразмерных частиц указанного выше карбонитрида и снижает интенсивность фазового наклепа и, как следствие, формирование структурных состояний с непрерывными разориентировками и повышенным уровнем внутренних напряжений. Предполагается, что это связано со значительным обеднением твердого раствора материала углеродом в процессе термоциклирования после закалки. Такие особенности структурно-фазового состояния стали при режиме ТО-II приводят к существенному снижению эффектов дисперсного и субструктурного упрочнений стали и являются основной причиной уменьшения прочности сплава после такой обработки. Последнее, совместно с локальными внутренними напряжениями в зонах повышенной кривизны кристаллической решетки, является важным фактором изменения степени хладноломкости стали (снижения температуры хрупко – вязкого перехода).

Автор работы выражает благодарность сотрудникам ВНИИНМ им. А.А. Бочвара М.В. Леонтьевой-Смирновой и В.М. Чернову за предоставленный материал и полезные дискуссии.

Литература

1. Present status and future prospect of the Russian program for fusion low-activation materials / M.I. Solonin [et.al.] // Journal of Nuclear Materials. – 2000. – № 283-287. –p. 1468-1472.

2. Структурные особенности жаропрочных 12% хромистых сталей с быстрым спадом активности / М.В. Леонтьева-Смирнова [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. – 2004. – Вып. 2(63). – с. 142-155.

НАНЕСЕНИЕ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Шпакова Н.Ю.
Научный руководитель: Соловьев А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: shpakina@yandex.ru

Наиболее многообещающие технологии интеллектуальных окон в XXI веке, которые являются ключом к энергосбережению, основаны на электрохромных покрытиях. Электрохромные материалы отличаются своей способностью к обратимым и устойчивым изменениям оптических свойств под воздействием прилагаемого к ним напряжения. Обычно электрохромная конструкция состоит из пяти слоев наносимых на стекло: прозрачный проводящий слой (SnO_2:F, In_2O_3:Sn, ZnO:Al), электрохромный слой (WO_3), ионный проводник/электролит (органический, неорганический), контрэлектрод (V_2O_5, NiO, IrO_2), прозрачный проводящий слой [1]. В настоящее время стоимость этих материалов велика, что не позволяет организовать их серийное производство. Поэтому актуальной является задача сделать технологию изготовления электрохромных устройств (ЭХУ) высокопроизводительной, рентабельной, с широким освоением современного рынка. Для этого мы предлагаем конструкцию с твердотельным неорганическим электролитом (Ta_2O_5), в которой все слои будут нанесены с помощью магнетронного распыления рис.1.

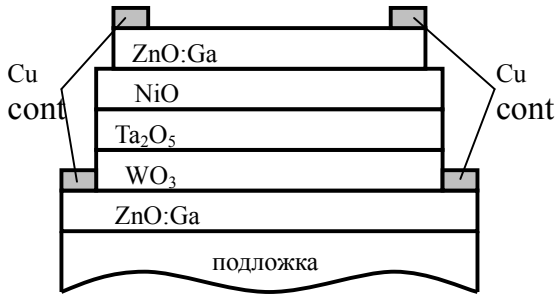


Рис. 1. Структура электрохромного покрытия.

Осаждение слоев покрытия проводилось на экспериментальной установке собранной на базе серийно выпускаемого оборудования ННВ-6 «Булат». Установка была оснащена двумя магнетронными распылительными системами с дополнительной электромагнитной катушкой (с катодами из необходимых материалов), ионным источником с замкнутым дрейфом электронов (для предварительной ионно-плазменной очистки подложек) и источниками питания для этих устройств. Для осаждения триоксида вольфрама, гидратированного оксида никеля и медных контактных площадок использовались металлические катоды из соответствующих материалов диаметром 120 мм и толщиной 6 мм. Нанесение прозрачных проводящих электродов и гидратированного оксида тантала осуществлялось при использовании магнетрона с диаметром катода 95 мм толщиной 6 мм из оксида цинка легированного оксидом галлия с содержанием последнего 3,5 ат.% и металлического тантала чистотой 99,95%, соответственно. Магнетроны подсоединялись к источникам питания, которые позволяли работать как на постоянном, так и импульсном токе частотой до 50 кГц. Источники питания имели систему дугогашения, работающую таким образом, что энергия, выделяющаяся в дуге, не превышала 50 мДж.

Покрытие наносилось по схеме на рис. 1 с использованием масок. Подложки устанавливались на расстоянии 80 мм от магнетрона на вращающийся, для увеличения однородности наносимых покрытий, вокруг оси камеры подложкодержатель. Регулировка давления в вакуумной камере осуществлялась изменением расхода рабочих газов (Ar, O_2, H_2), которые напускались непосредственно в камеру.

Прозрачные проводящие электроды ZnO:Ga наносились при мощности магнетронного разряда 130 Вт. Разрядное напряжение при этом составляло 350 В. С целью уменьшения сопротивления формируемого покрытия, его осаждение осуществлялось при включенной электромагнитной катушке, создающей несбалансированную конфигурацию магнитного поля. Также проводился предварительный нагрев подложек до температуры ~ 90 °С. Толщина наносимого покрытия составляла примерно 1 мкм.

Нанесение Cu токосъемных площадок осуществлялось при мощности магнетронного разряда 500 Вт. Параметры обработки: давление аргона – 0.1 Па, время обработки – 7 мин. За это время осаждались металлические слои толщиной 300 нм.

Слой с катодной электрохромностью (триоксид вольфрама WO_3) наносился в импульсном режиме работы магнетронной распылительной системы при мощности разряда 1.5 кВт и частоте 40 кГц. Давление смеси аргона и кислорода в рабочей камере составляло 0.7 Па, толщина слоя около 200 нм.

Нанесение слоя электролита (гидратированный

оксид тантала Ta_2O_5:H_2O) осуществлялось при мощности магнетронного разряда 1.5 кВт на частоте 50 кГц. Парциальное давление водорода составляло 0.15 Па, толщина слоя 200 нм.

Ионнонакопительный слой с анодной электрохромностью (гидратированный оксид никеля NiO_xH_y) наносился в импульсном режиме работы магнетронной распылительной системы при мощности разряда 1.5 кВт и частоте 40 кГц. Парциальное давление кислорода составляло 0.09 Па, парциальное давление водорода 0.15 Па. Осаждаемые покрытия имели толщину около 200 нм.

На заключительном этапе выполнения работы были проведено исследование характеристик полученных ЭХУ. Полученные образцы ЭХУ размещались между источником света (лампа накаливания) и фотодиодом. Пройденное излучение регистрировалось установленным непосредственно за образцом фотодиодом марки OPT 101 фирмы Burr-Brown. Напряжения с фотодиода записывалось потенциостатом Elins P-30 и характеризовало прозрачность ЭХУ. Прозрачность ЭХУ измерялись также с помощью люксметра фирмы AZ Instruments (модель 8581), а также спектрофотометром видимого диапазона длин волн AvaSpec-2048. Было найдено хорошее совпадение результатов прозрачности покрытия, полученных этими методами.

Были проведены измерения глубины окрашивания, скоростей окрашивания и обесцвечивания серии образцов ЭХУ, отличающихся толщиной твердотельного электролита (гидратированный оксид тантала Ta_2O_5:H_2O). Толщина пленок оксида тантала составляла 400 нм для образца №1 , 600 нм для образца №2 и 800 нм для образца №3 . На каждый образец подавалось напряжение от ± 2В до ± 6В.

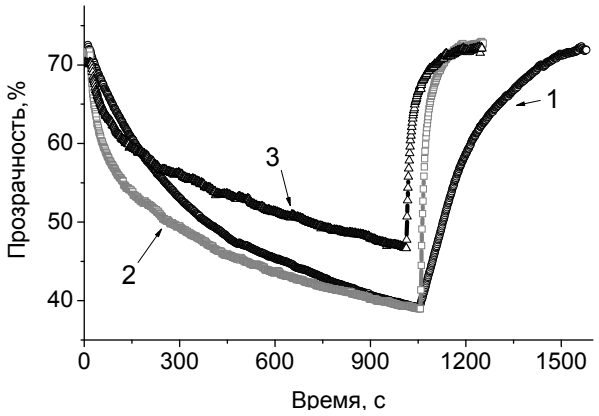


Рис. 2. Зависимость прозрачности образца ЭХУ от времени приложения потенциала величиной 2 вольта

Лучшими характеристиками, а именно большей глубиной окрашивания и меньшим временем окрашивания и обесцвечивания обладал образец № 2 (рис 2).

Для приложенного напряжения 6 вольт, время окрашивания образца с уровня прозрачности 73 % до прозрачности 38 % составляло порядка 600 секунд (рис. 3). Обесцвечивание образца происходило за 80 секунд. При уменьшении величины приложенного напряжения до 2 вольт происходило увеличение времени окрашивания до 1100 секунд. При этом также наблюдалось уменьшение глубины окрашивания ЭХУ. Диапазон изменения прозрачности электрохромного покрытия составляет 38-78 %. Но из графиков видно, что после уменьшения прозрачности до 50% время на окрашивание значительно увеличивается.

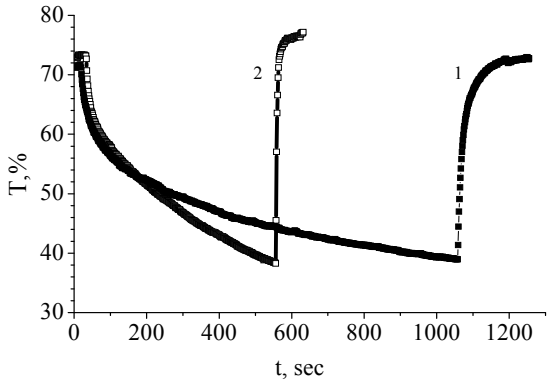


Рис. 3. Динамика окрашивания и обесцвечивания электрохромного покрытия (образец №2) в зависимости от приложенного потенциала: 1 – ± 2 В, 2 - ± 6 В.

В итоге получены образцы ЭХУ и измерены его характеристики. Образцы ЭХУ, полученные на основе твердотельного электролита Ta_2O_5 обладали следующими характеристиками: максимальная прозрачность в неокрашенном состоянии составляла 75%, минимальная прозрачность в окрашенном состоянии 35 %. При приложенном к контактам ЭХУ потенциале 6 вольт время окрашивания составляло около 700 секунд. Скорость обесцвечивания образца равнялась 80 секундам. Полученные нами значения близки к значениям характерным для типовых электрохромных устройств, у которых верхний предел пропускания видимой области спектра достигает 50-70%, а нижний – 10-25 %.

Список литературы:

1. Addison Wesley Longman, Inc. Granqvist, C. G., E. Avendano, and A. Azens. Electrochromic coatings and devices: survey of some recent advances - Thin Solid Films 442:201–211, 2003.

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ГОРЕНИИ БОРСОДЕРЖАЩИХ СВС-СИСТЕМ ПРИ НАГРУЖЕНИИ РЕАКЦИОННО-СПОСОБНЫМИ ДОБАВКАМИ

Исаченко Д.С., Семенов А.О., Штин А.А.
Научный руководитель: Долматов О.Ю., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: isachenko@tpu.ru

Синтез материалов с заданным сочетанием свойств требует использования таких методов управления самораспространяющемся высокотемпературным синтезом (СВС), которые позволяли бы получить в структуре материала требуемый фазовый состав. Ситуация осложняется многостадийностью образования конечного продукта в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, когда протеканию каждой стадии соответствует свой температурный режим. Так, например, при синтезе материала на основе борида вольфрама в исходной системе могут образовываться следующие фазовые составляющие:

- WB – при T = 1600 – 2400 K;
- W_2B_5 – при T = 900 – 1300 K;
- WB_2 – при T = 600 – 900 K.

Поэтому для получения в структуре материала тех или иных фаз требуется изменение величины энерговыделения, имеющего место при распространении волны горения. Одним из путей реализации указанного метода управления СВС процессом является введение в исходную шихту реагентов в небольшом количестве дополнительных компонентов:

- способных вступать между собой в экзотермические реакции для увеличения энерговыделения при протекании СВС-процесса (реакционно-способные добавки);
- являющихся либо инертными с точки зрения участия в процессе СВС, либо способных вступать между собой в эндотермические реакции для уменьшения энерговыделения при протекании СВС процесса (инертные добавки).

В работе на основе методики определения теплового состояния образцов в процессе СВС рассмотрено влияние величины энерговыделения на формирование температурных полей в структуре образца на примере СВС материала на основе борида вольфрама, получаемого по реакции:

$$W + B \rightarrow WB \qquad (1)$$

Основной причиной многофазности продуктов синтеза является многостадийность процессов СВС, когда образованию промежуточных продуктов соответствует свой температурный режим. В этом случае вследствие быстроты прохождения волны горения, а, следовательно, и неравномерности нагрева образца по объему, в структуре материала образуются локальные области, где образование конечного продукта остается на той или иной стадии.

Выходом из создавшейся ситуации могло бы стать увеличение суммарного теплового эффекта протекающих в системе реакций. Это означает, что нужно увеличить температуру процесса настолько, чтобы температурные режимы по всему объему образца позволяли бы полностью завершить СВС.

Одним из решений данной проблемы могло бы стать введение в исходную шихту реагентов стехиометрических реакционно-способных добавок, которые в процессе протекания синтеза вступают между собой в экзотермическую реакцию, тем самым повышая суммарный тепловой эффект протекания СВС.

В качестве возможных добавок рассматриваются реакционно-способные стехиометрические смеси никель-алюминия, горение которых может приводить к осуществлению следующих реакций:

$$3Ni + Al \rightarrow Ni_3Al,$$
$$2Ni + 3Al \rightarrow Ni_2Al_3,$$
$$4Ni + 2Al \rightarrow Ni_3Al + NiAl.$$

Данные системы характеризуются сравнительно малой температурой плавления основных продуктов при сравнительно большом тепловом эффекте реакции горения.

В таблице 1 приведены основные характеристики горения рассматриваемых систем [1]:

Таблица 1. Характеристики синтеза NiAl.

Концентрация компонентов, мас.%	Преобладающие реакции	Тепловой эффект реакции, кДж/кг
Ni – 86,5; Al – 13,5.	$3Ni + Al \rightarrow Ni_3Al$	756
Ni – 68,5; Al – 31,5	$Ni + Al \rightarrow NiAl$	1367
Ni – 57,5; Al – 42,5	$2Ni + 3Al \rightarrow Ni_2Al_3$	857
Ni – 80; Al – 20	$4Ni + 2Al \rightarrow \rightarrow Ni_3Al + NiAl$	936
Ni – 57,9; Al – 42,1	$Ni + 3Al \rightarrow NiAl_3$	815

Для расчетного определения влияния источника энерговыделения на протекание реакции (1) использовались исходные данные, представленные в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные для расчета.

Параметр	Значение
Скорость реакции горения, мм/с	10

Радиус образца, мм	15
Высота образца, мм	40
Температура окружающей среды, К	300
Начальная температура процесса, К	750
Плотность прессования, кг/м^3	5000

В численных экспериментах варьировалась величина энерговыделения, что соответствует изменению количества реакционно-способной никель-алюминиевой добавки.

Для определения процентного содержания реакционно-способной добавки используется следующее соотношение:

$$\frac{V_{NiAl}}{V_{\text{тб}}} = \frac{Q - Q_{\text{р}}}{Q_{NiAl} - Q_{\text{р}}},$$

где Q – суммарный тепловой эффект реакции, $Q_{\text{р}}$ – тепловой эффект реакции без учета добавки, Q_{NiAl} – тепловой эффект реакции для *NiAl*, $V_{\text{тб}}$ – объем таблетки, V_{NiAl} – объем, занимаемый добавкой.

Вариация в ходе расчетного эксперимента величины Q соответствует изменению количества реакционно-способной никель-алюминиевой добавки.

В численных экспериментах моделировалось влияние следующих количеств реакционно-способных добавок:

- 0% вес. *NiAl*, что соответствует величине температурного эффекта реакции (1).
- 5% вес. *NiAl*, что соответствует величине температурного эффекта реакции 620 кДж/кг.
- 10% вес. *NiAl*, что соответствует величине температурного эффекта реакции 701 кДж/кг.
- 15% вес. *NiAl*, что соответствует величине температурного эффекта реакции 750 кДж/кг.
- 20% вес. *NiAl*, что соответствует величине температурного эффекта реакции 790 кДж/кг.

На рис. 1 – 2 приведены распределения температуры синтеза по высоте образца в начальный (рис. 1) и конечный (рис. 1) моменты времени соответственно. Горизонтальной чертой отмечены температура реакции синтеза для системы вольфрам-бор, нижняя граница температуры образования следующих фазовых составляющих конечного продукта: борид вольфрама, диборид вольфрама и пентаборид дивольфрама.

На представленных распределениях видно, что развиваемая температура горения в процессе синтеза зависит от количества добавленной никель-алюминиевой добавки в исходную шихту реагентов. Также можно предположить, что фазовый состав конечного продукта будет меняться с изменением температуры процесса горения. Так, из распределения видно, что с увеличением добавки выше 10% вес., значения температур лежат или значительно превышают область образования борида вольфрама (температура образования борида вольфрама 1600–2400 К). При этом образование промежуточных фазовых составляющих конечного продукта синтеза незначительно. Поэтому можно предположить, что в процессе синтеза с использованием реакционно-способной никель-алюминиевой добавки образуется продукт преимущественно с фазовой составляющей борида вольфрама. Наряду с этим возможно присутствие фазы диборида вольфрама, поскольку температура на верхнем торце образца не достигает высоких значений и предположительно процесс фазообразования на торце дальше не идет. Из распределения видно, что температура образования фазы пентаборида дивольфрама в процессе синтеза при добавлении выше 10% вес. никель-алюминиевой добавки минуем, что позволяет предположить об отсутствии данной фазы в конечном продукте.

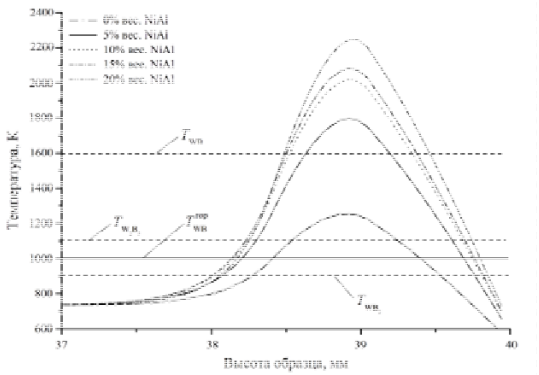


Рис. 1. Распределение температуры по высоте образца при различных значениях суммарного теплового эффекта в момент времени 0,2 с после инициирования синтеза.

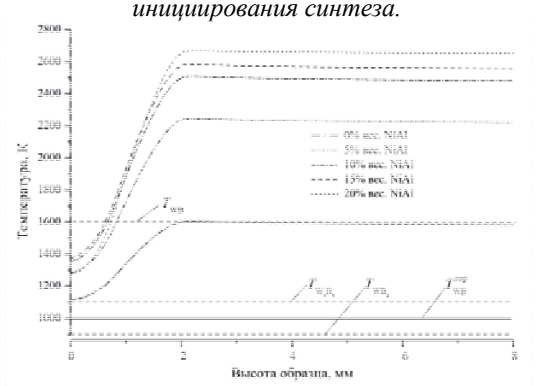


Рис. 2. Распределение температуры по высоте образца при различных значениях суммарного теплового эффекта в момент времени 3,8 с после инициирования синтеза.

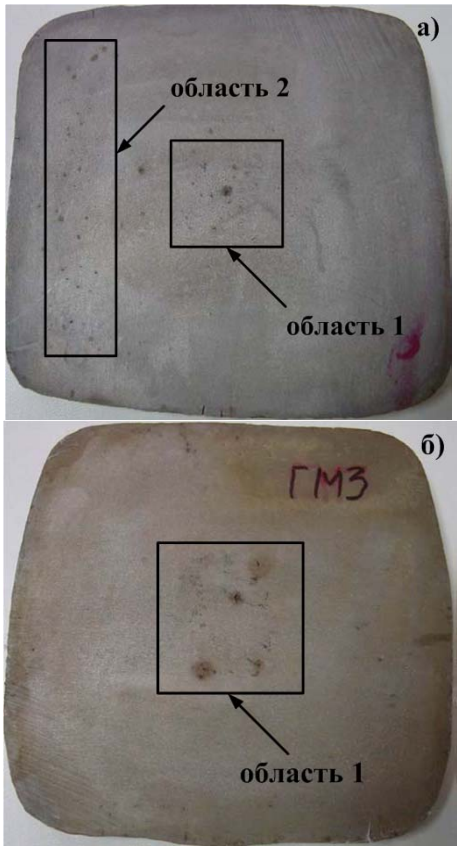
Список литературы

1. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд-во ТГУ, 1989. – 214 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ПРОЦЕССУ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Шушаков Р.А.[1]
Научные руководители: Сизова О.В., д.т.н.[1], Рубцов В.Е., к.ф.-м.н[2]
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]ИФПМ СО РАН, 634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ShushakovRom@mail.ru

Данная работа посвящена сравнению структуры и механических свойств фасонного проката стали Ст3сп с показателями ГОСТ 535-2005 для углеродистой стали обыкновенного качества. Исследование проводилось на темплете полуфабриката размером поперечного сечения 150*150 мм, произведенного в условиях Ростовского металлургического завода (РМЗ) после 5-ти обжатий и на темплете 245*245 полуфабриката, произведенного в условиях Гурьевского металлургического завода (ГМЗ) после 9-ти обжатий. После всех обжатий размеры обоих темплетов составили 100*100 мм. Также исследовались образцы профильного проката.



При изучении макроструктуры темплетов наблюдались следующие различия: центральная пористость в процессе обжатия сохранилась у обоих заготовок, диаметр области центральной пористости составил у темплетов производства РМЗ и ГМЗ 24-26 мм (Рис.1а, область 1) и 31-33мм (Рис.1б, область 1) соответственно. Однако при этом обращает на себя внимание появление на темплете производства РМЗ боковой области пористости (Рис.1а, область 2). Это означает, что при дальнейших операциях производства фасонного проката металлургические дефекты обнаружатся на боковых поверхностях уголков или швеллеров. Применительно к оценке качества изделий фасонного проката указанных типоразмеров, имеющих подобную структуру, можно сказать, что уровень свойств прокатанного металла скорее всего не будет стабильным, что подтвердилось при проведении механических испытаний.

Механические свойства фасонного проката представленных типоразмеров исследовались согласно требованиям ГОСТ 380-2005 и ГОСТ 535-2005 для проката сортового и фасонного из углеродистой стали обыкновенного качества. Результат испытаний по определению предела текучести представлен на рис.2.

При анализе результатов испытания обращает на себя внимание достаточно большой разброс полученных значений прочностных и упругих характеристик как среди образцов одного типоразмера, так и в сравнении разных типоразмеров друг с другом. Этот факт обусловлен неоптимальностью деформационного режима при прокатке. Следовательно для получения стабильных прочностных характеристик фасонного проката необходимо оптимизировать режим прокатки, изменяя такие параметры как тем-

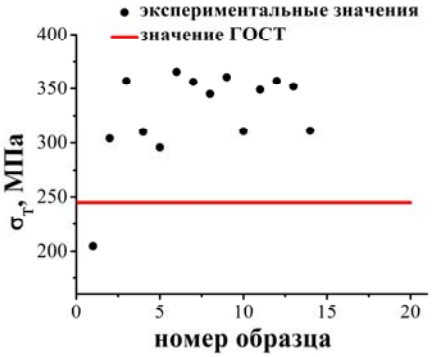
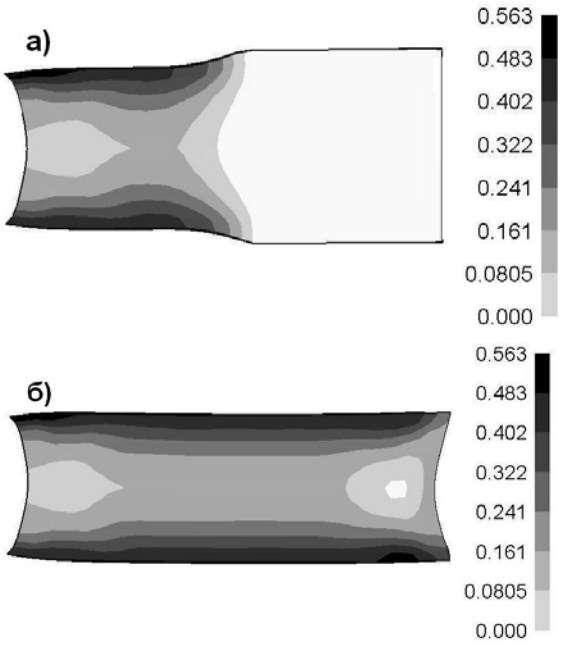


Рис.2. Пределы текучести для различных образцов и значение ГОСТ.

пература, степень обжатия, число проходов, геометрия калибровочных ручьев. Оптимизировать прокатку только опытным путем весьма затруднительно, в виду большой трудоемкости процесса и больших капиталовложений. В настоящее время в области обработки металлов давлением широко применяются программные комплексы, позволяющие моделировать технологические процессы, отрабатывая и оптимизируя их на каждом этапе производства. Одним из специализированных комплексов для анализа процессов обработки металлов давлением является программа DEFORM.

Данный комплекс основан на методе конечных элементов и позволяет решать задачи пластической деформации металлов. Также данный пакет включает в себя специализированные модули, которые облегчают моделирование реальных технологических процессов таких как протяжка, ковка, штамповка, прокатка, процессов термической и механической обработки. В процессе моделирования имеется воз-



можность проследить интенсивность пластической деформации, температуру, плотность заготовки и другие параметры в любой момент времени.

Для моделирования процесса прокатки использовалась бесплатная версия программного комплекса DEFORM 2D.

Модель заготовки формировалась из прямоугольных элементов с одинаковыми упругопластическими свойствами. Валки и толкатель формировались из абсолютно жестких объемов.

При расчете принимались следующие допущения:

- рабочий инструмент рассматривали как абсолютно жесткие тела;- трение между заготовкой и рабочим инструментом подчиняется закону Амонтона-Кулона и коэффициент трения постоянен на всей поверхности проката;

-заготовка является сплошной и неразрывной на протяжении всего процесса прокатки.

При моделировании вводились параметры соответствующие условиям прокатки при первом проходе на прокатном стане ГМЗ.

Основным показателем проработки структуры при прокатке является степень накопленной деформации. На рис.3. показано распределение интенсивностей деформации в образце на середине и в конце первого прохода. Хорошо прослеживается формоизменение при обжатии образца валками (валки на рисунке не показаны). Видно, что деформация накапливается на поверхности образца, внутри же интенсивность деформации образца в 2,5 раза ниже.

Результаты моделирования хорошо качественно совпадают с наблюдающимся при реальной прокатке формоизменением заготовки, а также отражают тот факт, что наиболее интенсивно пластическая деформация развивается на поверхности заготовки.

Полученные с помощью пакета DEFORM результаты позволяют говорить о потенциальной возможности дальнейшего применения данного пакета для оптимизации режимов проката на ГМЗ.

Для получения точных количественных результатов необходимо решать задачу в трехмерной постановке с использованием коммерческой версии пакета DEFORM 3D.

В перспективе с использованием данного комплекса планируется промоделировать весь процесс прокатки от исходной заготовки до получения конечного фасонного проката, и на основе полученных результатов дать рекомендации по оптимизации производственного технологического процесса.

СЕКЦИЯ 7

ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕННЫХ СЕТЕЙ

Акиньшин А.А.
Научный руководитель: Голубятников В.П., д.ф.-м.н., профессор
Алтайский государственный технический университет,
656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: mayortg@gmail.com

Введение

В задачах биоинформатики представляет большой интерес изучение периодических режимов функционирования генных сетей. Эти режимы соответствуют разным биоритмам. В настоящей работе рассматриваются модели генных сетей, в которых скорость синтеза каждого полимера регулируется либо отрицательными обратными связями, либо простейшими комбинациями отрицательных и положительных обратных связей. Подробный анализ такого рода систем можно найти в монографии [1].

В ходе анализа генных сетей возникает широкий спектр подзадач: нахождение стационарных точек и периодических траекторий, исследование их свойств, описание фазовых портретов исследуемых моделей, определение их качественных характеристик.

Для решения представленных проблем ручные методы обсчёта являются непригодными. Встаёт вопрос о создании компьютерной программы для автоматического анализа исследуемых моделей. Но прежде для этого необходимо проработать математический аппарат, который послужил бы основой для компьютерного моделирования.

Математическое моделирование

Будем рассматривать следующие динамические системы:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = f_1(x_n) - x_1, \\ \dot{x}_2 = f_2(x_1) - x_2, \\ \dots \\ \dot{x}_n = f_n(x_{n-1}) - x_n. \end{cases} \quad (1)$$

Функции $f_i(x_{i-1})$ описывают связь между скоростью синтеза вещества x_i и концентрацией вещества x_{i-1}. В биологических приложениях в качестве этих функций часто выступают функции Хилла $f(x) = \frac{\alpha}{1+x^m}$ и функции Гласса-Маки $f(x) = \frac{\alpha x}{1+x^m}$.

Перейдём к анализу данной системы. Для поиска стационарных точек необходимо выставить условие $\dot{x}_i = 0$, $i \in [1;n]$. В этом случае упрощая систему (1) легко получить уравнение $x_1 = f_1(f_n(\dots(f_2(x_1))\dots))$, из которого находятся стационарные точки.

Рассмотрим конкретную стационарную точку и её инвариантную окрестность. Проведём через эту точку n гиперплоскостей, параллельных координатных гиперплоскостям. Они разобьют окрестность на 2^n частей, которые мы будем называть кластерами. Кластер примечателен тем, что внутри него производные по каждому x сохраняют свой знак. На границе двух кластеров векторное поле, соответствующее динамической системе, ориентировано в одну сторону по всей области соприкосновения. Таким образом, можно говорить о графе кластеров. Удобным будет рассмотрение траекторий, возникающих в системе, как движение по графу кластеров. В силу однородности внутри отдельно взятого кластера не может существовать замкнутых траекторий. А значит, каждому циклу динамической системы будет соответствовать цикл в графе кластеров. Поэтому поиск замкнутых траекторий удобней начинать с анализа такого графа.

Для анализа окрестности стационарной точки удобно рассмотреть линеаризацию системы (1):

$$\frac{dX}{dt} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & \dots & f_1'(x_n^*) \\ f_2'(x_1^*) & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -1 \end{pmatrix} (X - X^*),$$

где X^* - рассматриваемая стационарная точка. Для полученной матрицы найдём собственные числа и вектора. Если все действительные части собственных чисел меньше нуля, то стационарная точка является притягивающей. Более интересным является случай отталкивающей стационарной точки. В этой ситуации благодаря некоторым дополнительным рассуждениям часто удаётся доказать существование по меньшей мере одного цикла вблизи рассматриваемой точки.

Стоит заметить, что так же очень важными являются вопросы о количестве циклов и об их устойчивости. Но для ответа на них приходится использовать куда более сложные математические рассуждения.

Компьютерное моделирование

Для автоматизации описанного выше анализа динамических систем была разработана специальная компьютерная программа.

Программа позволяет выполнять следующие действия:

- *Базовое конструирование системы*. Задание размерности системы и исследуемых функций.
- *Анализ стационарных точек*. Поиск точек, построение линеаризации системы вблизи каждой точки, поиск собственных чисел и векторов.
- *Моделирование траекторий*. Задание характеристик генерации стартовой точки, задание характеристик генерации в целом, алгоритмы автоматического подбора шага. Генерация пучка траекторий, выпущенных из определённой окрестности.
- *Построение изображений системы*. Отображение стационарных точек и траекторий. Проецирование на координатные 2D и 3D плоскости, соответствующие собственным векторам линеаризации.
- *Построение графа кластеров*. Кроме аналитического построения графа предусмотрена графическая визуализация.
- *Построение различных графиков*. Рассматриваются как графики исходных функций рассматриваемой системы, так и различные функции, возникающие в ходе построения математической модели.
- *Отчёт о проделанных вычислениях*. Предусмотрена генерация отчёта в формате LaTeX.

Программа написана на языке C# под платформу .NET 3.5. Для генерации изображений графов используется пакет graphviz.

Результаты моделирования

Устройства сложных многомерных моделей генных сетей можно изучать по сгенерированным программой графическим представлениям проекций на пространство собственных векторов. Важно иметь возможность посмотреть различные проекции траекторий одной и той же динамической системы.

Сгенерированные графы кластеров так же интересны для изучения. На рисунке 2 изображён простейший граф такого вида, и даже при n=4, n=5 изображение таких графов требует гораздо больше места.

Ниже представлены некоторые результаты работы программы.

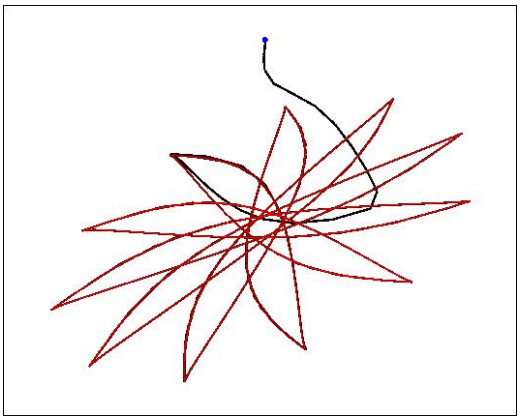


Рис. 1. Цикл в 11-мерной системе

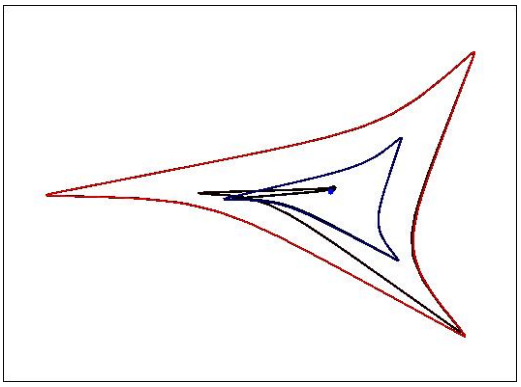


Рис. 2. Два цикла в 9-мерной системе

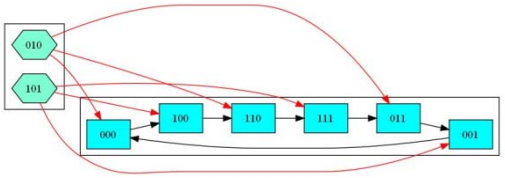


Рис. 3. Граф кластеров в 3-х мерной системе

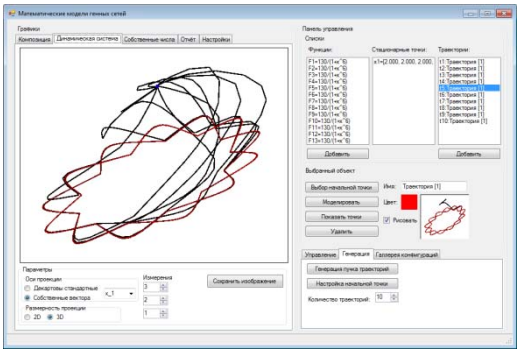


Рис. 4. Главное окно программы

Список литературы

1. Системная компьютерная биология. Под ред. Н.А.Колчанова, СО РАН, 2008.

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО, ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Алтухов Ю.А., Любутин П.С., Панин С.В.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия г. Томск
E-mail: sokol88@sibmail.com

Развитие методов неразрушающего контроля для изучения механизмов усталостного разрушения и деформационных процессов в структурно-неоднородных материалах является актуальной задачей. Методы обработки и анализа изображений эффективно используются в экспериментальной механике [1]. В приложении к созданию оптического метода неразрушающего контроля деталей машин и элементов конструкций развивается подход, основанный на анализе состояния чувствительных элементов (например, фольг), наклеенных на поверхность нагружаемых образцов [2, 3]. В этом случае проводится анализ интегрального деформационного рельефа, сформировавшегося на поверхности фольги в процессе циклического нагружения. Актуальным представляется разработка методов анализа изображений, позволяющих получить количественную оценку рельефа и найти ее соответствие с величиной циклической нагрузки, приложенной к испытываемому материалу.

Известными подходами к описанию текстур являются статистический, структурный и фрактальный [4,5]. В работе предлагается для получения количественной оценки рельефа на поверхности фольги использовать три метода: 1) расчет фрактальной размерности (ФР), 2) энергии фурье-спектра и 3) энергии вейвлет спектра оптических изображений.

Исследовали образцы из алюминиевого сплава В96 в форме двусторонней «лопатки». Образец подвергали циклической нагрузке с максимальной и минимальной амплитудой 2 и 5 кН. Изображения получали через каждые 500 циклов нагрузки. Частота нагружения составляла 10 Гц. Из полученных изображений выделяли два участка размером 512×512 пикселей (рис. 1). Количественный анализ проводили для этих областей с использованием следующих методов:

1. Расчет ФР проводили по методу триангуляции поверхности. Данный метод заключается в последовательной аппроксимации измеряемого профиля поверхности набором треугольников. На первом этапе формируется 2 треугольника из четырех углов исследуемого участка поверхности. Аналогично, на втором этапе, поверхность разбивается на восемь треугольников и т. д. Площадь каждого треугольника рассчитывали по формуле Герона.

2. Метод Фурье спектрального анализа изображений. Вычисляли дискретный двумерный Фурье спектр мощности, после чего проводили анализ спектра мощности путем расчета энергии составляющих его секторов (сегментов), которая вычислялась как сумма значений элементов двумерного массива, попадающих в сектор (сегмент) заданного радиуса и ширины. В работе спектр мощности разбивали на 2 сектора, и результирующая нормированная энергия рассчитывалась как сумма энергий каждого из сегментов [6].

3. Расчет энергии вейвлет спектров изображений. К энергетическим характеристи-кам вейвлет-преобразования относятся мера локальной перемежаемости спектра $I_w(a,t)$, и мера контраста $C_w(a,t)$, которые определяются следующим соотношением [7]:

$$I_w(a,t) = \frac{E_w(a,t)}{\langle E_w(a,t)\rangle_t}; C_w(a,t) = \frac{E_w(a,t)}{E'_W(a,t)}$$

где a – масштаб; t – время, E_w– энергия вейвлет-спектра в (a,t), $\langle E_w(a,t)\rangle$ – средняя энергия по времени, а величина E'_W удовлетворяет равенству вида:

$$E'_W(a,t) = \int_{a'=0}^{a'=a} E_w(a',t)\cdot$$

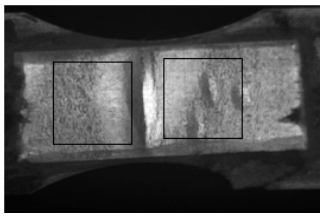


Рис. 1. Образец В96 в форме лопатки при постоянном воздействии 2 кН после 34 000 циклов нагрузки

На полученных графиках (рис. 4,а,б) явно выделяются три участка. В области I (от 0 до 5000 циклов) ФР изменяется от 2,023 до 2,025 в левой и от 2,008 до 2,010 в правой части, энергия спектра Фурье от 3,75 до 3,8 в левой и от 3,3 до 3,5 в правой части, а энергия вейвлет-спектра от 5,1 до 5,3 в левой и от 4,7 до 5,0 в правой части, т.е. они практически не возрастают.

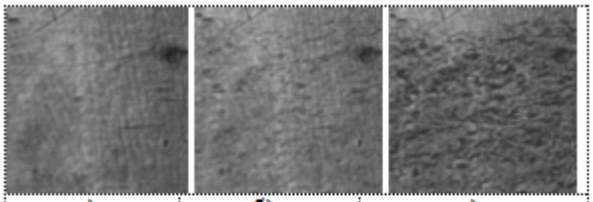


Рис. 2. Изображение фрагмента поверхности фольги на образце В96 перед испытанием (а), после 5500 (б) и 34000 циклов (в) нагружения соответственно (левая часть)

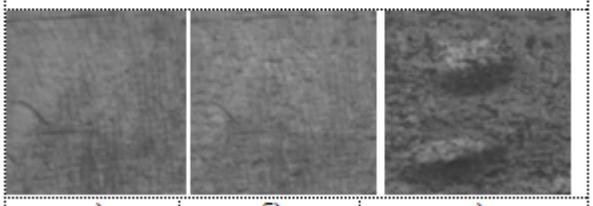


Рис. 3. Изображение фрагмента поверхности фольги на образце В96 перед испытанием (а), после 5500 (б) и 34000 циклов (в) нагружения соответственно (правая часть)

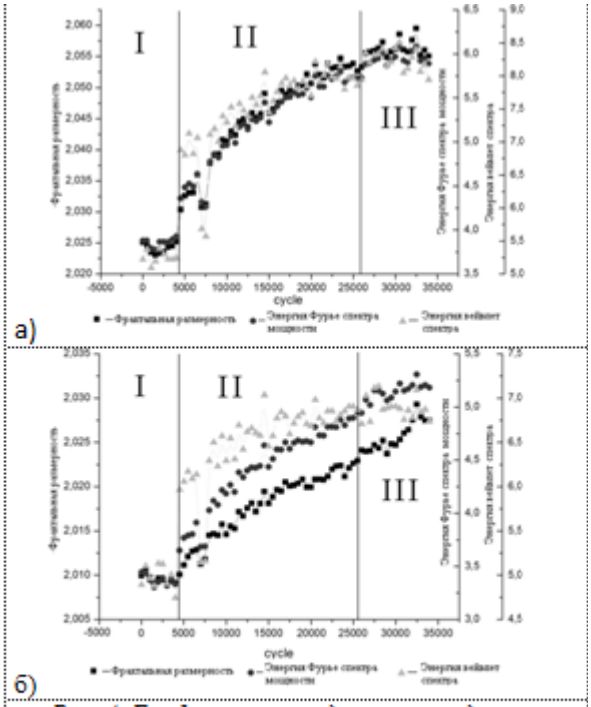


Рис. 4. Графическое представление данных расчета информативных параметров для образца В96 при нагрузке 2 кН для левого (а) и правого (б) фрагмента фольги

Таким образом, полученные данные показывают, что рельеф поверхности фольги на данном этапе нагружения практически не меняется (на рис. 2,3). В области II (от 5000 до 26000 циклов) происходит возрастание ФР от 2,025 до 2,055 в левой и от 2,010 до 2,022 в правой части, энергия Фурье спектра от 3,75 до 5,6 в левой и от 3,5 до 4,9 в правой части, и энергия вейвлет-спектра от 5,3 до 8,35 в левой и от 5,0 до 6,8 в правой части, т.е. в этой области налицо быстрое возрастание информативных параметров. Это свидетельствует о том, что что рельеф поверхности фольги интенсивно изменяется (рис. 2,3). В области III (от 26000 до 34000 циклов) происходит небольшое возрастание ФР от 2,055 до 2,057 в левой части и интенсивное возрастание ФР от 2,022 до 2,030 в правой части, энергии Фурье спектра возрастает от 5,6 до 6,1в левой части и от 4,9 до 5,3 в правой части, а энергия вейвлет-спектра от 8,35 до 8,5 в левой части и от 6,8 до 7,0 в правой части, т.е. они имеют практически постоянное значение. Таким образом, в данном диапазоне приложения нагрузки рельеф поверхности фольги практически не меняется для левой части и интенсивно изменяется в правой части (рис. 2,3).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что данная методика может быть использована для получения численной оценки величины циклической нагрузки образцов конструкционных материалов.

Список используемой литературы:

1. Sutton M. A., Bruck H. A., Peters W. H., McNeill S.R.. Image Correlation Using Newton-Raphson Method of Partial Differential Correction // Experimental mechanics, - 1989. - 29, - N 3. - P. 261-267.

2. Паже К. Применение датчиков на основе тонких металлических пленок для контроля целостности конструкций воздушных судов. Физическая мезомеханика. – 2007. – Т. 10. - № 6. – с.43-48.

3. Кузнецов П.В., Петракова И.В., Гордиенко Ю.Г., Засимчук Е.Э., Карбовский В.Л. Образование самоподобных структур на фольгах монокристалла алюминия {100}<001> при циклическом растяжении. Физическая мезомеханика. – 2007. – Т. 10. - №6. – с.33-42.

4. Харалик Р.М. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. − 1979. − Т. 67. −№ 5. − с. 98−120.

5. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. N.Y.: Freeman, 1983. – 480 p.

6. Панин С.В., Сырямкин В.И., Глухих А.И.. Применение Фурье спектрального анализа изображений поверхности для изучения процессов усталостного разрушения на мезомасштабном уровне. // Автометрия. – 2003. – Т. 39. №4. – с.79 - 92.

7. Панин С.В., Шакиров И.В., Сырямкин В.И., Светлаков А.А. Применение вейвлет-анализа изображений поверхности для изучения процессов пластической деформации и разрушения на мезомасштабном уровне. // Автометрия. – 2003. – Т. 39. – №1. – с.37-53.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ОЦЕНКЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Афиркина Т.А., Суркова С.В., Гладченко В.С.
Научный руководитель: Кузьмина Е. А., к.т.н., доцент каф. АСУ
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: ata91@sibmail.com

Для принятия решения о реализации какого-либо проекта на действующем или на вновь создаваемом предприятии – о долгосрочном вложении средств – необходимо располагать информацией, обосновывающей целесообразность и возможность таких вложений. При этом для принятия положительного решения о реализации проекта необходимо, чтобы полученная информация подтверждала базовые предположения:

– вложенные средства должны быть полностью возмещены;

– прибыль, полученная в результате, должна быть достаточно велика, чтобы компенсировать временный отказ от использования средств, и риск, возникающий в силу неопределенности результатов.

Для решения проблемы привлечения инвестиций необходимо обосновать целесообразность вложения средств в проекты. Аргументация основывается на оценке эффективности и финансовой состоятельности проекта, а обобщение информации о проектах удобно представлять в виде бизнес-плана.

В мировой практике существуют различные подходы к определению эффективности инновационных проектов, на базе которых разработаны программные продукты.

Большинство из них дают возможность оценить эффективность проекта лишь после его внедрения, основываясь на реальных данных. К тому же, программные продукты не предоставляют пользователю описание методик, используемых для проведения расчетов. Вследствие чего результаты анализа вызывают сомнения пользователя по поводу их достоверности.

Научная значимость проделанной работы заключается в теоретическом обосновании и систематизации методик по экспресс-оценке эффективности инновационных проектов на предприятиях.

Практическое значение работы заключается в повышении эффективности отбора инновационных проектов для инвестирования.

Корректность результатов коммерческой оценки проектов зависит от полноты и достоверности исходных данных и от корректности методов, использованных при анализе.

С точки зрения принципиальных особенностей подготовки информации и выбора методики расчета выделяют типизацию проектов:

– «в чистом поле»/ «с нуля»/ «новое строительство»;

– на действующем предприятии [1].

Проект «в чистом поле» – идея вложения капитала во вновь создаваемое предприятие.

Оценка инновационного потенциала сводится к оценке экономической эффективности инвестиционного проекта и включает в себя следующие блоки:

1. оценка экономической эффективности инвестиций по проекту;
2. оценка системы рисков и неопределенностей по проекту.

Проект на действующем предприятии предполагает вложение средств с целью получения дополнительного эффекта прибыли. При проведении оценки инновационного потенциала в данном случае проект не должен рассматриваться изолировано от реализующего его предприятия, важно учитывать возможности бизнеса. Оценка включает следующие этапы:

1. оценка экономической эффективности инвестиций по проекту;
2. оценка финансовой состоятельности или стоимости бизнеса;
3. оценка системы рисков и неопределенностей по проекту.

Проведение оценки любого проекта вручную достаточно трудоемко. На действующем предприятии она связана с обработкой большого объема данных бухгалтерской отчетности. Входными данными для оценки проектов «с нуля» являются ожидаемые пользователем доход и затраты по проекту. Поэтому возникает необходимость прогнозирования их развития, с целью подбора параметров, сводящих риск убыточности проекта к минимуму.

В связи с этим актуальна разработка информационной системы по оценке проектов, учитывающей особенности оценки каждого вида проектов и устраняющей приведенные выше недостатки программ-аналогов.

Разрабатываемая модель системы учитывает следующие аспекты оценки инвестиционных проектов, а именно:

- предусмотрена типизация проектов: «с нуля», на действующем предприятии;
- блок входных данных включает: доходы, затраты, время ожидания доходов/ горизонт инвестирования, бухгалтерскую отчетность (для оценки финансовой состоятельности проекта);

– присутствуют модули расчета финансовой состоятельности и эффективности проекта;
– присутствует модуль оценки рисков;
– введены модули для построения бизнес-плана проекта и создания прогнозной модели (с целью подбора вариантов успешной реализации проекта).

Общая модель проектируемой системы приведена на рисунке 1.

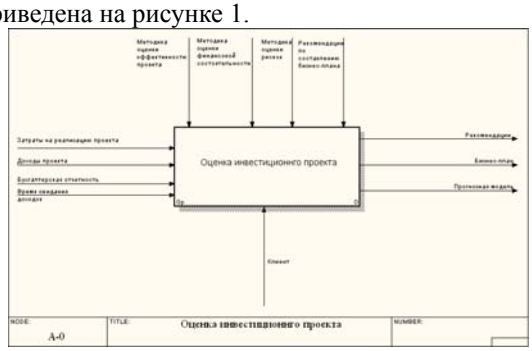


Рис. 1. Модель системы «Оценка инвестиционного проекта». Уровень А-0

Декомпозиция модели системы представлена на рисунке 2.

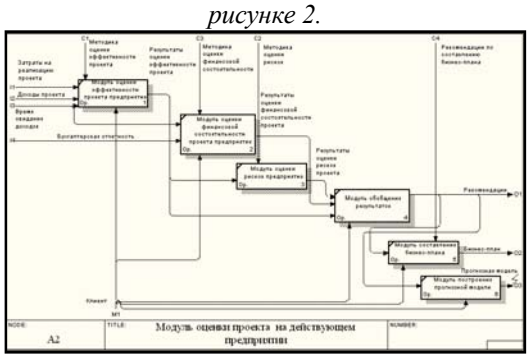


Рис. 2. Модель системы «Оценка инвестиционного проекта». Декомпозиция А0. Уровень А2

Чтобы в дальнейшем можно было совершенствовать разрабатываемую систему, требуются статистические данные о развитии оцениваемых проектов. Для этих целей предусмотрена база данных, хранящая соответствующие сведения. Для проектов «с нуля» хранится информация о проекте; для проектов на действующем предприятии – данные бухгалтерской отчетности.

Модуль оценки эффективности проекта проводит расчет следующих показателей:

– период окупаемости инвестиционных затрат *PP*;
– коэффициент эффективности инвестиций *ARR;*
– чистый дисконтированный доход *NPV;*
– индекс рентабельности инвестиций *PI;*
– показатель внутренней нормы прибыли *IRR;*
– дисконтированный срок окупаемости *DPP;*
– точка безубыточности проекта.

Для проведения расчетов необходимы следующие входные данные:

– сумма первоначальных инвестиций;
– предполагаемый поток платежей от проекта;
– остаточная стоимость первоначальных инвестиций;
– период действия проекта;
– предельный период окупаемости (если нужно учитывать);
– цена продажи единицы товара;
– издержки:
  – постоянные;
  – переменные.

Модуль оценки финансовой состоятельности проводит расчет по соответствующим показателям:

– финансовые коэффициенты ликвидности;
– коэффициенты деловой активности;
– показатели рентабельности;
– показатели оценки вероятности несостоятельности (банкротства) предприятия.

Модуль оценки рисков осуществляет анализ чувствительности.

Цель анализа чувствительности состоит в сравнительном анализе влияния различных факторов инвестиционного проекта на ключевой показатель эффективности проекта [2].

После проведения расчетов соответствующими модулями система перерабатывает результаты и выдает заключение о возможности успешного развития проекта и риска несостоятельности.

Кроме этого система проводит подбор входных данных для сведения рисков к минимуму и строит прогнозную модель с помощью расчетов результатных данных при изменении какого-либо параметра. Полученную модель с подробным описанием результатов оценки система предоставляет пользователю.

Интерфейс прототипа системы приведен на рисунке 3.

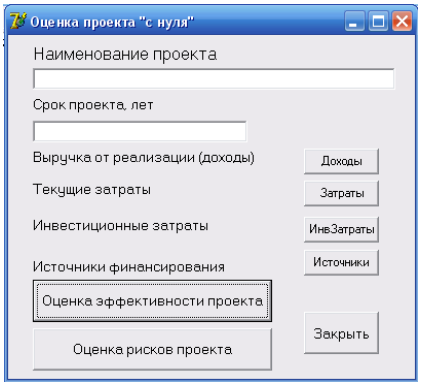


Рис. 3. Окно ввода информации проекте

В настоящее время авторами проводится работа по написанию отдельных модулей и отладке информационной системы в целом.

Список литературы

1. Васина А.А. Финансовая диагностика и оценка проектов. – СПб.: Питер, 2004. – 448 с.: ил.

2. Савчук В.П. Оценка эффективности инвестиционных проектов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.cfin.ru/finanalysis/savchuk/index.shtml

ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СЕРТИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Беляков И.А.
Научный руководитель: Еремеев М.А., д.т.н., профессор
Петербургский государственный университет путей сообщения, Санкт-Петербург, Московский пр., 9
e-Mail: belyakov@rbcmail.ru

Активное развитие информационных технологий является неотъемлемой частью прогресса современного общества. В настоящее время автоматизированы практически все сферы человеческой деятельности. При этом следует отметить, что столь бурное развитие информационных технологий ставит новые задачи в области обеспечения информационной безопасности.

Принимая во внимание тот факт, что, в условиях жесткой конкурентной борьбы, разработчики прилагают максимум усилий к сокращению временных затрат на разработку ПО, а также его функциональному наполнению. Очевидно, что внимание вопросам безопасности уделяется по остаточному принципу. Это является основной причиной роста уязвимостей, выявляемых в программном обеспечении.

Статистика последних лет наглядно показывает рост количества уязвимостей, ежегодно выявляемых в проверяемом ПО (Рисунок 1) [1,2,3].

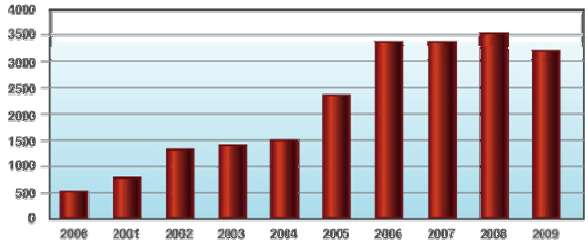


Рисунок 1 Количество уникальных уязвимостей, ежегодно выявляемых в ПО

В сложившихся условиях, сертификация ПО по требованиям безопасности является единственным инструментом управления его безопасностью, а сертификат, выданный ФСТЭК России – единственным подтверждением [4].

Базовые требования к проведению сертификационных испытаний изложены в Руководящем документе ФСТЭК России «Защита от несанкционированного доступа к информации. Часть 1. Программное обеспечение средств защиты информации. Классификация по уровню контроля отсутствия недекларированных возможностей», который был введен в действие в 1999 году (РД НДВ). Основным инструментом является статический анализ исходных текстов программного обеспечения.

Проведение статического анализа исходных текстов программ является базовым требованием РД НДВ. Для выполнения (проведения) статического анализа не требуется исполняемая программа. Основным средством проведения анализа являются статические анализаторы – инструментальные программные средства, которые сканируют исходный текст программы и выявляют возможные ошибки и противоречия.

Обобщенную модель проведения статического анализа можно представить в виде системы (Рисунок 2). К основным компонентам системы относятся: исходные данные, анализаторы, база данных опасных конструкций, компиляторы, средства фиксации, требования РД НДВ и эксперт.

ИТ – исходные тексты
ФП – файл проекта
ИФ (ИФ') – исполняемые файлы
СФ – список избыточных файлов
КС (КС') – контрольная сумма
ГВФ – граф вызова функций
ГПП – граф передачи переменных
МИ – матрица вызова информационных объектов
УР – уровень контроля
БСА – блок-схема алгоритма программы
СОК – список опасных конструкций
БД ОК – база данных опасных конструкций

Рисунок 2 Система проведения сертификационных испытаний ПО

Существующая система обладает рядом существенных недостатков, основным из которых является объем информации, обрабатываемой экспертом. Практика проведения сертификационных испытаний показывает, что до 30% времени, необходимого на всю процедуру сертификации, затрачивается на обработку результатов анализатора и принятия решения. Следовательно, остро встает вопрос о сокращении информации, обрабатываемой экспертом, при условии, что достоверность принятого решения не ухудшится.

Сократить объем информации возможно за счет максимального использования информационных технологий в процессе сертификации. Однако их применение и дальнейшее развитие осложняется отсутствием структурированной системы оценок и характеристик.

Руководствуясь требованиями РД НДВ, для подтверждения безопасности ПО, необходимо оценить следующие характеристики – таблица 1

Таблица 1 Описание соответствия оцениваемых характеристик и требований РД НДВ

Наименование требования	Оцениваемые характеристики
Контроль полноты и отсутствия избыточности исходных текстов	Контроль соответствия ИТ файлу описания проекта (сборки)
Контроль соответствия исходных текстов ПО его объектному (загрузочному) коду	Равенство эталонного образца ИФ и ИФ, полученных при компиляции
Контроль связей функциональных объектов (ФО) по управлению	Отсутствие ФО, не принимающие и не передающие управление
Контроль связей функциональных объектов по информации	Анализ маршрутов передачи критической информации. Отсутствие передачи критической информации в ненадежные ФО.
Контроль информационных объектов	Выявление несоответствий значений типу переменной, а также неиспользуемых переменных
Контроль наличия заданных конструкций в исходных текстах	Наличие опасных конструкций в соответствии с БД
Формирование перечня маршрутов выполнения ФО и их анализ	Выявление критических маршрутов

При условии неоднородности оцениваемых характеристик, очевидным является применение системы поддержки принятия решения (СППР) [6, 7]. Однако, учитывая сложность оцениваемой информации для принятия решения о соответствии ПО требованиям безопасности, необходимо использовать Интеллектуальные СППР [8]. Использование аппарата искусственных нейронных сетей позволит создать достаточно гибкую и эффективную СППР, способную минимизировать нагрузку на эксперта [9, 10]

Интеллектуальная СППР займет место эксперта в системе проведения сертификационных испытаний ПО (Рисунок 3) и примет на себя основную нагрузку по обработке информации.

ИТ – исходные тексты
ФП – файл проекта
ИФ (ИФ`) – исполняемые файлы
СФ – список избыточных файлов
КС (КС`) – контрольная сумма

ГВФ – граф вызова функций
ГПП – граф передачи переменных
МИ – матрица вызова информационных объектов
УР – уровень контроля
БСА – блок-схема алгоритма программы
СОК – список опасных конструкций

Рисунок 3 Интеллектуальная система проведения сертификационных испытаний

Эксперту необходимо будет лишь проанализировать решение СППР и обработать исключительные ситуации в случае их возникновения.

Заключение

Применение интеллектуальных технологий при сертификации программного обеспечения является перспективным. За счет снижения нагрузки на эксперта можно существенно повысить эффективность проведения испытаний, сократить время проведения и снизить стоимость.

Необходимо отметить, что создание Интеллектуальной СППР требует решения задачи создания системы характеристик, а также то, что проектирование и обучение нейронной сети требует существенных временных затрат, которых возможно избежать, создав единый центр обучения.

Список использованной литературы

1. IBM X-Force Threat Analysis / Аналитический отчет корпорации IBM за 2009 г. - http://www-935.ibm.com/

2. OWASP Top 10 – 2010 rc1 / Аналитический отчет консорциума OWASP за 2010 г. – 21 с. – http://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP_Top_Ten_Project

3. InfoWatch Global Data Leakage Report / Infowatch – 11 с – www.infowatch.ru, 2010

4. Безопасность программного обеспечения компьютерных систем / Казарин О.В. – Москва, МГУЛ, 2003. – 213с. - ISBN 5-283-01667

5. Тестирование объектно-ориентирован-ного программного обеспечения. Практическое пособие / Макгрегор Джон, Сайкс Девид - К.: ООО "ТИД "ДС" 2002 – 432 с. – ISBN 432 966-7992-12-8

6. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др. - М.: Радио и связь, 1989. - 304 с.

7. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / Орловский С.А.. - М.:Наука,1981. - 208 с.

8. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуацях с использованием информации о состоянии природной среды / Геловани В.А., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д. - М.: Эдиториал УРСС 2001 – 304 с – ISBN 304 5-8360-0298-3

9. Основные концепции нейронных сетей / Роберт Калан – Москва, издательский дом Вильямс, 2001 – 291 с. - ISBN 5-8459-0210-X

10. Нейронные сети для обработки информации / Осоровский С. – Москва, Финансы и статистика, 2002 – 344 с –ISBN 5-279-02567-4

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Т.А.Бестемьянова
Научный руководитель - Е.В.Бешагина, ассистент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г.Томск4, пр. Ленина, 30
E-mail:toma@sibmail.com

Характерными чертами современного развития технологии является её математическое моделирование с использованием специализированных моделирующих систем (МС). Математическое моделирование процессов первичной подготовки нефти является необходимым этапом при решении задач анализа, оптимизации, повышения эффективности действующих установок подготовки нефти (УПН), разработки систем автоматизированного проектирования и технологических регламентов на проектирование УПН [1,2].

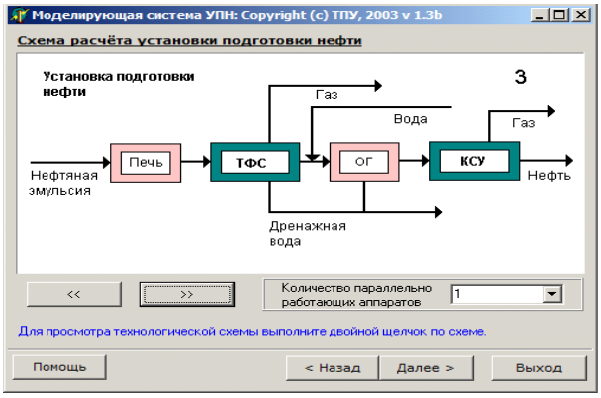
Основной целью работы являлось использование моделирующей системы для исследования процессов первичной подготовки нефти на месторождениях Западной Сибири [3].

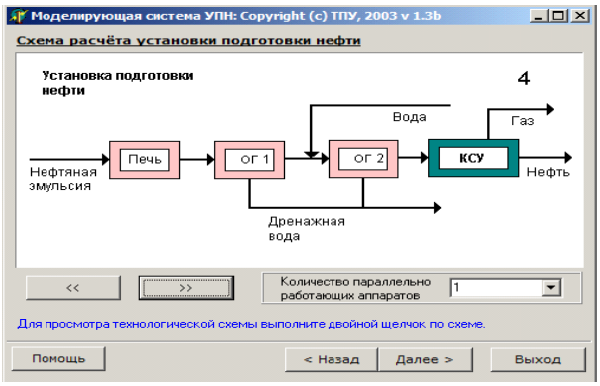
В основу исследования заложена моделирующая система для расчета процессов промысловой подготовки нефти, разработанная на кафедре «Химической технологии топлива и химической кибернетики». Используемая моделирующая система предназначена для оперативного анализа работы установок в условиях динамики разработки месторождений нефти и выбора эффективных технологических режимов эксплуатации УПН для проведения технологических расчётов [3,4].

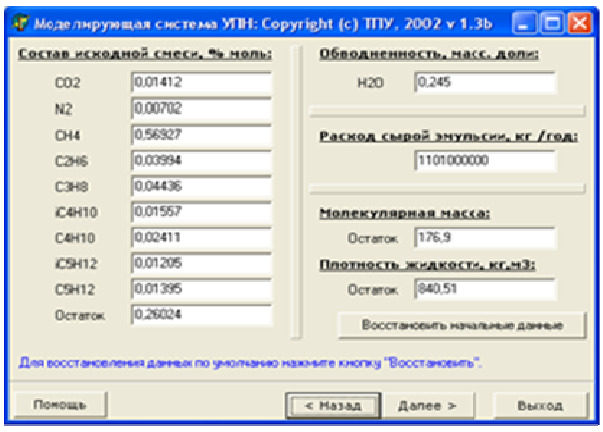
Для процессов первичной подготовки нефти МС имеет следующую структуру:

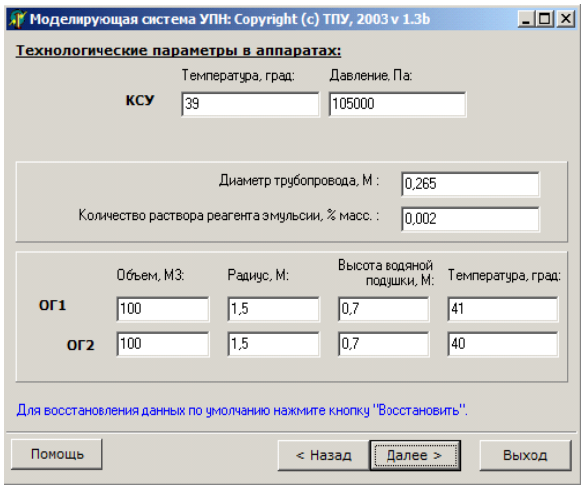
Рисунок 1 – Структура первичной подготовки нефти

МС реализована в среде DELPHI, имеет модульную структуру с удобным для пользователя интерфейсом (система меню, диалоговый ввод данных с клавиатуры и магнитных носителей, получение результатов расчетов, как в электронной форме, так и в печатном виде, вывод графических изображений на экран). Каждый модуль МС может работать в автономном режиме, моделируя отдельные процессы первичной подготовки нефти (рис.2) [4].









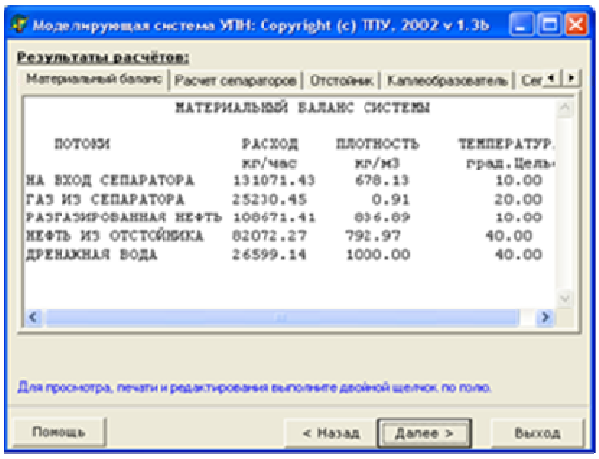


Рисунок 2 - Моделирующая система для исследования промысловой подготовки нефти

Основными блоками МС технологии установок первичной подготовки нефти являются модули расчета процессов сепарации, каплеобразования, обезвоживания и обессоливания, разделения жидкостей, дросселирования и др. При этом, математические модели данных процессов основаны на их детальных физико-химических закономерностях. [3].

В результате расчетов по математической модели отстойника определяются такие показатели как: (рис.3)

- ✓ обводненность нефти
- ✓ физико-химические свойства эмульсии
- ✓ время и скорость осаждения
- ✓ необходимое количество отстойников

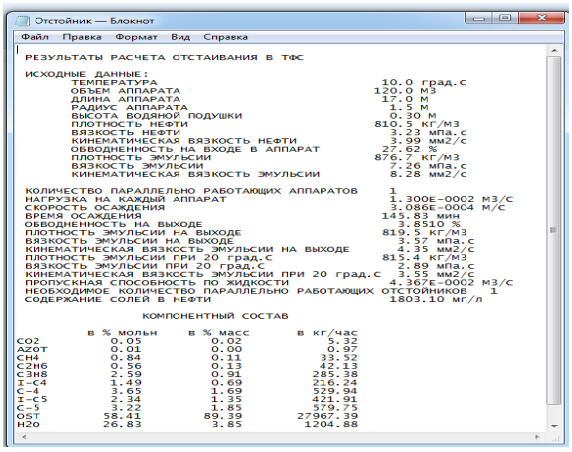


Рисунок 3 – Результаты расчёта отстойника

Моделирующие системы позволяют исследовать влияние различных параметров: расхода сырья, температуры, давления, числа ступеней сепарации, физико-химических свойств сырья, обводненности, концентрации химического реагента на технологические показатели установок первичной подготовки нефти, рассчитывать материальные балансы и апробированы на конкретных установках месторождений Западно-Сибирского региона (Лугинецкое, Герасимовское, Болотное,Кулгинкое и д.р.) [4].

Список литературы:

1. Гречухина А.А., Кабирова Л.Р., Елпидинский А.А. Разрушение водонефтяных эмульсий с применением реагентов-деэмульгаторов. Казань: 200. - 36 с.

2. Тронов В.П. Разрушение эмульсий придобычи нефти – М.: Недра, 1974 – 272 с.

3. Программа расчета установки первичной подготовки нефти (ПР УПН) Программа / Том. политехн. ун-т; рук. Кравцов А.В., Ушева Н.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Гавриков А.А., Рейзлин В.И. - Инв. №2003612023 (2.09.2003). Москва: Реестр программ для ЭВМ РФ: RU

4. Компьютерная моделирующая система установки комплексной подготовки газового конденсата: Программа / Том. политехн. ун-т; рук. Ушева Н.В.; исполн. Гавриков А.А. и др.- Инв. № 2010611178 (10.02.2010). Москва: Реестр программ для ЭВМ РФ: RU

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ

Бордулёв Ю.С.
Научный руководитель: Лидер А.М., к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bordulev@mail.ru

Развитие измерительной техники и достижения в сфере информационных технологий позволяют значительно расширить возможности проведения экспериментальных научных исследований. Использование микропроцессорной и компьютерной техники позволяет качественно изменить проведение физического эксперимента: повысить точности измерений, их продолжительность, создать новые экспериментальные методы и расширить возможности применения существующих. В настоящее время фактически любая экспериментальная задача решается с применением средств автоматизации. Такие факторы, как трудоемкость измерительных операций, большие вычислительные затраты, быстро или, напротив, очень длительно протекающие процессы, необходимость параллельного проведения измерений, биологическая, химическая или другая опасность, связанная с проведением экспериментов, – обосновывают актуальность автоматизации научно-исследовательской деятельности [1].

Основной целью данной работы является разработка автоматизированного информационно - измерительного комплекса для физических исследований. Основное назначение комплекса - измерение электрического сопротивления в металлах и сплавах.

Данная работа имеет большое практическое значение в сфере изучения свойств материалов, в частности, изучения влияния водорода в металле на электрическое сопротивление металла. Разрабатываемая установка ложится в основу создания простого и удобного метода контроля содержания водорода и других примесей в металлах и сплавах.

Средством автоматизации создаваемого комплекса была выбрана среда программирования LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) - среда разработки лабораторных виртуальных приборов. LabVIEW использует графический язык программирования G, что отличает ее от обычных языков программирования, таких как C, C++ или Java, где программируют, используя текст [2].

Итогом программирования на LabVIEW является программа, называемая Виртуальным Прибором или ВП (VI), т.к. внешний вид и функциональность повторяет традиционный физический прибор. ВП удобен тем, что не требует от пользователя каких-либо знаний в области автоматизации или программирования.

Создание данного программного комплекса проводится в три этапа:

1. Создание системы, способной обеспечивать проведение измерений в нескольких точках образца, путем линейного перемещения образца из одной точки в другую на расстояние, заданное пользователем. На данном этапе объектом автоматизации является позиционер.
2. Создание системы способной поддерживать постоянную температуру, задаваемую пользователем. Объектом автоматизации является вольтметр и блок питания вольтметром.
3. Создание системы, способной проведение измерения образца в заданной точке, обрабатывать их и заносить в базу данных. В этом случае объектом автоматизации так же является вольтметр и блок питания вольтметром.

Линейный позиционер представляет собой устройство, способное перемещать какой-либо образец из одной точки в другую при помощи шагового двигателя, расположенного на торце установки, который осуществляет смещение верхней части прибора (на ней расположен образец) относительно нижней и наоборот. На корпусе позиционера смонтирована круговая шкала, позволяющая отслеживать скорость движения и осуществлять перемещение позиционера вручную. Связь компьютер – позиционер – компьютер осуществляется при помощи блока управления позиционером. Блок управления соединен с компьютером при помощи последовательного порта RS- 232.

Программирование начинается с создания лицевой панели, с помощью которой пользователь отправляет сигналы блоку питания позиционера, а тот, в свою очередь передает их позиционеру. Внешний вид лицевой панели ВП по управлению позиционером представлен на Рис. 1.

При помощи управляющих кнопок, контроллеров и индикаторов движения, пользователь задает точку, в которой необходимо провести измерение.

Основу установки предназначенной для установления и контроля температуры исследуемого образца составляют элемент Пельтье, программируемые вольтметр и блок питания. Внешний вид готовой установки представлен на Рис 2

Рис. 1. Лицевая панель ВП по управлению позиционером

Рис 2. Внешний вид установки предназначенной для установления и контроля температуры исследуемого образца.

К нижней части элемента Пельтье прикреплен радиатор (Рис. 2, 4).

Питание на элемент Пельтье подается от блока питания (Рис. 2, 2) и регулируется автоматически.

Измерение температуры нагреваемого образца осуществляется термопарой и отображается на универсальном вольтметре (Рис. 2, 1).

В качестве автоматического регулятора в данной работе был выбран *автоматический ПИ-регулятор.*

Благодаря интегрирующему звену в ПИ-регуляторе регулируемый параметр становится равным значению, выставленному на задающем устройстве, и малейшие его отклонения вверх или вниз, накапливаясь в интегрирующем звене, снова возвращают его к заданному значению. В итоге, точность поддержания регулируемой величины на заданном уровне в настроенном ПИ-регуляторе оказывается, как минимум, на порядок лучше, чем в обычных пропорциональных регуляторах. Недостатком же ПИ-регулятора является необходимость настраивать не один, а два параметра – постоянную времени интегратора и коэффициент усиления контура регулирования [4].

Программируемые вольтметр и связанный с ним блок питания составляют основу измерительной установки. С помощью них пользователь измеряет значение сопротивления в заданной точке образца. Связь вольтметр - компьютер и блок питания – компьютер осуществляется при помощи стандарта GPIB. Стандарт General Purpose Interface Bus (GPIB) описывает интерфейс для коммутации между приборами и контроллерами различных производителей. Он содержит информацию об электрических, механических и функциональных параметрах.

Целью автоматизирования блока питания является создание, ВП, при помощи которого пользователь посылает сигналы блоку питания установить нужное ему значение силы тока. Целью автоматизации вольтметра является создание ВП, который по команде пользователя измеряет текущее значение напряжения, обрабатывает и сохраняет его. Затем, на основе закона Ома рассчитывается значение электрического сопротивления.

Основные выводы

Результатом проделанной работы является создание автоматизированного научно-исследовательского стенда, предназначенного для измерения и регистрации электрического сопротивления. Основой созданного стенда является виртуальный прибор, созданный при помощи пакета программ LabView. Разработанный стенд способен лечь в основу создания простого и удобного метода контроля содержания водорода или других примесей в металлах и сплавах.

Список литературы

1. Баханцов А. В. Информационно-измерительный комплекс для исследования реологических , акустических и электрических свойств полимеризующихся кристаллов: Дис. ... канд. тех. наук / Тихоокеанский государственный университет. - Хабаровск., 2009. - 22 с.

2. Трэвис Дж. LabView для всех. – М.: ПриборКомплект, 2005.- 544 с.

3. Склярова Е.А., Малютин В.М. Компьютерное моделирование физических процессов.- изд. ТПУ.- Томск 2005. – 332 с.

4. У. Титце, К. Шенк.Полупроводниковая схемотехника. М., МИР, 1982

5. Бутырин П.А., Васьковская Т.А., Каратаева В.В., Материкин С.В. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7. - М.: ДМК Пресс, 2005. - 264 с.

6. Н.А. Виноградова, Я.И. Листратов, Е.В. Свиридов. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW. Учебное пособие – М.: Издательство МЭИ, 2005.

7. Шински Ф.Г. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1974.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО СВЯЗЬ ЭМИТЕНТА С ИНВЕСТОРОМ

Т.И. Боровская
Научный руководитель: Кузьмина Е.А., к.т.н., доцент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634045, Россия, г.Томск, ул. Вершинина 74
E-mail: fiary@sibmail.com

Введение

В условиях формирования в Российской Федерации новой «инвестиционной модели экономики», цивилизованных организованных финансовых и товарных рынков, активного роста российского рынка ценных бумаг, все большую значимость приобретают специалисты по связям с инвесторами (далее – «IR» от словосочетания «Investor Relations») - работники, выполняющие стратегически важную функцию раскрытия информации эмитента, формирования информационной политики при взаимодействии с инвестиционным сообществом, выходе на публичные рынки капиталов и, соответственно, помогающие компании привлекать инвестиции, повышать капитализацию и снижать стоимость заемных денег.

IR-деятельность является особой формой коммуникации, в процессе которой реализуются следующие задачи:

– информационно-аналитическое обслуживание инвесторов; рекламно-информационное сопровождение инвестиционных проектов и программ;

– экспертная поддержка высшего руководства компаний-эмитентов по вопросам коммуникаций со средствами массовой информации;

– мониторинг средств массовой информации;

– мониторинг законодательной и нормативно-правовой базы[1].

Наличие единых государственных должностных стандартов в IR-бизнесе, утвержденных совсем недавно, как показывает российская и международная практика, во многом способствует преодолению существующих проблем в области повышения уровня информационной культуры отношений с российскими и иностранными инвесторами, повышению авторитета профессии специалистов по связям с инвесторами, усилению глобальной конкурентоспособности инвестиционного рынка Российской Федерации.

Процесс построения работы в области IR

Разрабатываемый блок IR-услуг является подсистемой проекта «Финансовый инжиниринг в управлении государственным долгом». Ранее IR-услугами пользовались только отдельные компании. Таким образом, в рамках данного проекта предлагается использование блока IR-услуг на субфедеральном уровне для эффективного управления государственным долгом. Процесс построения работы будет происходить следующим образом:

1. Разработка IR-стратегии эмитента; создание планов (перспективных, текущих, комплексных) с целью продвижения эмитента; консультационное сопровождение, разработка и лоббирование инвестиционного законодательства (федерального, регионального); участие в формировании и лоббирование региональных инвестиционных программ; формирование портфеля и консультационное сопровождение особо важных и/или крупных инвестиционных проектов; деятельность по снижению репутационных и других рисков; организация процедуры страхования инвестиционных рисков; организация работы с инвесторами по восстановлению доверия после падение курса акций.

2. Разработка внутренних и внешних IR-процедур и регламентов; подготовка положения об информационной политике и другой документации (кодекса корпоративного управления и т.д.); подготовка и проведение годовых собраний акционеров; раскрытие информации в годовом и квартальном отчете, обеспечение инвесторов ежеквартальными и годовыми отчетами; раскрытие информации на Интернет-сайте эмитента.

3. Взаимодействие с рейтинговыми агентствами; деловое сотрудничество с финансово-экономическими СМИ; поддержание рабочих деловых контактов с аналитиками инвестиционных банков и других финансовых учреждений; консолидация мнений экспертов.

4. Организация регулярных встреч и переговорного процесса между инвесторами и руководителями компании; подготовка участия топ-менеджеров в конференциях; организация и проведение выездных бизнес-встреч за пределами региона, презентаций инвестиционного и экономического потенциалов.

5. Подготовка и проведение road-show. (англ. Road Show трансл. Роуд-шоу - элемент практической подготовки компании-эмитента при выпуске её ценных бумаг (облигации, акции, и т. д.) в том числе при первичном публичном размещении (IPO). Это серия встреч с потенциальными инвесторами и аналитиками в ключевых городах мира).

6. Подготовка материалов о деятельности компании, сбор и подготовка аналитической и статистической информации; подготовка презентационных материалов, специальных аналитических материалов по теме; презентация финансовых результатов на Интернет-сайте; проведение конференц-звонков, подготовка заявлений и пресс-релизов, справочных материалов о компании; подготовка материалов к изданию массовым тиражом.

7. Контроль за информационными потоками о финансовой и операционной деятельности (в т.ч. на корпоративном Интернет-сайте компании, при подготовке годовых отчетов и выступлении топ-менеджмента).

8. Создание и мониторинг базы инвесторов; идентификация инвесторов; организация обратной связи с инвесторами; подготовка мероприятий для инвесторов; организация работы с акционерами до и после IPO; организация отношений с инвесторами и обеспечение благоприятного имиджа компании.

9. Взаимодействие с информационно-инвестиционными ресурсами федеральных и региональных органов власти в т.ч. посредством взаимодействия с «электронным правительством»; подготовка материалов к заседаниям инвестиционных комиссий при главах администрации, губернаторах областей, краев.

10. Взаимодействие с внешними (иностранными) инвесторами; налаживание прочных деловых контактов с торгпредствами зарубежных государств.

Проектирование блока IR-услуг в методологии SADT

Целью подсистемы является планирование мероприятий эмитента, а также оценка эффективности IR, одним из главных показателей которой является индекс удовлетворенности клиентов, который формируется независимыми организациями. В российском IR-бизнесе индекс удовлетворенности клиентов рассчитывается в рамках международного консультационно-исследовательского проекта IR Consulting Research, осуществляемого Экспертно-аналитической и информационно-рейтинговой компанией «ЮНИПРАВЭКС».

Для блока «Оценка эффективности IR» входными являются следующие данные: доходность и дюрация, полученные из подсистемы финансового инжиниринга долговых инструментов, а также объем эмиссии. Управляющей информацией являются данные G-кривой, предоставленные подсистемой рыночной коньюктуры.

В результате обработки имеем следующее выходные данные:

1) Прогнозируемую доходность к погашению – документ, который представлен в форме таблицы, содержащей информацию:

- доходность;
- дюрация;
- спред.

2) Список компаний конкурентов - данный документ представлен в форме таблиц, которые содержат:

- Наименование и значения финансовых показателей эмитента.
- Перечень конкурирующих компаний (не более шести наименований), финансовые показатели которых удовлетворили требованиям сравнительного анализа.
- Перечень сравниваемых финансовых показателей, в том числе рассчитанных (собственный капитал, коэффициент капитализации, рентабельность капитала) и их значения.
- Данные размещения облигаций эмитента и компаний-конкурентов (доходность, дюрация).

3) Оценка деятельности IR – документ, содержащий информацию:

- Результат сравнения прогнозируемых и фактических данных размещения эмитента.
- Оценка качества взаимодействия IR–агентства с информационным сообществом.

Для блока «Планирование мероприятий» входными данными является текущее состояние эмитента и его потребности. Управляющая информация выходит из подмодуля «Оценки эффективности», а именно: список компаний конкурентов и оценка деятельности IR.

Выходными являются следующие данные:

1) IR-стратегия компании
2) Документация об информационной политике
3) Список мероприятий
4) Информация о перспективах развития эмитента.

Спроектированная подсистема IR-услуг представлена на рисунке 1.

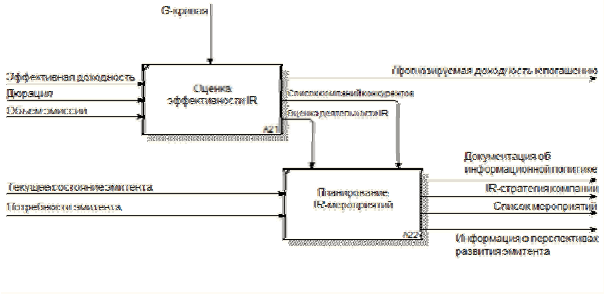


Рис. 1. Модель подсистемы «Блок IR-услуг».

Заключение

Исследования показали, что российские эмитенты во многом отстают от западных практики и стандартов ведения программ в сфере Investor relations. Но, несмотря на это, темпы, с которыми развивается спрос на такого рода услуги позволяют называть данное направление деятельности стратегически важным, а, возможно, и наиболее перспективным для интеграции России в глобальную экономику.

Литература

1. Хиггинс Р. Отношения с инвесторами: передовой опыт. Пути создания акционерной стоимости. - М.: Альпина Бизнес Букс, 2005.

2. Investor Relations: новая парадигма в условиях кризиса на мировых финансовых рынка. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rcb.ru/rcb/2008-22/16428/

3. Зимин В. Профессия IR: становление, тенденции развития и перспективы (Исследовательский проект НОА АРФЭИ) // Рынок ценных бумаг [Электронный ресурс]. – Электрон. журн. - 2007. – Режим доступа: http://www.afbid.org/files/941/42_47_Zimin.pdf

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОПИСАНИИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ

Бортников А.В., Захарьянц А.Г.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail; bortnikov.arkadiy@gmail.com

Введение

Сегодня, в условиях постоянно меняющейся ситуации, в мире назрела острая необходимость в выработке инструментов, моделей и методов, которые могли бы помочь предприятиям стать более эффективными. Жесткая конкуренция вынуждает искать пути для того, чтобы стать первым или хотя бы догнать остальных, пока еще не слишком поздно. И помочь в этом смогут механизмы, которые упростят слишком сложные вещи.

Отправная точка многих работ, посвященных процессному управлению, – противопоставление процессного и функционального подходов, которые, безусловно, принципиально различны и взаимно несовместимы. При этом в центре внимания экономической науки находится исследование проблем рационализации бизнес-процессов, затрагиваются глубинные основы хозяйственной деятельности, определяется процесс экономического роста любого предприятия. Ускоренный вывод новых продуктов на рынок, рационализация производственных процессов на основе исследований и разработок, управление жизненным циклом продукции и обслуживание клиентов, оперативная оценка и подготовка предложений – ключевые элементы любой отрасли промышленности.

Перед кризисом российская промышленность динамично развивалась в условиях нарастающей жесткой конкуренции, которая влечет за собой повышенное давление на прибыли. Снижение затрат становится очевидной необходимостью. Разработка продукта с учетом потребностей конкретного клиента, его конструирование и производство требуют проектно-ориентированного подхода к бизнес-процессам предприятия. Рационализация и оптимизация бизнес-процессов позволит компаниям справиться с постоянно растущими запросами клиентов и удержать высокий уровень прибылей.

Сложная, комплексная задача, стоящая сегодня перед руководителями, требует детального изучения опыта различных отраслей не только в нашей стране, но и за рубежом, постоянного поиска новых инструментов, нацеленности на решение новых актуальных проблем, носящих теоретический и методологический характер и имеющих большое научно-практическое значение для обеспечения устойчивого и динамичного развития предприятий. Одной из таких актуальных проблем современного развития производственных процессов является задача их рационализации, создания эффективно функционирующей системы промышленных предприятий.

Классическое решение проблемы можно найти в рамках теории реинжиниринга, рационализации и оптимизации бизнес-процессов, фундаментальные основы которой были заложены в работах М. Робсона, Ф. Уллаха и некоторых других ученых. Однако ни одна из моделей, выработанных в рамках теории бизнес-процессов, в сегодняшних условиях не обеспечивает промышленности защиты от всех возможных неопределенностей. Поэтому можно заключить, что функционирование предприятия в условиях конкретного рынка нуждается в тщательном рассмотрении. Кроме того, задача рационализации и оптимизации бизнес-процессов предприятий, работающих на нестабильных рынках, до настоящего момента вообще не получила удовлетворительного решения ни в России, ни за рубежом. Классическая теория рационализации и оптимизации бизнес-процессов не всегда жизнеспособна для российских предприятий. Современные исследования Хаммера, Девенпорта, Харриса и т.д., опирающиеся на передовой мировой опыт, пошаговый алгоритм процесса решения проблем, модели изменений, на которых исторически основывалась концепция развития организаций, модели развития организаций и достижения стабильного успеха, доказали перспективность избранного направления научного поиска. Однако ученым так и не удалось сформулировать целостную теорию рационализации и оптимизации бизнес-процессов предприятий. Кроме того, они не рассматривали возможность применения формальных моделей для поддержки принятия решений при управлении предприятием.

Система рационализации и оптимизации бизнес-процессов является одним из действенных способов обеспечения эффективного функционирования предприятия. В настоящее время способы оценки экономического и социального эффектов, вызванных реализацией системы бизнес-процессов, остаются недостаточно разработанными. Однако для осуществления мер по рационализации и оптимизации бизнес-процессов необходимо провести полноценный анализ действующих бизнес-процессов.

При всем многообразии методов анализа деятельности компании, существующих и активно используемых в современной практике управления, анализ бизнес-процессов занимает особое место в силу целого ряда причин. Принципиальное отличие подобного анализа состоит в том, что он позволяет увидеть всю совокупность операций предприятия, приводящих к созданию добавочной стоимости. Подобное видение не просто информирует, оно подталкивает менеджмент к изменению парадигмы мышления, ракурса оценки, широты охвата проблем, связанных с текущей деятельностью.

На рубеже нового тысячелетия, с появлением на рынке ощутимой конкуренции, рентабельность деятельности предприятий стала резко падать, а руководители при попытке оптимизировать затраты столкнулись с огромными сложностями. Возникла необходимость в том, чтобы продукция, оставаясь прибыльной, одновременно стала и конкурентоспособной. Наличие модели деятельности предприятия, которая отражала бы все механизмы и

принципы взаимосвязи различных подсистем в рамках одного бизнеса, превратилась в важнейшую составляющую дальнейшего развития предприятия.

Сам термин «бизнес-процесс» был введен в управленческий обиход достаточно давно авторами нашумевшей книги «Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе» – М. Хаммером и Дж. Чампи. Со временем были разработаны и внедрены формализованные подходы к анализу существующих и моделированию оптимизированных бизнес-процессов.

Одновременно с появлением на рынке сложных программных продуктов, предназначенных для комплексной автоматизации управления предприятием, в управленческую практику пришло и «моделирование бизнес-процессов». Подобные системы всегда подразумевают проведение детального анализа деятельности компании (до появления соответствующего программного обеспечения использовался метод «оберточной бумаги»), который позволяет выявить «узкие места» в различных аспектах этой деятельности. Кроме того, существует целый ряд методологий и стандартов, а также построенных на их основе программ, позволяющих производить данные операции достаточно строго.

Примером практического применения моделирования бизнес-процессов может служить его использование в структуре австрийского концерна «Avangard Logistik GmbH» [1]. Концерн, имеющий структурное подразделение в России, оказывает транспортно-экспедиторские услуги российским и зарубежным компаниям. Руководство предприятия сразу же столкнулось с проблемой его реорганизации и создания эффективно действующей структуры на рынке транспортно-экспедиторских услуг. Решением подобной задачи может быть только комплекс мер, осуществляемых согласованно и в рамках единой модели. Отдельные же мероприятия по оптимизации не дадут желаемого эффекта. При построении базовой модели бизнес-процессов (модель «так, как должно быть») руководство концерна приняло решение использовать пакет BPWin методологии SADT (Structured Analysis and Design Technique). В результате формализация бизнес-процессов предприятия позволила четко разграничить функции подразделений и отделов, выделить основные зоны ответственности, описать связи между подразделениями, формализовать информационные потоки внутри предприятия, определить основные точки контроля. Дальнейшие преобразования осуществлялись на базе разработанной модели бизнес-процессов по следующим ключевым направлениям:

- преобразование организационной струк-туры;
- формализация финансово-хозяйственной деятельности;
- унификация операций делового цикла;
- внедрение принципов эффективности и бюджетирования в оперативную деятельность.

Основным условием реализуемости предложенной концепции реорганизации в рамках производственного цикла является детализация и формализация операций, составляющих бизнес-процессы предприятия. В случае если данная операция осуществляется на этапе моделирования бизнес-процессов, можно освободиться от дальнейших корректировок, которые не всегда очевидны на следующих этапах. Основные связи внутри системы целесообразно проектировать и впоследствии внедрять, исходя из логики и последовательности операций, составляющих бизнес-процесс компании в целом.

Сформированная подобным образом структура является функциональной и гибкой. Она очень удобна для анализа и построения моделей дальнейшего развития бизнеса и оптимизации бизнес-процессов. Условно весь процесс реорганизации разделен на несколько последовательных этапов, каждый из которых горизонтально ориентирован и является логическим продолжением предыдущего. Это дает значительные преимущества как в нестабильной, так и в агрессивной рыночной среде. Очевидно, что подобный механизм эффективен только при условии отлаженных и формализованных базовых бизнес-процессов компании. Таким образом, возникает необходимость периодической коррекции модели с учетом изменившихся параметров функционирования системы (как внутренних, так и внешних) и с учетом изменений в конкурентной среде.

Рассмотренная процедура построения и реализации модели бизнес-процессов рассчитана на краткосрочный период (не более 6 месяцев) и зависит от размера предприятия, сложности производственных операций и целого ряда параметров, характеризующих компанию в целом.

Заключение

В заключение следует еще раз отметить, что для успешной реализации мероприятий по рационализации и оптимизации бизнес-процессов предприятия независимо от его размера и вида деятельности необходим анализ действующей модели бизнес-процессов. Данный вид анализа деятельности компании очень эффективен. Правильно поставленная задача и грамотный выбор пути ее решения дают неоспоримые преимущества в конкурентной среде, а также стремительный рывок в развитии бизнеса. Именно поэтому применение подобного анализа позволяет избегать существенных затрат в будущем при реорганизации предприятия и сводит негативные сценарии развития бизнеса к минимуму.

Литература

Сайт компании Avangard Logistik GmbH» [Электронный ресурс] Режим доступа: свободный. http://www.avangardlogistik.com

ПОДАВЛЕНИЕ ШУМОВ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РЕГРЕССИИ

Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг
Научный руководитель: Спицын В. Г., д-р.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: trangbt.084@gmail.com

Введение

Изображение часто искажается шумами, появляющимися на этапах его получения и/или передачи. Причинами возникновения шумов на изображениях могут быть шум видеодатчика, сбои в работе канала связи и др. Поэтому фундаментальной задачей в области обработки изображений является эффективное удаление шумов, то есть построение некоторого приближения исходного изображения по заданному искаженному изображению. При этом приближение должно быть как можно ближе к исходному изображению [1].

В [2, 3] представлены новые эффективные методы для подавления шумов на изображениях, используя подход, основанный на применении ядра регрессии. Регрессия является инструментом не только для интерполяции регулярно выбранных фреймов (увеличение разрешения), но также и для восстановления и улучшения зашумленных и возможно нерегулярно выбранных изображений.

В данной статье рассматривается ядра регрессии и его перспективы для шумоподавления. Делается анализ эффективных методов подавления шумов, основанных на применении ядра регрессии.

Классические ядра регрессии

Классические параметрические методы обработки изображений полагаются на определенную модель сигнала интереса и стремятся вычислить параметры этой модели в присутствии шума. Примеры этого подхода представляются в разнообразных проблемах в пределах от подавления шумов к масштабу и интерполяции.

В отличие от параметрических методов, непараметрические методы полагаются на данные непосредственно, чтобы диктовать структуру модели, в этом случае эта неявная модель упоминается как функция регрессии. С относительно недавним появлением методов обучения машины, методы ядра стали известными и часто используются для обнаружения образца и проблем дискриминации. Удивительно, они оказываются, что соответствующие идеи по непараметрической оценке, которые называются здесь ядра регрессии, хотя не получили широкого признания или использоваться в литературе обработки изображений и обработки видеоданных. Действительно, в последние десятилетие годы, несколько понятий имели отношение к общей теории регрессии. Эти понятия были открыты в различных внешних видов. Они представлены под различными именами, такими как нормализованная свертка, двусторонний фильтр, восстановление полей посредством локального адаптивного метода, и метод наименьших квадратов. Далее рассматривается классическую регрессию 2-D, в которой измеренные данные даются по формуле:

$$y_i = z(x_i) + \varepsilon_i,\ i = 1,2,...,P,\ x_i = [x_{1i}, x_{2i}]^T,$$

где y_i – шумный образец в x_i, $z(\cdot)$(до настоящего времени неуказанная) – функция регрессии и ε_i – независимые и так же распределенные нулевые средние шумовые значения (с иначе никаким определенным статистическим принятым распределением). По существу, ядра регрессии обеспечивает богатый механизм для вычисления поточечной оценки функции с минимальными предположениями о глобальном сигнале или шумовых моделях.

В то время как определенная форма $z(x_i)$ может оставаться неуказанной, если предполагается, что она локально гладкая к некоторому порядку N, тогда чтобы оценить значение функции в любой точке x данной данных, можно положиться на универсальное локальное расширение функции об этой точке. Определенно, если x находится близко выборкой в x_i, имеемся N-член ряда Тейлора:

$$\begin{aligned} z(x_i) &\approx z(x) + \{\nabla z(x)\}^T (x_i - x) \\ &\quad + \frac{1}{2}(-x)^T \{\mathrm{H} z(x)\}(x_i - x) + ..., \\ &= \beta_0 + \beta_1^T (x_i - x) \\ &\quad + \beta_2^T vech\{(x_i - x)(x_i - x)^T\} + ..., \end{aligned}$$

где ∇ и H градиент (2 × 1) и Hessian (2 × 2) операторы, соответственно, и $vech(\cdot)$ – оператор векторизации, который лексикографически упорядочивает матрицу в вектор. Кроме того, $\beta_0 = z(x)$ – это пиксельное значение интереса и векторов β_1 и β_2:

$$\beta_1 = \nabla z(x) = \left[\frac{\partial z(x)}{\partial x_1}, \frac{\partial z(x)}{\partial x_2}\right]^T,$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial^2 z(x)}{\partial x_1^2}, 2\frac{\partial^2 z(x)}{\partial x_1 x_2}, \frac{\partial^2 z(x)}{\partial x_2^2}\right]^T.$$

Так как, этот подход основан на локальных приближениях, логический шаг должен оценить

параметры $\{\beta_n\}_n^N = 0$ от всех выборок $\{y_i\}_{i=1}^P$, когда значение веса близких выборок вес задано высшее, чем далеких выборок. Формулировка наименьших квадратов, получая эту идею должна решить следующую проблему оптимизации:

$$\min_{\{\beta_n\}} \sum_{i=1}^{P} [y_i - \beta_0 - \beta_1^T (x_i - x) - \beta_2^T vech\{(x_i - x)(x_i - x)^T\} - ...]^2 K(x_i - x),$$

$$K_{H_i}(x_i - x) = \frac{1}{\det(H_i)} K(H_i^{-1}(x_i - x)),$$

где $K(\cdot)$ – функция ядра, и H_i – 2×2 матрица сглаживания, которая будет изучать более тщательно позже в этом разделе.

Steering kernel regression

В то время как, ядра регрессии – хорошо изученный метод в статистике и обработке сигналов. Takeda недавно успешно использовал этот метод для решения проблемы обработки изображений как подавление шумов, интерполяция и устранение размытости [2, 4]. Когда многие методы для шумоподавления могут представляться соответственно в формуле ядра регрессии, метод Steering Kernel Regression (SKR) отличается способом его формирования локальных весов регрессии. В методе SKR, устойчивое оценивание градиента рассматривается в анализе радиометрического сходства двух пикселей в рассматриваемой окрестности. Потом эта информация используется для определения формы и размера канонической регрессии. Steering kernel в этом частном случае может выражаться как:

$$w_{ij} = \frac{\sqrt{\det(C_j)}}{2\pi h^2} \exp\left\{-\frac{(x_i - x_j)^T C_j (x_i - x_j)}{2h^2}\right\},$$

где w_{ij} описывает сходство j-ой пикселя по относительно к i-ой пиксели, x_i, $x_j \in \mathbb{R}^2$ обозначают расположение i- и j- пикселей соответственно, и h – глобальный параметр сглаживания, который управляет поддержкой Steering kernel. Матрица C_i обозначает симметричную матрицу ковариации градиента, сформированную из предполагаемого вертикального и горизонтального градиентов j-пикселя.

Результаты экспериментов

В [2] Takeda сравнил результат его метода со многими другими методами подавления шумов. Исходное изображение «Лена» представлено на рис. 1 (а). Зашумленное изображение с отношением сигнал-шум (SNR) 5.64 [дБ], полученное посредством добавления к исходному изображению белый шум Гауссова со стандартным отклонением σ = 25, представлено на рис. 1 (б). Потом это зашумленное изображение обрабатывается методом классической ядра регрессии, результат которого представлен на рис. 1 (в). Результат применения двустороннего фильтра и метода подавления шумов, основанная на вейвлета, представлены соответственно на рис. 1 (г) и (д). Наконец, рис. 1 (е) показывает результат применения итеративной steering ядра регрессии. Значения RMSE (root mean square error) восстановленных изображений рис. 1 (в) - (е) соответственно 8.94, 8.65, 6.66 и 6.68.

Рис. 1. *Результат различных методов подавления шумов (а) исходное изображение, (б) зашумленное изображение со стандартом отклонением σ = 25, (в) классическая ядра регрессии, (г) двусторонний фильтр, (д) вейвлет, итерация steering ядра регрессии [2]*

Заключение

Показано, что использование ядра регрессии представляет эффективный способ получения решения для шумоподавления и интерполяции обработки изображения.

Результаты экспериментов показали качество предположенного способа обработки изображений по сравнению с рядом известных методов.

Список литературы

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital image processing. – Reading MA: Addison-Wesley, 2001. – 813p.

2. Takeda H., Farsiu S., Milanfar P. Kernel regression for image processing and reconstruction // IEEE Transactions on Image Processing. – 2007. – V. 16. – № 2. – P. 349 – 366.

3. Chatterjee P., Milanfar P. Clustering-based denoising with locally learned dictionaries // IEEE Transactions on Image Processing. – 2009. – V. 18. - № 7. – P. 1438 – 1451.

4. Takeda H., Farsiu S., Milanfar P. Deblurring using regularized locally-adaptive kernel regression // IEEE Transactions on Image Processing. – 2008. – V. 17. – № 4. – P. 560 – 563.

ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ОКРУЖНОСТИ

Булатников А.А.
Научный руководитель: Ключко В.И., д.т.н., профессор
Кубанский государственный технологический университет,
350072, Россия, г. Краснодар, ул. Московская, 2
E-mail: inkras@yandex.ru

Круговая цифровая интерполяция, как и линейная, наиболее распространена в станках с числовым программным управлением, в компьютерной графике при автоматизации проектирования с помощью персональных компьютеров. При этом используют простейшие, так называемые неоптимальные алгоритмы, у которых предельная абсолютная погрешность равна шагу интерполяции. Это происходит потому, что в правиле принятия решения о направлении очередного хода используется знак отклонения текущего узла от окружности: при плюсе – ход по координате, наибольшей по модулю, при минусе – ход по диагонали.

В [1] была сделана попытка учитывать будущие отклонения в соседних узлах путем их предварительного расчета. Но это снижало быстродействие алгоритма в 3-4 раза. Хотя и обеспечивало абсолютную погрешность не более 0,5 шага интерполяции.

Нами предложено, не производя вычислений в двух наиболее вероятных узлах, построить логическое выражение в виде неравенства. Таким образом, получается прогноз очередного хода (координатный или диагональный). Так же, как и в [1], вводится оценочная функция $F_i = f(x_i, y_i) = x_i^2 + y_i^2 - r^2$. Затем составляется условие диагонального хода (при $x_i < y_i$)

$$|F_i + 2x_i + 1| \geq |F_i + 2x_i - 2y_i + 2|, \quad (1)$$

где x_i, y_i – координаты текущего узла интерполяции с учетом того, что правая часть отрицательна, преобразуем (1) сначала в такое неравенство

$$F_i \geq y_i - 2x_i - 3/2 \quad (2)$$

А затем неравенство (2) распишем так:

$$F_i - y_i + 2x_i + 1 \geq 0 \quad \text{при } x_i < y_i;$$
$$F_i - 2y_i + x_i + 1 \geq 0 \text{ при } x_i \geq y_i \quad (3)$$

Обозначим левые части (3) через R_i и T_i. Таким образом, мы вводим новые оценочные функции. По их знаку определяется тип очередного хода (координатный по x, если $x_i < y_i$, или по у, если $x_i \geq y_i$, или же диагональный при любых соотношениях x_i и y_i). Некоторое усложнение оценочных функций R_i и T_i кажущееся: R_0 и T_0 вычисляются только один раз перед началом интерполяции. А в дальнейшем приращения такие же, как и для F_i.

Подводя окончательный итог, получаем алгоритма круговой интерполяции:

$$R_{i+1} = \begin{cases} R_i + 2x_{i+1} + 1, \text{случай 1} \\ R_i + 2(x_{i+1} - y_{i+1}) + 1 \text{ случай 2} \\ T_{i+1} + x_{i+1} + y_{i+1}, \text{ случай 3} \end{cases} \quad (4)$$

$$T_{i+1} = \begin{cases} R_{i+1} - x_{i+1} - y_{i+1}, \text{ случай 4} \\ T_i - 2y_{i+1} + 1, \text{ случай 5} \\ T_i + 2(x_{i+1} - y_{i+1}) + 1, \text{ случай 2} \end{cases} \quad (5)$$

Расшифруем случаи в формулах (4) и (5): случай 1 – движение по оси *x*, случай 2 – движение по диагонали, случай 3 – переход через диагональ квадранта (смена T на R), случай 4 – переход через диагональ квадранта (смена R на T), случай 5–движение по оси *y*.

Начальные условия для R_0 и T_0 таковы:

$$R_0 = 2x_0 - y_0 + 1 \text{при } x_0 < y_0$$
$$T_0 = x_0 - 2y_0 + 1 \text{ при } x_0 \geq y_0$$

Для случая $x_i < y_i$ при $R_i \geq 0$ имеем диагональный ход$(x_{i+1} = x_i + 1, y_{i+1} = y_i - 1)$, а при $R_i < 0$- координатный ход $(x_{i+1} = x_i + 1,\ y_{i+1} = y_i)$. Для случая $x_i \geq y_i$ при $T_i \geq 0$ имеем координатный ход $(x_{i+1} = x_i,\ y_{i+1} = y_i - 1)$, а при $T_i < 0$ - диагональный ход $(x_{i+1} = x_i + 1, y_{i+1} = y_i - 1)$.

Предложенный алгоритм дан в варианте цифровой интерпретации дуги окружности в первом квадранте. Распространим его на полную окружность.

Для этого разделим ее условно на восемь полуквадрантов, начиная с верхней точки окружности последовательно по часовой стрелке. Это связано со структурой координатных и диагональных ходов в каждом полуквадранте. Применяя переименование и изменение направлений осей x и y на основе (3), имеем восемь выражений оценочных функций для каждого полуквадранта $\Phi = -F$.

$$\begin{aligned} &1)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + y - 2x - 1 \\ &2)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + 2y - x - 1 \\ &3)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + 2y + x - 1 \\ &4)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + y + 2x - 1 \\ &5)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - y + 2x - 1 \\ &6)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - 2y + x - 1 \\ &7)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - 2y - x - 1 \\ &8)\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - y - 2x - 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Если каждое выражение из (6) приравнять к нулю, то получим уравнения дуг окружностей (для каждого полуквадранта радиусом *r* и с центром в точках с координатами)

$$\begin{aligned} &1)x = 1{,}0\ \ y = 0{,}5 \qquad &&5)x = 1{,}0, y = -0{,}5 \\ &2)x = -0{,}5, y = 1{,}0 \qquad &&6)x = 0{,}5, y = -1{,}0 \\ &3)x = 0{,}5, y = 1{,}0 \qquad &&7)x = -0{,}5, y = -1{,}0 \\ &4)x = 1{,}0, y = 0{,}5 \qquad &&8)x = -1{,}0, y = -0{,}5 \end{aligned}$$

С учетом знаков осей x и y число выражений для оценочных функций можно сократить до четырех, объединяя первый и пятый полуквадранты, далее – второй и шестой, третий и седьмой, и, наконец, четвертый и восьмой.

1) и 5) $\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + |y| - 2|x| - 1$
2) и 6) $\Phi = r^2 - x^2 - y^2 + 2|y| - |x| - 1$
3) и 7) $\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - 2|y| + |x| - 1$
4) и 8) $\Phi = r^2 - x^2 - y^2 - |y| + 2|x| - 1$

При переходе через диагональ первого и третьего квадрантов надо скорректировать Φ_iна $|x| + |y|$. То же самое для диагонали второго и четвертого квадрантов. Это видно из сравнения оценочных функций соответствующих полуквадрантов. Соответствующие корректировки производятся и при переходе: 1) через ось абсцисс – добавка равна $2|x|$ и 2) через ось ординат – добавка $2|y|$. Взятие по модулю координат текущего узла интерполяции сокращает блок-схему алгоритма и его программную реализацию. При прохождении алгоритма будет проинтерполирована окружность от первого до конца восьмого полуквадранта по часовой стрелке.

Отметим, что переход от F_i к $\Phi_i = -F_i$ математически непринципиален. Он был сделан для упрощения машинного алгоритма. Появившиеся в (6) $"-1"$ позволяют вычислять разность вида $(\mathrm{a} - \mathrm{b} - 1)$ по формуле$(a + \bar{b})$, где a и b –произвольные двоичные числа, представленные в дополнительном коде, $\bar{b}$ – инверсный код числа b, на сумматоре без кругового переноса.

Для организации цифровой интерполяции против часовой стрелки необходимо в формулах приращений координат, например, $x_{i+1} = x_i + 1$, $y_{i+1} = y_i - 1$ ставить не 1, а $\mu = sign(y_i)$для *x*, и $\mu = sign(x_i)$ для *y*. В этом случае интерполяция будет идти по часовой стрелке, а координаты результата будут выдаваться симметрично относительно оси *OY*.

Отметим, что, производя цифровую интерполяцию, мы можем попутно вычислять угловые перемещения радиус-вектора, проведенного из начала координат в текущий узел интерполяции. А вместе с ними длину проинтерполированной дуги. Обе эти величины можно определить через суммы модулей координат последовательных узлов интерполяции. Правило здесь такое. Если очередной *i*-ый шаг – координатный по *x*, то $s_{i+1} = s_i + |y_i|$. Если – координатный по *y* , то $s_{i+1} = s_i + |x_i|$. И, наконец, если очередной ход – координатный, то $s_{i+1} = s_i + |x_i| + |y_i|$, где *s*- удвоенная площадь кругового сектора, заметаемого радиус-вектором в ходе цифровой интерполяции. А зная площадь $S/2$, легко перейти к углу сектора или к длине его дуги. Эти величины крайне важны при интерполяции циклоиды, эпи- и гипоциклоиды, а также эвольвенты окружности.

Рассмотрим это на примере циклоиды. Уравнение циклоиды в параметрической форме $x(t) = a(t - sint),\ y(t) = a(1 - cost)$ (7),
где *t* – угол поворота начального радиуса относительно оси *OX*. Оно, как видим, сложно для аналитического (по формулам (7)) вычисления, тем более на микропроцессорах с ограниченной системой команд.

Поэтому применим метод цифровой интерполяции. Примем во внимание, что циклоида – это траектория фиксированной точки окружности, которая катится без скольжения по прямой линии (ось OX).

Таким образом, самая нижняя точка окружности, находящаяся в начале координат при $t = 0$, участвует одновременно в двух движениях в плоскости *XOY*: 1) поступательное движение вдоль оси OX; 2) вращательное движение по окружности радиусом *a*.

Синхронизирующим фактором является равенство пройденного пути по оси OX и длины дуги, пройденной точкой окружности при цифровой интерполяции окружности.

Выше было показано, как можно вычислять длину дуги через площадь кругового сектора. В качестве синхронизирующего параметра выберем единицу линейного перемещения по оси *OX* в машинном масштабе, равную *a.* Тогда длина дуги в машинном масштабе будет численно равна $2S$ (удвоенной площади кругового сектора).

Поскольку одно приращение на 1 линейного движения центра окружности вызывает приращение дуги от $a/\sqrt{2}$ до $a\sqrt{2}$, то надо отслеживать равенство накопленных сумм этих приращений. Для этого вводится переменная D, которая всякий раз уменьшается на a при единичном шаге линейного перемещения и увеличивается на $|y|$, $|x| + |y|$ или $|x|$ в зависимости от типа очередного хода. Как только величина D станет положительной, делается дополнительный шаг линейного перемещения. Одновременно из D вычитается $a = r$, и процесс цифровой интерполяции продолжается.

Таким образом, ведущими являются приращения дуги окружности как наиболее значительное по величине, а линейные приращения – ведомыми.

Полученный алгоритм, так же как и [1], является целочисленным, но с абсолютной погрешностью в два раза меньшей (0,5 шага интерполяции). Он весьма удобен для микропроцессорной реализации, так как не содержит умножений, делений и других так называемых “длинных” операций (например, извлечение квадратного корня).

В дальнейшем нами планируется разработка целочисленных алгоритмов цифровой интерполяции эпи- и гипоциклоиды, эвольвенты окружности и других плоских кривых/

Список литературы

1. Анишин Н.С. Цифровые интерполяторы криволинейных траекторий.-//Автоматика и телемеханика, 1986. №12.С.95-101.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ERP-СИСТЕМ

Бухта А.А., Кожевников А.С.
Научный руководитель: А.И. Науменко
Сибирская академия финансов и банковского дела, 630051, Россия, г. Новосибирск, ул. Ползунова, 7
E-mail: bukhta-anna@yandex.ru

Наличие у современной компании информационной системы, позволяющей оптимизировать бизнес-процессы, снизить себестоимость продукции и повысить привлекательность предприятия для инвесторов, является значимой составляющей успеха в конкурентной борьбе и важным условием привлечения инвестиций.

Яркий пример таких систем – корпоративные информационные системы, использующие методологию ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия). ERP это, во первых, – информационная система для учета и планирования ресурсов предприятия, необходимых для осуществления бизнес-процессов; во-вторых (в более общем контексте), это – методология эффективного планирования и управления ресурсами предприятия [3].

На наш взгляд, второе определение более полно отражает суть ERP-системы, показывает, что это не только своего рода «система учета ресурсов», а система, помогающая принимать более эффективные управленческие решения, отслеживающая все бизнес-процессы на предприятии.

При достижении определенного уровня развития, компания принимает решение об интеграции ERP-системы, как инструмента для повышения эффективности своей деятельности. При этом руководству важно оценить, позволит ли этот шаг улучшить результаты деятельности компании или этот масштабный проект всего лишь способ красиво потратить несколько миллионов? Для ответа на эти вопросы необходимо оценить эффективность внедрения ERP-системы, что возможно с помощью следующих методов:

1. Финансовые методы оценки эффективности:

1.1. Экономическая добавленная стоимость (EVA – Economic Value Added) представляет собой прибыль предприятия от обычной деятельности за вычетом налогов и уменьшенную на величину платы за инвестированный в IT-капитал (Information Technology). На практике не всегда возможно определить, насколько IT позволит увеличить оборот и снизить издержки.

1.2. Полная стоимость владения (TCO – Total Cost of Ownership) предполагает оценку стоимости приобретения, администрирования, и других затрат на IT. Не учитывает риски и не позволяет оценить увеличение прибыли от использования IT.

1.3. Совокупный экономический эффект (TEI – Total Economic Impact). Данная методология рассматривает три основных параметра: полная стоимость владения, преимущества от внедрения и «гибкость» системы. Для каждого из них определяется уровень риска. Анализ рисков IT должен оценивать устойчивость производителя, продукта, архитектуры.

2. Качественные методы оценки эффективности:

2.1. Система сбалансированных показателей (BSC – Balanced Scorecard). Методология, реализующая стратегию управления на основе ключевых показателей эффективности (KPI – Key Performance Indicators) с учетом таких нефинансовых параметров, как сведения о клиентах, внутренних процессах организации.

2.2. Информационная экономика (IE – Information Economics). Топ-менеджерам необходимо составить список из 10 главных факторов и оценить значимость и риск каждого из них для бизнеса. В результате получается полный относительный рейтинг каждого проекта в портфеле IT-службы. Факторы могут меняться, анализ значимости и рисков субъективен.

2.3. Управление портфелем активов (Portfolio Management). Методология предлагает рассматривать сотрудников IT-служб и IT-проекты как активы, которые управляются по тем же принципам, что и любые другие инвестиции. При этом руководитель IT-отдела осуществляет контроль за капиталовложениями и оценивает инвестиции по критериям затрат, выгоды и риска. IT-отдел должен превратиться из центра затрат в центр инвестиций, оценивая «чужие» выгоды.

3. Вероятностные методы оценки эффективности:

3.1. Справедливая цена опционов (ROV – Real Options Valuation). Выделяются пять параметров: выручка от проекта, расходы, сложность, стоимость поддержки решения и жизненный цикл внедряемой ERP-системы. Затем математическим путем происходит оценка, насколько возможно влияние на эти параметры в процессе выполнения проекта. Чем выше возможность влияния, тем выше оценка по данному методу.

3.2. Прикладная информационная экономика (AIE – Applied Information Economics). Является модифицированным методом IE. Его идея заключается в том, чтобы для каждой из целей проекта найти вероятность достижения, а затем из нее вывести вероятность улучшений в бизнес-процессах компании [4].

Однако многие выгоды от использования ERP-системы на стадии принятия решения о выборе системы нельзя оценить в количественном выражении. В таких ситуациях для оценки эффективности внедрения системы целесообразно

проводить анализ выгодности затрат (CBA). CBA основывается на сравнении двух альтернативных вариантов (без сравнения применять этот метод не имеет смысла). При оценке предполагаемой эффективности внедрения ERP-системы рассматриваются варианты работы как с использованием системы, так и без ее применения. При этом подсчитываются возможные потери (opportunity cost) в случае, если проект внедрения не будет реализован [2].

Чтобы выбрать оптимальный вариант, необходимо сравнить выгоды от проекта и затраты, требуемые для его реализации. При этом учитываются как количественные показатели (например, затраты на приобретение системы, оборудования, ускорение оборачиваемости запасов, увеличение производительности труда), так и качественные (например, большая лояльность клиентов благодаря повышению эффективности их обслуживания).

В зависимости от корпоративных требований или задач, стоящих перед компанией, она может разработать собственные показатели для анализа эффективности внедрения системы. В основе таких показателей, как правило, лежит оценка предполагаемых выгод от внедрения ERP-системы и затрат на ее использование.

Как мировая, так и, не ставшая исключением, российская практика знает примеры не только удачного внедрения ERP-систем (например, на ОАО «Стройдормаш»), принесшего их обладателям положительный эффект, но и примеры провалов. Последствия провала при внедрении системы для одних компаний ограничивались лишь потерей ресурсов (фармацевтическая компания «36,6», в результате неудачно завершившегося проекта по внедрению ERP-системы потеряла почти 500 тыс. дол.; по тем же причинам компания «Формула безопасности» потеряла 400 тыс. дол.), а для других – крахом (американская компания FoxMeyer, один из лидеров мирового фармацевтического рынка, после неудачного внедрения ERP системы – новая система давала сбои и работала раз в 40 медленнее старой – многие заказчики ушли к конкурентам, розничная сеть дистрибутора разорилась, и он оказался в состоянии банкротства) [1].

Отрицательный опыт компаний говорит о том, что при разработке проекта по внедрению системы ими были учтены не все риски и затраты. Одним из самых серьезных – «риск времени» – в процессе реализации проекта, который длится от 6 до 18-20 месяцев, возможно изменение рыночной ситуации в неблагоприятную для организации сторону и на ее продукцию или услуги резко падает спрос. В связи с этим, финансовых ресурсов становится значительно меньше, принимается решение о консервации проекта, при этом в организации возникает неразбериха: от старой информационной системы еще полностью не отказались, но одновременно с этим, полностью не перешли на новую. Существенным моментом является то, что многие компании учитывают только затраты на саму ERP-систему. Зачастую остаются без внимания затраты на модернизацию серверов, рабочих станций, ЛВС организации, затраты на работу консультантов и администрирование ERP-системы, составляющие значительную долю расходов в бюджете проекта. Непринятие во внимание в полной мере этих затрат является основной причиной неудачного внедрения ERP-системы.

Значительной проблемой при внедрении ERP-систем является неполное раскрытие руководством или собственником информации об организации, вследствие чего возможны ошибки в настройке системы, которые приведут к ее неправильной или неэффективной работе [2].

Эти «острые углы» возможно обойти лишь при детальной проработке плана внедрения системы, постановке исполнителю четких задач и предоставления ему наиболее полной информации, а также личной заинтересованности руководителей в доведении проекта до завершения, что бывает далеко не всегда (по информации Vital Smarts и Concours Group около 11% руководителей теряют интерес к IT-проекту если он длится более 6 месяцев) [1].

К сожалению, сейчас в продвижении и «обосновании» необходимости и выгодности внедрения ERP-систем основную роль играет психология, а не экономика, что никак нельзя назвать рациональным. Зачастую, компании опираются на культивируемое общественное мнение о том, что внедрение ERP-системы безоговорочно положительно и это «спасительная таблетка» благодаря которой предприятие резко повысит свою эффективность, и не производят экономических расчетов. Такая позиция значительно повышает риск неудачного завершения проекта по внедрению системы и потерю компанией значительного объема ресурсов, как финансовых, так и временных, человеческих и других, на учет, планирование и оптимизацию которых надеялись компании, начиная внедрять ERP-систему.

Литература

1. Алферов П. Роль бизнес-заказчика в ИТ проекте // Управление проектами. 2008. № 4. С. 15 – 17.

2. Терехов А. Как оценить эффективность внедрения ERP-системы? URL: http://www.fd.ru/reader.htm?id=1373# (дата обращения 15.01.2011).

3. Портал APICS URL: http://www.apics.org (дата обращения 15.01.2011).

4. Трейси Мэйор Методологии оценки ИТ URL: http://www.osp.ru/cio/2002/09/172287/ (дата обращения 14.01.2011).

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МЕНЕДЖМЕНТА БИЗНЕСА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Валанов А.А., Трофимов И.Е.
Научный руководитель: Сарапулова Т.В.
Кузбасский государственный технический университет, 650055, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: shadowthief@mail.ru

На современном этапе развития угледобывающей промышленности России большинство шахт являются нерентабельными, несмотря на достаточно высокий производственный потенциал, характеризующийся большими запасами угля, технической оснащенностью производства и квалифицированными кадрами [1]. Применение устаревшего оборудования и высокий уровень износа основных фондов шахт обуславливают значительные потери рабочего времени, высокую себестоимость добычи и производства угольной продукции.

Повышение эффективности производства обуславливается совокупностью постоянно действующих факторов, находящихся в разной степени взаимодействия не только между собой, но и с показателями эффективности производства. К тому же немаловажную роль оказывают особенности современного этапа экономического развития общества.

В связи с этим необходимо своевременно оценить сложившуюся ситуацию и предпринять конкретные меры для повышения экономической эффективности производства угольных шахт.

Методическая основа комплексной количественной оценки экономической эффективности производства шахт была разработана старшим научным сотрудником Кузбасского государственного технического университета Аксеновым Е. П. [2]. Данный подход осуществляется на основе разработанной единой функционально взаимосвязанной системы показателей.

Информационная система на данный момент состоит из 5 кластеров (рис. 1), отдельных модулей, который выполняют независимый друг от друга операции:

1. «Потенциал внешних условий» (рис. 2) содержит в себе информацию о действующих на предприятие условий среды. Значения в данном кластере вводятся экспертами, привлеченными организацией для оценки ее состояния.
2. «Потенциал внутренних условий» разбит на несколько подразделов, каждый из которых оценивает определенную группу условий предприятия:
   2.1. Горно-геологические условия;
   2.2. Обеспеченность запасами угля;
   2.3. Качество углей;
   2.4. Горнотехнические условия;
   2.5. Организационные условия.

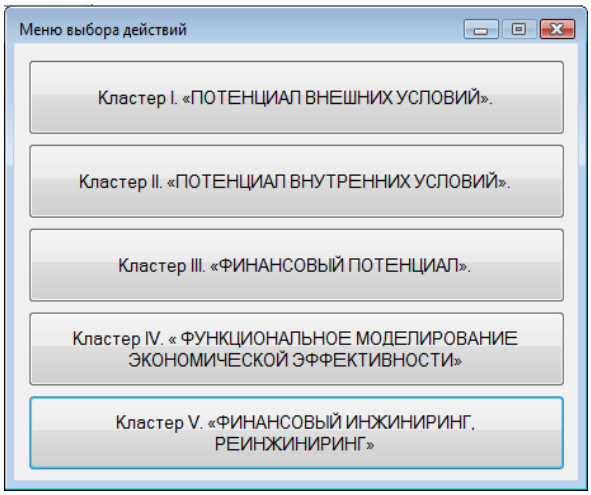


Рис. 1. Меню

3. «Финансовый потенциал» отражает непосредственно экономическую составляющую предприятия. Также состоит из нескольких подразделов:
   3.1. Потенциал экономического роста;
   3.2. Ликвидные средства первого класса;
   3.3. Ликвидные средства второго класса;
   3.4. Ликвидные средства третьего класса;
   3.5. Ликвидные средства четвертого класса;
   3.6. Неликвидные средства;
   3.7. Ликвидные средства для проведения расчетов;
   3.8. Структура ликвидных средств;
   3.9. Долгосрочные обязательства;
   3.10. Краткосрочные обязательства;
   3.11. Структура обязательств;
   3.12. Источники собственных средств;
   3.13. Финансовый потенциал нетто;
   3.14. Финансовый потенциал брутто;
   3.15. Согласование потенциалов.
4. «Функциональное моделирование экономической эффективности» представляет собой систему комплексной оценки на основе взаимосвязанной системы показателей, разделяющихся на две основные группы:

- показатели экономической эффективности производства включает обобщающий и частный показатели. Обобщающий показатель – прибыль, рассчитанная по товарной продукции в расчетных ценах (без услуг, работ промышленного характера) на 1 работника промышленно-производственного персонала является главным итогом производства шахты. Частные показатели (зарплатоемкость, фондоемкость, материалоемкость добычи 1 тонны

угля) позволяют всесторонне оценить эффективность использования отдельных элементов производственных ресурсов, затрат;

- основные технико-экономические показатели: добычу угля; суммарную среднюю длину действующих очистных забоев, среднюю скорость подвигания линии очистных забоев, среднюю вынимаемую мощность угольного пласта, среднюю плотность 1 м^3 угля; проведение подготовительных выработок по углю и с присечкой породы, выход угля с 1 м подготовительных выработок, проводимых по углю и с присечкой породы; среднесписочную численность работников; себестоимость добычи 1 тонны угля; среднюю норму амортизации; среднюю расчетную цену, прибыль на 1 тонну добываемого угля.

Комплексность оценки заключается в количественном определении влияния на темпы прироста обобщающего показателя изменений, как частных, так и основных технико-экономических показателей. Целью оценки влияния изменения частных показателей, основных аналитических технико-экономических показателей на обобщающий показатель экономической эффективности производства является распределение резервов.

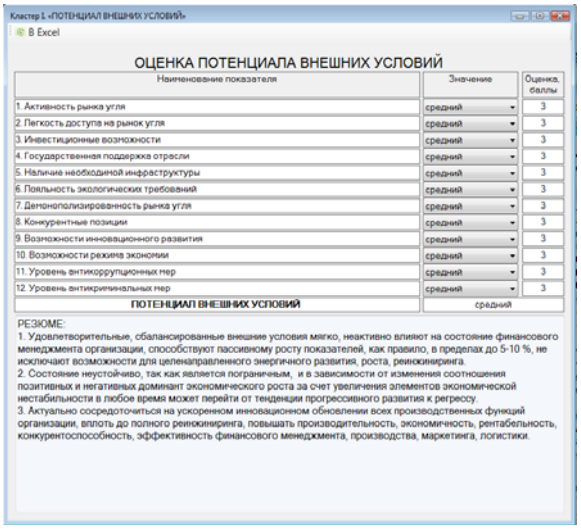
5. «Финансовый инжиниринг. Реинжиниринг» позволяет оценить процесс целенаправленной разработки новых финансовых инструментов или новых схем осуществления финансовых операций, разработку системы финансового управления и минимизации финансовых рисков, разработку новых финансовых инструментов и операционных схем, пригодных при осуществлении финансово-кредитных операций.

Информационная система удовлетворяет следующим требованиям:

1. Низкая ресурсоемкость. Система работает с приемлемой производительностью и не требовательна к ресурсам компьютера;
2. Расширяемость. Дальнейшее расширение программы будет осуществляться без особых затрат и без нарушения общей работоспособности программы;
3. Простота использования. Система обладает простым интерфейсом, с которым легко может разобраться рядовой сотрудник;
4. Легкость внедрения. Система полностью автономна, в связи с этим, не нарушит деятельность других программ на предприятии.

Вычисления в информационной системе происходят автоматически. Пользователю нужно только ввести необходимые данные в соответствующие поля.

На основе вычислений выдается экспертное заключение в виде резюме. Таким образом, система наделена функциями искусственного интеллекта.


Кластер 1 «ПОТЕНЦИАЛ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ»

В Excel

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

Наименование показателя	Значение	Оценка, баллы
1. Активность рынка угля	средний	3
2. Легкость доступа на рынок угля	средний	3
3. Инвестиционные возможности	средний	3
4. Государственная поддержка отрасли	средний	3
5. Наличие необходимой инфраструктуры	средний	3
6. Лояльность экологических требований	средний	3
7. Демонополизированность рынка угля	средний	3
8. Конкурентные позиции	средний	3
9. Возможности инновационного развития	средний	3
10. Возможности режима экономии	средний	3
11. Уровень антикоррупционных мер	средний	3
12. Уровень антикриминальных мер	средний	3
ПОТЕНЦИАЛ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ	средний	

РЕЗЮМЕ:

1. Удовлетворительные, сбалансированные внешние условия мягко, неактивно влияют на состояние финансового менеджмента организации, способствуют пассивному росту показателей, как правило, в пределах до 5-10 %, не исключают возможности для целенаправленного энергичного развития, роста, реинжиниринга.
2. Состояние неустойчиво, так как является пограничным, и в зависимости от изменения соотношения позитивных и негативных доминант экономического роста за счет увеличения элементов экономической нестабильности в любое время может перейти от тенденции прогрессивного развития к регрессу.
3. Актуально сосредоточиться на ускоренном инновационном обновлении всех производственных функций организации, вплоть до полного реинжиниринга, повышать производительность, экономичность, рентабельность, конкурентоспособность, эффективность финансового менеджмента, производства, маркетинга, логистики.

Рис. 2. Кластер 1. «Потенциал внешних условий»

Информационно-вычислительная система позволяет автоматизировать и визуализировать процесс оценки эффективности менеджмента бизнеса для угольных шахт и, как следствие, упрощает «техническую работу» экономиста-аналитика.

Оценка экономической эффективности производства шахт используется при разработке пятилетних, годовых, квартальных, месячных планов экономического и социального развития, а также в анализе производственно-хозяйственной деятельности.

Система имеет перспективы дальнейшего развития за счет расширения возможностей обработки полученных результатов, добавления дополнительных направлений проведения анализа. Практическая ценность работы заключается в снижении временных затрат на обработку бухгалтерской и статистической информации, как следствие, ускорение процесса принятия управленческих решений.

Список литературы

1. Савинов, Е.А. Повышение экономической эффективности производства и конкурентоспособности товарной продукции угольных шахт/ Савинов Е.А. – Санкт-Петербург – Кемерово. – 2004.

2. Аксенов, Е.П. Методические рекомендации по комплексной оценке экономической эффективности производства угольных шахт / Аксенов Е.П., Печенихин С.П., Красильников Б.В. – Кемерово. – 2003.

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Ваховский В.В.
Научный руководитель: Трофимов И.Е., ассистент
Кузбасский государственный технический университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: ivaniv-star@mail.ru

Введение

Современный рынок программных продуктов отличается огромным разнообразием всевозможных видов программного обеспечения. Все они различаются сложностью работы с ними, функционалом, и, соответственно, их стоимостью. Однако не всегда, разработанный программный продукт соответствует тому, что требовал заказчик. Согласно статистике оценочной компании «Standish Group», каждый третий проект оказывается неудачным, и только каждый десятый выполняется в срок и в пределах бюджета.

В рамках исследовательской работы был проведен анализ существующих методов оценки трудоемкости разработки программного обеспечения и создано приложение реализующие 3 методики оценки: А. Альбрехта, COCOMO и EFP IFPUG FPA [1].

В качестве среды разработки программного продукта была выбрана среда Borland Delphi 7.0. Для хранения данных использовалась СУБД Paradox 7.

Далее представлено краткое описание реализованных в приложении методик.

Методика А. Альбрехта

Методика А.Альбрехта оценивает трудоемкость разработки программного обеспечения (ПО) с помощью анализа функциональности программного кода только по «анкетным данным» проекта, т.е. по наиболее общим характеристикам, таким, как «масштаб проекта», «тип объекта проектирования», «пользователи объекта проектирования». Она позволяет оценить трудоемкость, сложность и стоимость будущего программного изделия еще на начальном этапе, когда о проекте еще почти ничего не известно.

В основе этого способа оценки сложности ПО лежат три основных классификатора проекта:

1. Масштаб проекта
2. Пользователи объекта проектирования
3. Тип объекта проектирования

Методика COCOMO

В методике COCOMO (Constructive Cost Model) устанавливается статистическая зависимость трудоемкости проектов, от совокупной длины кода (в тысячах условных строк).

Модель COCOMO рассчитана только на относительно маленькие проекты, разрабатываемые командами, хорошо знакомыми с прикладной областью.

В модель также вводится 15 поправочных факторов, принадлежащих к одной из четырех категорий:

1. атрибуты продукта, такие, как его сложность и требования к его надежности;
2. атрибуты системы, такие, как ограничения на оперативную память и время выполнения;
3. атрибуты команды исполнителей, такие, как опыт в прикладной области;
4. атрибуты проекта, такие, как используемые средства разработки.

Существенным недостатком методики COCOMO как таковой является зависимость оценки трудозатрат от длины программного кода – необходимо делать «разумные предположения» о длине кода, обычно – экспертными оценками или методом аналогий.

Отмеченный недостаток исключается в методиках, основанных на оценке функциональности разрабатываемых программных продуктов в баллах, например, таких как методика IFPUG FPA.

Итоговыми результатами является оценка трудоемкости разработки программного продукта (в человеко-месяцах) и длительности разработки (в месяцах) [2].

Методика EFP IFPUG FPA

В 1986 году была сформирована Международная Ассоциация Пользователей Функциональных Точек (International Function Point User Group – IFPUG), которая опубликовала несколько ревизий метода оценки стоимости разработки ПО с точки зрения пользовательских требований к функциональности. Один из них EFP FPA (Early Function Points \ Function Point Analysis) – это метод определения стоимости разработки программного продукта с помощью оценки «функциональности» программного комплекса на ранних этапах проектирования. Данная оценка зависит только от проектных характеристик. Оценка проводится в так называемых функциональных единицах (точках). Вес каждой функциональной единицы зависит от множества факторов, например, таких, как выбранная

технология, состав команды, условия выполнения проекта и т.п.

Данная методика позволяет рассчитать примерную оценку программного продукта в баллах функциональности, т.е. ставит некоторое количество «функциональных баллов» соответствующему набору величин, характеризующих разнообразие информационных потоков и разветвленность функционала ПО. Общее количество баллов суммируется и нормируется на комплексный показатель, учитывающий масштаб задачи. Баллы функциональности, с помощью специальной таблицы соответствия, пересчитываются в «функционально оправданную длину кода», причем коэффициент пересчета зависит от выбранного средства программирования.

Результаты

В результате проделанной работы было создан программный продукт, позволяющий сделать реальное предположения о сложности и стоимости разрабатываемого программного продукта на ранней стадии проектирования.

В основе продукта лежат три наиболее распространенные методики по оценки стоимости ПО. Продукт позволяет оперативно, только на основании общих данных об анализируемом проекте, оценить сложность и стоимость разработки данного ПО. Оценки производятся в человеко-часах, количестве строк программного кода, реальной стоимости на рынке ПО (в рублях).

Программа обладает дружественным интуитивно понятным интерфейсом, что можно видеть на рисунке 1.

Данное приложение может быть использовано для предварительной оценки ПО на стадии проектирования. Полученная оценка позволяет сделать выводы о проекте, внести соответствующие изменения, или вообще, поставить под вопрос целесообразность реализации проекта.

Литература

1. Шустов А.В., Славин О.А. Методические рекомендации по определению совокупной стоимости разработки и внедрения информационно-технических комплексов сложных систем на ранних этапах проектирования. – М:. ЛЕНАНД, 2007. – 80 с.

2. Брукс Ф. Мифический человеко-месяц или Как создаются программные системы. – М:. Символ-Плюс, 2010. – 304 с.

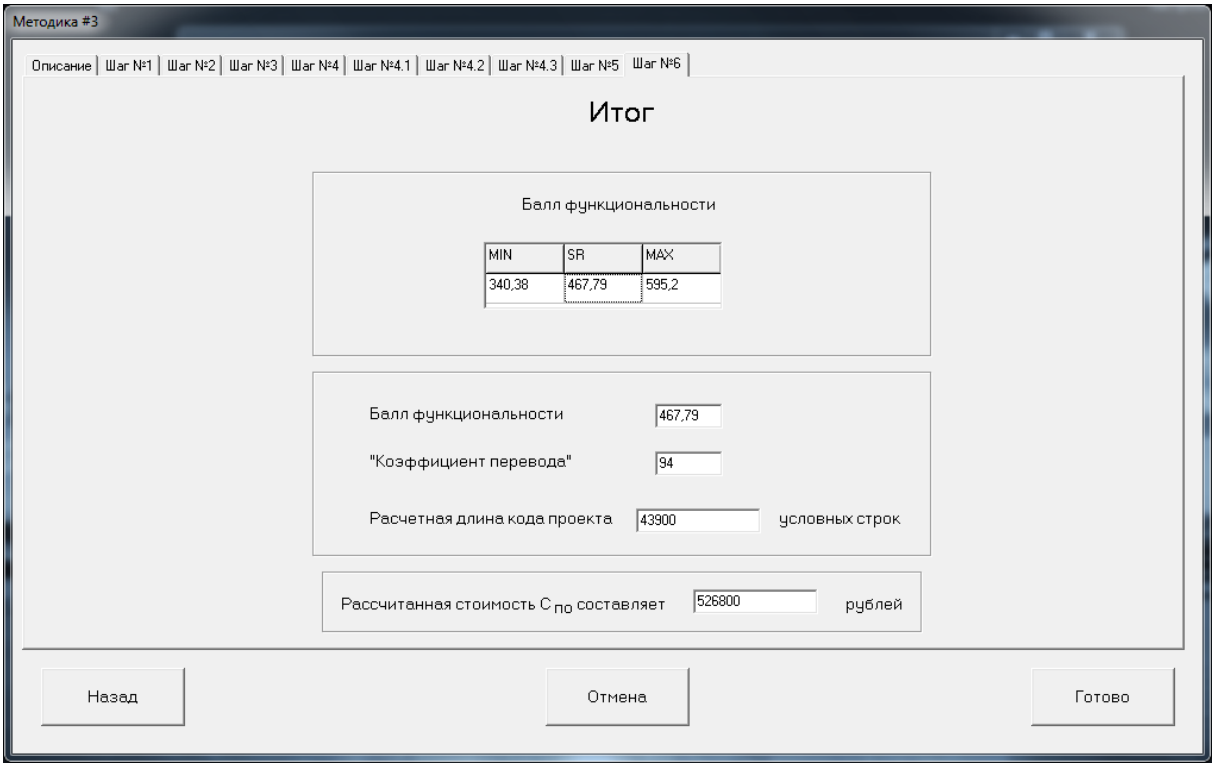


Рис. 1 – Окно настройки показателей

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ОНТОНЕТ

Войтович А.Ю.
Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)», 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
E-mail: voytovich@mirea.ru

Онтонет - корпоративная информационная сеть, несущая в себе онтологические признаки, обладающие строгим набором описаний неделимых свойств. Онтонет является логическим продолжением и развитием идеологии Семантических сетей, предполагая возможность повышения эффективности реализации в Интернет, а так же Экстранет/Интранет сетевых технологий Web 3.0. В ее основу положена детальная формализация различных областей знаний с использованием онтологических принципов, заложенных в модели семантического «сэндвича» Бернерса-Ли [1,2].

Это позволило выделить следующие характеристические признаки развития семантических сетей в направлении Онтонет образовательных сетей:

• Поиск и извлечение информации происходит не только по принципу поиска и извлечения данных, но, главным образом, по принципу поиска и извлечения знаний.

• Онтонет предполагает возможность функциональной реализации браузеров на единой унифицированной платформе, в основу которой положена детальная формализация области знаний с использованием онтологических принципов и концептуальных схем.

• Персонализация данных и знаний в соответствии с онтологиями, принятыми в качестве приоритетных конечным пользователем и хранящимися у него в виде «листов онтологий» (по направлениям и тематическим профилям, в частности в области образования) на его рабочей станции или взаимодействующих с ним хостах.

• В Онтонет-сетях в извлечении знаний и доставке их на рабочую станцию конечного пользователя главенствует не признак релевантности информации, а совокупность когнитивности и пертинентности, опирающаяся на результаты автоматического сопоставления признаков идентификации и сопутствующих онтологических признаков метаданных с отборочными признаками, заложенными в «листы онтологий».

• В наиболее общем случае, тем более в условиях распределенного сетевого хранения, поиска и обработки информации, семантический «сэндвич» инвариантно расслаивается и разветвляется, причем в тем большей степени, чем больше число тематических листов понятий в избранных пользователем библиотеках, чем обширнее эти библиотеки по числу вводимых в них понятий и, самое существенное, чем выше энтропия информации, заложенная в саму сущность формирования каждой из таких библиотек (рис.1).

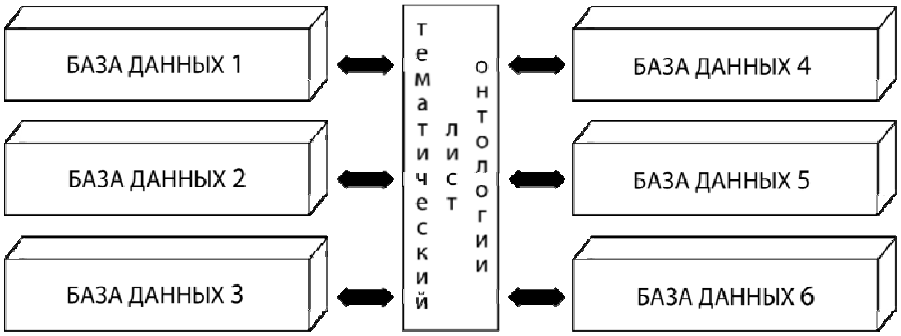


Рис.1. Тематический «лист онтологии»

• Онтонет содержит в своей инфологии решения, позволяющие на основе оценки мажоритарности предоставляемой информации выявлять наиболее выигрышную, резонансную по отношению к смысловому ядру запроса, а остальные отклики миноритарно выстраивать в очередь приоритетов, отсекая заведомо ничтожные.

Предложенные признаки развития семантических сетей позволяют при помощи формирования и обработки документов на основе использования онтологических терминов «машинная обработка смысла» контента снизить разрыв между пертинентностью и релевантностью системных откликов на информационные запросы. Таким образом, онтологии рассматриваются как одна из ключевых технология для использования в Семантических сетях и Онтонет сетях, всех областей знаний, включая учебную. Особо

важным при использовании семантических сетей является формализация процессов информационного обмена, проявляющих элементы сложности в моделируемой системе. С целью решения этой задачи автору видится наиболее выгодным использование вероятностной модели информационного морфизма, как инструмента моделирования образовательных сетей и систем.

Вероятностная модель информационного морфизма V_i взаимодействия двух объектов A и B в информационной среде определяется следующим образом [4]:

$$V_i = \frac{C_i}{(E_a + f \cdot E_b)},$$

где C_i – относительное количество информации вида $I_{[k-(k+1)]}$ в дуплексном информационном пространстве;

k – максимально возможное количество уровней у одноветвной вертикали архитектуры семантической сети;

E_a и E_b – относительные (долевые) распределения информации в потоках;

f – сложный коэффициент, который определяется как мера энтропийно-семантического соответствия через коэффициент точности информационного обеспечения или коэффициенты полноты, шума, соответствия (в зависимости от специфики поставленных задач).

Коэффициент f в первом приближении равен: $f = \mathrm{e}^{-L\cdot(\vec{G}_{ai}+\vec{G}_{bi}+\vec{G}_{ci})}$,

где L - коэффициент Лагранжа,

$\vec{G}_{ai}$ и $\vec{G}_{bi}$ - характеристические коэффициенты информационных потоков в направлениях от A к B и от B к A в декартовой системе координат,

а $\vec{G}_{ci}$ - поток, распространяющийся в произвольном направлении, не совпадающим с плоскостью, на которой описаны внутриуровневые взаимодействия.

Вероятностная модель информационного морфизма V_i, будет иметь вид:

$$V_i = \frac{C_i}{(E_a + E_b \cdot e^{[-L\cdot(\vec{G}_{ai}+\vec{G}_{bi}+\vec{G}_{ci})]})}.$$

Следовательно, математическое описание информационных морфизмов на переходах из слоя в слой в представлении семантической сети Онтонет в виде многоуровневого «сэндвича» Бернерса-Ли, имеет следующую форму записи [5]:

$$V_i^{[(k-(k+1)]} = \frac{C_i^{[(k-(k+1)]}}{(E_k + f^{[(k-(k+1)]} \cdot E_{k+1})} = \frac{C_i^{[(k-(k+1)]}}{(E_k + (\mathrm{e}^{(-L\cdot(G_{ai}+G_{bi}+G_{ci})\{[k-(k+1)])} \cdot E_{k+1})}.$$

Обобщение приведенного выше математического описания выглядит следующим образом:

$$\sum_{л=1}^{m} V_i^{[(k-(k+1)]} = Z_n \cdot \frac{\sum_{л=1}^{m} C_i^{[(k-(k+1)]}}{(E_k + f^{[(k-(k+1)]} \cdot E_{k+1})},$$

где m – число уровней;

Z_n = [0:1] – весовой коэффициент, отражающий передачу свойств объекта при межуровневом информационном взаимодействии в расслоенной системе.

При этом, $Z_n = 0$ – незначимый морфизм;

$Z_n = 1$ – значимый морфизм.

В связи с вышеизложенным, предложенные решения предоставляют возможность формализации описания межуровневых взаимодействий в образовательных сетях Онтонет, основывающейся на модификации обобщенной формулы информационного морфизма информационных объектов. В результате получены обновления методов и семантико-энтропийное регулирование, позволяющие моделировать и проектировать, внедрять и сопровождать в пределах полного жизненного цикла развитые в приближении к уровню WEB 3.0 модификации семантических образовательных сетей, ориентированных на извлечение знаний.

Список литературы

1. Иванников А.Д., Кулагин В.П., Мордвинов В.А., Найханова Л.В., Овезов Б.Б., Тихонов А.Н., Цветков В.Я. Получение знаний для формирования информационных образовательных ресурсов // М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2008. – 440 с.

2. Berners-Lee T., Hendler J., Lassila O. The Semantic Web: Overview / Semantic Web. // The Scientific American. – 2008. - №5 – p. 32–45.

3. Войтович А.Ю. Онтонет – развитие семантических сетей учебного назначения // 59 НТК, Сборник трудов, Часть 1 «Информационные технологии и системы. Вычислительная техника» М.,2010 - с. 111-115

4. Войтович А.Ю., Кулагин В.П., Мордвинов В.А. Информационные системы и сети. ONTONET // ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», МГДД(Ю)Т, МИРЭА. М., 2009. – 107 с.

5. Войтович А.Ю., Сигов А.С. Математическое обеспечение передачи и извлечения знаний в семантических сетях. "Известия Орел, ГТУ, Информационные системы и технологии" №3\59 2010 г., с.31-35.

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ ТЕСТОВ

Воронова С.А.
Научный руководитель: Аксёнов С.В., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sophie@sibmail.com

Введение

В учебном процессе важную роль играет проверка знаний студентов, поэтому особое место в развитии компьютерных технологий в образовании занимает разработка специализированных систем проверки знаний студентов (систем тестирования).

Для обеспечения эффективности тестирования необходимо создать комплекс средств, включающих генерацию тестов, в том числе разнообразие вариантов, собственно тестирование и отображение результатов.

Создание тестов для различных разделов учебных дисциплин могут иметь существенную специфику. Например, в дисциплинах, связанных с реляционными технологиями присутствует раздел определения связи между таблицами (сущностями) БД. Любая структура состоит из элементарных парных связей, поэтому выявление связей между парами может быть основой теста.

В настоящей работе предполагается создать средство генерации тестов для проведения тестирования студентов по разделу «Структуры данных» дисциплины Базы Данных.

Для создания приложения необходимо выполнить следующие этапы:

- формирование исходного множества сущностей и определение типа связей между парами сущностей;
- разработка алгоритма формирования вариантов из сущностей, а также формирования вариантов в конкретный тест;

В настоящем проекте реализован второй этап разработки приложения.

Для реализации проекта выбрана форма веб-приложения. Она наиболее удобна по следующим причинам:

- реализация удобного интерфейса;
- возможность использования веб-доступа;
- простота при реализации.

Описание

Разработанное приложение позволяет выполнять следующие действия:

- создание и редактирование тестов;
- создание вариантов тестов;
- просмотр состава выбранного теста и варианта.

Работа с приложением

При запуске приложения пользователю предлагается выбрать из списка нужную предметную область, к которой будет иметь отношение создаваемый тест. Это реализовано путем обращения посредством SQL-запроса к таблице, хранящей данные о предметных областях.

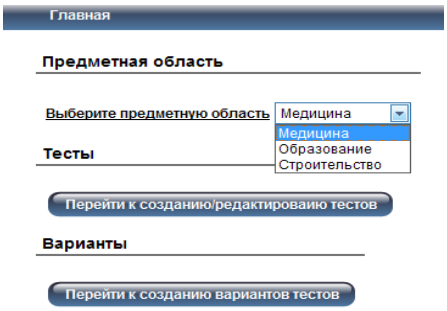


Рис. 1. Вид главной страницы приложения.

Имеется возможность перехода к созданию и редактированию вариантов тестов либо самих тестов.

Создание и редактирование тестов

При переходе по ссылке к созданию и редактированию тестов открывается страница, содержащая интерактивный отчет, позволяющий пользователю просматривать все имеющиеся тесты, а также вносить изменения и создавать новые записи.

При нажатии на кнопку «Создать» открывается форма создания нового теста.

При нажатии на колонку редактирования в отчете открывается та же форма, но с заполненными данными выбранного теста и отображенными кнопками «Сохранить» и «Удалить», необходимыми для редактирования. Это делается с помощью передачи в момент нажатия кнопки значения идентификатора выбранного теста в скрытый (hidden) элемент на странице «Создать/редактировать тест».

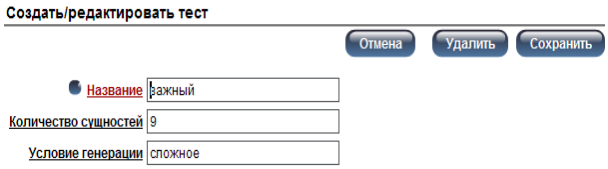


Рис. 2. Вид формы для создания и редактирования тестов.

Создание и редактирование вариантов тестов

При нажатии кнопки «Перейти к созданию вариантов тестов» осуществляется переход на страницу, содержащую всю необходимую информацию для формирования варианта.

Прежде всего, отображается выбранная в самом начале предметная область, значение которой также передается при переходе и хранится в скрытом элементе страницы.

В секции под названием «Тест» предлагается выбрать нужный тест из списка существующих либо перейти к созданию нового, минуя главную страницу.

В секции под названием «Вариант» можно выбрать существующий вариант из списка либо редактировать выбранный вариант.

В секции «Условия генерации теста» отображается информация о выбранном тесте, такая как количество сущностей, для формирования идентичных вариантов.

Рис. 3. Вид области «Условия генерации теста».

На странице также отображается список сущностей, относящихся к данной предметной области.

Названия сущностей в таблице являются ссылками, при нажатии на которые в области «Состав сущности» отображаются атрибуты, входящие в сущность. А также, если выбран тест, отображается список вариантов данного теста, в которые уже вошла выбранная сущность.

Чтобы иметь возможность добавлять сущности в вариант, в области «Состав сущности» имеется кнопка «Добавить». Нажимая ее, пользователь добавляет сущность в временную таблицу базы данных, содержимое которой отображается на экран в области «Выбранные сущности».

Рис. 4. Вид областей «Состав сущности» и «Выбранные сущности».

В отчете «Выбранные сущности» возможно просмотреть содержимое сущности, кликнув на ее названии. В области «Просмотр» отобразятся атрибуты сущности, а также данные о ее связи с другими сущностями. Ключевые атрибуты также выделены цветом, чтобы удобно и наглядно было сравнивать сущности в областях «Состав сущности» и «Выбранные сущности».

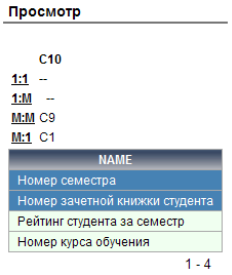


Рис. 5. Вид области «Просмотр».

Справа от области «Выбранные сущности» на странице находится отчет с результатами подсчета количества связей сущностей, уже имеющихся в формируемом варианте. Это позволяет сравнить полученный вариант с тем, что находится в отчете «Условия генерации».

Рис. 5. Вид области «В варианте уже имеется».

Далее пользователь может либо очистить список выбранных сущностей и начать формирование варианта заново, либо сохранить полученный набор сущностей, предварительно убедившись, что значения теста и варианта выбраны из списка.

При нажатии «Сохранить вариант» выполняется переход на страницу сохранения варианта, где предлагается задать сущностям новые имена, которые будут использоваться в данном варианте.

Все операции в приложении выполнены посредством SQL-запросов к таблицам базы.

Заключение

Разработанное веб-приложение позволяет создавать и редактировать тесты с несколько большим удобством для разработчика, чем создание их вручную с необходимостью принимать во внимание некоторые детали, которые автоматически учитываются при использовании приложения .

В дальнейшем планируется доработка веб-приложения: добавление возможностей создания и редактирования базовых сущностей, а также реализация таких этапов как собственно проведения тестирования и анализа результатов.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ОБРАБОТКЕ СООБЩЕНИЙ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Воронов Э.С.
Научный руководитель: Мирошниченко Е.А. к.т.н, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aTEuCT@sibmail.com

Анализ естественно-языковых текстов представляет собой очень актуальную проблему. Особенно в последнее время в виду большого роста объемов текстовой информации и сложной структурированности естественно-языковых текстов [1]. Анализ естественно-языковых текстов представляет собой очень актуальную проблему. Особенно в последнее время в виду большого роста объемов текстовой информации и сложной структурированности естественно-языковых текстов.

Область применения систем анализа естественно-языковых текстов достаточно разнообразна. Генерализировано, можно выделить информационно поисковые системы, вопросно-ответные системы, системы автоматизированного машинного перевода, системы извлечения содержательной информации из текстов.

Примером применения анализа естественно-языковых текстов является рубрикация текстов – описание содержания документа через элементы некоторого замкнутого списка тем – рубрикатора. Т.е. классификация текстов по тематическим группам. Разделение производиться за счет выявления признаков текста и сопоставление им весов отношения к тематическим группам. Рубрикация является распространенной технологией упорядочивания информации.

Значительное количество служб и органов имеет дело с большим потоком сообщений, написанных на естественном языке. В качестве примера можно привести обработку жалоб и заявлений граждан в администрациях всех уровней, начиная с уровня Администрации Президента РФ; обработку оперативных сообщений в штабах войсковых подразделений; обработку оперативных сообщений в органах МВД и т.д. Поступающие сообщения необходимо классифицировать, обработать, сохранить и отслеживать, кроме того, необходима возможность поиска сообщений по различным признакам. Наконец, нередко возникают задачи статистической обработки сообщений в аспектах времени, пространства, обстоятельств и других признаков с целью выявления закономерностей.

Можно с уверенностью утверждать, что без привлечения информационных технологий эффективность решения указанных задач является чрезвычайно низкой.

Первичная обработка (уровень сообщения)

Под обработкой сообщений в рамках разрабатываемой системы подразумевается выявление ключевых элементов сообщения. Например, для службы МЧС ключевыми элементами могут быть места происшествий, масштаб происшествий и т.д. Таким образом, целью обработки сообщения является выделения его смысла в рамках области применения, а не смысла в целом.

Центральным элементом в заданной концепции обработки является классификатор. Под обработкой сообщений подразумевается выполнение следующих задач:

1. поиск в тексте сообщения известных объектов на основе заданного классификатора;
2. поиск в тексте возможных ошибок и опечаток на основе заданного классификатора;
3. поиск в тексте новых объектов для пополнения классификатора.

Первая задача решается морфологическим анализом. Для поиска ошибок и опечаток применяется нечеткое сравнение строк. Последняя задача осуществляется применением регулярных выражений.

Морфологический анализ

В большинстве естественных языков наблюдается такое явление, как морфологическая изменяемость слов. Данное явление сильно выражено в русском языке, который относится к группе флективных языков со сложной системой флексий. Морфологический анализ обычно выполняет преобразование множества всех слов языка во множество лемм – нормализованных форм слов. Применение морфологического анализа позволяет достигнуть следующие цели:

1. Увеличение полноты поиска. Так как отбираются все формы слова, то в результат поиска попадают не только слова в совпадающей с запросом форме, но и другие формы данного слова;
2. Уменьшение размера индексной информации и ускорение обработки запроса. Так как количество лемм меньше количества слов, то лемматизация приводит к уменьшению размера индекса и увеличению скорости обработки запроса [2].

В настоящее время можно выделить два основных принципа построения модулей морфологического анализа для русского:

1. Процедурный подход. При таком построении модуль содержит набор правил морфологических преобразований. Для русского языка в основном это таблицы суффиксов и условий их отсечения, с помощью которых данная словоформа преобразуется к некоторой нормальной форме;

2. Декларативный подход. При этом преобразование словоформы в лемму производится с помощью специальной таблицы (словаря), которая содержит отображение множества словоформ на множество лемм.

Сложность естественного языка приводит к тому, что ни один из описанных подходов не может «охватить» его целиком. Для русского языка известно более 1000 правил словообразования с множеством исключений, что делает создание полного набора правил крайне сложным. Постоянное развитие языков и большой размер словарей делает невозможным «чистое» использование декларативного подхода.

Разрабатываемая система использует процедурный алгоритм морфологического анализа Стеммер Преобразование словоформы в лемму производиться применением последовательного ряда правил, которые отсекают окончания и суффиксы, основываясь на особенностях языка.

Нечеткое сравнение строк

Использование морфологического анализа не позволяет определять принадлежность слова к объекту, если в написании слова имеются ошибки или опечатки. Для поиска таких слов применяется нечеткое сравнение строк.

Нечеткое сравнение строк является операцией определения степени схожести двух исходных строк. Соответственно, результат операции не характеризуется четким определением соответствия (истина или ложь). В различных алгоритмах нечеткого сравнения результатом может быть как абсолютное – количество операций редактирования, так и относительное значение – степень схожести.

Для сравнения строк обычно используют метрики, оценивающие минимальную стоимость преобразования одной строки в другую. В общем случае, операциям редактирования, используемым в этом преобразовании, а именно замене символов, их вставке и удалению, можно назначить разные цены. Последние две операции иногда объединяют в одну.

Расстояние Хемминга между двумя строками одинаковой длины определяется как число позиций, в которых символы не совпадают. Это эквивалентно минимальной цене преобразования первой строки во вторую в случае, когда разрешена только операция замены с единичным весом. Если допускается сравнение строк разной длины, то, как правило, требуются также вставка и удаление. Если придать им тот же вес, что и замене, минимальная общая цена преобразования будет равна одной из метрик, предложенных Левенштейном. Другая метрика равна минимальной цене преобразования в случае, когда разрешены только вставка и удаление. Это эквивалентно назначению цены 1 удалению и вставке, и 2 замене, так как последнюю можно заменить парой вставка-удаление.

Альтернативным подходом нечеткого сравнения строк является метод сравнения строк по их подстрокам.

В методе сравнения по подстрокам последовательно выделяются все подстроки $x(i,j)$. Для каждой выделенной подстроки проводится поиск подстроки $y(i',j')$ равной $x(i,j)$. Затем подстроки выделяются из строки y, а поиск выполняется в строке x.

Результатом является отношение количества выделенных «главных» подстрок к количеству «главных» подстрок, для которых найдены равные подстроки из другой строки.

Таким образом для функции $f(x,y)$ реализующей такое сравнение можно выделить следующие свойства:

1. $f(x,y) \in [0,1], \forall x,y$
2. $f(x,y) = 1 \Leftrightarrow x = y$
3. $f(x,y) = f(y,x), \forall x,y$

Нечеткое сравнение проводится с использованием методов: алгоритм Вагнера-Фишера и алгоритм сравнения по подстрокам. Одновременное применение альтернативах методов обусловлено эффектом дополнения, связанным с наличием у алгоритмов тенденций к завышению степени схожести строк в зависимости от их длинны.

Регулярные выражения

Центральным звеном системы обработки сообщений является набор классификаторов. Пополнение классификаторов новыми объектами – необходимое условие успешного применения системы в долгосрочном периоде. Помимо ручного добавления новых объектов, необходимо использовать возможность их автоматического или автоматизированного выявления в тексте обрабатываемых сообщений. Для решения этой задачи используются регулярные выражения.

Вторичная обработка (уровень почтового ящика)

Помимо первичной обработки сообщений абстрагировано одного от другого система решает задачу вторичной обработки, в состав которой входят:

1. Классификация сообщений;
2. Кластеризация сообщений.

В обоих случаях собственно сообщения не рассматривается. Оно заменяется результатом первичной обработки, т.е.списком найденных в нем объектов, сгруппированным по категориям.

Классификация

Классификация предназначена для разделения всех сообщений на отдельные подмножества. Причем каждое сообщение может входить как в один, несколько или все классы, так и не в один. Другими словами результат классификации –

набор пересекающихся подмножеств, в общем случаи не охватывающие исходное множество.

Набор классов не является статическим. Каждый класс определяется пользовательским, который содержит признаки наличия или отсутствия в классе, как отдельных объектов, так и объектов принадлежащих отдельным категориям в целом.

Таким образом, классификация позволяет решать задачи распределения сообщений по категориям, в зависимости от требований предметной области и бизнес процессов.

Кластеризация

Кластеризация предназначена для группировки сообщений в различных срезах. В отличии от классификации результат кластеризации – набор не пересекающихся подмножеств, полностью охватывающих исходное множество.

Для проведения кластеризации каждому сообщению необходимо сопоставить вектор в n-мерном пространстве кластеризуемых признаков. Такими признаками могут являются объекты сгруппированные по категориям, либо каждое по отдельности.

В зависимости от знаний о природе кластеризуемых признаков выбирается алгоритм кластеризации:

1. метод К-средних;
2. агломеративный метод;

При наличии сведений о предполагаемом количестве кластеров (групп) предпочтительней выбор метода К-средних, как менее требовательный к ресурсам и времени. Агломеративный метод самостоятельно определяет оптимальное число кластеров, но является более затратным.

Список литература

1. Толпегин П.В. Информационные технологии анализа русских естественно-языковых текстов – Российская академия наук вычислительный центр им. А.А. Дородницына, 2006;

2. Губин М.В., Морозов А.Б. Влияние морфологического анализа на качество информационного поиска – Консорциум «Кодекс»;

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ ДВУХКОНТУРНЫХ САУ

Гладышев И.С., Мишанов М.С., Байдали С.А.
Научный руководитель: Байдали С.А., старший преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gladyshev@tpu.ru

В настоящее время имеются различные методы и способы определения оптимальных настроечных параметров регуляторов двухконтурных и многоконтурных систем автоматического управления. В большинстве своем их недостаток состоит в том, что они не дают возможности найти оптимальные настройки регуляторов для нескольких контуров одновременно; для нахождения этих настроек необходимы различные громоздкие промежуточные вычисления и графические построения. Кроме того, большинство из них основываются на устаревших либо несущественно доработанных методиках, некоторые из них являются неформализованными явным образом, поэтому вопрос разработки и реализации новых остается актуальным.

В данной статье рассматривается несколько методов:

1. Метод расчета по номограммам [1].
2. Метод расчета по фазо-частотным характеристикам [2].
3. Метод оптимального модуля [3].
4. Метод расчета при отсутствии ограничения на различие инерционности главного и вспомогательного каналов объекта [4].
5. Метод расчета двухконтурных систем численным методом с использованием эволюционного алгоритма [5].

Методы 4 и 5 являются неформализованными, что создает трудности при моделировании системы управления. Четвертый метод не подходит также потому, что рассматривается система, в которой объект внутреннего контура обладает меньшей инерционностью по сравнению с объектом внешнего контура.

Структурная схема двухконтурной системы показана на рисунке 1.

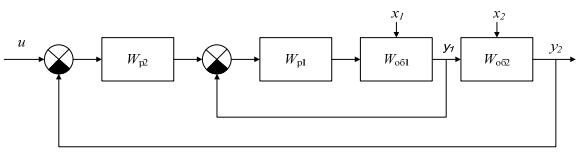


Рис. 1. Структурная схема двухконтурной системы автоматического управления

В данной системе два регулятора – корректирующий (внешний) регулятор $W_{р2}$, служащий для стабилизации основного выхода объекта y_2, и стабилизирующий (внутренний)

регулятор $W_{р1}$, предназначенный для регулирования вспомогательной координаты y_1.

Метод расчета такой системы по номограммам заключается сначала в выборе типа каскадной системы автоматического управления, а затем – в расчете выбранного типа системы автоматического управления. Оба этих этапа проводятся с помощью определения на разработанной автором номограмме точек, соответствующих заданным динамическим параметрам объекта.

В промышленности получили распространение следующие типы двухконтурных систем автоматического управления: П–ПИ (первый регулятор является стабилизирующим, второй – корректирующим), ПИ–ПИ (с пропорциональной и интегральной составляющими), ПИ–ПИД (с пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющими) и ПИД-ПИД.

Нужно отметить, что данный метод хорош тем, что позволяет определить не только тип двухконтурной системы, но также и область применения одноконтурных.

Для определения оптимальных настроечных параметров регуляторов типовых двухконтурных систем по номограммам необходимо знать динамические параметры объекта управления: чистое запаздывание в стабилизирующем (τ_1) и корректирующем (τ_2) контурах, коэффициент передачи ($K_{об1}$) и постоянную времени ($T_{об1}$) стабилизирующего контура.

Настроечные параметры регуляторов, найденные из этих номограмм, дают оптимальный переходный процесс, обеспечивающий

$$\min \int_0^\infty y^2 d\tau .$$

В методе расчета по фазо-частотным характеристикам при составлении уравнений многоконтурных систем регулирования следует путем замены дополнительных контуров эквивалентными элементами преобразовывать их в одноконтурные, а затем написать уравнения разомкнутых и замкнутых систем.

В таких системах регулирования при постоянном значении основной регулируемой величины на выходе объекта промежуточная регулируемая величина может изменяться в широких пределах. Поэтому недопустима установка двух астатических регуляторов, так как в этом случае разомкнутая система для статического объекта получается астатической системой второго порядка астатизма. Это ухудшит настройки и переходные процессы, а для астатического объекта разомкнутая система будет иметь третий порядок астатизма, что может сделать ее структурно неустойчивой. Поэтому стабилизирующий регулятор всегда должен быть статический с П- или ПД-законом регулирования.

Предположим, что оба регулятора реализуют ПИ-закон регулирования. Для того чтобы сделать стабилизирующий регулятор статическим, для него вводится жесткая обратная связь по положению регулирующего органа с передаточным коэффициентом:

$$K_{ОС} = \frac{1}{K_{р1}}$$

Порядок расчета параметров настройки данным методом можно найти в источнике [2].

Моделируя систему, рассчитанную данным методом, приходим к неудовлетворительному результату – система оказывается неустойчивой.

Метод оптимального модуля реализован в пакете Matlab и используется совместно с приложением данного пакета Simulink, что позволяет быстро и точно найти настроечные параметры регуляторов обоих контуров.

В качестве исследуемых объектов были выбраны объекты, описываемые инерционными звеньями первого порядка с запаздыванием, со следующими параметрами:

$$K_{об1} = 1;\ T_{об1} = 50 \text{ с};\ \tau_1 = 110 \text{ с};$$

$$K_{об2} = 35;\ T_{об2} = 200 \text{ с};\ \tau_2 = 200 \text{ с},$$

где $K_{об1}$, $T_{об1}$, τ_1 – параметры объекта стабилизирующего контура; $K_{об2}$, $T_{об2}$, τ_2 – параметры объекта корректирующего контура

Моделирование системы автоматического управления проводилось в пакете Matlab/Simulink.

На рис. 2 представлены графики переходных процессов по управляющему воздействию.

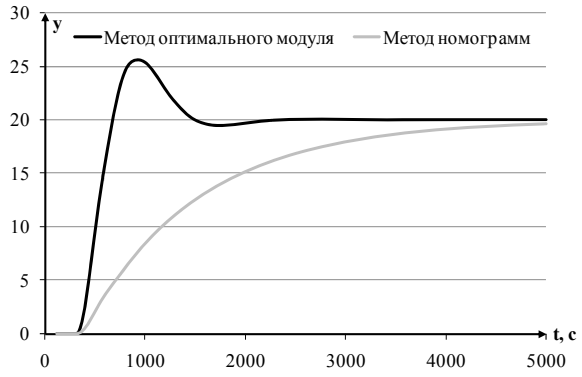


Рис. 2. Переходные процессы по управляющему воздействию

Так же для данных методов было произведено дополнительное моделирование с подачей, как управляющего, так и возмущающего воздействий. Результаты моделирования приведены на рис. 3.

Из графика переходных процессов видно, что наиболее оптимальным для двухконтурной системы автоматического управления является метод оптимального модуля, поскольку он является более быстродействующим, несмотря на то, что наблюдается перерегулирование.

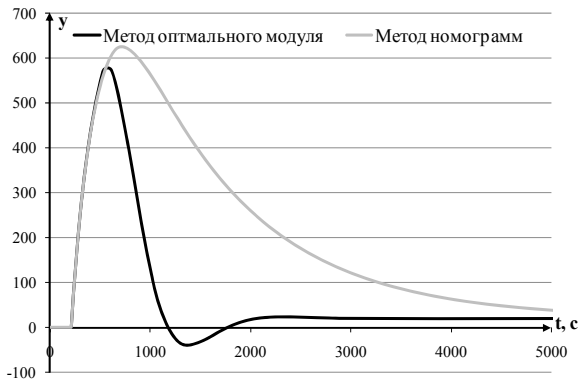


Рис. 3. Переходные процессы по управляющему и возмущающему воздействиям

Вообще, отдавать предпочтение тому или иному методу нужно исходя из технологического регламента. Так, например, если большое отклонение выходной координаты от уставки является недопустимым, то нужно использовать метод, обеспечивающий наименьшее перерегулирование, несмотря на увеличение времени регулирования процесса.

Выводы

1. Проведен обзор и моделирование методов настройки параметров регуляторов двухконтурных систем автоматического управления.
2. Среди выбранных методов настройки регуляторов двухконтурных систем выявлены наиболее оптимальные.
3. Выявлено, что большинство методик настройки являются неформализованными явным образом либо обеспечивающими неудовлетворительный результат.

Литература

1. Хасмамедов Ф.И. Автоматизация управления трубчатыми печами. – М.: Химия, 1980.
2. Широкий Д.К., Куриленко О.Д. Расчет параметров промышленных систем регулирования. – Киев. Техника, 1972.
3. Байдали С.А., Дядик В.Ф., Криницын Н.С. Параметрический синтез двухконтурной каскадной системы автоматического управления // Изв. вузов. Физика. – 2010. – № 11/2 – С. 197–202.
4. Ротач В.Я. Расчет каскадных САР // Теплоэнергетика. – 2010. – №10.
5. Смирнов Н.И., Сабанин В.Р. Структурная и параметрическая оптимизация каскадных САР с использованием эволюционных алгоритмов // Автоматизация и IT в энергетике. – 2010. – №5.

МНОГОВАРИАНТНОЕ ТИПИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА

Горюнов Е.К
Научный руководитель: Аксенов С.В., доцент
Томский политехнический университет, Институт кибернетики
E-mail: egorunov@sibmail.com

Как известно, под личностью понимается человек как носитель определённых свойств, способностей. Человеческое разнообразие является огромным, нестационарным, разносторонним и потому всякая систематизация его неизбежно приводит к весьма условным модельным построениям, включая общие психологические, социально-психологические, интеллектуальные типы и частные узко специализированные типы, например, научных работников.

Каждый многовариантный тип личности (МВТЛ) характеризуется гибким объединением многих вариантов модельно-личностных типов с их разнообразным взаимосовмещением и взаимодействием. Необходимы, разумеется, специальные разработки классов МВТЛ и в общем многовариантной типологии Человека с опорой на хорошо освещенные шестнадцать (16) вариантов интеллектуальных модельно-личностных типов в рамках психоинформационных дисциплин - соционики и типоведения.

Одна из опасностей, которую таит в себе Типоведение - тенденция относиться к четырём буквам характеристики как к непреложной истине... Это не только нарушает базовые принципы Типоведения, но и приносит в реальной жизни больше бед, чем пользы. Ничто так не отвращает, как попытка втиснуть личность в прокрустово ложе четырёх букв, которые кто-то пытается представить как сумму и суть его человеческой личности.

На основе четырёх пар характеристических признаков

Интровертный (Ив) или Экстравертный (Эв)
Сенсорный (С) или Интуитивный (И)
Мыслительный (М) или Чувствующий (Ч)
Решающий (Р) или Воспринимающий (В)

получается 16 символически обозначенных вариантов личностных типов:

ИвСМР; ИвСЧР; ИвИЧР; ИвИМР;
ИвСМВ; ИвСЧВ; ИвИЧВ; ИвИМВ;
ЭвСМВ; ЭвСЧВ; ЭвИЧВ; ЭвИМВ;
ЭвСМР; ЭвСЧР; ЭвИЧР; ЭвИМР.

Именно этими вариантами заполнено четырёхмерное пространство бинарных признаков-предпочтений.

Методика расчета

Многовариантное типирование интеллекта нацелено на построение многовариантной типологической модели характерных свойств интеллекта *конкретной личности* и осуществляется согласно следующим *методическим положениям*:

1. Выбирается *типологический базис* из качественно однородных *вариантных* типов интеллекта с их детальными характеристиками и примерами. (Базис вариантных типов трактуется преимущественно в *модельном* плане).

2. Каждый вариантный тип интеллекта модельно представляется возможной комбинацией *информативных признаков* (описаний) из конечного набора их пар $\{(X_1^a, X_1^b),...,(X_{\overline{m}}^a, X_{\overline{m}}^b)\}$, включающих *противоположные* признаки X^a, X^b в содержательном смысле (например, X^a - рациональный, а X^b - иррациональный).

3. Интеллект *конкретной личности* (конкретный интеллект) оценивается по каждой m-ой, m = 1,2,... $\overline{m}$ паре признаков (описаний) с постепенным установлением численных значений *долевых признаковых показателей* $[D(X_m^b).D(X_m^b)]$, в пределах от нуля до единицы и в сумме единица, то есть

$$D(X_m^b) + D(X_m^b) = 1 \quad (1)$$

4. Затем для конкретной личности по формуле (2) вычисляется *долевой результирующий показатель* раздельно для всех $2^{\overline{m}}$ вариантных типов *в виде произведения* признаковых показателей, учитывая состав комбинаций информативных признаков (описания).

$$\left\{\begin{array}{l} D(ИвСМР) \approx D(Ив) * D(С) * D(М) * D(Р), \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ D(ЭвИЧВ) \approx D(Эв) * D(И) * D(Ч) * D(В), \end{array}\right\} \quad (2)$$

В ходе таких вычислений возможны корректировки исходных и результирующих величин по *смыслу* участия вариантных типов в *конкретном интеллекте как многовариантном* типологическом формировании.

5. По результатам содержательно интерпретируемых вычислений строится *типологическое распределение* (типологический *спектр)* интеллекта конкретной личности в выбранном базисе вариантных типов интеллекта с их преимущественно *модельной трактовкой.*

6. Полученное типологическое распределение сравнивается (содержательно и по количественным мерам сходства-различия) с аналогичными распределениями других личностей и, возможно, коллективов людей на предмет гибкой *профориентации.*

Под *гибкой профессиональной ориентацией* (профориентацией) понимается содержательно-количественное *соотнесение многовариантной* типологической модели *конкретного* интеллекта со *специальной базой данных и знаний* "типы интеллекта - профессии". По информации о типологическом спектре интеллекта конкретной личности и о предпочтительных для базисных типов интеллекта объектах деятельности и функционально-обеспечивающих компонентах деятельности *строится тройка профориентирующих индивидуальных спектров:*

1. Индивидуальный спектр приемлемости для конкретной личности различных обобщённых объектов деятельности (ЛОД-спектр);
2. Индивидуальный спектр приемлемости для конкретной личности различных функциональных компонентов деятельности (ЛФК-спектр);
3. Индивидуальный спектр приемлемости для конкретной личности различных обеспечивающих компонентов деятельности (ЛОК-спектр).

При построении индивидуальных спектров используются следующие формулы:

$$S(ОД_i) = \sum_{N=1}^{16} D_N * P(N, ОД_i), \quad (3)$$

$$S(Ф_l) = \sum_{N=1}^{16} D_N * P(N, Ф_l), \quad (4)$$

$$S(О_m) = \sum_{N=1}^{16} D_N * P(N, О_m), \quad (5)$$

где $P(N,ОД_i)$, $P(N,Ф_l)$, $P(N,О_m)$ - условные количественные выражения, изменяющиеся от единицы для наиболее предпочтительных объектов и компонентов деятельности до нуля для совершенно неприемлемых объектов и компонентов деятельности с учётом качественных особенностей *N*-ого базисного типа интеллекта; $ОД_i, Ф_l, О_m$ - обозначение *i*-го обобщённого объекта деятельности, *l*-й общей функции деятельности и *m-го* вида обеспечения; D_N -значение долевого результирующего показателя *N*-го *(N*=$\overline{1,\ 16}$) базисного типа интеллекта по типологическому спектру конкретной личности.

Заключение

По результатам исследования разработано программное приложение, которое описывает данную методику на основе:

- версии вопросника по О. Крегеру;
- версии вопросника по Р.К. Седых;
- версии вопросника по Е.С. Филатовой;
- дихотомического теста Филатовой –Накрохиной.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ВЕЙВЛЕТОВ

Григорьев Д.С.
Научный руководитель: Спицын В.Г, д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tryGX@sibmail.com

Введение

С распознаванием объектов на цифровых изображениях сегодня связанно множество задач, решение которых может быть применимо во множестве научных областей: начиная от информационных технологий связанных с машинным зрением, заканчивая медициной - распознаванием различных патологий на рентгеновских снимках.

Под объектом или образом будем понимать отдельную область цифрового изображения.

Цель

Целью данной работы является демонстрация эффективности методов распознавания образов на изображениях связанных с применением искусственной нейронной сети, в совокупности с вектором вейвлет-коэффициентов в качестве входного сигнала поданного на вход нейронной сети.

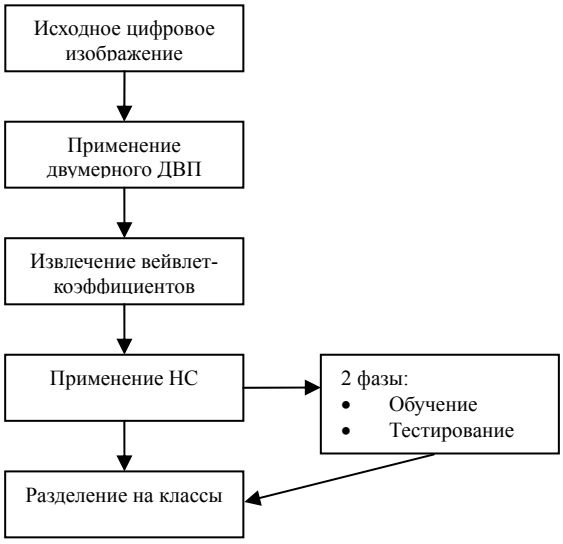


Рис. 1. Общая схема работы системы

Вейвлет-преобразование

Аппаратом первичного анализа изображения было выбрано вейвлет-преобразование. В отличие от преобразования Фурье, базисными функциями которого являются гармонические функции, вейвлет-преобразование основано на разложении по малым волнам, называемые вейвлетами, изменяющейся частоты и ограниченным по времени.

Вейвлет-преобразование упрощает сжатие, передачу, анализ многих изображений. В данной работе мы обращаемся непосредственно к методу кратномасштабного анализа.

Двумерное дискретное вейвлет-преобразование (ДВП)

Так как цифровое изображение представляет собой функцию двух аргументов $f(x,y)$, то, задав двумерные разделимые масштабирующую функцию и вейвлет-функции, обобщим алгоритм быстрого вейвлет-преобразования на двумерный случай.

Семейство базисных функций, определенное с помощью операций сдвигов и изменений масштаба имеет вид:

$$\varphi_{j,m,n}(x,y) = 2^{\frac{j}{2}}\varphi(2^j x - m, 2^j y - n),$$

$$\psi^i_{j,m,n}(x,y) = 2^{\frac{j}{2}}\psi^i(2^j x - m, 2^j y - n),$$

$$i = \{H, V, D\},$$

Причем здесь индекс i служит для идентификации направленных вейвлетов, измеряющих вариации значений функции – изменения яркости для изображения по разным направлениям: вдоль столбцов, вдоль строк и вдоль диагоналей.

Определим ДВП изображения – функции $f(x,y)$ с размерами M*N:

$$W_\varphi(j_0,m,n) = \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\varphi_{j0,m,n}(x,y)$$

$$W^i_\psi(j,m,n) = \frac{1}{\sqrt{MN}}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\psi^i_{j,m,n}(x,y)$$

$$i = \{H, V, D\},$$

где j_0 - приближенный начальный масштаб, и коэффициенты $W_\varphi(j_0,m,n)$ определяют приближение функции $f(x,y)$ в масштабе j_0. Коэффициенты $W^i_\psi(j,m,n)$ - горизонтльные, вертикальные и диагональные детали для масштабов, больших j_0.

ДВП в нашем случае реализуется с помощью частотной фильтрации и прореживающей выборки. При этом происходит вычисление одномерного быстрого вейвлет-преобразования (БВП) по строкам функции, а затем по столбцам от уже полученного результата.

Количество применений блока фильтров определяется для каждой решаемой задачи распознавания отдельно – в зависимости от того, при каком уровне фильтрации будет достигнут лучший результат распознавания, а также насколько приемлемым будет размер вектора коэффициентов для нейронной сети. Причем коэффициенты приближения функции на выходе первого уровня фильтра подаются в качестве входных коэффициентов следующего блока. Результатом является P-масштабное преобразование с масштабами $j = J-1, J-2, \dots, J-P$.

В итоге, каждый этап фильтрации дает на выходе четыре изображения, а точнее четыре «части» исходного изображения $W_\varphi, W_\psi^H, W_\psi^V, W_\psi^D$ – где каждое меньше исходного в 2 раза. Эти изображения представляют собой результат прореживающей выборки с фактором 2 по всем направлениям к массиву, элементами которого являются скалярные произведения изображения $f(x,y)$ на двумерные масштабирующие и вейвлет-функции каждого соответствующего масштаба. Указанные коэффициенты в свою очередь выступают в роли возбуждающего сигнала НС.

Искусственные нейронные сети

Искусственные нейронные сети с их высокой способностью извлекать требуемые значения из сложных или неточных исходных данных, могут быть использованы в качестве классификатора [5] для распознавания образов. Еще одно положительное свойство НС – это выявление свойств изображений, которые могут оказаться сложны для их обнаружения людьми или же некоторыми машинными средствами [1]. Именно поэтому НС являются одними из самых эффективных методов классификации образов.

Применяемая топология НС в данной работе – многослойный персептрон с одним скрытым слоем

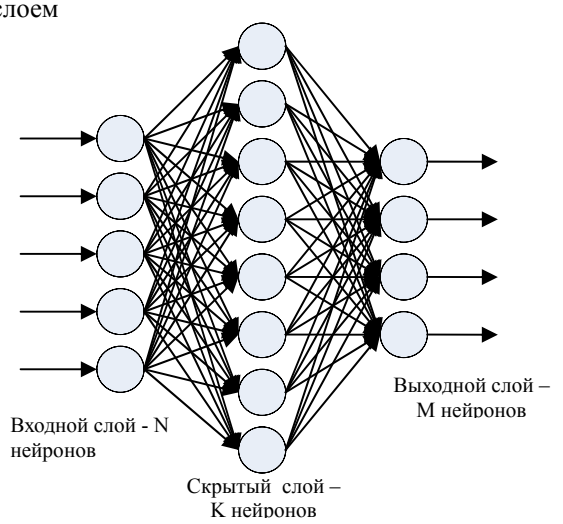


Рис. 2. Схема многослойного персептрона

Выходной сигнал каждого отдельного нейрона выходного слоя y_k вырабатывается как:

$$y_k = f\left(\sum_{i=0}^{K} w_{ki} f\left(\sum_{j=0}^{N} w_{ij} f\left(\sum_{z=0}^{N} w_{jz} x_z\right)\right)\right)$$

В качестве активационной функции каждого отдельного нейрона была выбрана непрерывная сигмоидальная биполярная функция, так как для разработки обучающего правила необходима дифференцируемость относительно всех синаптических весов НС [5]:

$$f(x) = th(x)$$

На стадии применения НС осуществляется обучающая фаза и фаза тестирования. Для обучения НС выбран алгоритм Левенберга-Марквардта. По производительности этот алгоритм превосходит метод наискорейшего спуска и другие методы сопряженных градиентов в различных задачах [5]. Этот алгоритм является более результативным, по сравнению с алгоритмом обратного распространения ошибки [1].

Пусть $\boldsymbol{y} = [y_1, y_2, \dots, y_m]^T$ – вектор фактических выходных сигналов, $\boldsymbol{d} = [d_1, d_2, \dots, d_m]^T$ – вектор ожидаемых выходных сигналов, $\boldsymbol{W}$ – весовые значения.

Целевая функция алгоритма:

$$E(\boldsymbol{W}) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{M} [e_i(\boldsymbol{W})]^2$$

где $e_i(\boldsymbol{W}) = [y_i(\boldsymbol{W}) - d_i]$.

После обучения НС, итогом работы системы будет являться распределение тестовых изображений относительно заданных классов.

Заключение

Разрабатываемая система должна будет распознавать образы относительно применяемой обучающей выборки и заданных классов. Реализация системы осуществляется при помощи пакета MS Visual Studio 2008.

Список литературы

1. Niyazi Kilic, Pelin Gorgel, Osman N. Ucan, Ahmet Sertbas. Mammographic Mass Detection using Wavelets as Input to Neural Networks. Journal of Medical Systems. 2009 г.

2. Р. Гонсалес, Р. Вудс. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006 – 1072 с.

3. К. Блаттер. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2004 – 280 с.

4. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: «Регулярная и хаотическая динамика», 2001 – 464 с.

5. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс Изд. 2-е. – М.: «И.Д. Вильямс», 2006 – 1104 с.

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ НЕРАВНОВЕСНОЙ МОДЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ

Грязнова И.А., Вольф А.В., Новикова К.А.
Научный руководитель: Самборская М.А., к.т.н, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ingeborga_5@sibmail.com

Традиционный метод моделирования тарельчатых ректификационных колонн основан на равновесном подходе, в котором считается, что паровая фаза, покидающая ступень разделения, находится в равновесии с жидкостью, которая уходит с тарелки через сливной стакан. На практике время контакта между паровой и жидкой фазами не столь велико, чтобы добиться достижения равновесия.

В последние годы развивается неравновесный подход к моделированию тепло- массообменных процессов: разрабатываются модели, основанные на расчете скоростей тепло-, массопереноса. Такой подход требует принятия некоторой модели поверхности раздела фаз и ряда допущений, касающихся процессов переноса на этой поверхности. Так, например, часто допускают, что мольные доли в паровой и жидкой фазах на границе раздела фаз (ГРФ) находятся в равновесии друг с другом, поэтому для определения мольных долей на ГРФ используются уравнения фазового равновесия:

$$y_i^I = K_i x_i^I$$

K_i – парожидкостное равновесное соотношение для компонента *i*; x_i, y_i – мольные доли *i*-компонента в жидкости и паре, соответственно, моль*моль$^{-1}$; надстрочный индекс I означает составы на ГРФ.

Однако расчет градиента концентраций в потоке и на ГРФ требует определения ряда величин, таких как коэффициенты диффузии компонентов, площадь поверхности ГРФ и т.п., которые не поддаются прямым измерениям и дают большие погрешности при использовании расчетных методов, когда исследователь имеет дело с ректификацией многокомпонентных смесей. Кроме того, в литературных источниках приводятся результаты, как подтверждающие, так и опровергающие целесообразность использования моделей, учитывающих скорости переходных процессов на ГРФ [1, 2].

Наряду с моделями, основанными на учете скоростей переноса тепла и массы, для проектирования промышленных процессов широко используются такие традиционные концепции, как концепция эффективности и высоты эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ). Применение подходов, использующих данные концепции, оправдано для неравновесных моделей ректификации смесей, количественный и качественный состав которых не поддается идентификации, таких как нефть и нефтепродукты. Разработка неравновесной модели ректификации подобных смесей представляется очень сложной задачей. Целью данной работы является построение и оценка адекватности неравновесной модели ректификации нефти.

Модель разработана с использованием традиционной концепции относительных эффективностей тарелок по Мэрфри.

Их рассчитывают, используя полученные паровые концентрации:

$$E_{MG} = \frac{y_2 - y_1}{y_1^* - y_1} \quad (1)$$

Эффективность по Мэрфри представляет собой отношение изменения концентрации компонента в паре при прохождении его через тарелку к тому изменению концентрации, которое могло бы произойти, если бы уходящий пар находился в равновесном состоянии по отношению к жидкости, покидающей тарелку:

В [3] рассмотрены две разновидности КПД Мэрфри – по паровой и жидкой фазе: по паровой фазе уравнение совпадает с уравнением (1), а по жидкой фазе E_{ML} представляет собой отношение фактического изменения концентраций жидкости при прохождении тарелки к изменению этой же концентрации при равновесном составе паровой и жидкой фаз:

$$E_{ML} = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_{n+1} - x_n^*} \quad (2)$$

КПД (1) и (2) связаны между собой следующим соотношением: $\frac{E_{ML}}{E_{MG}} = E_{ML} + \frac{mG}{L}(1 - E_{ML})$,

где m – тангенс угла наклона линии равновесия;
G, L – массовые расходы пара и жидкости, соответственно, кг/с. Этот метод разработан и может применяться для ректификации бинарных смесей.

Метод расчета эффективностей для многокомпонентной ректификации, предложен в [4]:

$$E_{TBK} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{c} (\Delta y_{ij})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{c} (\Delta y^*_{ij})^2}} \quad (3)$$

Эффективность, рассчитанная по этому уравнению, имеет ясный физический смысл – это отношение длин рабочего профиля состава пара (в

мольных единицах) к профилю состава, полученного для теоретических ступеней разделения. Эффективность имеет единственное значение для каждой стадии, независимо от числа компонентов смеси. Для бинарной смеси эффективность, рассчитанная по (3), вырождается в эффективность по Мэрфри. Для расчетов по (3) необходима детальная модель процесса.

Объектом исследования стала тарельчатая ректификационная колонна, работающая на нефтеперерабатывающем заводе ООО «Томкснефтепереработка». Она имеет 31 клапанную тарелку четырех типов (А, Б, В, Г), отличающиеся друг от друга количеством клапанов и их расположением на тарелке. Модель колонны, разработанная в среде PRO II, приведена на рис.1.

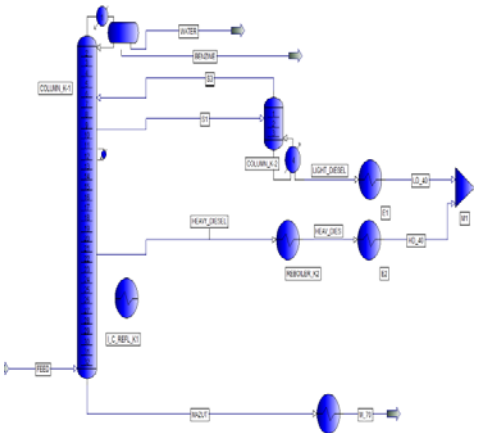


Рис. 1. Колонна фракционирования нефти

Для тарелок всех типов был выполнен расчет эффективностей клапанных тарелок, которые затем использовались для оценки адекватности модели.

Из результатов расчета (согласно равновесному подходу – без задания эффективностей тарелок, и неравновесному – с использованием рассчитанных эффективностей для каждой реальной тарелки при меньших и больших скоростях пара) была выделена информация о составе продуктовых потоков колонны, полученных в результате фракционирования нефти: бензиновой фракции, тяжелой и легкой дизельных фракций. Полученные результаты по продуктовым потокам сравнивались с регламентными требованиями, заложенными в проекте, и реальными заводскими данными из технической информации (ТИ).

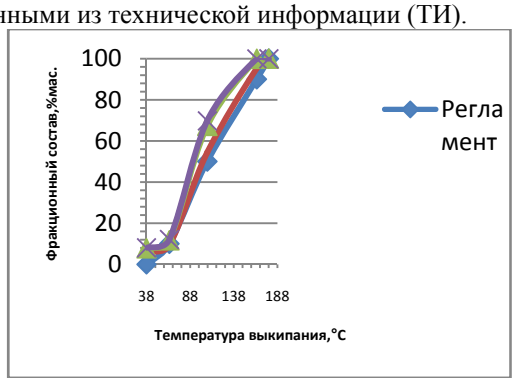


Рис. *2. Сравнение результатов расчетов с регламентными требованиями по фракционному составу для бензиновой фракции*

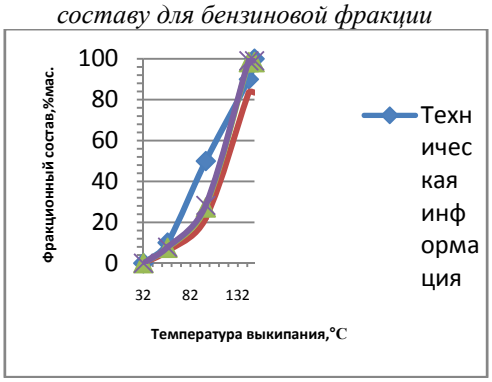


Рис. 3. Сравнение результатов расчетов с реальными данными по фракционному составу (ТИ) для бензиновой фракции

Лучшие результаты для легкой дизельной и бензиновой фракций дает равновесная модель в сравнении с регламентом, для тяжелой дизельной фракции наблюдается обратная картина. Между результатами расчета на равновесной модели и реальными данными с завода лучшая сходимость наблюдается для дизельных топлив.

Основным итогом исследования явился тот факт, что более простая в разработке равновесная модель может давать неплохие результаты. Это подтверждает мнение ряда исследователей, что погрешности, вносимые в модель при неравновесном подходе способны привести к уменьшению адекватности модели. В целом, неравновесную модель многокомпонентной ректификации также можно считать адекватной, хотя и требующей дальнейшего уточнения.

Список литературы:

1. Modeling of Mass Transfer in Nonideal Multicomponent Mixture with Maxwell-Stefan Approach* SEPARATION SCIENCE AND ENGINEERING *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 18(3) 362—371 (2010)

2. Rueda, L.M.; Edgar, T.F.; Eldridge R.B. (2004). On-line Parameter Estimation and Control for a Pilot Scale Distillation Column, *AIChE Annual Meeting, Austin,TX*

3. Молоканов Ю.К. , Кораблина Т.П. Разделение смесей кременийорганических соединений. – М.: Химия, 1974. – 295 с.

4. R. Taylor, R. Baur, R. Krishna Influence of mass transfer in distillation: Residue curves and total reflux AIChE Journal, Volume 50, Issue 12, pages 3134–3148, December 2004.

РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Демьянович Д.Н.
Научный руководитель: Вадутов О.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050,Россия,пр.Ленина, 30
E-mail: sparrow@tpu.ru

Введение

В настоящее время в импульсных преобразовательных системах широко применяются аналоговые ПИ-регуляторы, сочетающие простую аппаратную реализацию с отработанной методикой синтеза. Однако в условиях значительного варьирования напряжения источника питания и величины нагрузки динамические характеристики преобразователя с аналоговым регулятором, синтезируемым для наихудшего случая, не являются оптимальными. Поэтому в области преобразовательных устройств ведутся исследования по применению нечетких регуляторов, с помощью которых можно повысить их робастность и сохранить область устойчивости. Также следует отметить, что использование цифровых устройств в цепях управления, на основе которых реализуются системы нечеткого вывода, вместо традиционных аналоговых компонентов повышает стойкость системы к ошибкам, вызванным разбросом параметров, защищает от шумов, позволяет хранить контрольные параметры и легко организовать передачу данных, мониторинг системных сбоев, протоколирование, есть возможность автоматической калибровки.

Постановка задачи

В качестве объекта управления в данной работе будем рассматривать импульсный преобразователь постоянного напряжения повышающего типа, который можно отнести к классу нелинейных динамических систем переменной структуры, что, со стороны управления, делает логичным попытки применения нечеткой логики. Для управления используется нечеткий ПИ-регулятор, реализованный по распространенной схеме, которая изображена на рис.1.

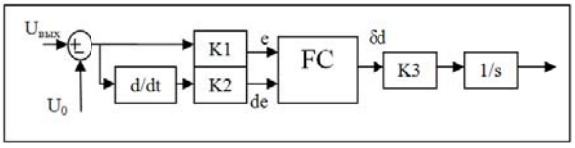


Рис.1. Система управления

Такие системы управления реализуют в виде программы в микроконтроллере. Центральным звеном является система нечеткого вывода с двумя входными переменными и одной выходной. Другие операции, такие как вычисление величины ошибки, скорости её изменения, расчет значения для ШИМ ключевого элемента дополняют систему нечеткого вывода в систему управления.

При этом настройка нечеткого регулятора занимает большую часть времени от разработки системы управления. Существует ряд пакетов для моделирования систем нечеткого вывода, например набор утилит FuzzyLogic ToolBox в пакете прикладных программ MATLAB, содержащий графический интерфейс пользователя (GUI) и тем самым облегчающий настройку. Однако внесение изменений в код программы микроконтроллера при необходимости изменения параметров регулятора – расположения термов, базы правил – потребует переработки кода во многих местах программы. Это не является удобным и увеличивает возможность возникновения ошибок. По этой причине для разработки нечеткого регулятора и исследования разных алгоритмов управления была разработана программа, упрощающая настройку и содержащая набор необходимых операций для организации блока нечеткого вывода.

Основные результаты

Код разработанного блока нечеткого вывода написан на языке C (ANSI C) и содержит два файла: fuzzy.h и fuzzy.c. Файл Fuzzy.c содержит функции необходимых операций и этапов нечеткой логики. Настройка блока нечеткого вывода производится в заголовочном файле fuzzy.h, где необходимо определить с помощью директивы #define количество термов для входных и выходной переменной (3 или 5). Функции принадлежности термов имеют триангулированную форму. Выбор такой формы объясняется простотой ее описания как функции. Затем следует определить расположение термов, задав для каждой функции принадлежности терма набор характерных точек, как показано на рис.2.

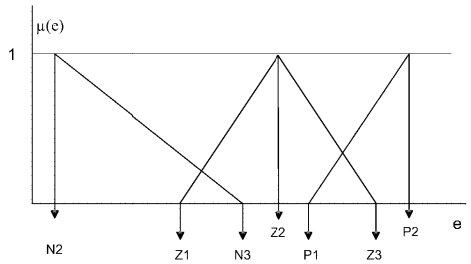


Рис.2.Набор характерных точек и функция принадлежности терма «около нуля» входной лингвистической переменной «ошибка регулирования»

Реализация операции фаззификации основана на пошаговом уточнении интервала, в котором находится «четкое» значение входной переменной. Это достигается использованием операторов условного перехода if-else. Для пяти термов в

худшем случае число переходов составляет не более 3 для одной входной переменной.

В заголовочном файле задается и база правил. В зависимости от того, сколько термов (3 или 5) используется, база будет содержать 9 или 25 правил соответственно. Программа может использовать правила двух видов:

1)ЕСЛИ «β1=α1» И «β1=α1» ТО «ω=ε»

2)ЕСЛИ «β1=α1» ИЛИ «β1=α1» ТО «ω=ε»

На этапе агрегирования подусловий, в зависимости от того, какого вида правила используются, применяется нечеткая min-коньюнкция (для правил вида 1) либо max-дизьюнкция (для правил вида 2). Для уменьшения времени, затрачиваемого на расчет нулей, производится выборка ненулевых значений термов по одной из двух входных переменных. На этапе активизации определяются степени истинности каждого правила. Соответственно, в файле fuzzy.h для каждого правила задается свой весовой коэффициент (по умолчанию 1). На этапе аккумуляции определяется функция принадлежности для выходной лингвистической переменной. Аккумулируются ненулевые степени истинности подзаключений методом max-объединения. Этап дефаззификации может выполняться различными методами [1]:

- метод центра тяжести;
- метод центра площади;
- метод центра тяжести для одноточечных массивов.

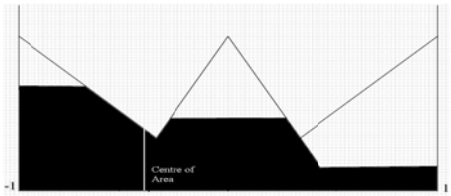


Рис.3. Расчет центра площади для выходной переменной

В качестве примера, на рис.3. изображена функция принадлежности нечеткого множества выходной переменной и расчет ее четкого значения. Программа сначала находит общую площадь получившейся фигуры, а затем последовательно интегрирует ее от крайнего левого значения до достижения половины общей площади. Используемый метод также выбирается в заголовочном файле при конфигурации.

Отдельно необходимо отметить, что в программе можно реализовать алгоритм Сугено, оперирующий одноточечными массивами. В этом алгоритме используются правила вида:

Правило №: ЕСЛИ «β1=α1» И «β1=α1» ТО «ω=ε», где ε является константой, которая и вносится в базу правил. Этап активизации, представляет собой цикл, в теле которого, используя условный оператор if, отбрасываются правила с нулевыми степенями истинности. По активным правилам находится набор значений-«синглтонов» (singleton) выходной переменной.

В алгоритме Сугено время выполения процедуры дефаззификации существенно меньше, чем, например, в алгоритме Мамдани, т.к. в расчетах участвуют «обычные» действительные числа.

Экспериментальная проверка

На основе разработанного блока нечеткого вывода построена система управления (см.рис.1), представляющая собой нечеткий ПИ-регулятор с алгоритмом Сугено (с 5 термами) для повышающего преобразователя постоянного напряжения. Управление реализовано в программе для микроконтроллера TMS320F2812 [2]. Помимо самого нечеткого регулятора в системе управления требуется настройка коэффициентов K_1,K_2,K_3. Помимо выполнения масштабной функции, т.е. приведения *e, de* к интервалу [-1;1], они влияют на качество переходного процесса, являясь коэффициентами пропорциональной и интегральной составляющей сигнала ошибки. Следующие значения, обеспечивающие наилучшее управление, были получены итерационным методом:

K_1=0,004; K_2=0,01; K_3=0,03.

Программа в микроконтроллере, как и любая другая для встроенных систем, зациклена. Получение нового значения ошибки реализовано в прерывании, вызываемом АЦП. Выборки АЦП производятся с частотой 150 кГц, а частота работы ключа – 15 кГц. Ниже представлен осциллограмма для повышающего преобразователя с 5 до 10В при кратковременных скачках входного напряжения. Длительность переходного процесса составила 13 мс.

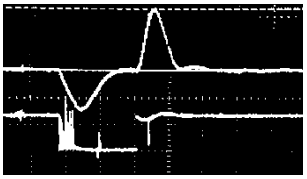


Рис.4. переходный процесс при скачке входного напряжения от 5 до 8 В

Заключение

Полученные результаты являются примером внедрения нечеткой логики в устройства управления для силовой электроники.

В работе предложена процедура настройки нечеткого регулятора с помощью разработанного блока нечеткого вывода, которая может быть использована для ускорения разработки некоторых систем управления преобразовательными устройствами.

Литература

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTECH. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005. – 736с.

2. В.Чернов. Создание приложений на базе процессоров TMS320F28xx. // Компоненты и технологии. – 2006. – №8. – С. 92–98.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ УСТАНОВОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

Дериглазов В.В.
Научный руководитель: Иванчина Э.Д., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: deriglazoff@sibmail.com

Процесс каталитического риформинга существует в мировой нефтепереработке более 50 лет. На территории Российской Федерации и стран СНГ он является базовым для производства высокооктановых бензинов.

Крупнейшим достижением в области нефтепереработки стало внедрение Pt-Re полиметаллических катализаторов.

В настоящее время исследования в области катализа позволили улучшить катализаторы риформинга таким образом, что они обеспечивают выход продукта на уровне максимально бликом к термодинамически возможному. Так, значение интегрального критерия – октанотонн в час, на 100 тонн переработанного сырья, для монометаллических катализаторов составлял 68–70; для катализаторов серий КР, ПР, RG, R – 80–81. Поэтому дальнейшее совершенствование технологии производства бензинов непосредственно связано с повышением уровня эксплуатации и правильным подбором катализатора [1].

Принципиальное сокращение сроков подбора оптимальных технологических режимов работы установки, прогнозирование сроков работы катализатора, оптимизация технологического режима, в настоящее время, невозможны без применения компьютерных моделирующих систем.

Основу моделирующей системы может составлять математическая модель процесса, полученная на основе корреляционных, статистических, формализованных технологических, либо физико-химических моделей.

Естественно, что наибольшей надежностью обладают модели, выведенные на основе механизма и кинетики превращения углеводородов на поверхности катализатора. На практике, к сожалению, очень часто используются формализованные математические модели, выполненные на основе статистической обработки фактической информации. Они не могут быть применены для прогнозирования промышленного процесса в динамике.

В качестве примера реализации такой методики можно назвать широко рекламируемые сейчас программы «PIMS», «СОКР», «БЕЛРИФ» и др. Такие системы применяются и на промышленных предприятиях. Система «СОКР» используется для описания работы секции 200 комплекса ЛК-6У Мозырского НПЗ. Однако данная система не обладает прогностической функцией, и в основе ее лежит статистическая модель процесса. Напротив, компьютерная система фирмы «Профиматикс» реализует формализованные закономерности технологии, устанавливаемые по результатам испытаний с использованием математического оптимизатора. Вместе с тем, она не использует базу данных по катализаторам и, соответственно, не в состоянии осуществлять тестирование и выбор контакта, а также прогнозировать его технологические показатели в процессе промышленной эксплуатации [2].

Компьютерной моделирующей системой (КМС), способной решить вышеперечисленные задачи является КМС «Активность», основанная на физико-химической модели процессов превращения углеводородов на Pt–Re катализаторах. Именно такой подход к моделированию процессов получения высокооктановых бензинов позволяет учесть практически все факторы, влияющие на дезактивацию катализатора в нестационарных условиях его работы.

С использованием КМС выполнен мониторинг работы промышленной установки ЛЧ-35-11/1000 ПО «Киришинефтеоргсинтез». На основании полученных результатов и промышленных данных составов сырья и катализата, основного продукта процесса, произведен технико-экономический анализ эффективности использования разработанной моделирующей системы в нефтеперерабатывающем комплексе.

Технико-экономическими показателями работы катализаторов установок риформинга являются октановое число и выход стабильного катализата. Значение октанового числа стабильного катализата не может быть использовано как критерий технологического режима эксплуатации катализатора, так как этот показатель зависит от требований выпуска той или иной марки автомобильного бензина. При оптимизации процесса и оценки его экономической эффективности объективным критерием служит степень использования потенциала катализатора, которая численно равно отклонению рабочей активности от оптимальной. Минимальное отклонение соответствует максимальному увеличению выхода основной калькулируемой продукции – стабильного катализата процесса риформинга при заданном октановом числе за весь сырьевой цикл его работы. Подбор оптимальных технологических условий эксплуатации катализатора, обеспечивающих

максимальную степень его использования, является многофакторной задачей и зависит, прежде всего, от реакционной способности углеводородов – компонентов сырья.

Для обеспечения оптимального режима в промышленных условиях необходимо поддерживать требуемое соотношение скоростей целевых и побочных реакций риформинга, а также сохранять равновесие реакций образования и гидрирования коксогенных структур. Таким образом, применение моделирующей системы позволяет увеличить выход основной продукции, снизить себестоимость продукции, а также увеличить прибыль.

В течение восьмого сырьевого цикла работы установки ЛЧ-35-11/1000 значения текущей активности катализатора отличались от значений оптимальной активности, вследствие чего, селективность процесса, в силу объективных производственных причин, не всегда являлась оптимальной. Это нашло отражение на выходе основной продукции установки – стабильного катализата.

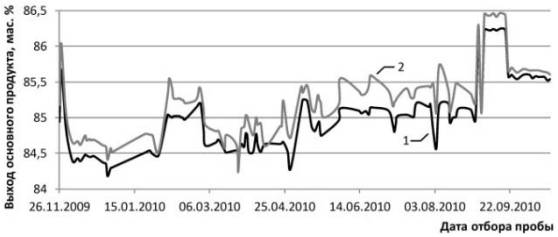


Рис.1. Выход стабильного катализата при работе установки на текущей (1) и оптимальной (2) активности катализатора.

При работе катализатора на оптимальной активности достигается наибольшая селективность процесса, а максимальная селективность соответствует максимальному выходу товарной продукции. А значит, результатом применения КМС «Активность» должно стать увеличение выхода стабильного катализата при практически неизменном уровне издержек производства за счет максимально возможного приближения к равновесной степени превращения сырья в продукт.

Для оценки экономической целесообразности рассчитана себестоимость 1 т готовой продукции при работе установки на текущем режиме и себестоимость 1 т продукции при работе установки на оптимальном режиме.

При расчете были приняты следующие допущения:

- простой на текущий и капитальный ремонт – 55 сут/год;
- максимальная производительность оборудования – 170 $м^3$/ч;
- цены на все виды ресурсов соответствуют IVкварталу 2010 г.

Проведенные расчеты сведены в таблице 1 и охватывают период работы установки ЛЧ-35-11/1000 с 2005 по 2011 год.

Таблица 1. Экономические показатели работы установки ЛЧ-35-11/1000 при оптимальной активности катализатора.

Пока-затели	Номер цикла			
	5	6	7	8
П	1082280			
ΔА	0,12	0,09	0,01	0,01
ΔС	1,02	0,8	0,15	0,24
ΔП	9399,29	7355,97	1582,3	2875,5
ΔВ	96,35	75,41	16,21	29,43
ΔB_1	0,87	0,68	0,15	0,27

Примечание: П – теоретическая производительность установки по сырью, т/год; ΔА – среднее отклонение рабочей активности от оптимальной активности за цикл; ΔС – увеличение селективности процесса при работе на оптимальной активности катализатора, среднее за цикл, %; ΔП – увеличение производительности по стабильному катализату при работе на оптимальной активности катализатора; ΔВ – экономическая эффективность работы установки на оптимальной активности, млн р.; ΔB_1 – относительное увеличение экономической эффективности при работе установки на оптимальной активности, %.

На основании данных сравнительного расчета четко видна зависимость себестоимости продукта от режима ведения процесса. Прослеживается тенденция стабилизации режима и уменьшения степени отклонения уровня текущей активности от уровня оптимальной активности от одного сырьевого цикла к другому.

Проведенный технико-экономический анализ показал, что применение компьютерных моделирующих систем для мониторинга работы установок каталитического риформинга может дать практический результат не только с технологической но и экономической точки зрения. Увеличение выхода товарного продукта при сохранении уровня издержек на постоянном уровне приносит дополнительный доход. Именно экономическая выгода должна стать основополагающим аргументом при внедрении моделирующих систем в нефтепереработку.

Список литературы:

1. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д. Компьютерное прогнозирование и оптимизация производства бензинов. Физико-химические и технологические основы. – Томск: STT, 2000 – 192 с.

2. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Ивашкина Е.Н., Костенко А.В., Юрьев Е.М., Бесков В.С. Математическое моделирование каталитических процессов переработки углеводородного сырья // Катализ в промышленности. – 2008. №6. – С. 41 – 46.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ И РАСХОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Дорошенко С.В.
Научный руководитель: Кульниязова К.С.
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 010000, Казахстан, г. Астана
E-mail: svd_pavlodar@mail.ru

Автоматизация теплотехнических производственных процессов – одно из направлений комплексной программы научно-технического прогресса. Главная цель – обеспечить оптимальное течение технического процесса в реальных условиях при достижении заданного качества и эффективности.

При формировании управляющих воздействий необходимо учитывать факторы, приводящие к неопределенности в структуре и параметрах моделей.

Используемые в наши дни системы управления не позволяют в полной мере обеспечивать все возрастающие требования к качеству выполнения теплотехнических производственных процессов.

Решить данную проблему возможно путем применения интеллектуальных технологий управления и, в частности, нечеткой логики, применение которой позволяет, с одной стороны, существенно упростить законы управления, а с другой — обеспечить заданное качество управления в условиях неопределенности.

Задачей управления является обеспечение требуемого расхода и температуры теплоносителя на выходе удаленной магистрали при изменениях температуры и объема исходных смешиваемых носителей.

Заданная температура теплоносителя $\theta_{зад}$ поддерживается за счет смешения двух исходных теплоносителей (например, холодной и горячей воды или пара), при этом ошибка регулирования температуры должна стремиться к нулю. В процессе работы смесителя регулируется объемный расход горячей $V_г$ и холодной $V_х$ воды. Температура смеси зависит от температуры горячей $t_г$ и холодной $t_х$ компонент. Кроме того, в процессе регулирования требуется поддерживать заданный расход теплоносителя V на выходе смесителя.

На рис.1 представлена функциональная схема замкнутой системы нечеткого управления теплосмесителем. Исходные теплоносители (горячая и холодная вода) поступают через регулирующие органы — клапаны *5* и *6* — в узел смешения *9* и далее к потребителю, их температуры измеряются датчиками *1* и 2, а смеси — датчиком *10*. Расход смешиваемых компонент измеряется датчиками *3* и *4*, а общий расход теплоносителя к потребителю вычисляется как их сумма. Клапаны приводятся в действие электроприводами 7 и *8*. Нечеткий регулятор по сигналам датчиков задает положения клапанов, обеспечивая требуемую температуру теплоносителя и его расход.

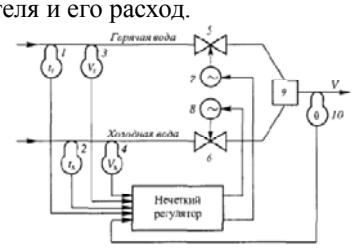


Рис.1. Функциональная схема замкнутой системы управления теплосмесителя с нечетким регулятором

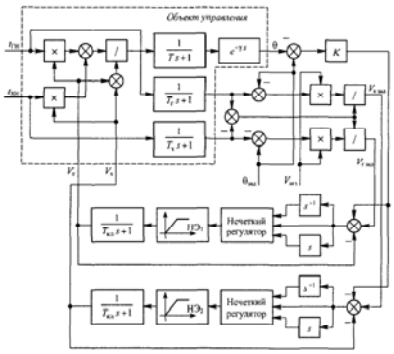


Рис.2. Структурная схема замкнутой многосвязной системы управления температурой и расходом теплоносителя

При смешении без отвода тепла двух жидкостей с разными температурами (рис.2) в установившемся режиме результирующие значения температуры θ и объема смеси V связаны следующими уравнениями:

$$V_г(\theta - t_г) + V_х(\theta - t_х) = 0; V = V_г + V_х; \quad (1)$$

При требуемых температуре $\theta_{зад}$ и объеме $V_{зад}$ теплоносителя на выходе смесителя заданные объемы холодной и горячей воды вычисляются из уравнений (1) по формулам

$$V_г = \frac{V_{зад}\,(\theta_{зад} - t_х)}{t_г - t_х}; \quad (2)$$

$$V_х = \frac{V_{зад}\,(\theta_{зад} - t_г)}{t_г - t_х}. \quad (3)$$

Объект управления представляет собой соединение нелинейных блоков умножения и деления, которые реализуют зависимость температуры смеси от температур и объемов исходных теплоносителей в установившемся режиме:

$$\theta = (V_г t_г + V_х t_х)/V \quad (4)$$

Для отражения запаздывания между управляющим воздействием и реакцией на него в модель объекта введено звено чистого запаздывания $W_{зап}(s) = \exp(-\gamma s)$, где γ характеризует время прохождения жидкости от

исполнительных механизмов до датчика температуры смеси. Температуры горячего и холодного теплоносителей обозначены соответственно $t_{ГН}, t_{ХН}$, а измеренные—$t_г, t_х$. Инерционные свойства датчика температуры смеси и динамика установления температуры на выходе смесителя характеризуются передаточной функцией $W_0(s) = (1 + Ts)^{-1}$. Передаточные функции $W_г(s) = (1 + T_г s)^{-1}$ и $W_х(s) = (1 + T_х s)^{-1}$описывают динамические параметры датчиков температуры горячего и холодного теплоносителей соответственно. Инерционность датчиков объемного расхода исходных теплоносителей и исполнительных механизмов учтена передаточной функцией $W_{кл}(s) = (1 + T_{кл} s)^{-1}$ с постоянной времени клапанов $T_{кл}$. Нереверсивный и ограниченный по величине характер управляющего сигнала на выходе исполнительных механизмов (клапанов) представлен нелинейностями типа "ограничение" $НЭ_1$ и $НЭ_2$.

Нечеткий регулятор по трем каналам (пропорциональному, интегральному и дифференциальному) обрабатывает сигнал рассогласования между вычисленным по формулам (2) или (3) значением заданного объемного расхода исходного теплоносителя ($V_{г\,зад}, V_{х\,зад}$), сигналом с датчика фактического расхода и сигналом коррекции отклонения реальной температуры смеси от заданного значения. Глубина коррекции температуры задается коэффициентом *K*.

В нечетком регуляторе, структурная схема которого представлена на рис.3, фаззификатор преобразует аналоговые входные сигналы ошибки регулирования *xp*, ее производной *xd* и интеграла *xi в* элементы размытых множеств с соответствующими весами.

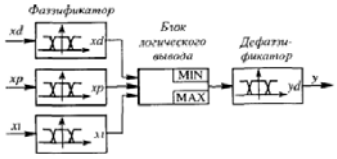


Рис.3. Структурная схема нечеткого регулятора

Блок логического вывода, который содержит лингвистические правила управления, формирует элементы выходных нечетких множеств. Дефаззификатор преобразует результаты нечетких вычислений *yd* в аналоговые управляющие сигналы. Дефаззификация осуществляется в соответствии с "MAX-MIN" подходом.

В каналах горячей и холодной воды нечеткие регуляторы имеют 3 входных и 1 выходную переменную, 15 функций принадлежности; регулирование осуществляется в соответствии с 64 правилами. В них каждому входному сигналу соответствуют 4 лингвистических переменных, а выходному — 5.

Диапазоны входных сигналов нечеткого регулятора выбраны исходя из допустимых ошибок управления температурой 0,5°С и расхода относительного объема 0,01. Выбор диапазона выходного сигнала yd от -2 до 2 обусловлен необходимостью задания относительного положения исполнительного клапана в диапазоне от 0 до 1, что соответствует полностью закрытому или открытому клапану.

Для построения логико-лингвистической модели в неавтоматизированном режиме измерялась температура теплоносителя на выходе смесителя, строился график зависимости от времени и анализировался процесс отклонения температуры от нормы.

На рис.4 и рис.5 представлены соответственно временные диаграммы процессов совместного регулирования температуры и объемного расхода теплоносителя. Результаты моделирования показали высокую эффективность применения нечеткого регулятора на базе ассоциативной памяти для управления объемным расходом и температурой теплоносителя. Время регулирования температуры не превышает 60 с при нулевой ошибке в установившемся режиме и отсутствии перерегулирования (кривая *2* на рис. 4), при этом заданный объемный расход устанавливается за время, равное времени задержки Y (кривая *2* на рис. 5). Возмущения по температуре (кривая *3* на рис. 4) отрабатываются изменением объемного расхода горячего и холодного теплоносителей (кривые *3* и *4* на рис. 5) без изменения общего объемного расхода смешанного теплоносителя (кривая *2* на рис. 5).

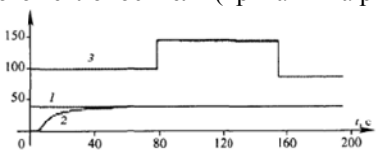


Рис.4. Процесс регулирования объема смешанного теплоносителя (2) при заданной температуре (1) и изменении температуры горячего теплоносителя (3)

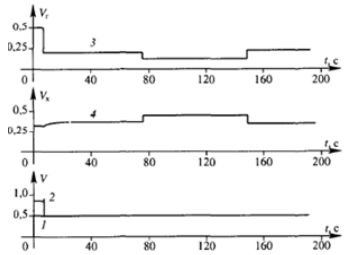


Рис.5. Процесс регулирования объема смешанного теплоносителя (2) при изменении температуры горячего теплоносителя, где 1- заданный объем; 3 и 4- объемы горячего и холодного теплоносителя

Литература

1.Макаров И.М., Лохин В.М. Интеллектуальные системы автоматического управления. М.: Физматлит,2001.575с.

СИСТЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Друки А.А.
Научный руководитель: Спицын В.Г., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: druki2008@yandex.ru

Введение

В настоящее время всё более широкое распространение получают биометрические системы идентификации человека. Традиционные системы идентификации требуют знания пароля, наличия ключа, идентификационной карточки, либо иного идентифицирующего предмета, который можно забыть или потерять. В отличие от них биометрические системы основываются на уникальных биологических характеристиках человека, которые трудно подделать и которые однозначно определяют конкретного человека. К таким характеристикам относятся отпечатки пальцев, узор радужной оболочки, изображение сетчатки глаза, голос , лицо и т.д. [2-4].

Лицо человека захватывается видео или фото камерой, изображение подаётся на вход информационной системы и система производит идентификацию человека по фотопортрету.

Для решения задачи распознавания лиц используются различные методики, среди которых можно выделить подходы, основанные на нейронных сетях [15-19], на разложении Кархунена – Лоэва [20], на алгебраических моментах [21], линиях одинаковой интенсивности, эластичных (деформируемых) эталонах сравнения.

Распознавание лиц на изображениях можно разделить на два основных этапа:

- поиск области расположения лица на изображении (выделение лица);
- идентификация лица.

Целью данной работы является поиск (выделение) человеческих лиц на изображениях.

Разработка нейронной сети

Анализ методов выделения сюжетной части изображения показал что для решения данной задачи эффективно использовать искусственные нейронные сети, в связи с тем что они обеспечивают возможность получения классификатора, хорошо моделирующего сложную функцию распределения изображений лиц, тем самым, увеличивая точность решения по сравнению с остальными методами.

Преимущество использования нейронных сетей для обнаружения лица − обучаемость системы для выделения ключевых характеристик лица из учебных наборов.

В настоящее время наиболее часто в задачах распознавания и идентификации изображений используются классические нейросетевые архитектуры (многослойный персептрон, сети с радиально-базисной функцией и др.), но из анализа данных работ и экспериментальных исследований следует что, применение классических нейросетевых архитектур в данной задаче является неэффективным по следующим причинам:

- изображения имеют большую размерность, соответственно возрастает размер нейронной сети;
- увеличивается время и вычислительная сложность процесса обучения;
- сложность настройки множества весовых коэффициентов;
- отсутствие инвариантности к изменениям масштаба изображения, ракурсов съёмки камеры и других геометрических искажений входного сигнала.

Поэтому для решение этой задачи были выбраны сверточные нейронные сети, т.к. они обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям.

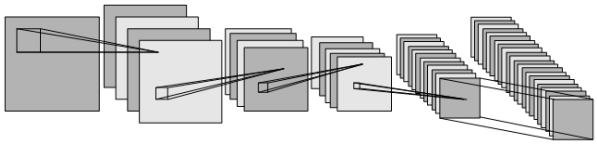


Рис. 1. Архитектура сверточной нейронной сети

Архитектура сверточной нейронной сети, состоит из многих слоёв. Слои бывают двух типов: свёрточные и подвыборочные, они чередуются друг с другом [3].

Нейроны в пределах слоя организованы в плоскости. В каждом слое имеется набор из нескольких плоскостей, причём нейроны одной плоскости имеют одинаковые синаптические коэффициенты, ведущие ко всем локальным участкам предыдущего слоя.

На вход поступает изображение целиком. В сверточном слое происходит сканирование изображения (или предыдущего слоя) небольшим окном и пропускается сквозь набор синаптических коэффициентов, а результат отображается на соответствующий нейрон текущего слоя. Таким образом, набор плоскостей представляет собой карты характеристик и каждая плоскость находит «свои» участки изображения в любом месте предыдущего слоя.

Подвыборочный слой уменьшает масштаб плоскостей путём локального усреднения значений выходов нейронов. Таким образом, достигается иерархическая организация. Последующие слои извлекают более общие характеристики, меньше зависящие от искажений изображения [2].

При сканировании изображения нейронной сетью отклики нейронной сети образуют максимумы в местоположениях лиц как показано на рисунке 2.

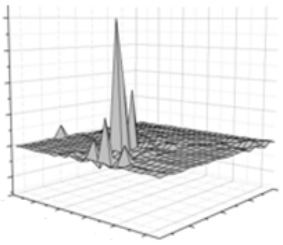


Рис. 2. Отклики нейронной сети в местоположении лица

Активационная функция – гиперболический тангенс:

$$f(x) = \tanh(x),$$

Функционирование нейрона сверточного слоя:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \sum_{s=1}^{K}\sum_{t=1}^{K} w_{k,s,t} x^{((i-1)+s,(j+t))},$$

Функционирование нейрона подвыборочного слоя:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \frac{1}{4} w_k \sum_{s=1}^{2}\sum_{t=1}^{2} x^{((i,j)+s,(i,j))},$$

Используется стандартный для нейронных сетей алгоритм обратного распространения ошибки:

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_{pj} o_{pj}. \qquad (4)$$

На каждой итерации, уравнение (4) расчитывается для всего обучающего набора данных, чтобы вычислить средний или истинный градиент.

Нейронная сеть имеет один вход в виде исходного изображения и два выхода в виде бинарных значений в пределах активационной функции [-1, + 1]. Выход + 1 означает, что лицо на изображении найдено, -1 означает, что лицо не найдено.

Масштабирование изображения

Если система находит лицо на изображении, то область местонахождения лица отмечается прямоугольником. Сложность заключается в том, что на одном изображении может быть найдено несколько таких областей – кандидатов на местоположение лица как показано на рисунке 4. Это снижает достоверность результатов.

Рис. 4. Выделение участков кандидатов на изображении

Для решения этой проблемы был разработан алгоритм масштабирования и кластеризации изображения.

Исходное изображение последовательно масштабируется с коэффициентом масштабирования от 1.2 до 0.7, таким образом, получается пирамида, состоящая из пяти изображений, как показано на рисунке 5.

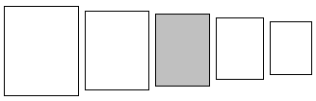


Рис. 5. Масштабы изображений. В центре исходное изображение

После масштабирования эти пять изображений сканируются нейронной сетью. Нейронная сеть в каждом изображении находит и выделяет участки кандидаты. Т.к. изображения разного размера, то и участки кандидаты могут быть разные. Далее все найденные участки кандидаты масштабируются относительно исходного изображения, сравниваются и пересекающиеся участки кандидаты группируются в кластеры. Те участки, которые не вошли в кластеры отбрасываются как ложные. Таким образом, происходит устранение избыточных участков-кандидатов.

Заключение

Экспериментально доказано, что для решения задачи распознавания образов оптимальны сверточные нейронные сети. Разработана топология свёрточной нейронной сети, обеспечивающая инвариантность к изменениям условий съемки, поворотам изображений, качеству съемки. Представлен алгоритм масштабирования и кластеризации, который производит последовательное масштабирование исходного изображения с коэффициентом от 0,8 до 1,2 и объединяет в кластеры найденные участки-кандидаты. Этот алгоритм обеспечивает вероятность обнаружения образа лица на уровне не менее 0,95.

Литература

1. Le Cun Y., Bengio Y. Convolutional networks for

images, speech and time series// The handbook of brain theory and neural networks. – 1998. – V. 7. – № 1. – P. 255–258.

2. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning internal representations by error propagation // Parallel distributed processing. – 1986. – V. 1. – № 2. – P. 318–362.

3. Садыхов Р.Х., Ваткин М.Е. Модифицированный алгоритм обучения РБФ-сети для распознавания рукописных символов // Идентификация образов. – 2001. – Т. 1. – № 3. – Р. 7–16.

4. Rowley H.A., Baluja S., Kanade T. Neural network-based face detection // Pattern anal. mach. Intell. – 2000. – V. 5. – P. 23–38.

5. Lin S., Kung S., Lin L. Face recognition detection by probabilistic decision-based neural network // Trans. neural networks. – 1997. – V. 8. – № 1. – P. 114–132.

6. Feraud R., Bernier O., Viallet J., Collobert M. A fast and accurate face detector based on neural networks // Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 2002. – V. 3. – № 23. – P. 42–53

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ермолаев М. В.
ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва,
Россия, 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина 52
Научный руководитель: Алешечкин А. М., д.т.н., профессор
Сибирский Федеральный Университет, 660049, Россия, г. Красноярск, ул. Киренского 28
E-mail: ermakc@iss-reshetnev.ru

Актуальность задачи обеспечения единства измерений в космических навигационных системах (КНС) ГЛОНАСС и GPS обусловлена широким использованием данных систем на транспорте, в геодезии, службе времени, мониторинге и управлении объектами различного назначения. При этом происходит постоянное возрастание требований к точности и достоверности определения радионавигационных параметров (РНП) с использованием данных КНС, в первую очередь Российской системы ГЛОНАСС. Повышение и поддержание высокой точности определения РНП по сигналам КНС ГЛОНАСС невозможно без успешного решения задач метрологического обеспечения и встраивания системы ГЛОНАСС в государственную систему обеспечения единства измерений РФ [1, 2].

В настоящее время в Российской Федерации разработан и эксплуатируется комплекс эталонов и средств измерений для испытаний аппаратуры потребителей космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS [3]. Комплекс позволяет осуществлять проверку точностных характеристик спутниковой навигационной и геодезической аппаратуры (СНА и СГА) и используется при проведении Государственных приемочных испытаний различных образцов такой аппаратуры. Но, как указывают разработчики, комплекс не может претендовать на универсальность применения при проведении испытаний различных образцов СНА и СГА [3] и предназначен для работы только с аппаратурой данного типа.

Одной из задач повышения метрологических характеристик аппаратуры ГЛОНАСС является повышение точности воспроизведения навигационных сигналов КНС ГЛОНАСС в ходе изготовления, отработки и эксплуатации навигационных космических аппаратов (НКА) и элементов наземного комплекса управления (НКУ), где требуется обеспечивать высокоточные измерения задержек навигационных сигналов в радиотехнических трактах бортовой и наземной аппаратуры.

В рамках решения поставленной задачи коллективами ОАО «Информационные спутниковые системы» и Сибирского федерального университета осуществляется разработка аппаратно-программного комплекса (АПК) метрологического обеспечения приемной и передающей аппаратуры космической навигационной системы ГЛОНАСС.

Разрабатываемый АПК предназначен для решения следующих задач:
- калибровка и поверка бортовых источников навигационных сигналов (БИНС), функционирующих в составе НКА ГЛОНАСС;
- калибровка и испытания рабочих имитаторов и источников навигационных сигналов;
- калибровка и сертификационные испытания образцов навигационной аппаратуры потребителей (НАП) ГЛОНАСС/GPS;
- калибровка и поверка специальной высокоточной НАП ГЛОНАСС/GPS, используемой в геодезии и в службе точного времени.

В состав АПК входят эталонный источник навигационных сигналов (ЭИНС), эталонный приемник навигационных сигналов (ЭПНС), управляющая ЭВМ (УЭВМ).

На рис.1 и рис.2 представлены обобщенные схемы применения ЭИНС и ЭПНС для калибровки задержек в приемниках навигационных сигналов и источниках навигационных сигналов КНС ГЛОНАСС.

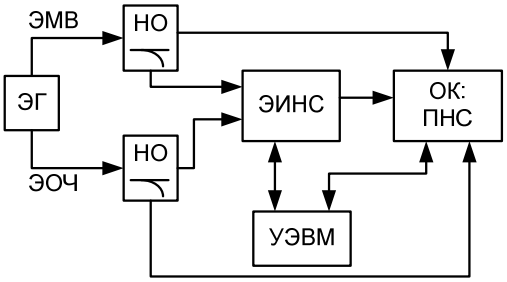


Рис. 1. Структурная схема калибровки ПНС ГЛОНАСС

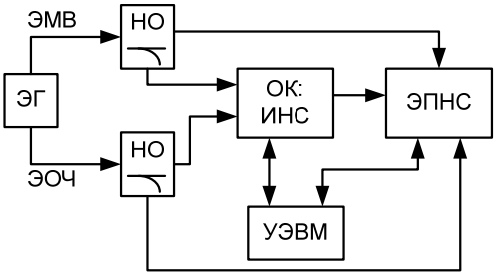


Рис. 2. Структурная схема калибровки ИНС ГЛОНАСС

На рисунках приняты следующие обозначения: ЭГ – эталонный генератор; НО – направленный

ответвитель; ЭИНС – эталонный источник навигационных сигналов; УЭВМ – управляющая ЭВМ; ОК – объект контроля; ИНС – источник навигационных сигналов; ПНС – приемник навигационных сигналов; ЭМВ – эталонная метка времени; ЭОЧ – эталонная опорная частота.

В составе УЭВМ, входящей в состав разрабатываемого АПК, функционирует программное обеспечение АПК (ПО АПК), предназначенное для обеспечения измерений задержек навигационных сигналов (НС) в передающей и приемной аппаратуры КНС ГЛОНАСС.

ПО АПК обеспечивает выполнение следующих функций:

- обмен данными и передача управляющих воздействий ЭИНС и ЭПНС;
- реализацию методик проведения проверки и калибровки ЭИНС и ЭПНС;
- реализацию методик измерения задержек НС в передающей и приемной аппаратуры КНС ГЛОНАСС;
- интерфейс с оператором АПК;
- обеспечение возможности проведения измерений под управлением оператора и в автоматическом режиме;
- формирование, хранение и представление в требуемом виде результатов измерений и информации о работе АПК.

Средства измерений, входящие в состав АПК, проходят калибровку и поверку при помощи специализированных программ, входящих в состав ПО АПК.

В зависимости от типа объекта контроля ПО АПК реализует измерение следующих параметров:

- погрешность формирования/измерения псевдодальности по кодам СТ и ВТ;
- погрешность формирования/измерения псевдодальности по фазе несущей частоты;
- погрешность формирования/измерения радиальной псевдоскорости;
- скорость изменения погрешности формирования псевдодальности по кодам СТ и ВТ;
- разность систематических погрешностей формирования псевдодальности для разных НКА (в том числе с разными литерными частотами) в различных каналах аппаратуры.

Погрешность формирования значения параметра является случайной величиной, имеющей систематическую и случайную составляющие. Систематическую составляющую можно характеризовать математическим ожиданием погрешности по ряду измерений, а случайную составляющую – среднеквадратическим отклонением [4].

Поскольку параметр навигационного сигнала может принимать значения в пределах диапазона $[x_{\min}; x_{\max}]$, определение характеристик погрешности необходимо производить для набора из n значений параметра, которые определяются из выражения:

$$x_0 = x_{\min} + j \cdot \Delta x,$$

где $x_{\min}$ - наименьшее значение параметра, Δx - шаг изменения значения параметра, $j = 1,..,n$ – номер текущего значения параметра. При каждом фиксированном значении параметра x_0 производится ряд измерений. Для каждого измерения погрешность формирования значения параметра вычисляется как;

$$\Delta_k = x_0 - x_k .$$

где x_k - измеренное значение параметра, Δ_k - погрешность формирования значения параметра объектом контроля. По значениям погрешностей рассчитывается математическое ожидание m_Δ и среднеквадратическое отклонение σ_Δ. После проведения всего объема измерений принимается решение о соответствии погрешности формирования параметра требуемым значениям.

В настоящее время изготовлены опытные образцы ЭИНС и ЭПНС, производится разработка и отладка программного обеспечения управления комплексом и реализации методик проведения измерений.

Разрабатываемый АПК позволяет автоматизировать процесс измерения задержек в радиотехнических трактах приемной и передающей аппаратуры КНС ГЛОНАСС, а также выполнять проверку работоспособности данной аппаратуры в автоматическом режиме. После проведения метрологической аттестации комплекс обеспечит выполнение контроля метрологических характеристик навигационной аппаратуры различного назначения.

Список литературы

1. Стратегия обеспечения единства измерений в России до 2015 года: [Утверждена приказом N 529 Министерства промышленности и торговли РФ от 17 июня 2009 г.] [Электронный ресурс].

2. Метрологическое обеспечение обороны и безопасности в России [Электронный ресурс]: по материалам конференции. / И. Кокорева. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2007, июнь. – с. 16 – 21.

3. Кривов, А.С. Комплекс эталонов и средств измерений для испытаний аппаратуры потребителей космических навигационных систем ГЛОНАСС/GPS / А.С. Кривов, С.И. Донченко, О.В. Денисенко // Измерительная техника и электронные компоненты. – 2004. – №1. – С. 46 – 47.

4. ГОСТ 8.207-76. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – Дата введ. 01.01.1977 М.: Стандартинформ, 2006.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ИНТЕРВАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ГАРАНТИРУЮЩИХ ЗАДАННОЕ ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ

Ефимов С.В., Пушкарев М.И.
Научный руководитель: Гайворонский С.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: efimov@tpu.ru

Введение

Для ряда промышленных систем автоматического управления технологическими процессами и производствами с ПИД-регуляторами необходимо ограничивать величину перерегулирования. При этом задача обеспечения допустимого перерегулирования усложняется тем, что объекты управления могут иметь параметры, изменяющиеся в известных интервалах в процессе функционирования. При этом очень важно, чтобы перерегулирование в таких системах было удовлетворительным при любых вариациях коэффициентов передаточных функций (ПФ) объектов.

Постановка задачи

Задача синтеза интервальной системы управления сводится к задаче размещения областей локализации корней замкнутой системы желаемым образом

Пусть ПФ объекта управления имеет вид

$$W_{\text{ОУ}}(s)=\frac{kA(s)}{B(s)},$$

где $k=\frac{\left[\underline{a_m};\overline{a_m}\right]}{\left[\underline{b_n};\overline{b_n}\right]}$ – постоянный множитель,

$$A(s)=s^m+\left[\underline{a_{m-1}};\overline{a_{m-1}}\right]s^{m-1}+\ldots+\left[\underline{a_0};\overline{a_0}\right]$$

$$B(s)=s^n+\left[\underline{b_{n-1}};\overline{b_{n-1}}\right]s^{n-1}+\ldots+\left[\underline{b_0};\overline{b_0}\right]$$

интервальные полиномы, чьи корни являются нулями и полюсами объекта управления, соответственно.

Пусть исходными данными для синтеза ПИД-регулятора являются ПФ объекта управления с заданными интервалами ее коэффициентов и прямой показатель качества – перерегулирование**.** Ставится задача определить значения настроечных коэффициентов ПИД-регулятора, обеспечивающих заданное перерегулирование при любых вариациях параметров объекта управления в заданных интервалах.

Построение границ расположения нулей ПИД-регулятора для вершинных ПФ объекта управления для заданного перерегулирования

В работах [1, 2, 3] показано, что худшими или лучшими показателями качества управления интервальная система обладает в вершинных значениях ее параметров. Следовательно, искомое решение задачи синтеза нужно искать среди вершинных ПФ объекта управления. Таким образом, синтез параметров ПИД-регулятора необходимо проводить 2^n раз, где n – число интервальных параметров.

Структура ПИД-регулятора имеет следующий вид

$$\frac{(k_2s^2+k_1s^2+k_0)}{s}=\frac{k_p(s-N_1)(s-N_2)}{s},$$

где $N_{1,2}=x\pm yj$. При фиксировании перерегулирования σ и варьировании параметром x можно численным способом рассчитать параметр y. Тем самым будет получена граница расположения нулей ПИД-регулятора на корневой плоскости $y(x)$ для фиксированного значения перерегулирования σ.

Пусть интервальный объект управления имеет ПФ вида

$$W_{\text{ОУ}}(s)=\frac{k_p\left(s-N_{\text{ОУ}}\right)}{s^2+\left[\underline{a_1};\overline{a_1}\right]s+\left[\underline{a_0};\overline{a_0}\right]}. \qquad (1)$$

Представленный передаточной функцией интервальный объект имеет два интервальных параметра. Поэтому ПФ объекта (1) соответствует 4 вершинных ПФ:

$$W_{\text{ОУ}1}(s)=\frac{k_p\left(s-N_{\text{ОУ}}\right)}{s^2+\underline{a_1}s+\underline{a_0}};W_{\text{ОУ}2}(s)=\frac{k_p\left(s-N_{\text{ОУ}}\right)}{s^2+\underline{a_1}s+\overline{a_0}};$$
$$W_{\text{ОУ}3}(s)=\frac{k_p\left(s-N_{\text{ОУ}}\right)}{s^2+\overline{a_1}s+\underline{a_0}};W_{\text{ОУ}4}(s)=\frac{k_p\left(s-N_{\text{ОУ}}\right)}{s^2+\overline{a_1}s+\overline{a_0}}. \qquad (2)$$

Для стационарных объектов управления представленных ПФ (2) согласно зависимости перерегулирования σ от расположения нулей ПИД-регулятора, полученному в [4] построим кривые расположения нулей ПИД-регулятора, обеспечивающие заданное перерегулирование $\sigma=\sigma^{ж}$. При варьировании множителем $k_{\text{Р}}$ n раз для каждого из объектов (2) количество кривых заданного перерегулирования $\sigma^{ж}$, будет n. Зафиксировав параметр $k_{\text{Р}}$, для каждого объекта получена кривая расположения нулей ПИД-регулятора, обеспечивающая заданное перерегулирование $\sigma=\sigma^{ж}$ (рис. 1).

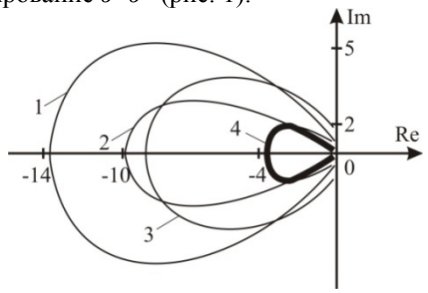


Рис. 1. Кривые расположения нулей ПИД-регуляторов для вершинных объектов

На основе построенных кривых необходимо выбрать решение, которое обеспечит $\sigma=\sigma^{ж}$, как для всех вершинных объектов управления, так и для всех внутренних вариаций интервальных параметров. Для этого проанализируем, как при изменении положения нуля ПИД-регулятора изменяется положение доминирующего полюса (рис. 2).

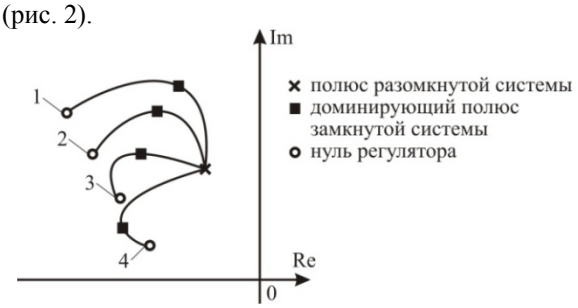


Рис. 2. Траектории движения доминирующего полюса при изменении положения нуля регулятора

Проведен анализ взаимосвязи между прямыми показателями качества и расположением доминирующих полюсов системы. Рисунок 3 показывает границы расположения доминирующих полюсов для различных значений перерегулирования $\sigma_1>\sigma_2>\sigma_3$.

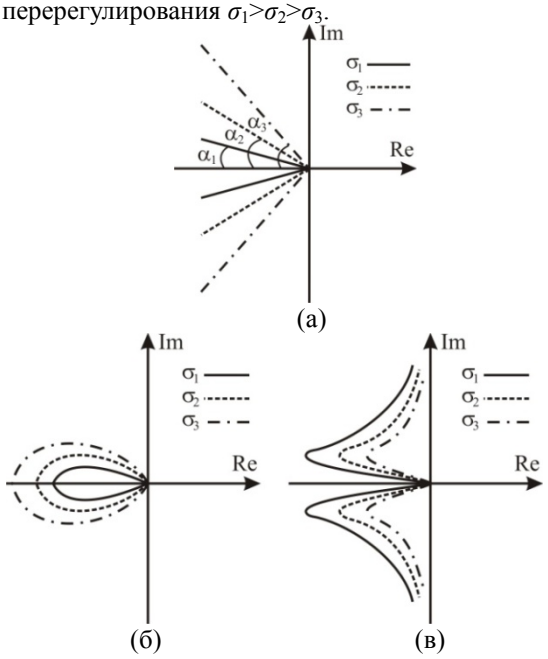


Рис. 3. Границы расположения доминирующих полюсов

Согласно движению доминирующих полюсов при изменении значений нулей ПИД-регулятора из положения 1 в 4 (рис. 2) и проведенному анализу можно сделать вывод, что та кривая расположения нулей ПИД-регулятора (рис. 1), которая обеспечивает $\sigma=\sigma^{ж}$ для одного или более объектов и является внутренней кривой по отношению к другим кривым. Это означает, что на рис. 1 искомое решение обеспечивают кривые для вершинных объектов 2 и 4. Именно их пересечение дает кривую, которая является внутренней по отношению к другим. Следовательно, при выборе нулей ПИД-регулятора на кривой, образованной пересечением кривых 2 и 4, участки кривых, соответствующих вершинным объектам, будут обеспечивать $\sigma=\sigma^{ж}$, а для всех других вершинных объектов перерегулирование будет ниже заданного.

Пример

Пусть $W_{ОУ}(s)=\dfrac{s+5}{s^2+[1;4]s+[2;5]}$.

Необходимо определить коэффициенты ПИД-регулятора $k_П$, $k_И$, $k_Д$, которые обеспечат перерегулирование σ=10 % .

Объект управления имеет 2 интервальных параметра, следовательно, ему соответствует 4 вершинные ПФ объекта

$$W_{ОУ1}(s)=\frac{s+5}{s^2+s+2}, W_{ОУ2}(s)=\frac{s+5}{s^2+s+5},$$

$$W_{ОУ3}(s)=\frac{s+5}{s^2+4s+2}, W_{ОУ4}(s)=\frac{s+5}{s^2+4s+5}.$$

Пусть $k_Р$=1. Построим кривые расположения нулей ПИД-регулятора $y(x)$, обеспечивающие σ=10 %, для каждой вершинной ПФ объекта (рис.1).

В соответствии с правилом выбора решения, на рис. 1 построена кусочная кривая образованная участками кривых 2 и 4, гарантирующая перерегулирование σ=10 % для любых вариаций параметров интервального объекта. Далее искомые значения x и y выбираем на этой кривой.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-213 гг.

Список литературы

1. Гайворонский С.А., Новокшонов С.В. Построение границ корневых областей систем с интервальными параметрами // Современные техника и технологии. Тез.докл. VII международ. научн.-практич. конф. –Томск: изд.ТПУ, 2001. – С 260-263.

2. Киселев О.Н., Поляк Б.Т. Синтез регуляторов низкого порядка по критерию H_∞ и по критерию максимальной робастности // Автоматика и телемеханика, 1999. N 3, – С. 119-130.

3. Римский, Г.В. Основы общей теории корневых траекторий систем автоматического управления – Минск: Наука и техника, 1972. – 328с.

4. Ефимов С.В., Гайворонский С.А., Замятин С.В. Синтез ПИД-регулятора с учетом расположения нулей и полюсов системы автоматического регулирования // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. -№5. – С. 102–107.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Ефремов В.А., Кузьмина Е.А.
Научный руководитель: Мицель А.А., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: efremov@ms.tusur.ru

Научный интерес к математическому моделированию финансовых инструментов обусловлен постоянными изменениями финансового рынка. Меняется внутренняя структура рынка, возрастает волатильность, увеличивается интерес со стороны эмитентов, появляются новые финансовые инструменты. Такая нестабильность в большей степени относится к внебиржевым рынкам и торгуемым на них финансовым инструментам.

Внебиржевой рынок стал приобретать все возрастающее влияние, начиная с 1980-х годов, и в настоящее время по объему превзошел биржевой. На внебиржевом рынке опционов котируется большое количество активов. Наиболее крупными стали внебиржевые рынки иностранных валют и процентных ставок. Финансовые организации, работающие на внебиржевом рынке, часто подбирают ценные бумаги так, чтобы наиболее полно удовлетворить требования клиентов. Для этого выбирают нестандартные даты исполнения, цены исполнения и структуру контрактов. Как правило, такие инструменты называют экзотическими [1].

Повышенный интерес со стороны эмитентов к такому многообразию финансовых инструментов увеличивает важность принятия своевременного и правильного инвестиционного решения. Такое решение может быть принято только на основе быстрого и качественного анализа текущего состояния рынка.

Существуют три основных направления финансового анализа рынка: фундаментальный, технический и количественный анализ.

- Фундаментальный анализ предполагает анализ макроэкономических и микроэкономических «фундаментальных» факторов, влияющих на будущие доходы участников рынка и курсы их активов.
- Технический анализ основан на выявлении и изучении исторически сложившихся закономерностей функционирования финансового рынка на основе анализа статистики рынка в виде курсов и объемов продаж активов.
- Количественный анализ финансового рынка основывается на построении по эмпирическим данным статистических моделей финансовых временных рядов и использовании этих моделей для прогнозирования доходности финансовых инструментов [2].

Исторически первыми были технический и фундаментальный анализ, однако в настоящее время специалисты все чаще используют количественные методы анализа текущего состояния финансового рынка. В основе такого подхода лежит мощный математический аппарат, который позволяет строить большое многообразие моделей поведения доходности тех или иных финансовых инструментов.

История финансового инжиниринга начинается с 1997 г., когда профессорам М. Шоулзу и Ф. Блэку была присуждена Нобелевская премия по экономике за их труд в области оценки опционов. Модель Блэка-Шоулза, которая впервые была опубликована в мае 1973 г. в журнале «Политическая экономика», стала фактическим стандартом для оценки деривативов на финансовых ранках всего мира [3]. В основе этой модели лежит предположение, что доходность финансового инструмента подчиняется Броуновскому движению. Таким образом, изменение цены актива представляется как обобщенный винеровский процесс (1):

$$dx = a \cdot dt + b \cdot dz \,, \quad (1)$$

где a и b – константы.

Это приводит к следующей модели описания изменения цены финансового инструмента (2):

$$dS = \mu S \cdot dt + \sigma S \cdot dz \,, \quad (2)$$

где σ – волатильность и μ – ожидаемая доходность [30]. Такая модель была предложена Л.Башелье еще в 1900 г.

В 1965 году П.Самуэльсон предложил перейти к логарифмам цен (3):

$$S_t = S_0 e^{H_t} \,, \quad (3)$$

где $H_t = y_0 + y_1 + \ldots + y_t$ и $y_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}}$.

Таким образом, возникла концепция геометрического (экономического) броуновского движения, которая заключалась в том, что приращения имеют нормальное распределение.

В 1976 году Мертон предложил дополнить модель (2) пуассоновским процессом для моделирования скачков. Таким образом, доходность финансового инструмента описывается следующим образом:

$$\frac{dS}{S} = (\mu - \lambda k)dt + \sigma dz + dq\,, \qquad (4)$$

где λ – число скачков за год и dq – пуассоновский процесс [4].

Представленные выше модели распределения доходности активов доминировали в финансовой литературе, однако подвергались не малой критики. Главным недостатком этих моделей, является непрерывность используемых в их основе процессов, что сказывается на отсутствии их гибкости. Введение процессов Леви в моделирование доходности финансовых инструментов позволило решить эту проблему.

Пусть $\{X_t | \geq 0\}$ – стохастический процесс определенный на пространстве (Ω, f, P) с фильтрацией $F = \{f_t \mid t \geq 0\}$. Предполагается, что X - это процесс Леви относительно фильтрации F. X является неограниченным слева и $X_u - X_t$ не зависит от f_t и распределено как X_{u-t} при $0 \leq t \leq u$:

$$\phi_{(X_t)}(u) = E^P[e^{iuX_t}] = e^{-t\psi_x(u)}, t \geq 0$$

где характеристика экспоненты $\psi_x(u)$ выражается следующим образом:

$$\psi_x(u) = -iu\mu + \frac{1}{2}u^2\sigma^2 + \int_{R_0}(1 - e^{iux} + iux1_{|x|<1})\pi(x)dx\,, \quad (5)$$

где $\mu \in R$ описывает постоянный дрейф, $\sigma^2 \in R^+$ описывает постоянную дисперсию непрерывной компоненты процесса Леви и плотность вероятности Леви $\pi(x)$ описывает возможную величину скачка любого возможного размера x. Тройка (μ, σ^2, π) полностью определяет Леви процесс X_t и называется характеристиками Леви [5]. Так же полезным будет определение кумулятивной экспоненты Леви процесса X_t,

$$\varphi_x(s) = \frac{1}{t}\ln E[e^{sX_t}] = s\mu + \frac{1}{2}s^2\sigma^2 + \int_{R_0}(e^{sx} - 1 - sx1_{|x|<1})\pi(x)dx$$

Ценообразование опционов и вероятностная оценка процессов Леви обычно основываются на трактовке характеристик и на аналитическом решении интегральных выражений (5).

Процессы Леви являются основой для разработки новых моделей. Частными примерами процессов Леви являются (2) и (4) модели. Таким образом, при $\pi(x) = 0$ мы получаем известную модель Блэка-Шоулза:

$$\psi(u) = -iu\mu + \frac{1}{2}u^2\sigma^2\,.$$

При плотности вероятности Леви (7) получаем соответствующую характеристическую функцию (8), которая определяет модель Мертона [5].

$$\pi(x) = \lambda\frac{1}{\sqrt{2\pi\nu_J}}\exp\left(-\frac{(x-\mu_J)^2}{2\nu_J}\right), \qquad (7)$$

$$\psi(u) = \lambda\left(1 - e^{iu m_J - \frac{1}{2}u^2\nu_J}\right). \qquad (8)$$

Процессы Леви со стохастическими изменениями времени стали универсальным стандартным инструментом моделирования доходности финансовых инструментов. Различные компоненты Леви могут описывать как дискретные, так и непрерывные движения доходности. Стохастические временные интервалы могут быть применены для генерирования случайной интенсивности различных движений для моделирования волатильности. Таким образом, процессы Леви не только являются основой для создания новых моделей, но и показывают природу происхождения известных моделей, которые успешно применяются во всем мире.

Литература

1. Халл Д.К. Опционы, фьючерсы и другие производные финансовые инструменты. – М. Вильямс, 2007. – 1056 с.

2. Малюгин В.И. Рынок ценных бумаг: Количественные методы анализа. – М.: Дело, 2003. – 320 с.

3. Black F., Scholes M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities / The Journal of Political Economy. – 1973. – V. 81. – № 3 (May) – P. 637–654.

4. R. Merton, Continuous-Time Finance, Oxford: Blackwell, 1998.

5. Liuren Wu. Modeling Financial Security Returns Using Levy Processes / Zicklin School of Business, Baruch College, City University of New York – 2008. – V.15. − P. 1−56.

ОТЛАДКА ПРОГРАММ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО АППАРАТНОГО ИНТЕРФЕЙСА JTAG

Завьялов А.П., Чурсин.Ю.А., Маклаков Р.Э.
Научный руководитель: Чурсин Ю.А., старший преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zabooq@gmail.com

Введение

В данном докладе будут рассмотрены применение аппаратного интерфейса JTAG для отладки программ и тестирования стенда SDK 2.0, и проблемы, связанные с этим.

Описание SDK 2.0

Учебный лабораторный комплекс SDK–2.0 (рис.1) предназначен для изучения принципов организации микропроцессорных систем, структуры и функционирования базовых компонентов (памяти, контроллеров ввода–вывода, подсистемы памяти и т.д.), получения навыков программирования встраиваемых систем различного назначения.

Отличительными чертами стенда SDK–2.0 являются высокая производительность процессорного ядра, ориентация на одну из наиболее динамично развивающихся архитектур ARM7, большое разнообразие периферийных блоков: часы реального времени, энергонезависимая память EEPROM, графическая консоль, контроллер Ethernet, порты CAN–2.0 и RS–485.[1]

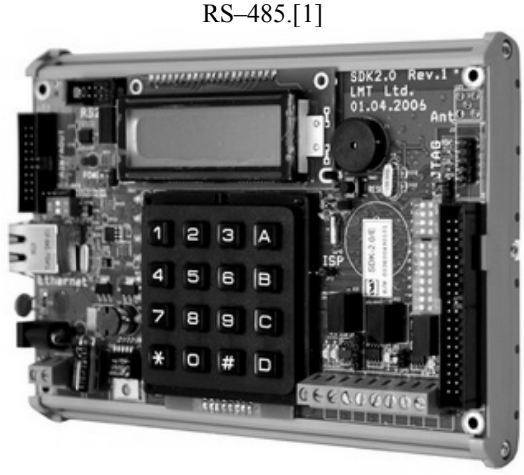


Рис.1. Учебный лабораторный комплекс SDK–2.0

Описание JTAG

JTAG (Joint Test Action Group) – специализированный аппаратный интерфейс, разработанный для тестирования собранных печатных плат. На данный момент JTAG-интерфейс применяется при периферийном сканировании.

С помощью JTAG интерфейса микроконтроллер подключается напрямую к среде программирования и отладки, например к CrossworksStudio. После чего микроконтроллер полностью подчиняется студии. Становится доступным пошаговое выполнение кода, просмотр/изменение всех регистров, работа со всей периферией в самом микроконтроллере, а не в программной эмуляции. Уникальной особенностью JTAG является возможность программирования не только самого микроконтроллера (или ПЛИС), но и подключённой к его выводам микросхемы флэш-памяти. Порт тестирования (TAP—Test Access Port) представляет собой четыре или пять выделенных выводов микросхемы: TCK, TMS, TDI, TDO. Функциональное назначение этих линий (рис.2):

-TDI (testdatainput – «вход тестовых данных») – вход последовательных данных периферийного сканирования. Команды и данные вводятся в микросхему с этого вывода по переднему фронту сигнала TCK;

-TDO (testdataoutput – «выход тестовых данных») – выход последовательных данных. Команды и данные выводятся из микросхемы с этого вывода по заднему фронту сигнала TCK;

-TCK (testclock – «тестовое тактирование») – тактирует работу встроенного автомата управления периферийным сканированием. Максимальная частота сканирования периферийных ячеек зависит от используемой аппаратной части и на данный момент ограничена 25…40 МГц;

-TMS (testmodeselect – «выбор режима тестирования») – обеспечивает переход схемы в/из режима тестирования и переключение между разными режимами тестирования.

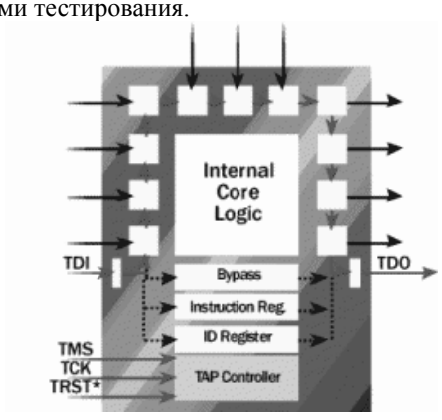


Рис.2. JTAG-порт микросхемы

ARM-USB-OCD (рис.3)– устройство, которое сочетает в себе внутрисхемный USB-JTAG эмулятор для ARM-микроконтроллеров, преобразователь интерфейсов USB-RS-232 и источник питания.[2]
Отличительные особенности:
-интерфейсы на базе ИМС FT2232L;
-использование стандартного ARM-совместимого JTAG-коннектора 2x10пин;
-высокоскоростной интерфейс USB 2.0 JTAG для всех ARM-платформ;
-поддержка целевых устройств с напряжением питания от +2В до +5В.
Так как распиновка данного устройства и стенда SDK 2.0 не совпадает, возникла проблема их соединения друг с другом. Но, так как некоторые из этих 2x10 пинов несущественны, а остальные возможно «подвесить» на оставшиеся, стало возможным вручную спаять переходник, подходящий для стенда SDK 2.0.

Рис.3. Olimex ARM-USB-OCD

Среда разработки
Crossworks for ARM представляет собой среду программирования для микроконтроллеров серии ARM7. Содержит С-компилятор, отладчик, загрузчик. Поддерживает используемый нами JTAG-адаптер Olimex ARM-USB-OCD.[3]

Описание тестирования
Подключив стенд SKD 2.0 к персональному компьютеру с помощью JTAG (Рис. 4.), получили возможность пошаговой отладки тестовой программы, которая поочередно зажигает светодиоды на микроконтроллере. С помощью осциллографа становится возможным отслеживать сигналы на выходе стенда, то есть его реакцию на каждую строчку программного кода.

Рис.4. Подключение SDK 2.0 к ПК

Рис.5. Скриншот отладки программного кода

Заключение
В ходе выполнения данной работы было проведено исследование аппаратного интерфейса JTAG и среды программирования Crossworks. Произведено подключение интерфейса JTAG к стенду SDK 2.0 и отладка простейшей программы, управляющей светодиодами микроконтроллера, что указывает на возможность использования JTAG в качестве мощного отладочного средства. В дальнейшем планируется исследование и наладка более сложных программ с помощью данного интерфейса.

Список литературы
1.Сайт поддержки стенда SDK 2.0.
URL:http://embedded.ifmo.ru/index.php/support/sdk-20
2.ARM-USB-OCD [Электронный ресурс].
URL: http://olimex.com/dev/pdf/ARM-USB-OCD.pdf
3.Сайт программного обеспечения Crossworks.
URL: http://www.rowley.co.uk/arm/index.htm/

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНЫХ БИЕНИЙ РОТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ВРАЩЕНИЯ

Зайцев Е. С.
Научный руководитель: Астафуров В. Г., д.ф.-м.н, профессор
ОАО «Производственное объединение «Электрохимический завод», 663690, Россия,
Красноярский край, г. Зеленогорск, ул. Первая промышленная, 1
E-mail: zaytsev_es@mail.ru

Радиальные колебания ротора возникают вследствие его изгиба при вращении и определяются отклонением геометрической оси ротора от его оси вращения. Для количественного описания данного типа колебаний используется термин радиальное биение (РБ). Контроль РБ может выполняться для определения технического состояния роторного оборудования и прогнозирования изменения его во времени с целью своевременного вывода оборудования в ремонт и предупреждения аварийных ситуаций.

Для контроля РБ используют датчики близости или вибрации [1], дополнительно размещаемые в оборудовании. Но в некоторых ситуациях применение таких датчиков экономически невыгодно или технически сложно реализуемо (например, если ротор вращается в агрессивной среде). С другой стороны, датчик вращения (ДВ) ротора практически всегда присутствует в эксплуатируемом оборудовании и может использоваться для контроля РБ. Рассмотрим эту возможность применительно к ротору, который оснащен индуктивным ДВ, также известным как ДВ с переменным магнитным сопротивлением [1].

ДВ такого типа представляет собой соленоид, в котором наводится переменное напряжение за счет вращения индуктора в поле постоянного магнита. Индуктор располагается на роторе и имеет области с различными магнитными свойствами (выступы, зубья, грани, щели). Вращаясь, индуктор вызывает периодическое изменение магнитного сопротивления в магнитной цепи катушки, которое наводит в ней ЭДС с частотой, пропорциональной скорости вращения. Сигнал с ДВ может быть разделен на n отдельных периодов $T_1, T_2, \ldots, T_n$, соответствующих прохождению выступов или граней (щелей) индуктора наиболее близко к ДВ, где n – число выступов индуктора.

В силу того, что ротор при вращении изгибается, геометрический центр индуктора смещается относительно его центра вращения. В результате происходит изменение параметров сигнала с ДВ: длительностей и амплитуд периодов, спектра сигнала. По величине этих изменений можно судить о РБ ротора в плоскости индуктора. Пример реализации метода определения РБ путем анализа спектра сигнала с ДВ представлен в патенте [2].

Организовать измерение длительностей периодов сигнала с ДВ принципиально проще, чем измерение спектра или амплитуд периодов. Кроме того, на предприятиях, эксплуатирующих роторное оборудование, как правило, имеются специализированные приборы и комплексы, позволяющие измерять именно длительности периодов сигналов с ДВ – системы контроля частоты вращения. Поэтому задачу по определению РБ сформулируем следующим образом: зная длительности периодов сигнала с ДВ, установить модуль РБ A и угол РБ φ ротора в плоскости индуктора.

Для решения поставленной задачи построим плоскую модель вращения индуктора ротора вблизи ДВ (далее Модель). Для случая треугольного индуктора Модель представлена на рис. 1.

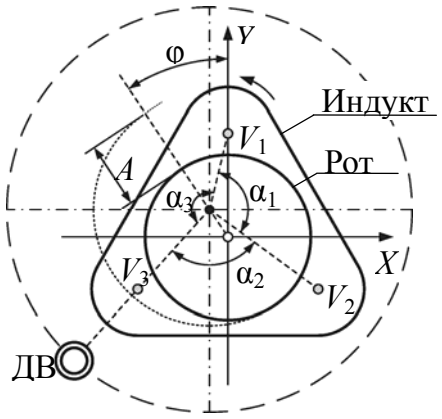


Рис. 1. Модель вращения треугольного индуктора вблизи катушки ДВ: ○ – геометрический центр индуктора, ● – центр вращения индуктора.

В Модели задана координатная плоскость, связанная с вращающимся ротором. Точка начала координат совмещена с геометрическим центром индуктора. Ось ординат Y установлена в направлении одного из выступов индуктора, с которого начинается нумерация выступов и соответствующих периодов сигнала с ДВ. Положение центра вращения относительно геометрического центра индуктора определяется координатами (x, y).

Символами $V_i = \{V_1, V_2, \ldots, V_n\}$ обозначены центры скруглений выступов индуктора. V_1 – центр скругления первого выступа. Прохождение i-го выступа индуктора наиболее близко к ДВ соответствует нахождению на одной линии центра скругления, центра вращения и ДВ. При этом сигнал с ДВ становится равным нулю. Углы между указанными прямыми обозначены $\alpha_i = \{\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n\}$.

Углы α_i связаны с длительностями соответствующих периодов сигнала с ДВ $T_i = \{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$ соотношением:

$$\alpha_i = 2\cdot\pi\cdot T_i / (n\cdot T_0), \quad (1)$$

где T_0 – средняя длительность периода, $T_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$; n – число выступов индуктора.

На основе Модели с учетом выражения (1) получают систему уравнений, связывающую длительности периодов T_i с координатами центра вращения индуктора (x, y):

$$T_i(x, y) = F_i(x, y, T_0, x_{V1}, y_{V1}, \ldots, x_{Vn}, y_{Vn}), \quad (2)$$

где $(x_{Vi}, y_{Vi}) = \{(x_{V1}, y_{V1}), (x_{V2}, y_{V2}), \ldots, (x_{Vn}, y_{Vn})\}$ – координаты центров скруглений V_i индуктора.

Для случая треугольного индуктора ($n = 3$) система уравнений Модели будет иметь следующий вид:

$$T_1(x, y) = \frac{3\cdot T_0}{2\cdot\pi}\left[\pi - \operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V1}-x}{y_{V1}-y}\right) + \operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V2}-x}{y_{V2}-y}\right)\right],$$

$$T_2(x, y) = \frac{3\cdot T_0}{2\cdot\pi}\left[\operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V3}-y}{x_{V2}-x}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V2}-x}{y_{V2}-y}\right)\right],$$

$$T_3(x, y) = \frac{3\cdot T_0}{2\cdot\pi}\left[\pi + \operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V1}-x}{y_{V1}-y}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{x_{V3}-x}{y_{V3}-y}\right)\right].$$

Удвоенный радиус-вектор центра вращения индуктора представляет собой вектор РБ. Зная координаты этого вектора, рассчитывают его модуль и угол:

$$A = 2\cdot\sqrt{x^2 + y^2}, \quad \varphi = \arg(x, y) - \pi/2,$$

где A – модуль РБ; φ – угол РБ, отсчитываемый от направления на первый выступ индуктора; (x, y) – координаты центра вращения индуктора.

Таким образом, задача о нахождении модуля и угла РБ сводится к нахождению координат центра вращения индуктора. Используя любой измерительный прибор, обеспечивающий измерение длительностей периодов сигнала с ДВ в последовательности, соответствующей прохождению выступов индуктора наиболее близко к ДВ, определяют измеренные значения длительностей периодов $T_{Mi} = \{T_{M1}, T_{M2}, \ldots, T_{Mn}\}$. В идеальном случае при подстановке значений T_{Mi} вместо левых частей выражений (2) получают систему уравнений, которая имеет одно общее решение в точке пересечения уравнений Модели. Такую систему уравнений принято называть совместной. На практике, система уравнений (2) при подстановке значений T_{Mi} будет являться несовместной. В этом случае решением можно считать такую точку M с координатами (x_M, y_M), в которой правые части уравнений (2) наиболее близки измеренным значениям длительностей периодов T_{Mi}.

Для нахождения координат M центра вращения представим систему (2) в следующем виде:

$$T_k(x, y) = T_{Mk}, \quad (3)$$

где $T_k(x,y)$ – функции, входящие в систему уравнений (2), которые определяют расчетные значения длительностей периодов; T_{Mk} – свободные члены, определяющие измеренные значения длительностей периодов; k – номер уравнения системы (2), $k = 1,2\ldots n$; n – число уравнений системы.

Для поиска решения используют вспомогательную функцию f_C, определяющую степень близости левых частей уравнений (3) к их правым частям. Функция f_C является критерием оптимальности результата. В литературе для неё встречаются также другие наименования: целевая функция, величина ошибки и пр. Такие значения (x, y), при которых функция f_C достигает экстремального значения, принимают в качестве решения системы (3). Для поиска экстремума функции f_C используют методы оптимизации (математического программирования), изучаемые в соответствующем разделе математики [3]. В качестве f_C при определении РБ предлагается использовать следующую функцию:

$$f_C = \Delta_{QDS}(x, y) = \sum_k \left(T_{Mk} - T_k(x, y)\right)^2,$$

где $\Delta_{QDS}(x,y)$ – сумма квадратичных отклонений измеренных длительностей периодов T_{Mk} от расчетных T_k, достигающая минимума при положении центра вращения в точке с координатами (x_M, y_M).

Таким образом, на основании Модели предложен метод определения РБ роторов путем анализа длительностей периодов сигнала с ДВ. Главной особенностью метода является то, что при определении биений используются датчики, уже входящие в состав оборудования. Это значительно снижает стоимость внедрения системы контроля РБ, позволяет реализовать её на основе существующей системы контроля частоты вращения и сокращает время создания такой системы.

Метод может применяться для определения РБ роторов, оснащенных индуктивным ДВ с различной формой индуктора. Помимо индуктивных ДВ метод может использоваться и с датчиками других типов, например, импульсными оптическими тахометрами. При этом для использования метода достаточно сформировать новую систему уравнений Модели (2), с учетом особенностей работы конкретного ДВ.

Список литературы

1. Аш. Ж. и соавторы. Датчики измерительных систем: В 2-х книгах. Кн. 1. Пер. с франц. – М.: Мир, 1992.

2. Пат. 2180435 Российская федерация, МПК7 G01M1/22, B0409/14. Способ определения параметров колебаний вращающегося ротора / Белослудцева Е. К., Воробьев С. А., Ивакин В. А.; заявитель и патентообладатель Уральский электрохимический комбинат – заявл. 05.11.1999; опубл. 10.03.2002.

3. Медынский. М. М., Антоний Е. В. Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы: учеб. пособие / М.М.Медынский, Е.В.Антоний. – М.: Изд-во МАИ, 2003.

ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ КЭШИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Захарьянц А.Г., Бортников А.В.
Научный руководитель: Аксенов С.В, д.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Arthur@mail2000.ru

В информатике под **алгоритмами кэширования** (часто называемыми *алгоритмами вытеснения* или *политиками вытеснения*, а также «алгоритмами/политиками замещения») понимают оптимизацию инструкций — алгоритмы — особая компьютерная программа или аппаратно поддерживаемая структура, способная управлять кэшем информации, хранимой в компьютере. Когда кэш заполнен, алгоритм должен выбрать, что именно нужно удалить из него, чтобы иметь возможность записи (в кэш) новой, более актуальной информации.

«Уровень попаданий» кэша означает то, насколько часто искомые данные обнаруживаются в кэше. Более эффективные политики вытеснения отслеживают обращения к наиболее используемой информации, чтобы улучшить уровень попаданий (при том же размере кэша).

«Латентность» кэша означает насколько быстро кэш может вернуть запрошенные данные непосредственно после запроса (в случае, если происходит «попадание»). Более быстрые стратегии вытеснения обычно отслеживают наименее используемую информацию — или, в случае кэша прямого отображения (direct-mapped cache), отсутствие информации, чтобы снизить затраты времени на обновление информации.

Каждая стратегия вытеснения является компромиссом между уровнем попаданий и латентностью.

Примеры

Алгоритм Белади

Наиболее эффективный алгоритм кэширования будет всегда отбрасывать информацию, в которой он не будет нуждаться дольше всего. Такой оптимальный результат достигается за счет оптимального алгоритма Белади или алгоритма предвидения. Так как в общем случае невозможно предсказать когда именно в будущем потребуется именно эта информация, то на практике (опять же, в общем случае) подобная реализация невозможна. Практический минимум может быть вычислен только опытным путем, и каждый может сравнить эффективность выбранного алгоритма кэширования с оптимальным минимумом.

Least Recently Used (Наиболее давно использовавшийся)

Least Recently Used (LRU): в первую очередь, вытесняется неиспользованный дольше всех. Этот алгоритм требует отслеживания того, что и когда использовалось, что может оказаться довольно накладно, особенно если нужно проводить дополнительную проверку, чтобы в этом убедиться. Общая реализация этого метода требует сохранения «бита возраста» для строк кэша и за счет этого происходит отслеживание наименее использованных строк (то есть за счет сравнения таких битов). В подобной реализации, при каждом обращении к строке кэша меняется «возраст» всех остальных строк. LRU на самом деле является семейством алгоритмов кэширования, в которое входит 2Q, разработанный Теодором Джонсоном и Деннисом Шаша, а также LRU/K от Пэта О'Нила, Бетти О'Нил и Герхарда Вейкума.

Most Recently Used (Наименее давно использовавшийся)

Most Recently Used (MRU): в отличе от LRU, в первую очередь вытесняется последний использованный элемент. В соответствии с источником, «Когда файл периодически сканируется по циклической схеме, MRU — наилучший алгоритм вытеснения». В источнике авторы также подчеркивают, что для схем случайного доступа и циклического сканирования больших наборов данных (иногда называемых схемами циклического доступа) алгоритмы кэширования MRU имеют больше попаданий по сравнению с LRU за счет их стремления к сохранению старых данных. Алгоритмы MRU наиболее полезны в случаях, когда чем старше элемент, тем больше обращений к нему происходит.

Псевдо-LRU (PLRU)

Для кэшей с большой ассоциативностью (обычно >4 каналов), цена реализации LRU становится непомерно высока. Если достаточна схема, что почти всегда нужно отбрасывать наименее используемый элемент, то в этом случае можно использовать алгоритм PLRU, требующий для элемента кэша только один бит.

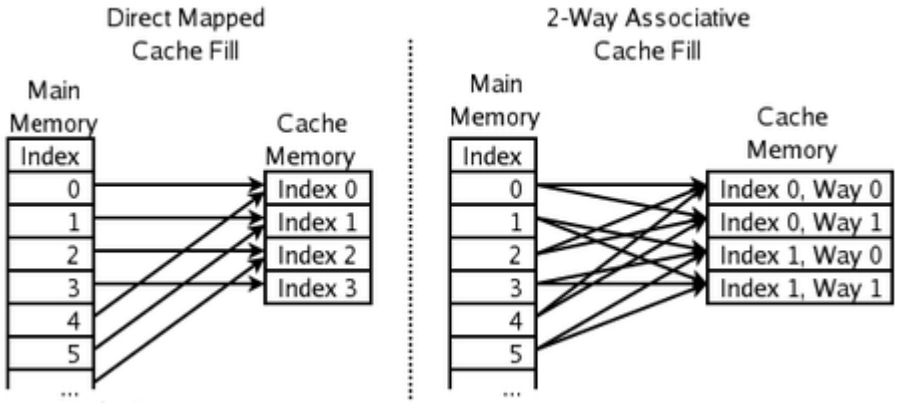


Рис. 1. Кэширование адреса в память в виде адреса в кэше

Сегментированный LRU (SLRU)

SLRU-кэш делится на два сегмента. пробный сегмент и защищенный сегмент. Строки в каждом сегменте упорядочены от частоиспользуемых к наименее используемым. Данные при промахах добавляются в кэш, причем в область последних использованных элементов пробного сегмента. Данные при попаданиях убираются где бы они не располагались и добавляются в область частоиспользуемых элементов защищенного сегмента. К строкам защищенного сегмента обращения таким образом происходят по крайней мере дважды. Защищенный сегмент ограничен. Такой перенос строки из пробного сегмента в защищенный сегмент может вызвать перенос последней использованной (LRU) строки в защищенном сегменте в MRU-область пробного сегмента, давая этой линии второй шанс быть использованной перед вытеснением. Размер защищенного сегмента — SLRU-параметр, который меняется в зависимости от схемы работы ввода-вывода. Всякий раз когда данные должны быть вытеснены из кэша, строки запрашиваются из LRU-конца пробного сегмента.

2-Way Set Associative (2-канальная ассоциативность)

2-канальная ассоциативность применяется для высокоскоростного процессорного кэша, где даже PLRU слишком медленен. Адрес нового элемента используется для вычисления одного из двух возможных местонахождений в кэше (в отведенной для этого области). По алгоритму LRU два элемента вытесняются. Это требует одного бита для пары строк КЭШа для указания которые из них использовались последними.

Кэш прямого отображения (Direct-mapped cache)

Кэш прямого отображения используется для высокоскоростных кэшей процессора, где не хватает быстродействия 2-канального ассоциативного кэширования. Адрес нового элемента используется для вычисления местонахождения в кэше (в отведенной для этого области). Все, что было ранее, — вытесняется.

Least-Frequently Used(Редкоиспользуемый)

LFU подсчитывает как часто используется элемент. Те элементы, обращения к которым происходят реже всего, вытесняются в первую очередь.

Adaptive Replacement Cache (Адаптивная замена)

ARC постоянно балансирует между LRU и LFU, что улучшает итоговый результат.

Multi Queue Caching Algorithm (Алгоритм многопоточного кэширования)

В алгоритме многопоточного кэширования, разработанным И. Жу, Дж. Ф. Филбином и Каем Ли, учитываются следующие моменты:

- Элементы с различной стоимостью: хранение элементов, запрос которых весьма дорог, например, такие, получение которых затребует много времени.
- Элементы, требующие больше места в кэше: если элементы имеют разный размер, то кэш может попытаться вытеснить бОльший элемент, чтобы сохранить несколько элементов поменьше.
- Элементы, устаревающие с течением времени: Некоторые кэши хранят устаревающую информацию (например, кэш новостей, DNS-кэш или кэш веб-браузера). Компьютер может вытеснить элементы вследствие их устаревания. В зависимости от размера кэша, кэширование новых элементов может потребовать вытеснение старых.

На данный момент существуют также различные алгоритмы для обеспечения когерентности кэша. Это применяется в случаях только когда множество независимых кэшей используется для хранения одной и той же информации (например, множество серверов баз данных обновляют общий файл данных).

РАЗВИТИЕ ЯЗЫКА GIL

Зорин Ю.А.
Научный руководитель: Кручинин В.В., к.т.н., доцент
Томский университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), 634050, пр.Ленина 40
E-mail: zua@2i.tusur.ru

Язык GIL (Genaration and Identification Language – язык генерации и нумерации) является функциональным языком программирования. Язык в первую очередь предназначен для решения задач, связанных с написанием алгоритмов генерации на основе деревьев И/ИЛИ. В отличие от функционального языка Lisp, где все является списком, в GIL основной структурой языка является дерево И/ИЛИ.

Основные возможности языка:

- реализация алгоритмов на деревьях И/ИЛИ (алгоритмы генерации и нумерации вариантов);
- построение дерева И/ИЛИ;
- получение варианта дерева И/ИЛИ по объекту.

Метод генерации вариантов представления какого-либо объекта на основе деревьев И/ИЛИ позволяет производить множество уникальных представлений данного объекта с различными свойствами. Рассмотрим пример генерации вариантов тестового задания для студента:

Дана следующая функция, написанная на языке программирования C:

```
int Sum(int v[], int n) {
    int sum = 0;
    for (int i=0; i<n; i++)
          sum += v[i];
    return sum;
}
```

Что будет выведено на экран в результате выполнения следующего кода:

```
int vec[5] = {1, 2, 3, 4, 5};
printf("%d", sum(vec, 5));
```

В этом задании требуется понять, что функция `Sum` определяет сумму элементов массива `v` и ответом является число 15. Используя выразительные средства языка C, можно различными способами написать функцию нахождения суммы. Например, название функции может быть различным (`Sum`, `Count`, `Total`), обход всех элементов массива можно записать разными способами (циклами `for`, `while`, `do`) и т.д. Кроме этого, длина массива `vec` и его элементы могут генерироваться, что даёт большое число возможных вариантов тестового задания. С точки зрения реализации определения валидности результата, введенного ответа с истинным, требуется также вычислить сумму сформировавшегося массива и сравнить ее с введенным результатом[1]. Однако данный способ не всегда применим и, скорее, ограничивает возможности генерации. Рассмотрим пример следующей задачи:

Из пункта А в пункт Б навстречу друг к другу вышли два автомобиля, скорость первого автомобиля на 10 км/ч меньше второго. Расстояние между пунктами 50 км. Известно, что автомобили встретятся через 45 минут. На каком расстоянии от пункта А встретятся автомобили?

Для решения данной задачи необходимо записать ряд формул:

$$S = S_1 + S_2; \quad V_2 = k + V_1; \; S = 50; \; t = 0.75; \; k = 10;$$

Решение можно расписать следующим образом:

$$S_1 = S - S_2;$$

$$S_1 = (V_1 + V_2) \cdot t - S_2;$$

$$S_1 = (V_1 + V_1 + k) \cdot t - \frac{V_2}{t};$$

$$S_1 = (2V_1 + k) \cdot t - \frac{V_1 + k}{t};$$

$$S_1 = 2t\frac{S_1}{t} + kt - \frac{S_1}{t^2} + \frac{k}{t};$$

$$S_1 - 2S_1 + \frac{S_1}{t^2} = kt + \frac{k}{t};$$

$$S_1 = kt + \frac{k}{t} / (1 - 2 + \frac{1}{t^2});$$

$$S_1 = \frac{kt^2 + k}{\frac{1}{t} - t}.$$

Подставляя значения, получим: $S_1 \approx 26.79$.

Генерация текста условия задачи должна происходить таким образом, чтобы формула решения оставалась неизменной, к примеру, один из вариантов данной задачи с одинаковым алгоритмом решения может выглядеть следующим образом:

Из пункта В в пункт Г навстречу друг к другу вышли два пешехода, скорость первого пешехода на 1 км/ч больше второго. Расстояние между пунктами 5 км. Известно, что пешеходы встретятся через 25 минут. На каком расстоянии от пункта В встретятся пешеходы?

Как видно из данного примера, конечная формула решения данной задачи не отличается от предыдущей.

Применение деревьев И/ИЛИ для генераций подобного тестового задания позволит сформировать несколько сотен уникальных

условий задач, решаемых по одной и той же формуле. Однако, на основе деревьев существует способ вывода конечной формулы на основе заданной базы формул, либо определения отсутствия решения.

В основе этого метода лежит построение и использование дерева И-ИЛИ. Первоначально на основе базы знаний строится дерево И/ИЛИ, далее производится его анализ, определяются варианты, дающие возможность построения уравнения. Рассмотрим кратко основные моменты построения дерева И/ИЛИ. Корнем этого дерева становится искомая переменная. Далее в базе знаний ищутся все формулы, в которых левая часть содержит данную переменную. Эти формулы записываются как сыновья рассматриваемого узла. А сам узел становится узлом ИЛИ (т.е. для определения переменной, записанной в рассматриваемом узле, необходимо использовать одну из формул). Затем происходит переход на рассмотрение узла, в котором записана одна из формул. Все переменные, которые имеются в формуле, записываются в узлы, которые являются сыновьями рассматриваемого узла (где записана формула). А сам рассматриваемый узел становится узлом И, т.к. для вычисления формулы необходимо знать значения всех переменных. Листом дерева становится узел, в котором записана переменная в следующих случаях:

- значение переменной известно;
- переменная является искомой переменной;
- в процессе построения дерева рассматриваемая переменная использовалась ранее (вариант рекурсии).

Процесс построения дерева будет завершен, если для всех листьев дерева будут выполняться условия, записанные выше. Таким образом, при построении дерева будет получено некоторое множество вариантов подстановок, которые могут приводить к построению уравнения с одним неизвестным или не приводить к нему. Вариантом постановки будет поддерево И-ИЛИ, у которого каждый ИЛИ-узел будет иметь только одного сына[2].

Таким образом, реализованный механизм нахождения формулы решения в языке GIL позволит формировать большее количество вариантов тестовых заданий и существенно изменить смысл условия задания.

Пример одного из вариантов сгенерированного условия задачи:

Из пункта А в пункт Б навстречу друг к другу вышли два поезда, скорость первого поезда в 1,5 раза больше второго. Скорость второго поезда 60 км/ч. Расстояние между пунктами 150 км. Через какой промежуток времени встретятся поезда?

Список литературы:

1. Титков А.В. Система построения генераторов комбинаторных множеств на основе деревьев И/ИЛИ//Диссертация на соискание степени кандидата технических наук. – 2010.С.60-62.

2. Кручинин В.В. Методы построения алгоритмов генерации и нумерации комбинаторных объектов на основе деревьев И/ИЛИ//Изд-во «В-Спектр». – 2007.С.84-85.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РИФОРМИНГА И ДЕГИДРИРОВАНИЯ ВЫСШИХ ПАРАФИНОВ

Иванов С.Ю.
Научный руководитель: Иванчина Э.Д., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, ул.Ленина, 30
E-mail: JDbottle@gmail.com

В большинстве процессов нефтеперерабатывающей промышленности используются катализаторы, активным компонентом которых являются благородные металлы. Для процесса дегидрирования высших парафинов применяется платиновый катализатор, для риформинга – бифункциональный платино-рениевый катализатор на цеолитном носителе (γ-Al_2O_3). [1]

В ходе работы установки происходит снижение активности катализатора [2], что влияет на основные показатели по качеству выпускаемой продукции. С целью восстановления Pt-контакта по завершении сырьевого цикла проводят регенерацию катализатора.

Основной причиной, снижающей активность катализатора, является образование кокса в ходе побочных реакций и блокировка им активных центров катализатора. Поэтому основной целью процесса регенерации является удаление кокса и восстановление дисперсной структуры поверхности катализатора. Ведение процесса в оптимальных условиях позволит наилучшим образом сформировать Pt-контакт, улучшить

качество получаемого продукта и продлить срок службы катализатора.[2]

Наиболее распространенной в промышленности является регенерация катализаторов процесса риформинга. Она включает в себя три стадии – на первом этапе происходит удаление кокса посредством его выжига с поверхности, на втором – посредством оксилительного хлорирования восстанавливают дисперсность катализатора, на третьем – введением микроколичеств сернистых соединений добиваются снижения избыточной активности металлических центров.

Регенерация катализаторов дегидрирования высших парафинов включает только стадию выжига кокса. Это связано с тем, что процесс ведется при более низких температурах и не требуется редеспергирование катализатора окислительным хлорированием.

С развитием компьютерных технологий стало возможным создание программных продуктов, которые позволят проводить расчеты по определению оптимальных параметров регенерации на основе математических моделей, основанных на физико-химической сущности протекающих в ходе процесса превращений.

. На кафедре Химической технологии топлива и химической кибернетики ХТФ ТПУ была разработана программа, позволяющий проводить расчет по данным стадиям. В основе программы лежит математическая модель процесса, Входными данными для расчета процесса являются следующие параметры с установок:

- расход воздуха,
- кратность циркуляции воздуха,
- давление в реакторах, сепараторе,
- температура в реакторах, сепараторе,
- содержание кислорода и углекислого газа в на входе и на выходе реактора,
- расход хлора,
- масса загруженного в реактор катализатора.

Ввод данных реализован в виде таблицы, в которую заносится информация на каждый час ведения процесса. (Рис.1)

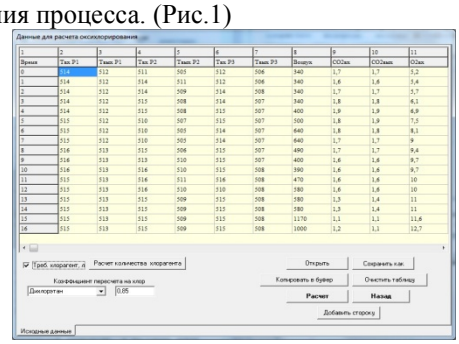


Рис.1 Окно ввода данных

В ходе расчета стадии выжига кокса проводится определение массы кокса, образовавшегося на катализаторе и его структуры по соотношению С/Н. В таблице 1 приведен пример расчета стадии выжига кокса за различные годы на установке ЛЧ-35-11/1000.

Год	2005	2006	2008	2009
Масса кокса, кг	13577,6	8568,3	7734,54	3720,53
С/Н	1,71	1,43	2	2

Таблица.1 Расчет стадии выжига кокса

Расчет стадии окислительного хлорирования позволяет контролировать оптимальную подачу хлорагента в реактора и величину конверсии хлористого водорода – основные параметры, позволяющие наилучшим образом редеспергировать поверхность катализатора. На Рис.2 представлен график изменения значения степени превращения хлороводорода в ходе окислительного хлорирования катализатора установки ЛЧ-35-11/1000 в 2009 г. Из графика видно, что значение изменялось в пределах 35-40 %. Это способствовало накоплению хлора на катализаторе в количестве в 1,33% масс., что являетяс близким к оптимальному. [2]

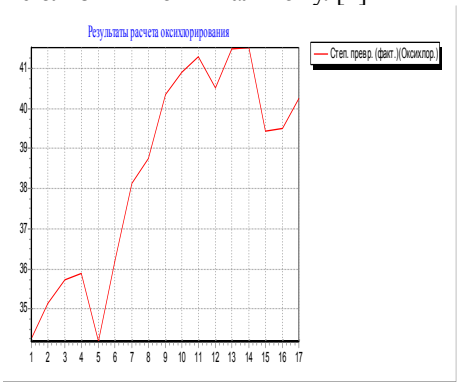


Рис.2 Степень превращения хлористого водорода

На величину конверсии хлороводорода влияют содержание кислорода и паров воды в реакторном блоке. Используемая модель позволяет рассчитывать данные показатели и изменять параметры процесса с целью контроля конверсии хлороводорода

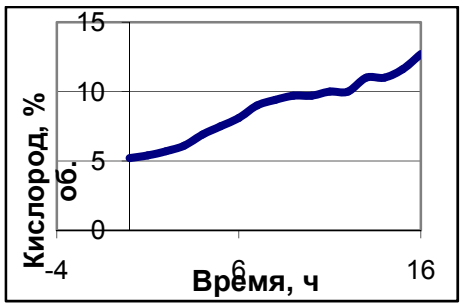


Рис.3 Содержание кислорода в газах регенерации

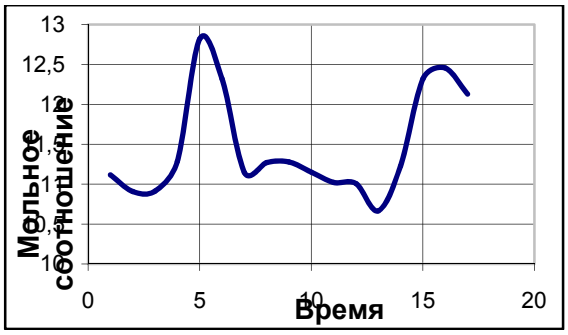


Рис.4 Мольное соотношение вода:хлороводород в ходе процесса

Из графиков видно, что причиной падения конверсии хлороводорода в начале процесса было резкое увеличение содержания паров воды в реакторе, при том что содержание кислорода постепенно увеличивалось в ходе всего процесса.

Таким образом, для технолога предоставляется возможным в динамике отслеживать состояние процесса и оперативно контролировать основные технологические параметры с целью ведения процесса в оптимальных условиях.

Применение подобных программ в химической технологии в настоящее время относится к прогрессивным направлениям развития химической промышленности. С помощью компьютерных моделирующих систем (КМС) стало возможным повышение ресурсоэффективности современных промышленных предприятий нефтегазовой отрасли.

Список литературы

1. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.

2. Кравцов А.В., Иванчина Э.Д., Галушин С.А., Полубоярцев Д.С. Системный анализ и повышение эффективности нефтеперерабатывающих производств методом математического моделирования. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 170 с.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА ФТОРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

Извекова Ю.В., Криницын Н.С.,
Научный руководитель: Криницын Н.С., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Persival@sibmail.com

В Российской Федерации существуют только два предприятия производящие гексафторид урана (из 6 предприятий в мире): ОАО “АЭХК” и ОАО “СХК” [1]. На обоих предприятиях основным сырьём для узла фторирования пламенного реактора (ПР) являются полупродукты, выгружаемые из узла улавливания аппарата комбинированного типа (АКТ). Основной состав полупродуктов составляют тетрафторид урана - UF_4, закись-окись урана – U_3O_8 и уранилфторид – UO_2F_2 [2].

В результате анализа производственных трендов было выявлено, что состав полупродуктов постоянно изменяется. На это указывают колебания в расходе полупродуктов, подача которых обеспечивает стабильность процесса фторирования. Таким образом, задача стабилизации объёмной концентрации фтора на заданном уровне не может быть достигнута за счёт поддержания на соответствующем уровне оборотов шнека загрузки.

Цель данной работы заключается в разработке математической модели ПР позволяющей проводить исследования влияния технологических переменных на ход технологического процесса.

Актуальность поставленной задачи обусловлена повышением нагрузки по анодному газу, которое привело к изменению характеристик ПР как объекта управления. Ввиду этого существующая САУ ПР значительно снизила качество управления. Для корректировки параметров настройки регулятора существующей одноконтурной САУ требуется составить математическую модель, позволяющую оценить текущую зависимость управляемой координаты объёмной концентрации фтора от управляющего воздействия оборотов шнека загрузки.

Создание математической модели производства гексафторида урана (ПГУ) позволит исследовать влияние управляющих и возмущающих воздействий на изменение объёмной концентрации фтора, что позволит произвести более точную настройку САУ.

На основе анализа технологических процессов ПГУ для разработанной модели были выбраны входные, внутренние и выходные переменные.

Структурная схема разработанной математической модели приведена на рис. 1.

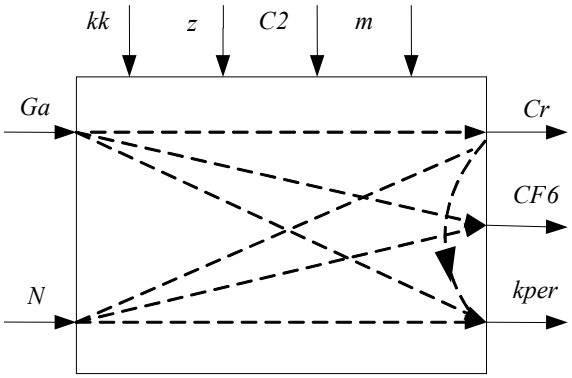


Рис.1. Структурная схема математической модели: *Ga* - расход анодного газа, м^3/ч; *N* - обороты шнека загрузки, об/мин; *Cr* - объёмная концентрация фтора, об.доли; *UF6* – концентрация гексафторида на выходе ПР, об.доли; *kper* - коэффициент передачи, об.доли*мин/об; *kk* - градуировочный коэффициент, кг/об; *m* - содержание фтор-ионов в полупродуктах, поступающих из ГФ, об.доли; *C2* - содержание фтора в анодном газе, об.доли; *z* – степень извлечения урана в ПР, об.доли.

Для оценки работы модели в диапозоне изменения значений входных переменных соответствующих трендам сублиматного завода ОАО “СКХ”, на разработанной модели были проведены дальнейшие исследования. Моделирование осуществлялось в среде Matlab 7.6.0 ориентированной работать с массивами. Анализ работоспособности модели был проведён при постоянных значениях градуировочного коэффициента, содержания фтор-ионов в полупродуктах и содержания фтора в анодном газе. Исходными данными для модели являлись выбранные из трендов концентрация фтора на выходе ПР и обороты шнека загрузки полупродуктов. Исследования модели проводились без учёта времени запаздывания. Результат исследования разработанной математической модели на адекватность приведён на рис.2.

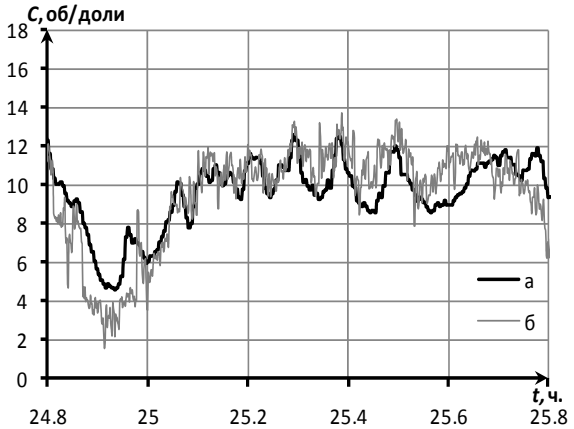


Рис.2. Концентрация проскока фтора на выходе ПР: а – производственный тренд; б –модель.

По полученным зависимостям (Рис.2.) была рассчитана среднеквадратичная погрешность аппроксимации которая составила - 2,5% об.доли.

При текущих параметрах модели коэффициент передачи ПР составляет - 1,1 об.доли*мин/об. Дальнейшие исследования были направлены на выявление влияния изменения параметров модели на коэффициент передачи ПР.

На рис.3 представлены зависимости коэффициента передачи ПР от градуировочного коэффициента а), от содержания фтор-ионов б) и содержания фтора в анодном газе в).

Полученные в результате исследования зависимости являются линейными. При росте градуировочного коэффициента на рис.3а, и содержания фтора в анодном газе рис.3б, наблюдается увеличение по модулю коэффициента передачи ПР, что говорит о большом количестве фтора, прореагировавшем в ПР. Увеличение содержания фтор-ионов в полупродуктах приводит к снижению коэффициента передачи рис.3в.

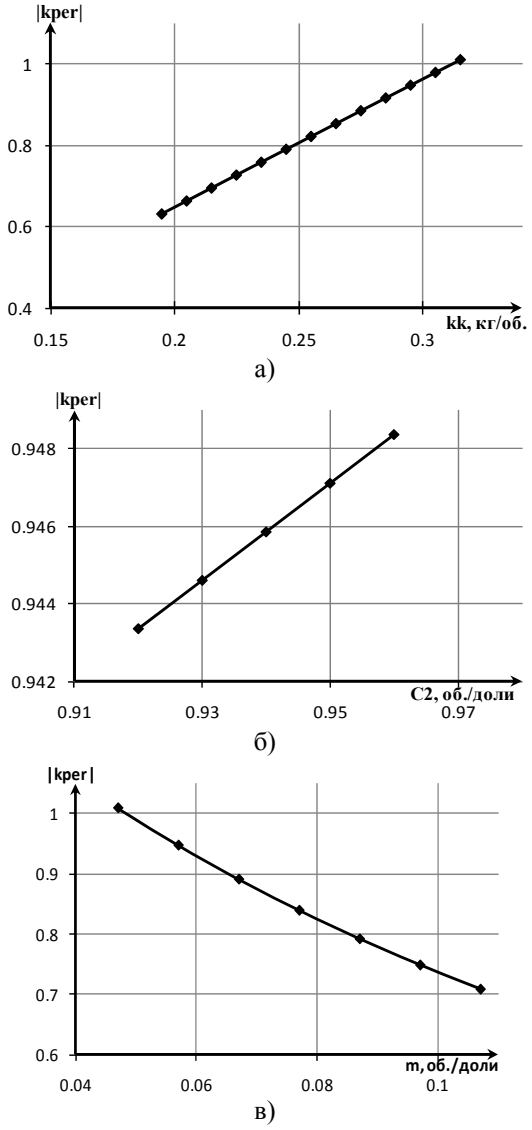


Рис.3. Зависимости коэффициента передачи от переменных.

Разработанная математическая модель ПР является адекватной к реальному технологическому процессу. Проведённые исследования влияния изменения состава полупродуктов анодного газа, а так же градуировочного коэффициента шнека загрузки показали их слабое влияние на коэффициент передачи ПР (меньше 20%). Большую чувствительность коэффициент передачи имеет к изменениям градуировочного коэффициента. Согласно разработанной модели коэффициент передачи ПР как объекта управления составил 0,8 об.доли*мин/об, что меньше существующего (1,1 об.доли*мин/об) на 27%.

Дальнейшие исследования будут направлены на синтез САУ ПР с учётом разработанной математической модели.

Список литературы

1 Козырев А.С., Короткевич В.М., Лазарчук В.В. Способ получения гексафторида урана: пат. № RU 2355641, 20.05.2009. – 5 с.

2 Маслов А.А., Каляцкая Г.В., Амелина Г.Н. Технология урана: учебное пособие – Томск: Издательство ТПУ, 2007. – 98с.

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНЫХ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ MOODLE

Исмаилова А.И., Морозова Ю.В.
Научный руководитель: Кручинин В.В.,
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
34050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: muv@2i.tusur.ru

В связи с модернизацией вузовского образования и внедрения новых государственных образовательных стандартов увеличилось время и объём материала, выносимого на самостоятельную работу. В этих условиях становится особо актуальной проблема организации самостоятельной работы студентов. Применение информационных технологий позволяют расширить возможности организации самостоятельной работы студентов. Для этого необходимо студентов обеспечить элементами самоконтроля. С этой целью необходимо разработать методику и технику создания требуемого количества равносложных контрольных материалов с элементами теории для осуществления самоконтроля студентов, тренировки в процессе самостоятельной работы, повторения и обобщения школьного курса с упором на индивидуальный подход к обучению.

Одним из способов решения этой проблемы является создание компьютерной самостоятельной работы (КСР) на основе генератора тестовых заданий [1]. Использование генераторов дает возможность получать уникальное задание из одного и того же класса задач. Это позволяет студенту тренироваться, решая неоднократно подобную задачу. Чем больше и разнообразнее студент решит задач за время прохождения курса, тем легче он овладеет теорией, и тем глубже будут его знания. Для выполнения тестового контроля знаний разработаны инструментальная система «Фея» для проведения экзаменов и контрольных работ, описательный язык для создания тестовых заданий. Созданы генераторы экзаменов и контрольных работ, включающих в себя множество шаблонов задач и вопросов. Данные генераторы тестовых заданий для проведения контрольных работ и экзаменов реализованы на C++ с использованием библиотеки классов, обеспечивающей встраивание генераторов в инструментальную систему «Фея».

Поскольку генератор получает огромное число тестовых вопросов и заданий, то стало возможным предъявлять студенту не только индивидуальное задание, но и его решение. Шаблон генератора самостоятельных работ несколько отличается от шаблона контрольных работ и экзаменов. Помимо всего в него включены «Подсказка» и «Решение». При подготовке методических материалов дистанционного курса весь материал в итоге принято делить на мелкие фрагменты, которые также называют кадрами. Таким образом, на каждом шагу выдачи учебной информации студент получает небольшой фрагмент, который способствует лучшему сосредоточению и восприятию представленного материала. Кадр подсказок содержит декларативные знания в виде теории, комментариев и подсказок, которые должны направить обучаемого к верному решению задания. Разобранное решение помогает студенту осмыслить и понять, как решить задачу, почему задача решается так, найти ошибки в его решении.

Таким образом, КСР – компьютерная учебная программа, позволяющая в интерактивном режиме генерировать задачи, сравнивать результат решения студента с правильным, организовывать интерактивную помощь в виде вывода теории по теме задачи и общего решения этой задачи.

Такие КСР применялись в локальной версии обучающей системы, что в настоящее время является недостатком. Поэтому, для дальнейшего развития, было принято решение переводить эти работы в online версию.

Базу заданий с подсказками и решениями, сгенерированную из КСР, можно применять в системе MOODLE. Система дистанционного обучения MOODLE – довольно мощная система, которая позволяет гибко организовать процесс преподавания в зависимости от поставленных целей, а также проводить занятия в частично-дистанционном и дистанционном режимах [3]. Она ориентирована, прежде всего, на организацию взаимодействия между преподавателем и учениками, хотя удобна и для организации традиционных дистанционных курсов и поддержки очного обучения.

В качестве базы контента интерактивного курса будет выступать база заданий с подсказками и решениями, сконвертированая на язык xml в формате IMS QTI. В таком виде эти задания можно использовать как в системе MOODLE, так и в online контенте для самостоятельных работ.

Для реализации КСР в системе MOODLE был разработан уникальный тип вопроса. В общем виде этот тип вопроса ничем не отличается от стандартных вопросов в закрытой форме (вопроса с несколькими ответами) и в открытой форме, но кроме этого имеются дополнительные поля для подсказок и решения.

При нажатии на кнопку «Подсказка» в теле вопроса появляется блок теории, при этом система тестирование должна запомнить факт использования подсказки и отобразить это в протоколе сессии тестирования. Факт использования подсказки никак не влияет на итоговую оценку, но в дальнейшем возможно алгоритм вычисления оценки изменится.

Пользователю доступна навигация по билетам и кнопка подтверждения решения. Нажатие кнопки «Проверить» подтверждает выбранное пользователем решение. Если ответ верен, то на экран выводится текст *«Решение верно»* на зеленом фоне, иначе *«Ошибка»* и правильное решение на красном фоне. Текст правильного решения берется из предусмотренного для этого разметкой IMS QTI блока, а не из декларации правильного ответа. После нажатия кнопки «Проверить» все управляющие элементы внутри вопроса блокируются, а сама кнопка «Проверить» становится неактивной, т. е. посмотреть вопрос и результат решения пользователь всегда может, а изменить ответ – нет.

Способ представления вопроса может быть любым, но общие принципы работы, описанные выше должны соблюдаться:

- Наличие возможности воспользоваться подсказкой к вопросу
- Факт использования подсказки по каждому вопросу сохраняется в протокол
- Пользователь подтверждает выбранное решение по каждому вопросу вручную
- После подтверждения решения, изменить его уже нельзя
- Если решение неверно, на экран выводится текст правильного решения
- Текст правильного решения берется из специального блока разметки IMS QTI

Приведем пример шаблона – задачи из курса «Высшая математика».

Найдите предел $A=\lim\limits_{x\to 0}\frac{arctg(ax)}{\sqrt{x+b^2}-b}$.

В данном примере параметрами являются *a,b* такие, что $a\in(-10;10)$, $b\in(-1;10)$. Ограничение $a\neq 0$. Эталонный ответ $A = 2\cdot a\cdot b$.

Описание способа ввода ответа: Если в ответе десятичная дробь, то ответ округлить до сотых. Дробную часть отделять точкой. Если предел не существует вводить слово нет. Если в ответе бесконечность, то вводить слово -бск, +бск, бск.

Подсказка:

Предел $\lim\limits_{x\to 0}\frac{\sin x}{x}=1$ называют первым замечательным пределом. Величина x измеряется в радианах.

Пусть требуется найти $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\sin\alpha(x)}{\alpha(x)}$,

где $\lim\limits_{x\to x_0}\alpha(x)=0$. Сделаем замену $a(x) = t$. Когда $x\to x_0$, то $t\to 0$. Получаем $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\sin\alpha(x)}{\alpha(x)}=\lim\limits_{t\to 0}\frac{\sin t}{t}=1\cdot$

Часто встречаются пределы вида $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\sin\alpha(x)}{f(x)}$,

где $\lim\limits_{x\to x_0}\alpha(x)=0$ и $\lim\limits_{x\to x_0}f(x)=0$. Имеем неопределенность вида 0/0. Проделаем следующие преобразования:

$\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\sin\alpha(x)}{\alpha(x)}\cdot\frac{\alpha(x)}{f(x)}=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\alpha(x)}{f(x)}$, так как $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\sin\alpha(x)}{\alpha(x)}=1$, если $\lim\limits_{x\to x_0}\alpha(x)=0$. Напомним, что $\lim\limits_{x\to 0}\frac{tgx}{x}=1$, $\lim\limits_{x\to 0}\frac{arctgx}{x}=1\cdot$

Если $\lim\limits_{x\to x_0}\alpha(x)=0$ и $\lim\limits_{x\to x_0}f(x)=0$, то

$\lim\limits_{x\to x_0}\frac{tg\alpha(x)}{f(x)}=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\alpha(x)}{f(x)}$; $\lim\limits_{x\to x_0}\frac{arctg\alpha(x)}{f(x)}=\lim\limits_{x\to x_0}\frac{\alpha(x)}{f(x)}\cdot$

Решение:

Найдем предел $A=\lim\limits_{x\to 0}\frac{arctg(ax)}{\sqrt{x+b^2}-b}$.

Для решения этой задачи, умножив числитель и знаменатель на $\sqrt{x+b^2}-b$, Вы получите:

$$A=\lim_{x\to 0}\frac{arctg(ax)}{x}(\sqrt{x+b^2}-b)\cdot$$

Используя «Подсказку», положив $ax=\alpha x, f(x)=x$. Получите

$$A=\lim_{x\to 0}\frac{(ax)}{x}(\sqrt{x+b^2}-b)=2\cdot a\cdot b\cdot$$

Методика подсчета мощности данного типа шаблона будет следующей: $(P_a - 1)\cdot P_b = 19\cdot 10 = 190$. По этому шаблону можем получить 190 задач с различными значениями параметров и ответами.

Таким образом, студент в системе MOODLE может не только сдавать контрольную работу, но и готовится к ней, используя подсказки и решение к вопросам. Применение навыков самостоятельной

работы на практике повышает эффективность обучения, так как позволяет студенту в удобное для него время осваивать и повторять учебный материал, помогает научиться пользоваться разнообразной учебной литературой и компьютерными технологиям.

1. Кручинин В.В. Генераторы в компьютерных учебных программах. –Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2003. –200с.

2. Кручинин В.В., Магазинников Л.И., Морозова Ю.В. Модели и алгоритмы компьютерных самостоятельных работ на основе генерации тестовых // Известия ТПУ. –2006. –№8. –С. 258–262.

3. Система дистанционного обучения MOODLE [Электронный ресурс]. – http://www.moodle.org

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОСА APDL ПРИ ЧИСЛЕННОМ АНАЛИЗЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КАНАТОВ В ANSYS

Калентьев Е.А., Тарасов В.В., Новиков В.Н.
Научный руководитель: Тарасов В.В., д.т.н., профессор
Институт прикладной механики УрО РАН, 426067, Россия, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, д.34
E-mail: EugeneDavis@mail.ru

В работе [1] авторы проводили исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) пряди каната линейного касания при растяжении и кручении с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS. Объектом исследования являлась прядь каната с линейным касанием двойной свивки типа ЛК-Р конструкции 6×19(1+6+6/6)+1.о.с. Канат 25-ГЛ-В-Л-О-Н-Т-1770 ГОСТ 2688-80 (далее прядь каната и канат соответственно). Поперечное сечение каната представлено на рисунке 1.

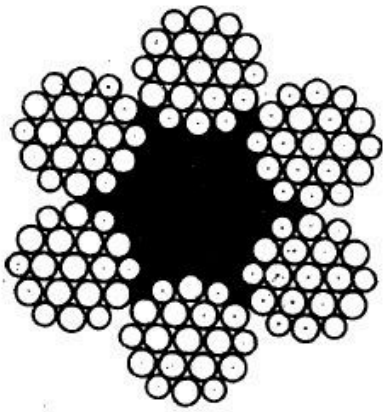


Рис.1. Поперечное сечение каната

К основным проблемам численного анализа НДС канатов с линейным касанием следует отнести сложную структуру и множественное пространственное контактное взаимодействие между элементами каната. Для контактных задач характерны две проблемы. Первая состоит в том, что зона контакта до решения задачи неизвестна. В зависимости от внешних нагрузок, граничных условий, свойств материалов и других факторов поверхности могут входить в контакт друг с другом и выходить из него. Вторая проблема связана с необходимостью учета трения при моделировании взаимодействия тел. Для этого разработаны специальные модели, которые тоже являются нелинейными. Наиболее важным фактором, влияющим на конечные результаты контактного моделирования, является правильный выбор контактного алгоритма, который зависит от природы контактной задачи, типа используемых контактных элементов и пр.

Для математического описания контактных взаимодействий использовался расширенный метод Лагранжа, который является основным алгоритмом решения подобных задач в программном комплексе ANSYS. Он базируется на итерационной процедуре метода штрафных функций. Согласно которому для определения контактной области между двумя поверхностями вводится понятие контактной «пружины». Жесткость такой искусственно введенной в алгоритм «пружины» называется контактной жесткостью k и является параметром штрафной функции. Если статус контакта «открытый», то есть поверхности не пришли в соприкосновение, «пружина» неактивна, при соприкосновении поверхностей она активируется и включается в алгоритм расчета. «Пружина» растягивается на величину Δ, в области контакта наступает равновесие, так как величина контактного усилия $F=k\Delta$ становится равной величине внешних нагрузок. Для обеспечения равновесия внешних и внутренних сил величина Δ должна быть больше нуля. В реальности проникание одной контактирующей поверхности в другую не происходит, а в ANSYS, для успешной генерации контактной пары, проникание вводится искусственно. Основные параметры контакта (контактное давление и напряжение трения) увеличиваются в процессе выполнения дополнительных итераций таким образом, чтобы конечное проникание было меньше, чем задаваемая величина допуска на внедрение. К преимуществам расширенного метода Лагранжа следует отнести то, что алгоритм на его основе минимизирует проникание одной контактной

поверхности в другую, обладает меньшей чувствительностью к величине контактной жесткости, имеет лучшие условия сходимости, чем непосредственно метод штрафных функций [2].

Контактные области определяются следующим образом: цилиндрическая поверхность всех проволок разбивается на две полуповерхности — контактную и целевую. У части проволок задействована вся цилиндрическая поверхность, а в остальных случаях в контакте участвует только одна из цилиндрических полуповерхностей. При этом контакт между проволоками имеет симметричный характер. Задача решалась с использованием платформы ANSYS Workbench. Одним из шагов анализа являлось встраивание объекта Commands, в каждую контактную пару, содержащего команду RMODIF из пакета ANSYS, идентифицирующую параметр ICONT, задающий расстояние между точкой Гаусса контактной поверхности (точкой детектирования) и целевой поверхностью. Если указанное расстояние больше значения параметра ICONT, то контакт отсутствует (контакт со статусом «открытый»). В противном случае поверхности приходят в соприкосновение (статус контакта — «закрытый»). Введение параметра ICONT позволило снизить степень дискретизации сетки (особенно на криволинейных поверхностях). На рисунке 2 изображено дерево проекта со встроенными объектами Commands.

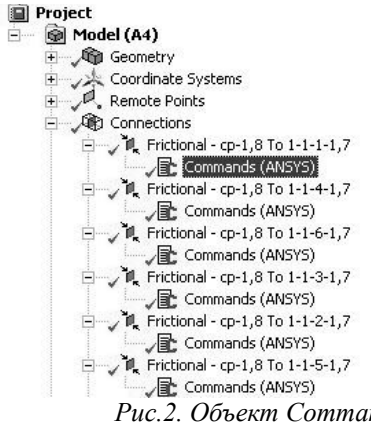


Рис.2. Объект Commands

Общее количество контактных областей (границ) в рассматриваемой пряди составляет 42. В случае рассмотрения вышеуказанного каната целиком количество контактных областей составит 288. Использование такого метода, настройки контактных областей, при анализе НДС пряди каната приемлемо. Однако, при рассмотрении всего каната целиком, будет сопряжено с большими трудозатратами. Для автоматизации этой процедуры предложено использовать макрос, написанный на языке APDL (ANSYS Parametric Design Language). Ниже приведена последовательность действий, описывающая процесс создания макроса.

Предварительно, используя модуль Contact Tool - Initial Information, определяется набор Real Constant для всех контактных областей, представляющий собой непрерывную последовательность чисел (рис.3). Обозначим начало последовательности через – *S*, конец через – *F*, а значение, которое необходимо присвоить параметру ICONT, через – *E*. Далее необходимо передать расчетную модель из ANSYS Workbench в классический интерфейс ANSYS, путем записи «входного файла» Input File, в котором и выполняется макрос.

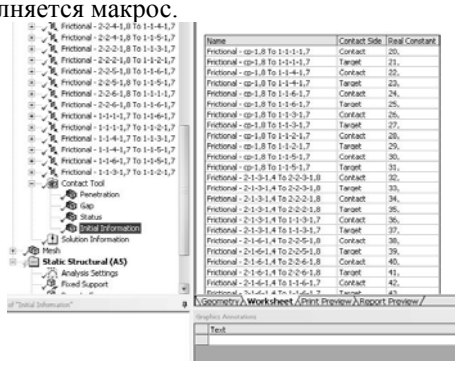


Рис.3. Окно модуля Initial Information

Ниже представлен листинг макроса:

```
/prep7
*DO,I,S,F,1
rmodif,I,5,-E
*ENDDO
*MSG,UI,OK
OK
```

Макрос работает по принципу цикла, интервалом выполнения которого служат начало и конец последовательности Real Constant *S* и *F* соответственно. В теле цикла расположена, описанная выше, команда RMODIF, выполняемая на каждом шаге *I*. Цифра 5 обозначает параметр ICONT. Значение параметра ICONT раное *E* назначается исходя из величины зазора между проволоками, составляющими канат и параметров используемой сетки конечных элементов. После выполнения цикла выводится подтверждающие сообщение OK. Результатом работы макроса будет присвоение параметру ICONT, каждой контактной области, необходимого значения *E*, что аналогично встраиванию объекта Commands. Далее задача запускается на расчет и производится анализ результатов.

Использование макроса позволяет автоматизировать процедуру настройки контактных алгоритмов, что особенно важно в задачах с большим количеством контактных областей, таких как анализ НДС канатов.

Литература:

1. Е.А. Калентьев, В.В, Тарасов. Численный анализ напряженно-деформированного состояния пряди каната с линейным касанием при растяжении и кручении // Вычисл. мех. сплош. сред. – 2010. – Т. 3, № 4. – С. 16-28.

2. Кабанов Ю. Контактные технологии в действии. Часть 2 // ANSYS Solutions. Инженерно-технический журнал. Русская редакция. – Осень 2007. – С. 5-10.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ В СОСТАВЕ INDESYS-MS ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СВЧ ИЗМЕРЕНИЙ

Каратаев Е. П.
Научный руководитель: Сальников А. С, аспирант, м.н.с.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
Email: Karataev.Evgeny@gmail.com

Важнейшей составляющей любого экспериментального исследования является интерпретация полученных данных, конечным результатом которой является модель исследуемого объекта или процесса. Способами интерпретации данных являются методы статистического анализа, визуализация данных и др.

В измерительной лаборатории НОЦ «Нанотехнологии» имеется оборудование и программное обеспечение для проведения измерений параметров СВЧ транзисторов и монолитных интегральных схем (МИС), а именно ВАХ, параметров рассеяния, шумовых и мощностных параметров. Однако измеренные характеристики хранятся в виде отдельных файлов на компьютере. По этой причине при проведении большого числа измерений остаётся нерешённой задача комплексной характеризации измеряемых устройств, систематизации хранения результатов измерений, а также проведения статистического анализа.

Наличие единой компьютерной базы данных измерений позволит систематизировать информацию об исследуемом устройстве (или целой партии устройств) на основе статистического анализа для различных специалистов, работающих в данной области:

-для инженеров-технологов, которым необходимо контролировать параметры устройств в процессе всего цикла изготовления полупроводниковой пластины, иметь информацию о стабильности процесса, качестве используемого материала, выявить и оперативно устранить сбои оборудования и др.;

-для разработчиков математических моделей элементов МИС, которым нужно иметь достаточный набор экспериментальных данных для построения адекватных моделей элементов МИС;

-для инженеров-проектировщиков МИС, которым необходимо иметь представление о потенциальных возможностях технологии производства, включая предельные характеристики устройств, разброс параметров и др [1].

С целью систематизации хранения результатов измерения была спроектирована база данных (БД) для сервера MySQL (рис. 1), состоящая из 7 таблиц.

Результаты измерения параметров элементов хранятся на сервере в виде файлов соответствующих типов. БД структурирует информацию по проведённым измерениям, что позволяет облегчить поиск необходимой информации и делает возможным процесс сбора статистики.

Все таблицы в представленной БД можно разделить на 2 группы по типу хранимой информации: основные и дополнительные. В основных таблицах непосредственно хранятся результаты измерения, а в дополнительных – вспомогательная информация. Рассмотрим таблицы БД и их назначение.

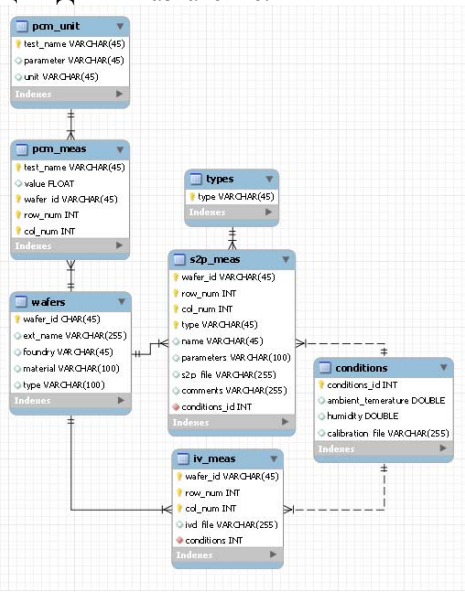


Рис.1. EER диаграмма базы данных

Таблица s2p_meas служит для хранения результатов измерения S-параметров произвольного устройства (например, малошумящего усилителя) на базе МИС или функционального элемента этого устройства (транзистора, пассивного элемента). Таблица iv_meas служит для хранения результатов измерения вольт-амперных характеристик активных устройств. Также в БД имеются три вспомогательные таблицы. Первая из них WAFERS служит для идентификации подложки, на которой расположено измеряемой устройство или элемент. В этой таблице хранится информации об изготовителе, материале и типы изготовленных на ней устройств. Вторая таблица CONDITIONS содержит информацию об условиях, в которых проводились измерения параметров, а именно, температуру и влажность, а также калибровочный файл, который использовался при измерениях. Третья таблица TYPES содержит типы измеряемых элементов.

При интеграции модуля в разрабатываемую в лаборатории систему управления измерениями

Indesys MS данные измерений будут сразу же сохраняться в базе данных (рис. 2).

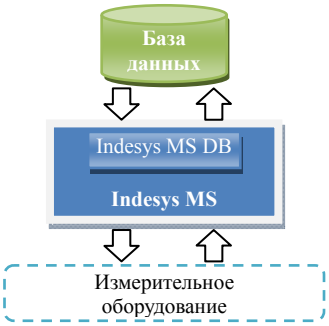


Рис.2. Схема взаимодействия Indesys MS с базой данных и измерительным оборудованием.

После проведения измерений программа предоставляет возможность расчета параметров элемента (S, H параметры, Ft, Gmax, Idss и др.) и сбора статистики для выбранных параметров по заданной подложке. Для визуализации результатов анализа используются два вида специально разработанных графиков: гистограмма и «подложка».

При построении гистограммы производится расчет и вывод на график среднего значения ($\bar{x}$), среднеквадратичного отклонения (σ), а также плотности вероятности нормального распределения измерения (Гауссиана) по следующим формулам соответственно:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i ,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} ,$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} ,$$

где n – количество элементов в выборке.

Для расчета количества интервалов гистограммы используется следующая формула [2]:

$$N = 1 + 3.322 \lg n ,$$

где N – количество интервалов гистограммы;
n – количество элементов в выборке.

Пример гистограммы для параметра транзистора Ft приведен на рисунке 3. Для оценки разброса параметров пользователю представлено нормальное распределение, а также указаны границы интервала $\bar{x} - 3\sigma$ и $\bar{x} + 3\sigma$.

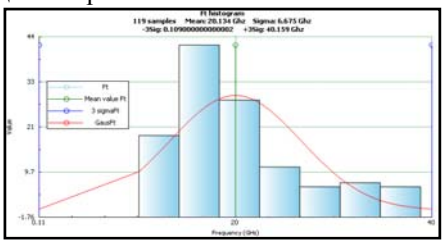


Рис.3 Гистограмма параметра транзистора Ft.

Второй вид графиков, используемый при статистическом анализе- это так называемая «подложка». График «подложка» (рис. 4) представляет собой изображение пластины (подложки) с измеряемыми элементами на ней. Каждый элемент задается номером ряда и номером столбца, в которых он расположен. График визуализирует разброс параметров по подложке в виде цветового представления величины интересующего параметра.

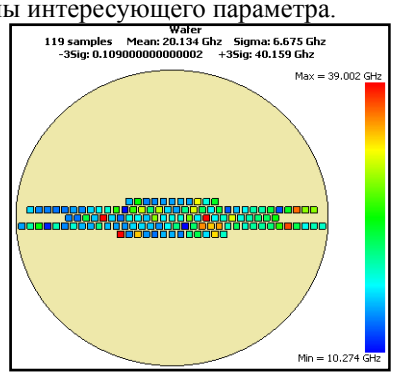


Рис.4. Пример графика «подложка».

Для каждого имеющегося на подложке прибора собирается представляющая интерес информация. При наведении на определенную область подложки можно получить всю рассчитанную информацию для прибора, расположенного в этой позиции (рис. 5).

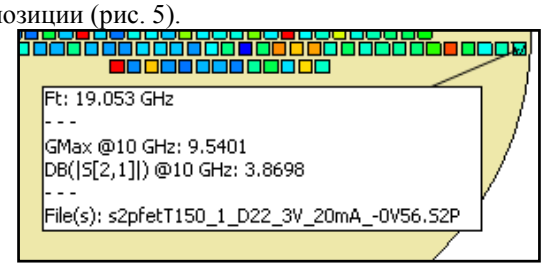


Рис.5 Дополнительно рассчитанная информация для элемента в указанной позиции.

В ходе дальнейшей работы планируется реализация разных методик обработки параметров, выявления транзисторов с типовыми параметрами для проведения более точного измерения с целью построения модели. Планируется, что законченный модуль станет универсальным средством статистического анализа и будет использоваться не только для хранения результатов измерения, но и для контроля качества при производстве СВЧ МИС.

Список использованной литературы

1. An automatic program suitable for on-wafer characterization and statistic analysis of microwave devices : ARFTG Conference Digest, Spring 2003, 61st / GW. Huanq, D.Y. Chiu and others – 157-161 pages.

2. Гистограмма [Электронный ресурс] / Инструменты качества – Режим доступа : http://www.tools-quality.ru/index.php/q7/histogram

РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНО-ГРАФИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНОГО СЕПАРАТОРА

Кинчин Е.В.
Научный руководитель: Фомин В.В., к.т.н., доцент
Тюменский государственный нефтегазовый университет,
625000, Россия, г.Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail:kinchin@mail.ru

Большинство современных автоматизированных систем управления используют регуляторы, контролирующие один или несколько технологических параметров (например, температура, давление). Регуляторы используются с целью повышения качества выпускаемой продукции, рентабельности, безопасности производства. Следовательно, актуальным становится вопрос их проектирования и настройки.

Правильно сформированный контур регулирования, подбор исполнительных механизмов и средств измерения закладывают фундамент для построения качественного регулятора, который может быть разрушен некачественными его настройками.

Существует несколько подходов к настройке регуляторов [1]:

1. экспериментальный (методы затухающих и незатухающих колебаний);
2. расчётный.

Недостатком экспериментальных методов является необходимость выполнения настройки регулятора на реальном объекте, со значительными отклонениями регулируемого параметра (при настройке по разгонной характеристике в разомкнутом контуре) или выведением системы на границу устойчивости (при настройке в замкнутом контуре).

При настройке регулятора расчётным методом по заранее известной передаточной функции объекта выполняется построение его АЧХ, по статическим и динамическим требованиям к системе рассчитываются параметры регулятора, выполняется анализ устойчивости полученной системы. Если результаты удовлетворяют поставленным требованиям, то полученные настройки применяются на реальном объекте.

Существующие решения

В настоящее время существуют программные решения автоматизированной настройки регуляторов, среди них:

1. P.I.D-expert, «НПО Техноконт»;
2. PID Loop Optimizer, «Expertune»;
3. RSTune, «Rockwell Software».

Перечисленное программное обеспечение позволяет выполнять анализ переходного процесса в реальном времени, либо по архивным данным, выполнять идентификация объекта управления, расчёт оптимальных настроек регулятора и моделирование [2]. Данное программное обеспечение подразумевают вмешательство в технологический процесс, так как идентификация объекта выполняется по переходному процессу (как в замкнутой, так и в разомкнутой системе). Архивные данные не всегда являются выходом из ситуации. Так, например, в строящейся АСУ ТП архивов не существует. Если же выполняется настройка регулятора в существующей АСУ ТП, то не всегда есть возможность воспользоваться архивными данными, как из-за закрытого формата архива (например, в SCADA TraceMode), либо его большого объема, а значит сложной и длительной выборки из него необходимых данных.

Предлагаемое решение

При настройке регуляторов на однотипном оборудовании удобно иметь программно, либо аппаратно, реализованную математическую модель объекта, имеющую возможность задания параметров среды и оборудования. Так, имея реализацию сепаратора, можно, изменяя эти параметры, выполнять настройку регуляторов для различных моделей и различных составов нефти.

Реализация объекта в среде программирования CoDeSys (3S Software) [3] позволяет интегрировать его в SCADA через OPC-интерфейс. Данная среда позволяет осуществить перенос, с минимальными изменениями, программы, реализующей объект, в программируемый логический контроллер, а в качестве интерфейса использовать натуральные дискретные и аналоговые сигналы, что позволяет произвести проверку работоспособности подсистемы АСУ ТП без влияния на технологический процесс.

Такая технология настройки регулятора позволяет снизить риски при испытаниях АСУ ТП и производить более быструю и качественную настройку регуляторов без вмешательства в технологический процесс.

Возможно несколько структурных вариантов:

1. математическая модель реализуется в виде программы, исполняемой на ПК. Связь со SCADA через OPC;
2. математическая модель реализуется в виде программы, исполняемой в программируемом логическом контроллере. Связь со SCADA либо через OPC, либо по протоколу Modbus RTU;
3. математическая модель реализуется в виде программы, исполняемой в ПЛК, взаимодействие с АСУ ТП осуществляется с помощью натуральных дискретных и аналоговых сигналов.

В качестве среды программирования используется CoDeSys (3S Software), соответственно в случаях 2 и 3 ПЛК должен иметь среду исполнения CoDeSys. Для ПК под управлением Windows существует среда исполнения CoDeSys SP Win NT. Таким образом, программа может быть с минимальными изменениями перенесена из ПК в ПЛК, а также между ПЛК различных производителей. При этом интерфейс взаимодействия со SCADA не изменяется.

Все варианты представлены в связке со SCADA-пакетами, так как в АСУ ТП регуляторы реализуются либо на среднем (ПЛК), либо на верхнем уровне, который имеет интерфейсные элементы визуализации и управления технологическим процессом, построения графиков, что является достаточным для экспериментальной экспертной настройки регуляторов.

Однако, возможно взаимодействие модели и с существующим ПО по автоматической настройке регуляторов. Так P.I.D.-Expert взаимодействует с АСУ ТП по OPC-интерфейсу, что позволяет подключить его к модели и выполнить настройку регулятора без влияния на ТП.

Рассмотрим подробнее предложенные реализации.

Реализация 1

Отличительной особенностью является то, что программная реализация объекта выполняется на обычном ПК, под управлением Windows (Рис.1). Это может быть полезно в процессе разработки ПО верхнего уровня для отладки алгоритмов регуляторов, их настроек, в процессе разработки ПО верхнего уровня АСУ ТП.

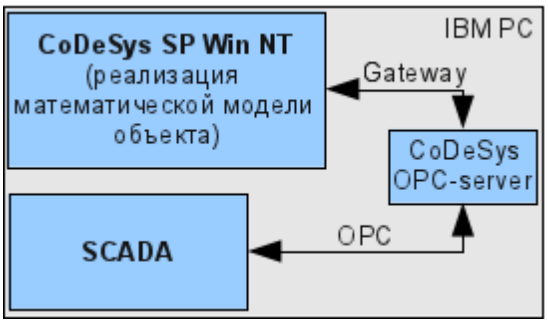


Рис.1. Первая реализация технологии

Такая реализация может использоваться в процессе преподавания студентам лабораторных практикумов по направлением, связанным с программированием ПО верхнего уровня SCADA. Например, на кафедре КС ИНиГа, в рамках дисциплины «SCADA», изучаются основы работы в SCADA-пакете TraceMode6 (Adastra), Rockwell and Motorolla.

Реализация 2

Вариант 2 (Рис. 2) отличается тем, что модель реализуется в контроллере и для связи с ПК используется либо последовательный интерфейс, либо сеть Ethernet. На ПК достаточно установить и сконфигурировать CoDeSys OPC-сервер для связи со SCADA через OPC. Также возможна реализация, когда связь со SCADA осуществляется по протоколу Modbus (RTU, TCP/IP или ASCII).

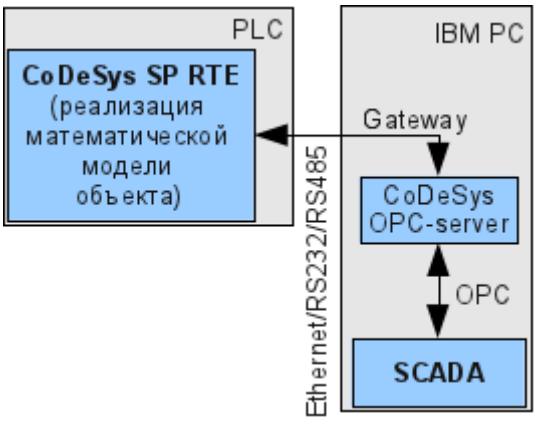


Рис. 2. Вторая реализация технологии

Реализация 3

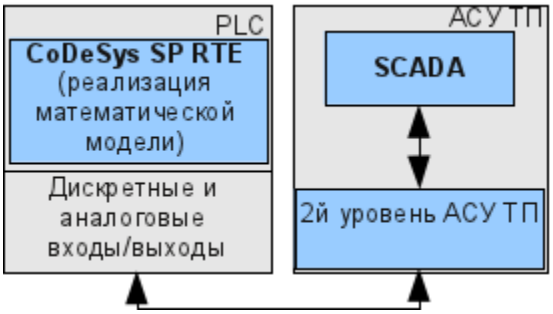


Рис.3. Третья реализация технологии

Отличается от варианта 2 тем, что обмен со SCADA осуществляется натуральными дискретными и аналоговыми сигналами. Такая реализация используется на реальном объекте для наладки внедряемой АСУ ТП без влияния на технологический процесс.

Список литературы

1. Сережин Л.П., Залуцкий И.Е. P.I.D.-Synthys. Очень просто об очень непростой системе. // Промышленные АСУ и контроллеры, 2007. – №12. – С. 16-19.

2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. / Дьяконов В.П. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 256 с.

3. Литюга А. М., Клиначёв Н. В., Мазуров В. М. Теоретические основы построения эффективных АСУ ТП: Конспект лекций. / Offline версия 1.1. - Тула, Челябинск, 2002. - 703 файла, ил.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАССООБМЕННОГО ПРОЦЕССА В НЕФТЕГАЗОВОМ СЕПАРАТОРЕ

Кинчин Е.В.
Научный руководитель: Фомин В.В., к.т.н., доцент
Тюменский государственный нефтегазовый университет,
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38
E-mail: kinchin@mail.ru

Нефтегазовый сепаратор предназначен для разделения нефтяной эмульсии на следующие составляющие: газ, нефть, вода. Неоптимальный режим ведёт к ухудшению качества нефти, либо к снижению её добычи за счёт выноса фракций нефти вместе с газом. Поэтому важное место занимает настройка регуляторов, задающих режим работы сепаратора. В то же время экспериментальная настройка на объектах нефтегазовой отрасли опасна. Математическая модель с возможностью задания параметров позволяет безопасно, качественно и быстро синтезировать регуляторы.

Разработка модели физического процесса итерационный процесс, на каждой итерации которого происходит уточнение модели до тех пор, пока не будут достигнуты ее адекватность и требуемая точность.

Будем считать, что нефтяная эмульсия состоит из трех компонентов с известными долями: нефть (η_H), метан (η_M), вода (η_B). Выход газа и воды из эмульсии происходит мгновенно, нефть и вода не переходят в газообразное состояние, нет выноса с газом нефти. Известны геометрические размеры сепаратора, давление во входном коллекторе, сечения входных и выходных трубопроводов, пропускные способности клапанов, химические и физические свойства эмульсии и ее компонентов.

В расчётах используются массовые расходы веществ.

Сепаратор представлен на рисунке 1, считаем, что он имеет цилиндрическую форму.

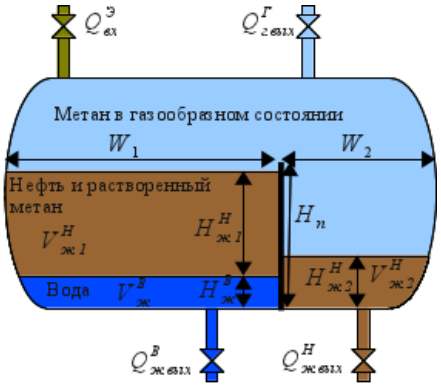


Рис. 1. Трёхфазный нефтегазовый сепаратор

Пусть V — объем сепаратора, $V_{ж}$ — объем жидкостей в сепараторе ($V_{ж} = V^{H}_{ж.1} + V^{H}_{ж.2} + V^{B}_{ж}$), $V_{г}$ — объем не занятый жидкостью в сепараторе ($V_{г} = V - V_{ж}$), V_1 — объем первой секции, V_2 — объем второй секции.

Массы фракций в сепараторе:

$$\begin{cases} \frac{M^{M}_{г}}{dt} = Q^{M}_{г.вх}(t) - Q^{M}_{г.вых}(t), \\ \frac{M^{M}_{ж}}{dt} = Q^{M}_{ж.вх}(t) - Q^{M}_{ж.вых}(t), \\ \frac{M^{H}_{ж}}{dt} = Q^{H}_{ж.вх}(t) - Q^{H}_{ж.вых}(t), \\ \frac{M^{B}_{ж}}{dt} = Q^{B}_{ж.вх}(t) - Q^{B}_{ж.вых}(t), \end{cases}$$

где $M^{M}_{г}$ — масса метана в сепараторе в газообразном состоянии, $M^{M}_{ж}$ — масса растворенного в нефти метана, $M^{H}_{ж}$ — масса нефти, $M^{B}_{ж}$ — масса воды в сепараторе, $Q^{M}_{г.вх}$ — входной расход метана в газообразном состоянии, $Q^{M}_{г.вых}$ — выходной расход метана в газообразном состоянии, $Q^{M}_{ж.вх}$ — входной расход сжиженного метана (не перешедшего в газообразное состояние), $Q^{M}_{ж.вых}$ — выходной расход растворенного в нефти метана (не перешедшего в газообразное состояние), $Q^{B}_{ж.вх}$ — входной расход воды, $Q^{B}_{ж.вых}$ — выходной расход воды, $Q^{H}_{ж.вх}$ — входной расход нефти, $Q^{H}_{ж.вых}$ — выходной расход нефти.

Входной расход эмульсии:

$$Q^{Э}_{вх}(t) = Kv^{Э}_{вх} \cdot \alpha_{вх} \cdot \rho_{Э} \cdot \sqrt{\frac{P_C - P^{M}_{г}(t)}{\rho_{Э}}}$$

где $Kv^{Э}_{вх}$ — характеристика пропускной способности клапана, $\alpha_{вх}$ — открытие входного клапана (от 0 до 1), P_C — входное давление в подающем коллекторе, $P^{M}_{г}$ — давление газа в сепараторе.

Входные расходы:

$$\begin{cases} Q^{M}_{вх}(t) = Q^{Э}_{вх}(t) \cdot \eta_M, \\ Q^{M}_{г.вх}(t) = Q^{M}_{вх}(t) \cdot K_M, \\ Q^{M}_{ж.вх}(t) = Q^{M}_{вх}(t) \cdot (1 - K_M), \\ Q^{H}_{ж.вх}(t) = Q^{Э}_{вх}(t) \cdot \eta_H + Q^{M}_{ж.вх}, \\ Q^{B}_{ж.вх}(t) = Q^{Э}_{вх}(t) \cdot \eta_B, \end{cases}$$

где K_M — коэффициент распределения компонентов метана в смеси, $Q^{M}_{вх}$ — входной расход метана.

Выходные расходы воды и нефти:

$$Q^B_{ж.вых}(t) = Kv^B_{вых} \cdot \alpha_{вых} \cdot \rho_B \cdot \sqrt{\frac{P^B_{вых}(t)}{\rho_B}},$$

$$Q^H_{ж.вых}(t) = Kv^H_{вых} \cdot \alpha_{вых} \cdot \rho_H \cdot \sqrt{\frac{P^H_{вых}(t)}{\rho_H}},$$

где $P^B_{вых}$ — перепад давления на клапане откачки воды, $P^H_{вых}$ — перепад давления на клапане откачки нефти, $\alpha_{вых}$ — открытие клапана (от 0 до 1).

$$P^B_{вых}(t) = P^B_{ж}(t) + P^H_{ж.1}(t) + P^M_{г}(t),$$

$$P^H_{вых}(t) = P^H_{ж.2}(t) + P^M_{г}(t),$$

Для расчёта давления газа воспользуемся уравнением [2]:

$$P^M_{г}(t) \cdot V_2(t) = Z_M(t) \cdot Q_M(t) \cdot R \cdot T,$$

где Z_M — коэффициент сверхсжимаемости газа Q_M — количество метана в газообразном состоянии в молях. Подробно алгоритм расчёта коэффициентов Z_M и K_M рассмотрен в [1].

Расход газа через перепускной клапан:

$$Q^M_{г.вых}(t) = 1(t) \cdot Kv^M_{вых} \cdot \rho_M \cdot \sqrt{\frac{P^M_{г}(t)}{\rho_M}},$$

$$1(t) = \begin{cases} 0, если\ P^M_{г} < P_{кл}, \\ 1, если\ P^M_{г} > P_{кл}, \end{cases}$$

$$\rho_M = \frac{M^M_{г.вых}}{V_г},$$

где $P_{кл}$ — давление открытия клапана.

Расчёт уровней жидкостей в сепараторе

Зная объемы жидкостей ($V = M/\rho$), можем рассчитать их уровни.

Сначала нужно определить, превышает ли объем жидкостей в первой секции объем этой секции. Если это так, то поступающая нефть будет перетекать во вторую секцию, вода же будет оставаться в первой, таким образом, во вторую секцию будет поступать объем, равный объему дегазированной эмульсии, при этом уровень в первой секции будет оставаться неизменным и равен высоте перегородки.

При моделировании процесса наполнения сепаратора вычисление текущего уровня через известный объем жидкостей сложен из-за расчёта площади сектора, образованного поверхностью жидкости и сепаратором. Поэтому представим процесс в итеративной форме при известных начальных условиях, когда текущий уровень будет складываться из предыдущего значения и его изменения. Окружность будем аппроксимировать прямоугольниками.

Тогда уровень воды будет рассчитываться:

$$L^B(t+1) = L^B(t) + \frac{Q^B_{ж.вх}(t) - Q^B_{ж.вых}(t)}{\rho_B \cdot S^B_C(t)},$$

$$S^B_c(t) = 2 \cdot W_1 \cdot \sqrt{R^2 - OB^2_B(t)},$$

$$OB_B(t) = \left| R - L^B(t) \right|,$$

где L^B — уровень воды, S^B_c — площадь поверхности воды, R — радиус сепаратора, OB_B — расстояние между осью сепаратора и поверхностью воды.

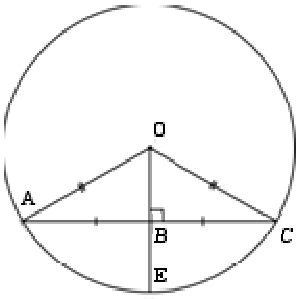


Рис. 2. Поперечное сечение сепаратора

Уровень нефти в первой секции:

$$L^H_1(t+1) = L^H_1(t) + \frac{Q^B_{ж.вх}(t) - Q^B_{ж.вых}(t)}{\rho_B \cdot S^B_{C.1}(t)} + \frac{Q^H_{ж.вх}(t) - Q^H_{ж.вых}(t)}{\rho_H \cdot S^H_{C.1}(t)},$$

$$S^H_{c.1}(t) = 2 \cdot W_1 \cdot \sqrt{R^2 - OB^2_{H.1}(t)},$$

$$OB_{H.1}(t) = \left| R - L^H_1(t) \right|,$$

где L^H_1 — уровень нефти в первой секции, $S^H_{c.1}$ — площадь поверхности нефти в первой секции, $OB_{H.1}$ — расстояние между осью сепаратора и поверхностью нефти в первой секции.

Уровень нефти во второй секции:

$$L^H_2(t+1) = L^H_2(t) + \frac{Q^H_{ж.вх.2}(t) - Q^H_{ж.вых}(t)}{\rho_H \cdot S^B_{C.2}(t)},$$

$$Q^H_{ж.вх.2}(t) = \begin{cases} 0, если\ V^H_{ж.1} + V^B_{ж.1} - V_1 < 0, \\ \dfrac{V^H_{ж.1} + V^B_{ж.1} - V_1}{\rho_H}, если\ V^H_{ж.1} + V^B_{ж.1} - V_1 > 0, \end{cases}$$

$$OB_{H.2}(t) = \left| R - L^B_2(t) \right|,$$

где L^H_2 — уровень нефти во второй секции, $S^H_{c.2}$ — площадь поверхности нефти во второй секции, $OB_{H.2}$ — расстояние между осью сепаратора и поверхностью нефти во второй секции.

Заключение

Полученная модель имеет несколько направлений развития:

1. оптимизация для моделирования на ЭВМ;
2. дальнейшее уточнение модели, например, увеличение количества компонентов в нефтяной эмульсии.

Список литературы.

1. Гуревич Г.Р., Карлиновский Е.Д. Сепарация природного газа на газоконденсатных месторождениях. // М.: Недра, 1982.- 197с.

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ И ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ

А. С. Киняева
Научный руководитель: Шендалева Е.В., к.т.н., доцент.
Омский НИИ приборостроения, Россия, г. Омск, 644009, ул. Масленникова, 231
E-mail: elka_13@inbox.ru

Современный российский рынок устроен таким образом, что предприятиям необходимо постоянное развитие, умение быть конкурентоспособными для выживания и продолжения своей деятельности. Особенно актуальна эта тема для развития промышленного производства. Именно российские предприятия испытывают острую конкуренцию и нуждаются в совершенствовании бизнес-процессов, особенно методов управления. Помимо усиления конкурентной борьбы в настоящее время предприятия столкнулись с проблемой мирового кризиса, когда спрос на выпускаемую продукцию постоянно падает. В таких условиях производители вынуждены сокращать объемы производства, «замораживать» дорогостоящие проекты.

Если проанализировать затраты предприятия на изготовление продукции, то будет заметно, что большую часть их составляют расходы на материальные ресурсы как оборотные, так и капитальные. Для эффективного управления бизнес-процессами без привлечения значительных затрат необходимо использовать методы оптимизации управления материальными и информационными ресурсами.

На большинстве предприятий материальными ресурсами обычно занимаются отделы снабжения, но часто снабженческая деятельность переплетается с другими видами деятельности предприятия. Наиболее существенны ее связи с маркетингом, планированием производства и финансовой службой. Часто цели этих служб могут не совпадать с целями рациональной организации совокупного материального потока, проходящего через предприятие. В связи с этим целесообразно выделение специальной службы логистики, которая бы управляла материальным потоком, начиная от формирования договорных отношений с поставщиком и кончая доставкой покупателю готовой продукции. В крупных торговых и производственных компаниях отделы логистики существуют в качестве самостоятельных подразделений.

Под производственной логистикой обычно понимают направление хозяйственной деятельности, которое заключается в управлении материальными и информационными потоками в сфере производства и обращения.

Логистика по праву считается одним из инструментов бизнеса, который позволяет экономить ресурсы организации. Следовательно, задачи оптимизации управления материальными и информационными ресурсами целесообразно решать с привлечением такого междисциплинарного научного направления, непосредственно связанного с поиском возможностей повышения эффективности материальных потоков, каким является логистика.

В поисках путей снижения затрат на материальные ресурсы, компании серьезно задумываются над оптимизацией логистических цепочек. Использование логистических методов и приемов позволяет осуществлять доставку материалов, изделий и товаров в заданное место, в нужном количестве и ассортименте, в максимально возможной степени их подготовленности к производственному или личному потреблению при заданном уровне издержек. В большинстве случаев ключевыми факторами по-прежнему остаются издержки, а также связанные с ними риски и возможности, которые могут способствовать увеличению эффективности производства. И главными ориентирами для компаний в этой связи являются операционная эффективность и укрепление системы логистики. Деятельность в области логистики многообразна. Этапы, которые проходят материальные и информационные потоки, можно объединить в логистическую систему.

Выделим следующие элементы логистической системы:

- закупка - этап, который обеспечивает поступление материального потока в логистическую систему;
- склады - здания, сооружения, устройства для хранения материальных запасов;
- запасы - запасы материалов, которые позволяют логистической системе быстро реагировать на изменение спроса;
- обслуживание производства - этап, занятый обслуживанием бизнес-процессов и являющийся одной из важнейших составляющих производства продукции;
- транспорт - материально-техническая база и инфраструктура, с помощью которой осуществляется транспортировка грузов;
- информация - этап, обеспечивающий связь и координацию всех элементов логистической системы;
- кадры - персонал, занятый выполнением логистических операций;

- сбыт - этап, обеспечивающий выход материального потока из логистической системы.

Границы логистической системы определяются циклом обращения средств производства. Вначале закупаются средства производства, которые в виде материального потока поступают в логистическую систему, обрабатываются, складируются и затем уходят из логистической системы в потребление, в обмен на которое в систему поступают финансовые ресурсы.

Материальный поток образуется в результате совокупности определенных действий с материальными объектами. Эти действия называют логистическими операциями. Различают внутренний и внешний, входной и выходной материальные потоки. Внешний материальный поток протекает во внешней среде, за пределами логистической системы, внутренний — внутри системы. Входной материальный поток поступает в логистическую систему из внешней среды, выходной, наоборот, — во внешнюю среду. Материальные потоки образуются как внутри одного предприятия, так и в результате совместной деятельности различных предприятий и организаций. Это могут быть транспортные предприятия общего пользования, различные экспедиционные фирмы, коммерческо-посреднические организации, предприятия-изготовители, предприятия оптовой торговли и т. п. Силами этих предприятий формируются материальные и информационные потоки, осуществляется процесс преобразования продукции. Они самостоятельно оценивают конкретную ситуацию и принимают решения. Таким образом, логистика оперирует многочисленными показателями и характеристиками информационных и материальных потоков: номенклатурой передаваемых сообщений, типами данных, документами и т. д. Между информационными и материальными потоками отсутствует однозначное соответствие, синхронность во времени возникновения. Как правило, информационный поток либо опережает материальный, либо отстает от него. В частности, само зарождение материального потока обычно является следствием информационных потоков в ходе, например, переговоров по сделкам купли-продажи товаров, составления контрактов и т. д. Типичным является наличие нескольких информационных потоков, сопровождающих материальный поток.

Применение логистических методов в управлении материальными и информационными потоками в практике производственной деятельности позволяет:

- гибко реагировать на быстро изменяющиеся приоритеты потребителей;
- значительно сокращать временные интервалы между приобретением сырья и материалов и поставкой товаров конечному потребителю;
- минимизировать товарные запасы;
- сокращать время доставки товаров;
- ускорять процесс получения информации;
- эффективно использовать производственные и трудовые ресурсы предприятий.

Следовательно, оптимизация процессов логистики в первую очередь связана с построением модели управления материальными и информационными ресурсами предприятия.

Задачи, которые должны решаться моделью управления материальными ресурсами:

- оптимизация выполнения требуемой логистической операции, то есть доставки необходимой номенклатурной позиции материалов и комплектующих в заданный момент времени на заданную технологическую операцию;
- расчет оптимального страхового запаса материальных ресурсов в складах цехов;
- расчет оптимальной партии поставляемых материальных ресурсов;
- постановка системы оптимальной диспетчеризации материальных потоков в производстве с учетом реализации толкающей и тянущей систем управления запасами.

Такая модель управления материальными и информационными ресурсами, разработанная с использованием методов теории принятия решений и численных методов, может дать ощутимый эффект, что позволит предприятию оптимизировать бизнес-процессы, совершенствовать деятельность и, как следствие, снижать издержки.

Чтобы существенно экономить, бизнес предприятий должен смотреть вперед, должны разрабатываться независимые операционные модели, которые будут увеличивать доход, в том числе благодаря оптимизации логистических цепочек. И компании, которые сейчас не проходят мимо логистики, будут более подготовлены в условиях рыночной экономики. В конкурентной борьбе будет лидировать тот, кто овладеет методами логистики.

Список литературы

1. Логистика / Терминологический словарь / Родников А. Н., ИНФРА-М, 2000.

2. Промышленная логистика: Учебное пособие. Стаханов В.Н. Приор, 2000.

3. Юлдашев Р. Задача логистики — сокращение издержек. Издательство «Business ExceMence», №7, 2010

4. ГОСТ Р 53392-2009 Интегрированная логическая поддержка. Анализ логической поддержки. Основные положения.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ

Колосова О.С., Денисова М.Н.
Научный руководитель: Шендалева Е.В., к.т.д., доцент
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, Омск, Пр. Мира, д. 11
E-mail: ole4ka_kolosova@mail.ru

Технологический процесс - это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные воздействия по изменению и последующему определению состояния объекта переработки. Управление технологическими процессами осуществляется автоматическими и автоматизированными системами с участием человека, принимающим решения. Роль автоматического управления непрерывно растет во всех отраслях промышленности, что объясняется рядом причин, из которых можно выделить следующие:

1) с развитием и совершенствованием методов управления различными процессами требуются скорости и усилия, значительно превышающие физические возможности человека;

2) появление и развитие отраслей, в которых управление процессами становится недоступным для человека или вредным для его организма.

Наиболее важные области применения – это сложные технологические процессы, особенно в опасных отраслях промышленности.

Управление сложными технологическими процессами связано с функциями многовариантного регулирования. Реализацию управления обеспечивают различные программно-аппаратные системы управления технологическими процессам. Примером такой программно-аппаратной системы управления технологическими процессам может служить Shell Multivariable Optimizing Controller (SMOC), рассмотренная в данной работе.

Контроллер SMOC предназначен для управления основными параметрами технологического процесса, а также качеством продукции. Управление осуществляется с помощью ПИД-регуляторов выходными параметрами технологического процесса по степени их приоритетности.

Типовой процесс управления представлен на рисунке 1.

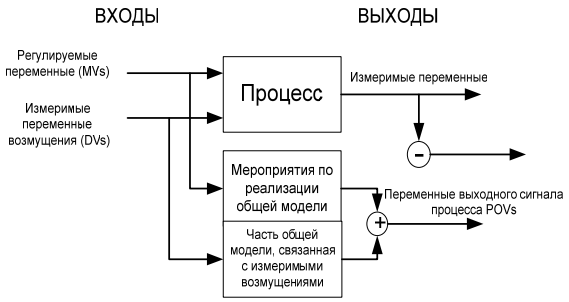


Рис.1. Процесс/модель SMOC

Контроллер SMOC рассчитывает изменение (шаг MVs) исходя из текущих и предшествующих параметров технологического процесса, с учетом модели технологического процесса. Модель создается на основе пошаговых тестов и может иметь отклонения в зависимости от текущих условий (состав сырья, температура окружающей среды, техническое состояние колонн и т.п.).

В качестве объекта управления была выбрана ректификационная колонна.

Процесс ректификации применяется для разделения жидкостей, отличающихся по температурам кипения, за счет противоточного многократного контактирования паров и жидкостей. Для создания тесного контакта между паром и жидкостью ректификационные колонны снабжаются специальными устройствами – насадкой или ректификационными тарелками.

Ректификационные колонны подразделяются на простые и сложные. На рисунке 2 изображена схема полной простой колонны, состоящей из концентрационной и отгонной частей и имеющей, два вывода продуктов – с верха и низа.

Если такие колонны не обеспечивают требуемую чистоту продуктов, то используются сложные колонны (рисунок 3).

В зависимости от контактных устройств, применяются:

1) Тарельчатые колонны
2) Насадочные колонны
3)Пленочные колонны (новый вид ректификации)

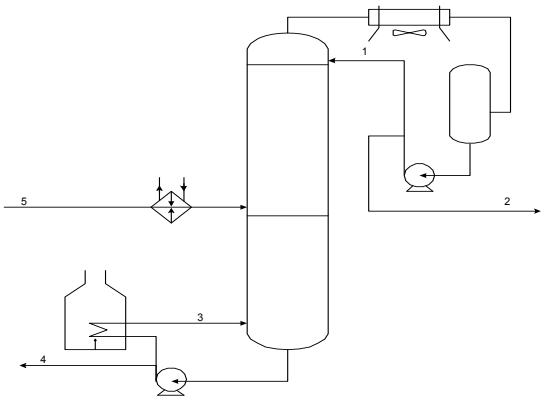


Рис. 2. Схема простой ректификационной колонны

В зависимости от рабочего давления применяют:

1) Атмосферные колонны
2) Вакуумные колонны

3)Колонны, работающие под избыточным давлением

Виды колонн в зависимости от выполняемой работы:

1) Простые – отгонные
2) Стабилизационные
3) Отпарные (если в низ колоны подается пар)

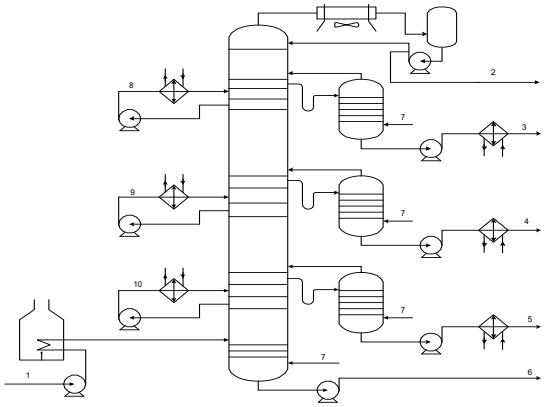


Рис. 3. Схема сложной ректификационной колонны с выносными отгонными секциями

Применяемые методы управления технологическим процессом определяет качество продукции и безопасность его производства. Для выбора алгоритма управления возникает необходимость создания имитационной модели для анализа управления технологическими процессами. Имитационная модель строится на основе передаточных функций отдельных динамических систем, участвующих в технологическом процессе. В качестве моделирующего программного обеспечения был использован MATLAB. (рис. 4)

Имитационная модель управления технологическими процессами разбита на отдельные системные блоки (подмодели), по которым можно проверить правильность функционирования модели и соответствие выходов модели.

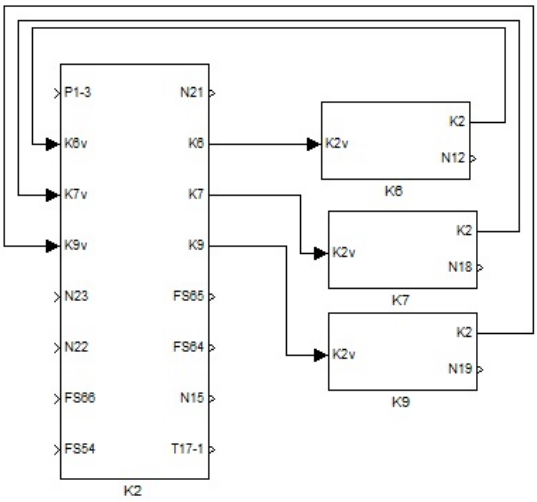


Рис. 4. Фрагмент имитационной модели технологического процесса

Результат проведения технологического процесса представлен на рисунке 5.

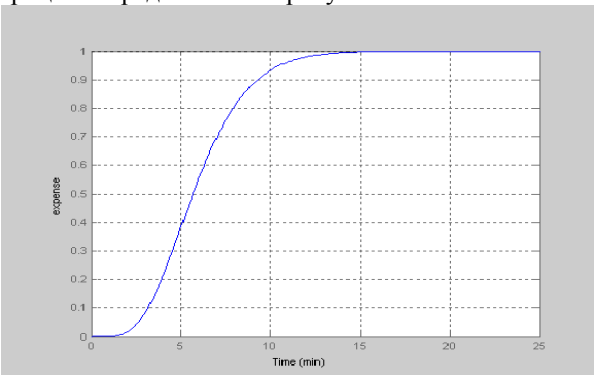


Рис. 5. Результат технологического процесса

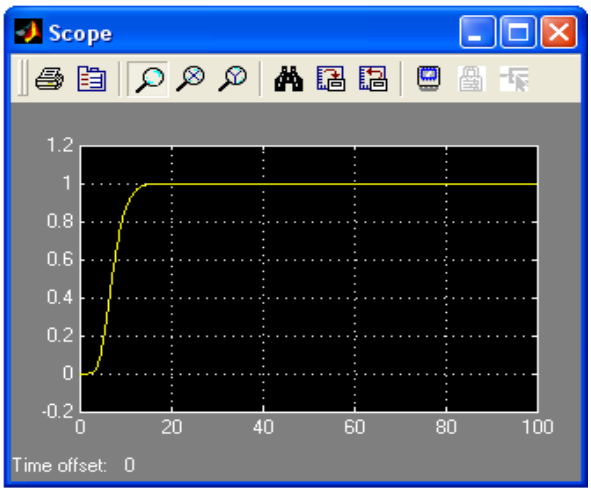


Рис. 6. Результат моделирования

Результаты моделирования подмодели совпадают со значениями управляемых параметров в статическом и динамическом режимах в соответствии с выбранным масштабом времени.

Таким образом, с помощью имитационной модели были проверены алгоритмы управления ректификационной колонной, осуществляемые с помощью контроллера, что позволило убедиться в эффективности и безопасности его работы.

Список литературы:

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974.

2. ТР-2-900-110-2007 Технологический регламент установки ЭЛОУ-АВТ-6М (АВТ-10).

3. Мартынов, Н. Н. MATLAB 5.x. Вычисления, визуализация, программирование [Текст] / Н. Н. Мартынов, А. П. Иванов. - М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ АТОМНЫХ СПЕКТРОВ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМОВ*»

Ковалёв В.С., Казаков В.В.
Научный руководитель: Казаков В.Г. к.ф.-м.н.
Новосибирский государственный университет, 630090, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.
E-mail: vasiliy.s.kovalev@gmail.com

Современный атомно-эмиссионный спектральный анализ является мощным инструментом для определения элементного состава вещества. Такой анализ проводят по спектрам, получающимся при испускании электромагнитного излучения возбуждёнными атомами вещества. Атомные спектры состоят из отдельных спектральных линий, характеризуемых частотой излучения ν, которая соответствует квантовому переходу между уровнями энергии E_i и E_k атома согласно соотношению: $h\nu = E_i - E_k$, где h - постоянная Планка. Спектральные линии можно характеризовать также длиной волны $\lambda = c/\nu$ (c-скорость света), волновым числом $1/\lambda = \nu/c$ и энергией фотона $h\nu$.

Эмиссионные Атомные спектры получают при возбуждении атома различными способами (светом, электронным ударом и т. д.). Методы, основанные на измерении частот и интенсивностей линий в спектре, применяют для решения различных задач спектроскопии: проведения общей систематики спектров многоэлектронных атомов; определения уровней энергии таких атомов (это существенно, в частности, при квантово-химических расчетах); нахождения вероятностей переходов и времен жизни возбужденных состояний; изучения механизмов возбуждения атомов; измерения ядерных моментов и т. п. Индивидуальность атомные спектры используют для качественного определения элементного состава вещества, а зависимость интенсивности линий от концентрации излучающих атомов - для количественного анализа.

Атомные спектры получают и наблюдают с помощью спектральных приборов, в которых осуществляется регистрация электромагнитного излучения различными методами (визуальный, фотографический, фотоэлектрический). Во время распространения фотографического метода, увеличенные изображения атомных спектров издавались в специальных атласах. В настоящее время распространён фотоэлектрический метод с последующей цифровой обработкой и анализом при помощи компьютера.

Целью работы было создание изображений, эмиссионных атомных спектров, на основе баз данных информационной системы «Электронная структура атомов»*. А также размещение этих изображений вместе с элементами интерфейса управления ими на веб-странице сайта.

Работа была выполнена с учётом следующих требований: отображение всех линий эмиссионного спектра атома с наибольшей точностью (точность ограничивается лишь точностью данных в базе информационной системы); линий видимой части спектра изображаются с соответствующим цветом; осуществлена возможность отображения любой части спектра; изображения масштабируются с сохранением точности (для возможности изучения тонких и сверхтонких структур); отображается дополнительная информация о каждой линии (длина волны);

Работа выполнялась в рамках веб-портала ИС «Электронная структура атомов» (www.grotrian.ru) , что наложило некоторые ограничения на выбор технологий реализации программы.

Общая схема создания изображения выглядит следующим образом: web страница посылает запрос обработчику (PHP скрипту), который формирует и производит запрос к базе данных, обрабатывает результат и подготавливает ответ для web страницы в виде массива данных, где происходит построение изображений линий спектра и происходит управление этими изображениями при помощи клиентских скриптов.

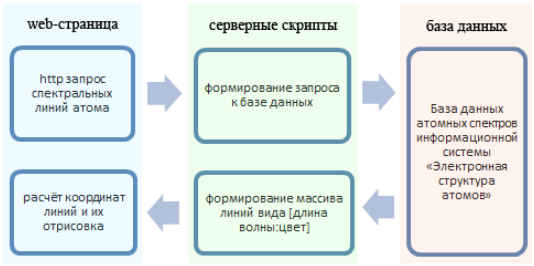


Рис.1. Общая схема работы программы.

Выборка линий производится по длинам волн с ограничением по минимальной и максимальной длине, заданной в соответствии с требуемой точностью (до 0,0001).

Для линий видимого диапазона по значению длины волны мы находим значение координат цвета спектральной линии в цветовой модели sRGB для отображения её на мониторе.

Спектральным линиям невидимого диапазона длин волн условно присваивается белый цвет отображения.

Изображение спектральных линий генерируется в векторном формате SVG (масштабируемая векторная графика), это обусловлено возможностью доступа и управления объектной моделью документа SVG при помощи скриптов.

Изображение генерируется в специальном контейнере на веб-странице, при этом построение

линий происходит от центральной части контейнера в соответствии со значением масштаба, т.е. чем больше масштаб, тем больше расстояние между соседними линиями, что позволяет видеть тонкие и сверхтонкие структуры.

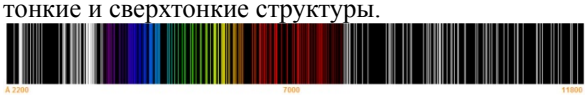


Рис.2. изображение атомных спектров Ba. в диапазоне 2200 – 11800 ангстрем.

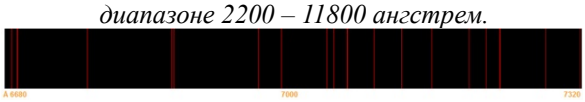


Рис.3. изображение атомных спектров Ba. в диапазоне 6680 – 7320 ангстрем. Увеличение в 15 раз.

Изменяя положение специального бегунка, либо прокручивая колёсико мыши, пользователь может изменять значение масштаба изображения, при этом, на основе массива данных и значения нового масштаба пересчитываются координаты линий, которые затем перерисовываются.

Перемещение видимой области спектральных линий также осуществляется при помощи специальных бегунков (общего и для смещения в области), методом drag and drop или при помощи стрелок клавиатуры. Так как перерисовка линий весьма требовательный к вычислительным ресурсам компьютера процесс (особенно когда линий много) при перемещении видимой области происходит смещение изображения целиком, а лишь затем линии перерисовываются с учётом этого смещения. Реализован также ручной ввод позиции изображения и ограничений по максимальной и минимальной длинам волн.

При наведении курсора мыши на линию пользователь получает информацию о ней (длину волны), эта информация хранится в виде атрибута svg объекта (линии).

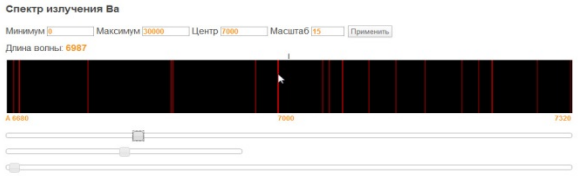


Рис.5. Общий вид интерфейса.

Отдельной задачей стояла разработка алгоритма для получения цвета линий в видимом диапазоне длин волн.

Суть метода состоит в нахождении координат цвета, соответствующего определённой длине волны, на основе метамерии (свойство зрения, при котором свет различного спектрального состава может
вызывать ощущение одинакового цвета). Такие координаты находятся в цветовой модели CIE (фр. Commission Internationale de l'Eclairage), построенной на основе зрительных возможностей «стандартного наблюдателя», то есть гипотетического зрителя, возможности которого были тщательно изучены и зафиксированы в ходе длительных исследований человеческого зрения.

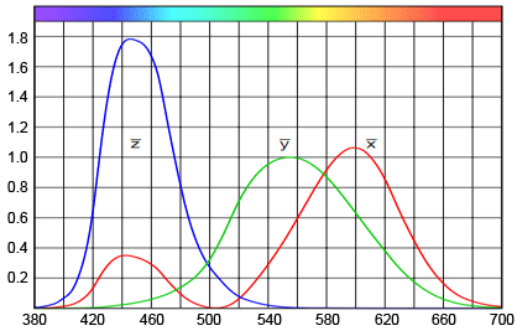


Рис.1. Функции чувствительности XYZ для стандартного наблюдателя согласно CIE 1931.

Затем значений этих координат переводятся в координаты цветовой модели sRGB для отображения цвета на экране монитора, с заданной точкой температурой белого цвета равной 6500 кельвинов и гамма-коррекцией равной 1.

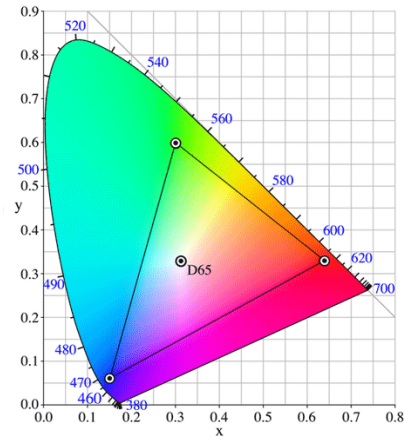


Рис.2 RGB и CIE пространства в наложении, криволинейный участок соответствует спектральным цветам.

Результатом работы является графическое представление эмиссионных спектров всех известных элементов в понятном и удобном для восприятия виде, доступные в сети интернет.

Дальнейшие исследования и разработки предполагается осуществлять в следующих направлениях: Улучшение программных алгоритмов: увеличение скорости генерации изображения при изменении масштаба и перемещении; исследование и разработка наиболее оптимального алгоритма отображения спектрального цвета в видимом диапазоне длин волн, улучшение пользовательского интерфейса. Создание дополнительных инструментальных средств изучения спектральных линий: более детальное описание линий, отображение линий в двухмерном виде (в зависимости от интенсивности), возможность отбора линий, наложения линий различных элементов, экспорта изображений в другие графические форматы.

*Работа над проектом ведётся сотрудниками НГУ и ИАиЭ СО РАН (ГК П2374).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФИНАНСОВОГО ИНЖИНИРИНГА ДОЛГОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Ефремов В. А., Козлов А.Н., Кузьмина Е. А.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634045, Россия, г. Томск, ул. Вершинина 74

Финансовый инжиниринг на рынке облигаций – это процесс конструирования облигационного займа, обладающего максимальной инвестиционной привлекательностью для инвесторов при минимальной финансовой нагрузке на эмитента, путем разработки и применения инновационных финансовых решений при определении параметров инструмента.

Для инвесторов привлекательность облигаций складывается из пяти основных характеристик ценной бумаги:

– риска (как кредитного риска, так и иных рисков, например, валютных, процентных и др.)

– доходности (как параметра, внутри которого могут быть учтены риски),

– срока обращения,

– сегментации рынка (т.е. в конструировании параметров выпуска для учета потребностей целевой группы инвесторов: физических лиц, институциональных инвесторов, экспортеров нефти и т.д.);

– ликвидности.

Основными методами финансового инжиниринга на рынке облигаций являются:

– *комбинирование нескольких финансовых инструментов в единый продукт или создание структурированных облигаций.* Например, индексация суммы выплат по облигации в соответствии с изменением цен товаров, ценных бумаг, индексов, процентных ставок – это фактически включение в структуру облигации опциона или фьючерса (в зависимости от порядка индексации) на соответствующий базисный актив. Простейшим примером является конвертируемая облигация, предоставляющая инвестору опцион или фьючерс на акции эмитента или облигации другого типа.

– *декомпозиция облигации* (примером может служить «стриппирование» от англ. STRIP – Separate TRading of Interest and Principal – раздельное обращение основной суммы долга и купонного дохода);

– *совмещение комбинирования и декомпозиции*, подразумевающее выпуск пакетного или синтетического продукта. Примерами могут служить выпуск раздельно обращающихся облигации и опциона-пут на нее, который является синтетической облигацией с возможностью досрочного погашения по требованию эмитента или облигации и валютного свопа, при котором эмитент получает валюту заимствования в обмен на иную валюту, - это синтетическая дуальная облигация.

Как видно из методов финансового инжиниринга его основными инструментами становятся деривативы, которые позволяют тонко учитывать конъюнктуру различных рынков и, как следствие, хеджировать риски. Варьирование видов деривативов, их базисных активов и используемых методов финансового инжиниринга позволяет управлять различными параметрами облигаций:

– *Для управления сроком обращения* применяются опционы, предоставляемые как инвестору для досрочного представления облигации к погашению, так и эмитенту для выкупа инструмента (опцион может быть исполнен как в определенную дату/ период времени, независимо от рыночной конъюнктуры, так и при наступлении определенных условий, в частности достижения определенного уровня доходности);

– *Для управления рисками (доходностью)* используются опционы, фьючерсы и свопы. Например, для хеджирования процентного риска используются облигации с плавающим купоном, валютного – дуальные или индексируемые в соответствии с курсом валют облигации, рыночного – облигации, доходность которых зависит от динамики фондовых индексов или темпов инфляции и т.д.

– *Сегментирование рынка ценных бумаг* зависит, во-первых, от используемого метода финансового инжиниринга, а во-вторых, от базисного актива производного финансового инструмента. Применение композиции способствует снижению транзакционных издержек по сравнению с приобретением замещающего портфеля, обеспечивает возможность доступа инвесторов к рынкам, доступ к которым ограничен в силу большой стоимости участия или законодательно запрещен (например, вложения средств пенсионных фондов в инструменты срочного рынка). Создание пакетных продуктов ориентировано на более профессиональных и подготовленных инвесторов, которым таким образом предоставляется возможность самостоятельного выбора инструментов хеджирования рисков. Выбор же базисного актива позволяет ориентироваться на тех инвесторов, денежные потоки которых зависят от ситуации на рынке этого актива: например индексация в соответствии с изменением цен на нефть привлекательна для компаний, осуществляющих закупки этого сырья.

Финансовый инжиниринг как процесс создания облигаций для удовлетворения специфических интересов эмитентов и инвесторов, основной целью которого является формирование желаемых денежных потоков в сочетании с наилучшим возможным соотношением риска, доходности и ликвидности созданного продукта уже достаточно прочно занял свое место на рынке корпоративных облигаций.

Большинство выпусков сконструировано на основе финансового инжиниринга и содержат такие его наиболее популярные инструменты как опционы (оферты) на досрочный выкуп/погашение, опционы на определенные показатели рынка (для формирования плавающей ставки дохода), возможность установления ставки после регистрации отчета об итогах выпуска, флор- и кэп-опционы для ограничения размера выплат, отложенные купонные платежи, снижающиеся ставки, амортизацию суммы основного долга и пр. [1].

В то же время на рынке государственного и муниципального долга большинство выпускаемых облигаций остаются «прямыми»(strait bond) или являются облигациями со снижающейся ставкой (step-down bond), что, в первую очередь, вызвано спецификой заемщика, а также необходимостью строго соблюдения ограничений, накладываемых Бюджетным кодексом и самим бюджетным процессом (в том числе в части планирования абсолютной суммы расходов на обслуживание и погашение облигаций) [2]. Определенное распространение получили облигации с амортизацией суммы основного долга. Лишь немногими выпусками была предусмотрена плавающая ставка купонного дохода, досрочное погашение, или установление ставки дохода после размещения.

С другой стороны, применение финансового инжиниринга ограничено еще и тем, что российским законодательством не предусмотрен ряд конструкций, получивших достаточно широкое распространение на зарубежных рынках государственных и муниципальных облигаций, в частности использование в качестве обеспечения конкретного денежного потока, включая и права требования, что могло бы означать, например, заимствование под поступления определенного налога.

В рамках проекта была спроектирована система финансового инжиниринга долговых инструментов. Она представлена на рисунке 1.

Цель подсистемы финансового инжиниринга долговых инструментов – выбор оптимального инструмента заимствований.

Задачи:

1. Расчеты по облигациям;
2. Расчеты по кредитам;
3. Расчеты по спрэдам доходности.

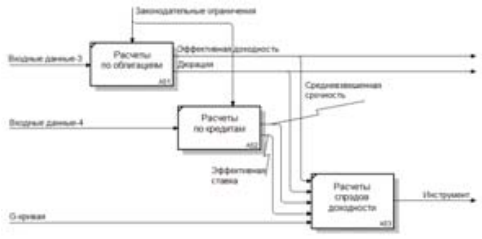


Рис. 1. Модель подсистемы финансового инжиниринга долговых инструментов

Задачи подсистемы финансового инжиниринга долговых инструментов будут реализовываться в следующих блоках:

1) блок расчетов по облигациям. Данный блок предназначен для расчета эффективной доходности и дюрации облигаций.

Входными данными для данного блока является группа входных данных-3, которая включает в себя такие данные, как: номер эмиссии; цена номинала облигации (руб.); цена первичного размещения (руб.); объем эмиссии (шт.); дата начала размещения; даты выплаты купонов; ставки по купонам на дату выплаты (проценты); накопленный купонный доход на дату выплаты (руб.); величина погашения номинала на дату выплаты (руб.). Выходными данными для блока расчетов по облигациям являются значения эффективной доходности и дюрации облигаций. Управляющей информацией являются законодательные ограничения.

2) блок расчетов по кредитам. Данный блок предназначен для расчета эффективной ставки и средневзвешенной срочности по кредиту.

Входными данными для данного блока является группа входных данных-4, которая включает в себя такие данные, как: объем заимствования; номинальная ставка по кредиту; количество выплат в год; дата привлечения кредита; дата погашения кредита. Выходными данными для блока расчетов по кредитам являются значения эффективной ставки и средневзвешенной срочности по кредиту. Управляющей информацией являются законодательные ограничения.

3) блок расчетов спрэдов доходности. Данный блок предназначен для выбора инструмента заимствования. Входами для функционирования этого блока являются значения эффективной доходности и дюрации облигаций, полученные в блоке расчетов по облигациям, значения эффективной ставки и средневзвешенной срочности по кредиту, полученные в блоке расчетов по кредитам, а также кривая бескупонной доходности (G-кривая), полученная в подсистеме рыночной коньюктуры. На выходе имеем инструмент заимствования.

Литература

1. Воробьева З.А. Финансовый инжиниринг на рынке государственных и муниципальных облигаций. // Рынок ценных бумаг, 2005, №9

2. Ефремова Е.А., Модели и алгоритмы оптимизации в управлении региональным облигационном долгом. Диссертация. – Томск, 2007.–127с.

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЯТНИКА НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА TP-802 ФИРМЫ FESTO

Кондратенко М.А., Пастухова Е.А., Федоров В.А.
Научный руководитель: Фомин В.В., к.т.н., доцент
Тюменский государственный нефтегазовый университет, ул. Володарского, 38, г.Тюмень, 625000, Россия
E-mail: tiara_350z@mail.ru

В работе была поставлена задача разработки алгоритма управления физическим маятником, закрепленным на подвижной опоре – каретке электромеханического привода, управляемой шаговым двигателем. Для ее решения составлена и проанализирована математическая модель системы, реализован алгоритм управления. В результате получили практическую реализацию инвертирования маятника на базе оборудования лабораторного стенда TP-802 фирмы Festo [1].

Стенд TP-802 включает в себя программное приложение Festo WinPisa 4.41, контроллер позиционирования SPC200 [2], шаговый двигатель EMMS-ST, контроллер двигателя SEC-ST и линейный электромеханический привод с зубчатым ремнем DGE [3], и в ходе работы был дополнен конструкцией маятника.

Модель обратного маятника удобна в изучении свойств систем управления неустойчивыми объектами. С одной стороны, эта модель сравнительно простая и наглядная, с другой, она подготавливает исследователя к построению весьма практически значимых моделей двуногих существ (людей, птиц), а также антропоморфных устройств (роботов, киберов и др.), перемещающихся на нескольких опорах. В отличие от названных примеров, в рассматриваемой задаче положением маятника управляют перемещением его опоры не в трех, а всего в одном направлении, что делает процесс более инерционным.

Развитие робототехнических систем породило задачи стабилизирующего управления сложными кинематическими механизмами. Например, задача поддержания вертикального положения антропоморфных технических устройств (роботов, киберов и др.), стабилизации положения неуправляемого конечного звена манипуляционного робота или робота нетривиальной конструкции (типа маятника на подвижной основе, например, маятника Фуруты), задачи стабилизации центра тяжести шагающего механизма [4], стабилизации положения многоканальной гироскопической системы. Задачи балансирования при моделировании ракет, сверхзвукового самолета, состава барж, толкаемых буксиром, а также задачи поддержания колебательных движений или траекторного управления всех тех объектов, в которых центр масс и точка приложения силы не совпадают. Исследование и решение данного типа задач может быть сведено к построению модели обратного маятника и разработке соответствующего алгоритма управления [5].

Объект управления - физический маятник, закреплен на опоре, ограниченной движением в пределах одной оси. Он сбалансирован и находится в верхнем неустойчивом положении равновесия (рис. 1,a), когда стержень маятника точно центрирован выше неподвижной опоры и нет никаких боковых результирующих сил на маятнике. Любое возмущение, смещающее маятник от положения равновесия, дает начало силам, которые перемещают маятник дальше от этой точки. При этом предполагается, что вертикальная точка равновесия всегда непостоянна, как показано на рис. 1,b. Под действием любых сил стержень всегда будет стремиться к нижней точке равновесия. Эту точку называют нижним устойчивым положением равновесия (рис. 1,c). Угол, соответствующий этому положению, будем считать нулевым, т.е. θ =0.

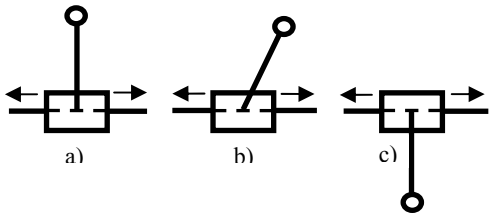


Рисунок 2 - Положения равновесия маятника

В соответствии с рис. 2 введены обозначения: l - длина маятника, m- масса маятника, M - масса тележки, g - ускорение свободного падения, F - управляющая сила, приложенная к каретке, f_x и f_y - горизонтальная и вертикальная составляющие сил, действующих на маятник, θ - угол отклонения маятника от вертикали, I- момент второго порядка в плоскости качания маятника, s – перемещение каретки, G – точка подвеса маятника.

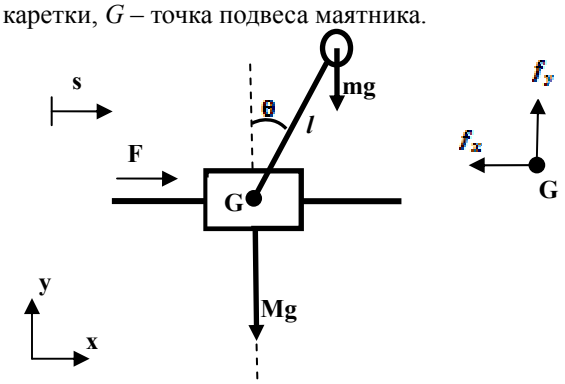


Рисунок 3 - Обратный маятник на подвижной опоре

На основе второго закона Ньютона и момента инерции были составлены уравнения, из которых получена нелинейная математическая модель (1) и (2), связывающая угол отклонения маятника с перемещением каретки в зависимости от приложенной силы F:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{(J + ml^2)}(mgl\sin\theta - \ddot{s}ml\cos\theta - c\dot{\theta}); \qquad (1)$$

$$\ddot{s} = \frac{1}{(M + m)}(F - \ddot{\theta}ml\cos\theta + \dot{\theta}^2 ml\sin\theta - k\dot{s}). \qquad (2)$$

Полученная модель перевернутого маятника соответствует неустойчивой точке равновесия. В окрестности этой точки равновесия и θ и $\dot{\theta}$ являются очень маленькими (в рад и рад/сек, соответственно), т.е. (θ, $\dot{\theta}$) = (0,0) [6]. При условии управления углом θ в достаточно малой области можно принять допущения, что $\cos\theta \approx 1$, $\sin\theta \approx \theta$, $\theta\dot{\theta} \approx 0$, $\dot{\theta}^2 \approx 0$ [7]. Тогда линеаризованная математическая модель будет иметь вид:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{(J + ml^2)}(mgl\theta - \ddot{s}ml - c\dot{\theta});$$

$$\ddot{s} = \frac{1}{(M + m)}(F - \ddot{\theta}ml - k\dot{s}).$$

Помимо практической реализации инвертирования маятника, были проведены несколько экспериментов по определению влияния силы $F(t)$ на движение маятника при выбранных параметрах маятника и различных начальных условиях. Расчеты и построение графиков произведены в среде Matlab.

Первый эксперимент позволяет проследить поведение системы при:

– управляющем воздействии $F(t)=0$,
– начальном угле отклонения $\theta(0)=1,5$ [рад],
– длине $l=0,3$[м],
– массе груза $m=0,028$ [кг].

Маятник, при начальном отклонении от вертикальной оси, в отсутствии управляющего воздействия со стороны каретки, совершает свободные колебания относительно нижнего положения равновесия, со временем возвращаясь в исходное положение. Поведение математической модели (рис. 3) соответствует поведению реального объекта на практике.

Второй эксперимент показывает поведение системы при:

– управляющем воздействии $F(t)=(M\cdot a(t))$ [Н], где M - масса каретки [кг], a – ускорение [м/с^2];
– нулевых начальных условиях;
– длине $l=0,3$[м],
– массе груза $m=0,028$ [кг].

Если задать управляющее воздействие $F(t)$, которое формируется по определенному закону, то маятник начинает раскачиваться (рис. 4). С каждым ходом каретки угол отклонения нарастает, и в момент, когда каретка совершает четвертое движение, необходимо переключить режим управления маятника с управления колебаниями на стабилизирующее управление. Для этого на практике необходимо наличие обратной связи для измерения перемещения и угла отклонения от верхнего положения равновесия.

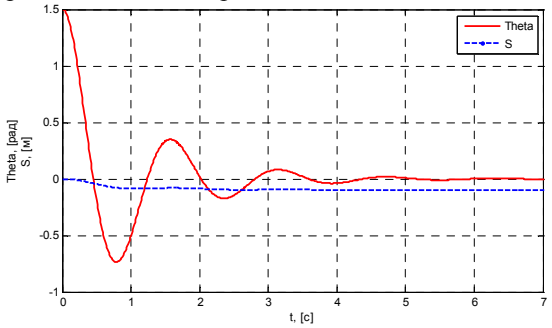


Рисунок 4 - Поведение системы при F=0 и θ=1,5[рад]

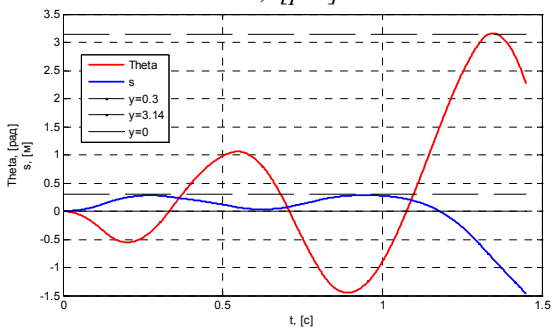


Рисунок 5 - График перемещения каретки и угла отклонения маятника

Список литературы:

1. Festo AG & Co. KG. // Автоматизация производства [Электронный ресурс]. – 2008. - Режим доступа: http://www.festo.ru.

2. Smart Electronic Controller. Comissioning. Festo Ag&Co. KG. Germany, 2003. - 208 p.

3. Positioning system. Smart Positioning Controller SPC200. Manual. Festo AG & Co. KG, Dept. KI-TD. 2005. - 371 p.

4. Брискин Е.С. Шагающие машины ВолгГТУ (опыт разработки, результаты исследований, практическое применение). / Брискин Е.С., Жога В.В., Малолетов А.В., Чернышев В.В. // Доклады международного научно-технического конгресса "Мехатроника и робототехника (МиР-2007)". - СПб, 2007 г.

5. Block, D.J., Astrom, K.J., and Spong, M.W. The Reaction Wheel Pendulum. Morgan and Claypool, 2007. – 112 p.

6. Lab: Balancing the Inverted Pendulum / University of California, Santa Barbara, Department of Electrical &Computer Engineering, ECE 147b: Digital Control.

7. Bugeja M. Non-linear Swing-up and Stabilizing Control of an Inverted Pendulum System, Proc. of. EUROCON, Ljubljana, 2003.

МЕТОД ЗАПОЛНЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Коробулина О.Ю.
Научный руководитель: Иванова Н.В., к.т.н., доцент
Петербургский государственный университет путей сообщения,
190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9
E-mail: olgakorobulina@gmail.com

Аудит информационной безопасности (ИБ) является важной составляющей процесса обеспечения безопасности информационной системы (ИС) любой организации. Результаты проведенной аудиторской проверки являются основанием для внесения изменений в существующую систему защиты информации с целью улучшения ее защитных функций.

Выполнить качественную процедуру оценки защищенности без использования автоматизированных инструментальных средств сложно, т.к. объемы информации, которую необходимо учесть при проведении аудита, часто превосходит ресурсы человека, которые могут быть использованы для принятия решения.

Анализ методов аудита ИБ, проведенный авторами исследования в работе [1] показал, что наиболее перспективным методом является экспертный аудит, под которым понимается сравнение состояния информационной безопасности информационной системы с «идеальным» описанием, которое базируется на требованиях, которые были предъявлены руководством в процессе проведения аудита, и на описании «идеальной» системы безопасности, основанном на аккумулированном в компании-аудиторе мировом и частном опыте [2].

Дальнейшие исследования показали, что для автоматизации процедуры проведения экспертного аудита имеет смысл использовать возможности систем, основанных на знаниях, в частности – экспертных систем.

Экспертная система (ЭС) – это интеллектуальная компьютерная программа, в которой используются знания и процедуры логического вывода для решения задач, достаточно трудных для того, чтобы требовать для своего решения значительного объема экспертных знаний человека [3].

Применение технологии экспертных систем (ЭС) в процессе проведения аудита позволит решить следующие задачи [4]:

1. Автоматизация процедуры проведения аудита;
2. Облегчение работы или полная замена экспертов ИБ;
3. Использование накопленного ранее опыта;
4. Выработка максимально эффективных рекомендаций;
5. Снижение стоимости проведения аудита.

При проектировании ЭС особое внимание уделяется заполнению ее базы знаний (БЗ), т.к. эта информация непосредственно влияет на правильность принимаемых системой решений.

Можно выделить два основных способа приобретения знаний [3]:

1. Использование специализированной литературы (журналы, учебники) и других документов, содержащих необходимые сведения об изучаемой проблеме, с целью извлечения из них определений, аксиом и правил.
2. Привлечение экспертов – специалистов в данной предметной области, которые обладают знаниями, полученными в результате их профессиональной деятельности и которые не отражены в специализированной литературе.

Первый способ отличается относительной простотой, и его основное достоинство заключается в том, что таким образом приобретаются достоверные и объясняемые знания. При заполнении БЗ для применения в области аудита ИБ в качестве специализированной литературы могут быть использованы многочисленные стандарты, принятые на сегодняшний день на российском и международном уровнях.

Знания экспертов отличаются большей ценностью в силу того, что они не зафиксированы в литературе. Но следует уделить особое внимание подбору экспертов, т.к. эксперты могут быть недостаточно квалифицированными, и поэтому предоставить неверные знания. Также стоит учесть, что любая предметная область (в данном случае – область обеспечения ИБ) является широкой, и чаще всего специалисты работают только в некоторой ее части, в которой и являются экспертами. Поэтому количество экспертов должно быть достаточным для всестороннего изучения проблемы.

Обычно эксперты принимают решение на подсознательном уровне, основываясь на интуиции, поэтому может возникнуть следующая проблема: эксперт знает, как решить ситуацию, но не может описать и объяснить данное решение. Поэтому имеет смысл привлекать специалистов из различных областей знания, чтобы получить максимально хороший результат.

При общении с экспертами чаще всего применяет способ интервьюирования, когда эксперты отвечают на подготовленные вопросы.

При составлении подобных вопросников кроме инженеров по знаниям имеет смысл привлекать к работе и других экспертов.

Использование комбинированного метода приобретения знаний, сочетающего в себе обозначенные выше два метода, позволяет достичь максимальной эффективности при заполнении БЗ.

Именно такой метод используется при заполнении БЗ разрабатываемой ЭС АИБ.

В качестве специализированной литературы были использованы стандарты ИБ, классификация которых представлена в работе [5].

Пример интуитивного правила, предложенного экспертом ИБ: «Пароль для доступа к операционной системе, состоящий из 8 символов, является самым стойким, но такой пароль сложен для запоминания пользователями. Следовательно, пользователи будут записывать пароль (например, на листе бумаги). Таким образом, использование такого пароля не повысит защищенность системы, а снизит ее. Следовательно, пароли для пользователей должны быть короче (не более 6 символов)» [2].

Также полезно учесть, что если инженер по знаниям обладает достаточным опытом и навыками в исследуемой области, время на заполнение БЗ существенно сокращается.

Чтобы завершить процесс приобретения знаний, необходимо оценить качество полученной БЗ. Оценка качества выполняется в два этапа:

1. Поиск ошибок в заполненной БЗ: эту работу выполняют совместно эксперт и инженер по знаниям, последовательно просматривая все записи в БЗ.

2. Проверка того, насколько решения, принятые ЭС на основе заполненной БЗ, совпадают с решением экспертов-людей в данном случае: перед экспертами и ЭС ставится одна задача, и результаты, полученные ими, сверяются. Если результаты совпали, то считается, что БЗ заполнена правильно.

Для представления знаний в ЭС АИБ была выбрана фреймовая модель представления знаний, т.к. фреймы обладают двумя важными свойствами, которые позволяют создавать большие БЗ:

1. Благодаря легкости реализации процедуры наследования, фреймы удобны в использовании при создании иерархических систем. Следовательно, с помощью фреймов можно создавать мощные и разветвленные БЗ;

2. Знания во фреймах могут быть заданы по умолчанию. Применяемые по умолчанию значения соответствуют ожиданиям человека в отношении некоторой ситуации, которые складываются на основании опыта. После того, как обнаруживается новая ситуация, осуществляется модификация наиболее подходящего фрейма (т.е. изменение значения по умолчанию), что позволяет проще приспособиться к ситуации. Т.е. использование фреймов позволяет упростить процедуру модификации базы БЗ, следовательно, БЗ становится более гибкой.

При проектировании БЗ была использована программа-оболочка для создания ЭС CLIPS (C Language Integrated Production System). Выбор данной оболочки объясняется тем, что она имеет ряд важных достоинств, которые могут быть эффективно использованы для создания БЗ ЭС АИБ [4]:

1. Возможность создания БЗ на основе фреймов и продукционных правил.
2. Бесплатное распространение системы.
3. Наличие обширной документации вместе с простотой языка ускоряет процесс обучения написанию программ на CLIPS.
4. Разработанные на CLIPS приложения обладают высокой скоростью работы.
5. Благодаря возможности использовать объекты, на CLIPS можно легко создавать, эксплуатировать и сопровождать крупные базы знаний.
6. Для CLIPS можно создавать расширения на языке C++, а также существует возможность интеграции приложений CLIPS в программы на языке C++.

Список литературы:

1. Метод аудита информационной безопасности информационных систем / Иванова Н.В., Коробулина О.Ю. // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – №4. – С. 143 – 153.

2. База знаний экспертной системы аудита информационной безопасности / Коробулина О.Ю. // Программные продукты и системы. – 2010. – №4. – С. 89-91.

3. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2007. – 1152 с.

4. Экспертная система аудита информационной безопасности / Иванова Н.В., Коробулина О.Ю. // Программные продукты и системы. – 2010. – №4. – С. 91-93.

5. Ivanova N., Korobulina O. Methods of analysis for the information security audit. // New Trends in Information Technologies: ITHEA-2010 materials / Markov K., Velychko V., Lius Fernando de Mingo Lopez, Juan Casellanos. – Sofia, 2010. – С. 152-161.

НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА

Кошарный И.В.
Научный руководитель: Александрова Т.В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет:
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kosharny@sibmail.com

Важнейшей составной частью роботов второго и третьего поколений является система очувствления, в задачу которой входит восприятие информации о состоянии внешней среды и ее обработка. Эти действия сводятся к обнаружению объектов, определению их местоположения, расположения препятствий, распознаванию, оценке параметров, свойств объектов и среды.

Разработка интеллектуальных мобильных роботов (ИМР) для различных производственных и исследовательских целей является весьма важной и актуальной задачей. Одной из центральных проблем, возникающих при ее решении, является проблема построения управляющих систем, реализующих целенаправленное поведение ИМР в сложной неформализованной естественной среде. Отсутствие в настоящее время общей теории синтеза таких систем стимулирует разработку специальных инструментальных средств ориентированных на их экспериментальное исследование.

Объектом управления был выбран Робот Lego MINDSTORMS NTX на гусеничной базе. Центральный микропроцессорный блок управления робота – NXT 2.0. С его помощью были решены типовые задачи навигации мобильного робота:

1. Прохождение туннеля, изменяющего направление на 90 градусов.
2. ДВИЖЕНИЕ ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ.
3. Движение в естественной среде.

Для решения первой задачи используется установленный на роботе ультразвуковой датчик с функцией измерения расстояния(до 2.5 м).

Алгоритм управления следующий: изначально робот ставиться параллельно стенкам и начинает движение вперед. Далее, проходя туннель, видит стенку (т.е. показание дальномера, смотрящего вперед, становятся меньше определенного значения) и смотрит по сторонам (вправо и влево). Определяет, куда повернул туннель (т.е. где показание дальномера больше), и продолжает движение в ту сторону и т.д. Так робот и проходит весь туннель.

Вторая задача - движение робота по заданной траектории. Для задания траектории используется черная линия на белом фоне (вообще неважно, какого цвета будет фон и сама линия, главное контраст между ними). Для решения данной задачи необходимо считывать изменение показаний датчика света. Траектория представляет собой контрастную линию небольшой ширины. Именно контраст линии с фоном дает необходимую информацию для робота. При движении робот ориентируется не по самой линии, а по её краю. Иначе при отклонении от траектории, робот не поймет, в какую сторону он сместился. Важно также определить по какому краю робот будет двигаться, возьмем для нашего случая левый край. То есть, если показания датчика света увеличились, робот выехал на светлый фон (отклонился от заданной траектории в левую сторону), надо повернуть направо, а если показания датчика света уменьшились, робот едет по темному фону (по самой линии), надо повернуть налево. Показания датчика света считываются и преобразуются в управляющие сигналы на сервомоторы. Робот выполнен на гусеничной базе, поэтому для поворота робота надо подать различную мощность на сервомоторы, управляющие каждой гусеницей соответственно.

Последняя задача - это движение мобильного робота в естественной среде. Данный вид движения сложен тем, что естественная среда неформализованная, т.е. до начала движения нет четких данных о её структуре, расположении препятствий. Четких алгоритмов программирования для данной задачи навигации мобильного робота не существует.

Для решения выберем методы нечеткой логики, как перспективное и активно развивающиеся направление в современном программировании.

Общая структура микроконтроллера, использующего нечеткую логику, показана на рис.1. Она содержит в своем составе следующие составные части:

- блок фаззификации;
- базу знаний;
- блок решений;
- блок дефаззификации.

Блок фаззификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными в базе знаний.

Рис.1 Общая структура нечеткого микроконтроллера

Блок решений использует нечеткие условные (if – then) правила, заложенные в базе знаний, для преобразования нечетких входных данных в

требуемые управляющие воздействия, которые носят также нечеткий характер.

Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

Решение задачи:

1. Входные и выходные переменные.

Введем 2 входные нечеткие переменные Distance (дистанции до препятствия) и Course (направление на препятствие) и всего лишь 1 выходную – Steering angle (рулевой угол).

Входная лингвистическая переменная Distance будет содержать 4 лингвистических терма: очень близко, близко, средне и далеко, и будет иметь следующую функцию принадлежности:

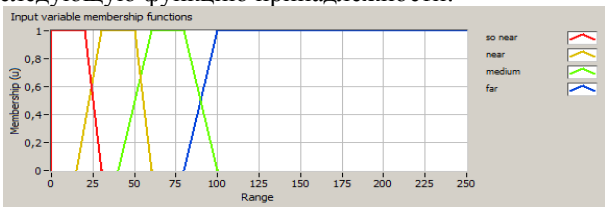


Рис. 2 Лингвистическая переменная Distance

Входная лингвистическая переменная Course будет содержать 3 лингвистических терма: право, лево и прямо, и будет иметь следующую функцию принадлежности:

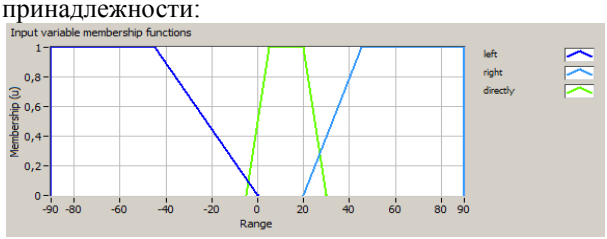


Рис. 3 Лингвистическая переменная Course

Теперь определим выходную переменную Steering angle. Она будет содержать 5 лингвистических термов: резко влево, влево, прямо, вправо и резко вправо. И будет иметь следующую функцию принадлежности:

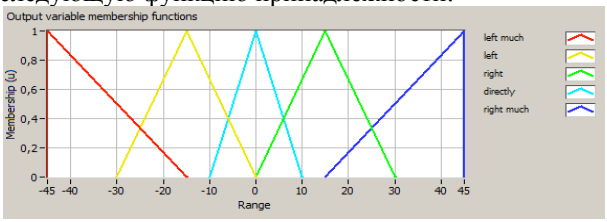


Рис. 4 Выходная переменная Steering angle

Форма лингвистических термов определяется исходя из знаний, опыта и экспериментов, и не является четкой. Данная форма всех термов определена экспериментально, и дает наилучшие результаты.

2. Составление нечетких правил.

1) If ‘distance’ is ‘so near’ and ‘Course’ is ‘left’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘right much’

2) If ‘distance’ is ‘so near’ and ‘Course’ is ‘right’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left much’

3) If ‘distance’ is ‘so near’ and ‘Course’ IS ‘directly’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left much’

4) If ‘distance’ IS ‘near’ and ‘Course’ IS ‘left’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘right’

5) If ‘distance’ IS ‘near’ and ‘Course’ IS ‘right’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left’

6) If ‘distance’ is ‘near’ and ‘Course’ IS ‘directly’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left much’

7) If ‘distance’ is ‘medium’ and ‘Course’ IS ‘left’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘right’

8) If ‘distance’ is ‘medium’ and ‘Course’ IS ‘right’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left’

9) If ‘distance’ is ‘medium’ and ‘Course’ IS ‘directly’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘left’

10) If ‘distance’ is ‘far’ and ‘Course’ IS ‘left’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘directly’

11) If ‘distance’ is ‘far’ and ‘Course’ IS ‘right’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘directly’

12) If ‘distance’ is ‘far’ and ‘Course’ IS ‘directly’ THEN ‘Steering angle’ IS ‘directly’

Все нечеткие правила составляются по логике естественного языка.

Выходная переменная – рулевой угол, и будет управлять движением робота, при постоянной скорости его движения.

Результат:

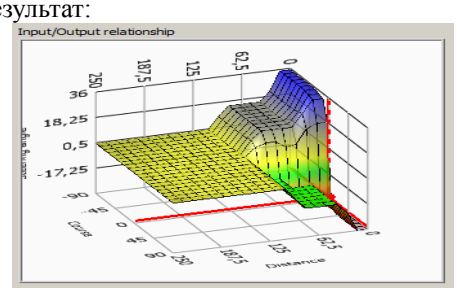


Рис. 5 Четкое значение выходной переменной после дефазификации

Результат получился приемлемым, дал хорошие практические результаты, стабильную работу.

Все алгоритмы легко реализуется в среде визуального программирования NI LabView. Достаточно простыми получаются алгоритмы решения задач связанные с навигацией робота в среде, с заранее заданными параметрами, не меняющимися с течением времени. Однако если среда является естественной, неформализованной, то обычные, традиционные методы сталкиваются с рядом трудностей. В данной работе для решения последней задачи используются методы нечеткой логики, давшие весьма неплохие результаты. В отличие от традиционной математики, требующей на каждом шаге моделирования точных и однозначных формулировок закономерностей, нечеткая логика предлагает совершенно иной уровень мышления, благодаря которому творческий процесс моделирования происходит на наивысшем уровне абстракции, при котором постулируется лишь минимальный набор закономерностей, сформулированный на естественном языке, и интуитивно понятный.

ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИМЕНЕНИИ БАЗ ЗНАНИЙ

Кречетов И.А.
Научный руководитель: Кручинин В.В., к.т.н., доцент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, E-mail: kia@2i.tusur.ru

Процесс обучения, направленный на получение новых знаний в какой-либо предметной области является процессом трансфера знаний от источника знаний к потребителю знаний [1]. Наряду с классическим способом приобретения знаний из бумажных носителей (учебников, методических пособий и т.п.) в образовательном процессе активно используются информационные технологии, роль которых возрастает с развитием наукоемких областей человеческой деятельности в современном обществе. В связи с непрерывным увеличением потока информации перед образовательными учреждениями стоит задача представления образовательного контента в различных форматах: в виде печатного издания, электронного учебного пособия в электронной библиотеке, онлайн-курса в системе дистанционного обучения и т.д. При этом возникает необходимость поиска новых способов хранения, представления, формализации и систематизации, а также автоматической обработки образовательных материалов, поскольку ручное преобразование контента является трудоемким, долгим и дорогостоящим процессом.

На сегодняшний день для решения вышеперечисленных проблем представляется целесообразным применение баз знаний, представляющие собой некую модель или концепцию хранения знаний. Полноценные базы знаний содержат в себе не только фактическую информацию, но и правила вывода, допускающие автоматические умозаключения о вновь вводимых фактах и, как следствие, осмысленную обработку информации. Иерархический способ представления в базе знаний набора понятий и их отношений называется онтологией. Онтологию некоторой области знаний вместе со сведениями о свойствах конкретных объектов также можно назвать базой знаний. Онтологии используются для формальной спецификации понятий и отношений, которые характеризуют определенную область знаний. Преимуществом онтологий в качестве способа представления знаний является их формальная структура, которая упрощает их компьютерную обработку [2].

Онтологии разрабатываются и могут быть использованы при решении различных задач, в том числе для совместного применения людьми или программными агентами, для возможности накопления и повторного использования знаний в предметной области, для создания моделей и программ, оперирующих онтологиями, а не жестко заданными структурами данных, для анализа знаний в предметной области.

Учитывая все принципы и возможности онтологического подхода, представляется возможным организовать иерархию элементов образовательного содержимого учебных материалов - каркас для организации электронных материалов с возможностью их последующего вывода как на экран, так и на печать, другими словами необходимо специфицировать элементы, понятия и структуру, характерные для большинства создаваемых учебных материалов.. Таким образом, разработав онтологию учебно-методического пособия, например, и заполнив ее конкретными данными, соответствующей учебной дисциплине, мы получим универсальную базу, на основе которой возможно получать различные конечные представления образовательных материалов, как по форме, так и по объему.

Онтологические модели за время исследований в этой области претерпели значительное развитие. В настоящее время для создания и поддержки онтологий существует целый ряд инструментов, которые помимо общих функций редактирования и просмотра выполняют поддержку документирования онтологий, импорт и экспорт онтологий разных форматов и языков, поддержку графического редактирования, управление библиотеками онтологий и т.д. Большинство инструментальных средств построения онтологий имеет визуальную составляющую, однако некоторые конструкции приходится набирать вручную, что повышает уровень требований к эксперту, а именно – владение языком представления знаний. Часть инструментальных средств реализуют определенную функциональность для выполнения запросов к онтологиям, но, к сожалению, не имеют унифицированного интерфейса для формирования и выполнения запросов из внешних приложений. Кроме того, практически нет редакторов онтологий ориентированных на конечного пользователя и являющимися свободно распространяемых, что, в свою очередь, замедляет развитие всего направления онтологического инжиниринга [3].

Тенденции современных Web-технологий задают такую направленность в разработках различных программных продуктов и сервисов, когда пользователь с помощью одного лишь браузера и доступа в интернет может решать сложные задачи, которые раньше решались с помощью мощных вычислительных систем и

ресурсоемких программных средств. Теперь эту роль выполнят сервер, возлагая на себя решение сложных задач и выдавая клиенту результат. Несмотря на многообразие достижений в обеспечении максимального удобства и простоты обучения посредством Web-технологий, на сегодняшний момент остается мало затронутым вопрос обеспечения преподавателя (эксперта) минимальным и доступным набором инструментальных средств или online сервисов, позволяющих полноценно разрабатывать образовательные материалы или создавать дистанционные курсы без привлечения каких-либо сторонних и сложных программных продуктов. Таким образом, актуальной является задача разработки online-инструмента (портала), позволяющего эффективно разрабатывать и хранить многосвязный образовательный контент, который в дальнейшем возможно представлять в различных печатных или электронных форматах. В основе такого портала лежит информационная модель знаний, направленная на хранение знаний во Всемирной паутине - семантическая паутина (Semantic Web). Семантическая паутина предполагает запись информации в виде семантических сетей с помощью онтологий. Основное назначение предлагаемого инструмента - предоставление сервером доступа к онтологии через web-сервис, возможность извлекать, изменять и сохранять онтологии из хранилища. Работа с базой знаний, ее настройка выполняется с помощью редакторов онтологий и тезаурусов. Для управления образовательным контентом и наполнения базы служит визуальный редактор данных. Все эти службы реализованы как web-приложения, поэтому обеспечивают удаленную настройку портала и поддержку его контента экспертами через Интернет. Создание контента портала знаний выполняется как вручную – с помощью редактора данных, так и автоматизированно – с использованием подсистемы сбора онтологической информации о ресурсах. Результатом работы эксперта на портале является семантически размеченный документ, т.е. документ в котором выделены семантические объекты, идентифицированы основные взаимосвязи. Таким образом, в web-онтологии определяется смысл используемых понятий, характерных для конкретной дисциплины, т.е. специфицируется объекты предметной области, а с помощью языков трансформаций и форматирования – XSLT и XSL-Fo получается визуальное представление содержимого онтологии в необходимом формате, например HTML, DOC, TeX и т.п.

В качестве языка семантической разметки может выступать один из языков, применяемых в Semantic Web для описания метаинформации об объектах, например, формат описания ресурсов RDF/RDFS или OWL. Наиболее целесообразным представляется генерация семантической разметки в формате, совместимом с языком описания знаний онтологии предметной области, что создаст естественную среду для интеграции полученных семантических описаний в онтологию предметной области.

В качестве хранилища данных используется специальная БД, в которой одновременно хранятся и контент портала, и описание онтологии. Предложенная схема представления знаний и данных позволяет редактировать онтологию не только во время разработки, но и при эксплуатации портала.

Следует заметить, что предложенная технология обеспечивает возможность не только оперативного пополнения контента, но и декларативной подстройки онтологии портала знаний в ходе его эксплуатации, что позволяет отслеживать динамику появления новых знаний и типов информационных ресурсов по его тематике и тем самым поддерживать его в актуальном состоянии [4].

Таким образом, была предложена технология, направленная на разработку образовательных материалов с использованием баз знаний без участия разработчиков-программистов. На основе данной технологии предложен универсальный инструмент хранения, передачи и обработки знаний – автоматизированная web-система. Для наполнения системы знаниями требуются только инженеры знаний – специалисты в представлении знаний и эксперты – носители знаний в моделируемой предметной области.

Литература:

1 Губанов А.С. Использование баз знаний в обучающем процессе // Информатизация образования – 2009. – №1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://giac.unibel.by/sm_full.aspx?guid=7053, свободный.

2 Митрофанова О.А., Константинова Н.С. Онтологии как системы хранения знаний / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. - 54 с.

3 Филатов В.А., Щербак С.С., Хайрова А.А Разработка высокоэффективных средств создания и обработки онтологических баз знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://shcherbak.net/razrabotka-vysokoeffektivnyx-sredstv-sozdaniya-i-obrabotki-ontologicheskix-baz-znanij, свободный.

4 Загорулько Ю.А.Технология разработки порталов научных знаний. // Программные продукты и системы – 2009. – №4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://swsys.ru/index.php?page=article&id=2362, свободный.

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAN ПРОТОКОЛА

Кузнецов С.В., Чурсин Ю.А.
Научный руководитель: Чурсин Ю.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Al1enKenny90@mail.ru

Цель работы: Организация связи и передачи данных по CAN протоколу с использованием SDK 2.0.

SDK 2.0.

Учебный лабораторный комплекс SDK 2.0 предназначен для изучения принципов организации микропроцессорных систем, структуры и функционирования базовых компонентов (памяти, контроллеров ввода-вывода, подсистемы памяти и т.д.), получения навыков программирования встраиваемых систем различного назначения. Отличительными чертами SDK 2.0 является высокая производительность процессорного ядра, ориентация на одну из наиболее динамично развивающихся архитектур - ARM7. Одной из коммуникационных подсистем SDK 2.0, включающей в себя два порта CAN-2.0, является интерфейс CAN.[1] SDK 2.0 используется студентами кафедры ЭАФУ в курсе микропроцессорные системы. В рамках разработки новых лабораторных работ по этому курсу и приобретению навыков для дальнейшего использования CAN протокола в разработках кафедры были разработаны тестовые приложения реализующие функции приема/передачи данных между двумя стендами.

CAN

(Controller Area Network) стандарт разработанный компанией Robert Bosch GmbH 1980-х - является высокотехнологичным средством управления и передачи последовательных данных в распределенных системах, находящих всё большее применение в различных областях промышленности и имеющих большое количество интеллектуальных датчиков. Непосредственно стандарт CAN от Bosch определяет передачу в отрыве от физического уровня – он может быть каким угодно, например, радиоканалом или оптоволокном. Но на практике под CAN-сетью обычно подразумевается сеть топологии «шина» с физическим уровнем в виде дифференциальной пары, определённым в стандарте ISO 11898.

В системах CAN нет никакой информации относительно конфигурации системы (например, адрес узла). Это имеет несколько важных следствий: 1. Гибкость системы: узлы могут быть добавлены к CAN - сети без изменения программного обеспечения и аппаратных средств любого узла или прикладного уровня. 2. Маршрутизация сообщения: содержание сообщения определяется идентификатором. Идентификатор не указывает адресата сообщения, но описывает значение данных, так, чтобы все узлы в сети были способны решить фильтрацией, должны ли они воздействовать на данное сообщение или нет. 3. Групповая обработка: любое число узлов может получать и одновременно воздействовать на одно и то же сообщение. 4.Непротиворечивость данных: внутри CAN-сети гарантирует, что сообщение одновременно принято или всеми узлами или ни одним узлом.[2]

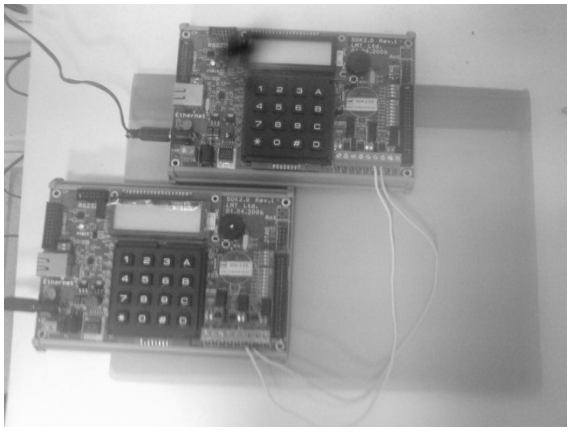


Рис. 1. Связь SDK 2.0. через CAN протокол.

Передача ведётся кадрами, которые принимаются всеми узлами сети. Имеются два формата кадра, которые отличаются по длине поля идентификатора: 1.Кадры с 11-разрядным идентификатором называются стандартными кадрами. 2.Кадры, содержащие 29-разрядные идентификаторы, называются расширенными кадрами.

В CAN существуют четыре типа сообщений:

- Кадр данных (Data Frame) передает данные от передатчика к приемнику.
- Кадр удаленного запроса данных (Remote Frame) передается узлом, чтобы запросить передачу кадра данных с тем же самым идентификатором.
- Кадр ошибки (Error Frame) передается любым узлом при обнаружении ошибки на шине.
- Кадр перегрузки (Overload Frame) используется, чтобы обеспечить дополнительную

задержку между предшествующим и последующим кадром данных или кадром удаленного запроса данных.

Кадры данных и кадры удаленного запроса данных могут использоваться и в стандартном и в расширенном формате; они отделяются от предшествующих кадров межкадровым пространством.[3]

Идентификатор определяет статический приоритет сообщения в течение доступа к шине. Идентификатор служит уникальным именем для типа сообщения и определяет то, кем будет принято и как будет интерпретировано следующее за ним поле данных.

Более интересным представляется использование идентификаторов в качестве основного инструмента, используемого в процедуре разрешения коллизий. В CAN в качестве основного критерия для разбора коллизий, для принятия решения, кому отдать эфир, используется приоритет сообщений. Если одновременно несколько станций начали передачу, и при этом произошла коллизия, происходит суперпозиция передаваемых идентификаторов. Идентификаторы последовательно, побитно (bitwise), начиная со старшего, налагаются друг на друга и в их “противоборстве” выигрывает тот, у кого меньше арифметическое значение идентификатора, а значит, выше приоритет. Доминантный “нуль” подавит единицы и в любом случае к концу передачи поля идентификатора оно станет равно более приоритетному значению. Таким образом, система позволяет на уровне проектирования (и определения идентификатора) для любого сообщения в системе заранее предопределить его приоритетность в обслуживании.

Приоритетность сообщения, таким образом, определяется значением идентификатора. Приоритет тем больше, чем идентификатор меньше.

В ходе работы лабораторные стенды был запрограммирован на передачу и прием данных через CAN. Схемы программной реализации приема и передачи информации показаны на рисунке 2 и 3 соответственно. Разработка велась в среде Keil uVision 3, которая включает C компилятор (используемый в наше работе), ассемблеры, отладчики и симуляторы, интегрированные среды разработки и оценочные платы.

При тестировании реализованной передачи данных между стендами потерь не информации не обнаружено.

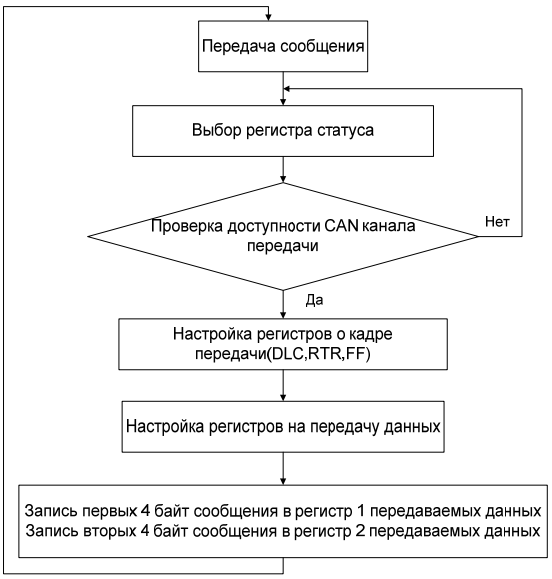


Рис.2. Реализация передачи данных

Рис.3. Реализация приёма данных

Заключение

Таким образом, в рамках выполняемой учебно-исследовательской работы были изучены архитектура стенда SDK 2.0, принципы организации связи по CAN протоколу и написаны тестовые программы демонстрирующие возможность передачи. Данные наработки будут использованы в лабораторных работах, а также при выполнении дипломных и курсовых проектах.

Список литературы

1. Учебный стенд SDK-2.0. Инструкция по эксплуатации.
2. Can Specification 2.0, Part B.
3. http://www.triton.ru/site/el_can.shtml

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Кузьмин Т.Г., Молодых П.В., Попов А.А.*
Научный руководитель: Захарова А.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
* ООО «Норд Империал»
E-mail: kuzmintg@hw.tpu.ru

Введение. Постоянно действующие геолого-технологические модели (ПДГТМ) становятся все более востребованными в нефтяной отрасли [1]. Позитивный эффект от применения современных информационных технологий при построении ПДГТМ проявляется в повышении добычи нефти, снижении капитальных и эксплуатационных затрат, а также в снижении неопределенности прогнозируемых дебитов. Проявление этих эффектов наиболее ощутимо в нефтедобывающих компаниях мелкого и среднего размера, т.к. каждое решение может сильно повлиять на технические и экономические показатели деятельности компании.

Моделирование разработки с применением информационных технологий. На Майском месторождении Томской области реализована система сопровождения разработки средствами цифрового гидродинамического моделирования (с применением программных продуктов компании Schlumberger), которая позволяет принимать оперативные решения, связанные с воздействием на пласт и режимом работы скважин, размещением эксплуатационных скважин, проводкой горизонтальных скважин.

Воздействие на пласт и режим работы скважин. Система мониторинга разработки с использованием гидродинамического моделирования, введенная в 2008 г., позволила избежать потерь добычи нефти в начальный период разработки. Весной 2008 г. было отмечено падение дебитов скважин по жидкости. На основании адаптированной к историческим данным гидродинамической модели (ГДМ) была построена карта пластовых давлений, которая показала широкую воронку пониженного давления в центральной разбуренной части залежи. (См. Рис. 1.)

Наличие этих данных и результаты расчетов прогноза на основе ГДМ залежи позволили рекомендовать недропользователю ввести систему поддержания пластового давления. Система была введена в октябре 2008 г. Это отразилось на дебитах добывающих скважин (См. Рис. 2.) и изменило поле пластового давления в лучшую сторону, что отражено на Рис. 3.

Анализ работы горизонтальных скважин показал эффективность системы поддержания пластового давления.

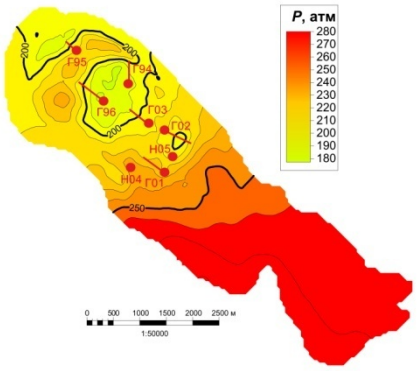


Рис.1. Карта пластового давления на 09.2008 г.

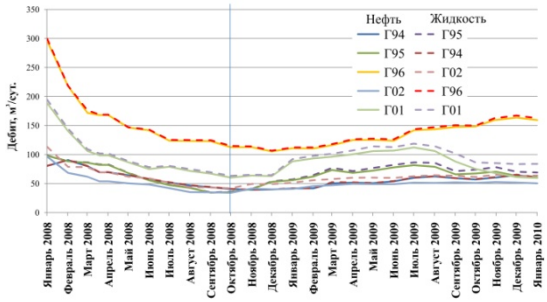


Рис.2. Дебиты добывающих скважин до и после введения системы ППД

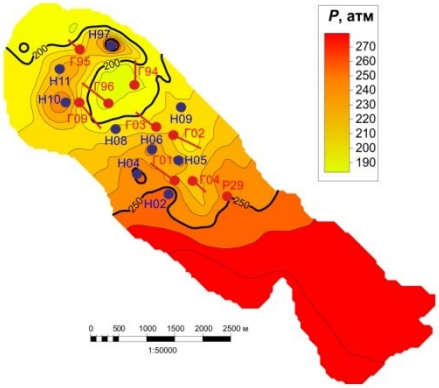


Рис.3. Карта пластового давления на 01.2009 г.

Результаты ретроспективного моделирования разработки показали необходимость как можно более раннего начала закачки воды.

На основании адаптированной ГДМ была рассчитана модель линий тока, с помощью которой была оценена эффективность закачки каждой нагнетательной скважины, в т.ч. влияние на добывающие скважины и «уход» воды за контур нефтеносности. Это позволило индивидуально

контролировать режим работы каждой добывающей скважины.

Размещение скважин. В процессе мониторинга разработки появление новых данных приводило к изменению свойств ячеек как геологической [2], так и гидродинамической модели с последующим применением процедуры адаптации. Так, появление новых структурных карт, бурение новых скважин в южной части залежи позволили уточнить распространение коллектора по площади и, соответственно, скорректировать размещение скважин в ранее неразбуренных районах. (См. Рис. 4 и Рис. 5.)

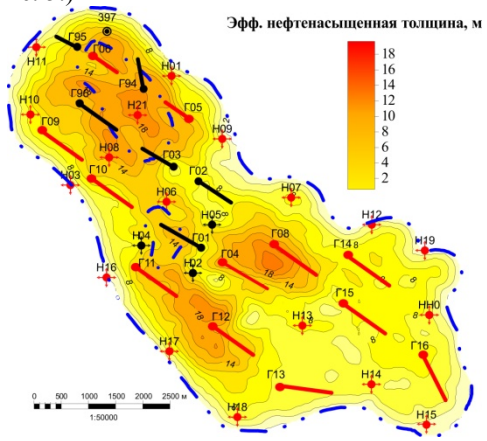


Рис.4. Размещение эксплуатационных скважин на основе первоначальной модели

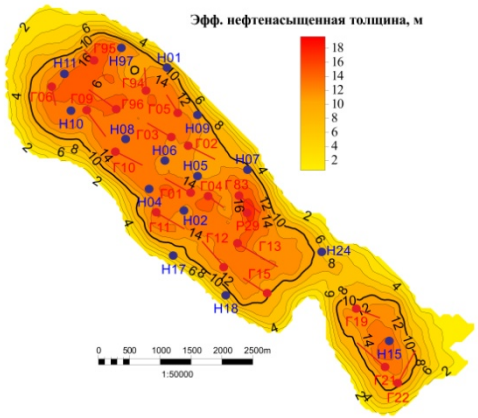


Рис.5. Размещение эксплуатационных скважин на основе измененной модели

Проводка горизонтальных скважин. Результаты эффективности проводки (геологического сопровождения бурения) стволов горизонтальных скважин по песчаникам без создания адекватной цифровой модели и с учетом постоянного мониторинга можно увидеть на следующих примерах. Бурение скважины Г82 без подготовки качественной структурно-тектонической и геологической моделей привело к тому, что большая часть горизонтального участка была пробурена вне пласта (Рис.6. и Рис.7.). После освоения скважины был получен дебит около 8 т/сут., который снизился до 3 т/сут. в течение 2 месяцев. На основе подготовленной к тому моменту ГДМ с учетом переинтерпретации данных 3D сейсморазведки был заложен проектный профиль-траектория горизонтальной скважины Г83. В результате геологического сопровождения с учетом мониторинга цифровой модели месторождения была получена 100 % эффективность проводки ствола скважины по песчаникам (См. Рис.7.). После освоения данной скважины был получен начальный дебит 150 т/сут. В настоящий момент скважина работает с дебитом 120 т/сут., что и было получено при расчетах на обновленной гидродинамической модели.

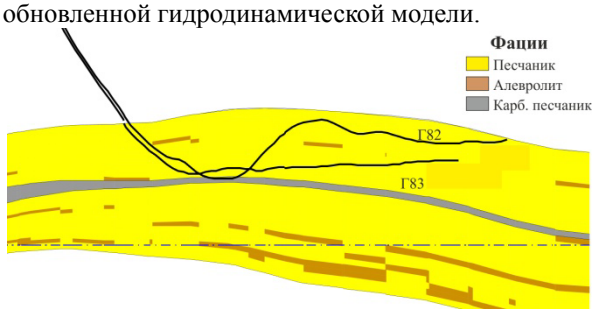


Рис.6. Проводка горизонтальных скважин без обновления модели

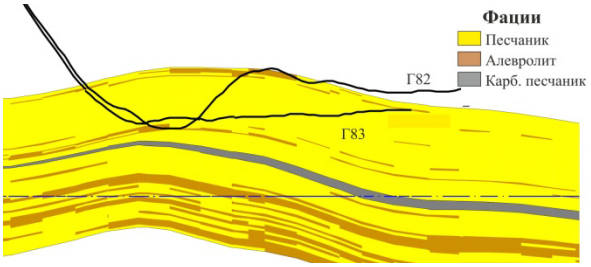


Рис.7. Проводка горизонтальных скважин с использованием обновленной модели

Выводы

1. ПДГТМ, построенная с применением современных программных продуктов - важный и необходимый инструмент для эффективного мониторинга и прогнозирования разработки месторождения.

2. Качественные цифровые геологическая и гидродинамическая модели позволяют значительное улучшить технико-экономические показатели разработки месторождения.

Литература

1. Жданов С. А. и др. РД 153-39.0-047-00. Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Москва : б.н., 2000.

2. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. М., изд-во «ИПЦ «МАСКА», 2009.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Кусатаева А.К., Касимова Б.Р., Есликовский К.А.
Евразийский Национальный Университет им.Л.Н.Гумилева, Казахстан, г. Астана, ул.Габдулина 6.
E-mail:konstantin_eslik@inbox.ru

В современной теории автоматического управления уделяется огромное внимание системам с запаздыванием. Это объясняется возникновением задач управления систем с запаздыванием в различных областях науки и техники.

Устойчивость – это свойство системы возвращаться к исходному установившемуся режиму или близкому к нему после всякого выхода из него в результате какого-нибудь воздействия.

Для того, чтобы САУ выполняла свое назначение она прежде всего должна быть устойчивой. Поэтому анализ устойчивости является одной из основных задач ТАУ. Найдем условия устойчивости линейных САУ. Дифференциальное уравнение, описывающее поведение САУ, имеет следующий вид:

$$\left(a_0 P^n + a_1 P^{n-1} + ... + a_n\right) Y(t) = \\ = \left(b_0 P^m + b_1 P^{m-1} + ... + b_m\right) x(t) \quad (1)$$

где $a_0, a_1, ..., a_n$ и $b_0, b_1, ..., b_m$ – постоянные коэффициенты.

Изменение регулируемой величины $Y(t)$ при произвольном внешнем воздействии $x(t)$ представляет собой решение уравнения (1):

$$Y(t) = Y_в(t) + Y_{св}(t) \quad (2)$$

Здесь $Y_в(t)$ – вынужденная составляющая переходного процесса. Она определяется как частное решение неоднородного дифференциального уравнения 1). Имеет характер правой части уравнения (1).

$Y_{св}(t)$ - свободная или переходная составляющая, которая определяется общим решением однородного дифференциального уравнения (1) без правой части:

$$\left(a_0 P^n + a_1 P^{n-1} + ... + a_n\right) Y_{св}(t) = 0 \quad (3)$$

Частотные методы исследования устойчивости основаны на связи расположения корней характеристического полинома **P(p)** с годографом этого полинома на комплексной плоскости, т.е. графиком комплексно-значной функции **P(jω)** при изменении **ω** от **0 до ∞**.

Для исследования устойчивости систем с запаздыванием прибегнем к критерию устойчивости Найквиста. Заключение об устойчивости систем с запаздыванием делается на основании исследования поведения амплитудно-фазовой характеристики $W_\tau(jw)$ разомкнутой системы с запаздыванием относительно точки (-1, j0). Подставляя $p = jw$ находим передаточную функцию разомкнутой цепи с запаздыванием в прямой цепи:

$$W_\tau(jw) = W_{OY}(jw)e^{-jw\tau} = \\ = A(w)e^{-j\varphi(w)}e^{-j\varphi\tau} = A(w)e^{j\varphi\tau(w)};$$

$$W_\tau(jw) = \frac{k(Tjw+1)}{(T_3 jw+1)(T_4 jw+1)} e^{-\tau jw} = \\ = \frac{33{,}28(0{,}0005\,jw+1)}{(2\,jw+1)(0{,}0005\,jw+1)} e^{-\tau jw}.$$

Амплитудно-частотная характеристика:

$$A(\omega) = k\sqrt{(T^2\omega^2+1)/(T_3^2\omega^2+1)(T_4^2\omega^2+1)};$$

фазово-частотная характеристика:

$$\varphi_\tau(\omega) = -arctg(T\omega) - arctg(T_3\omega) - \\ - arctg(T_4\omega) + \omega\tau$$

По отдельности приравниваем аргумент и модуль:

$$A(\omega) = k\sqrt{(T^2\omega^2+1)/(T_3^2\omega^2+1)(T_4^2\omega^2+1)} = 1;$$

$$\omega_{кр} = 16{,}6;$$

$$\varphi = arctg(T\omega_{кр}) - arctg(T_3\omega_{кр}) - \\ - arctg(T_4\omega_{кр}) - \omega_{кр}\tau_{кр} = -\pi;$$

$$\tau_{кр} = 0{,}098\,сек.$$

В итоге получаем критическую частоту $\omega_{кр} = 16{,}6$ и критическое время запаздывания $\tau_{кр} = 0{,}098\,сек$ системы.

Время запаздывания $\tau = 0{,}01\ сек$. В среде MathLab 6 строим годограф Найквиста по найденным выше частотным характеристикам с учетом запаздывания и для сравнения той же системы без учета запаздывания(синяя лини-с запаздыванием, зеленая- без запаздывания):

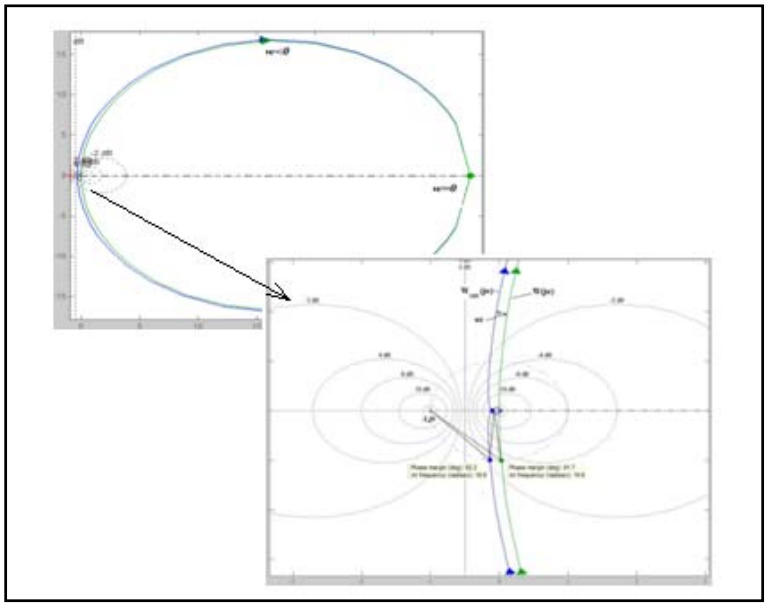


Рисунок 1. Годограф Найквиста при $\tau = 0{,}01 сек$

Согласно критерийю Найквиста, он формулируется так: если разомкнутая система была устойчивой, то для того чтобы соответствующая замкнутая система была устойчива необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы при изменении ω w от 0 до ∞ не охватывала точку с координатами (-1, j0) , в нашем случае разомкнутый контур не охватывает точку (-1, j0), соответственно замкнутый контур устойчив (Рис.1). Отсюда условие устойчивости системы с запаздыванием: при $\tau < \tau_{кр}$ система не устойчива (Рис.2).

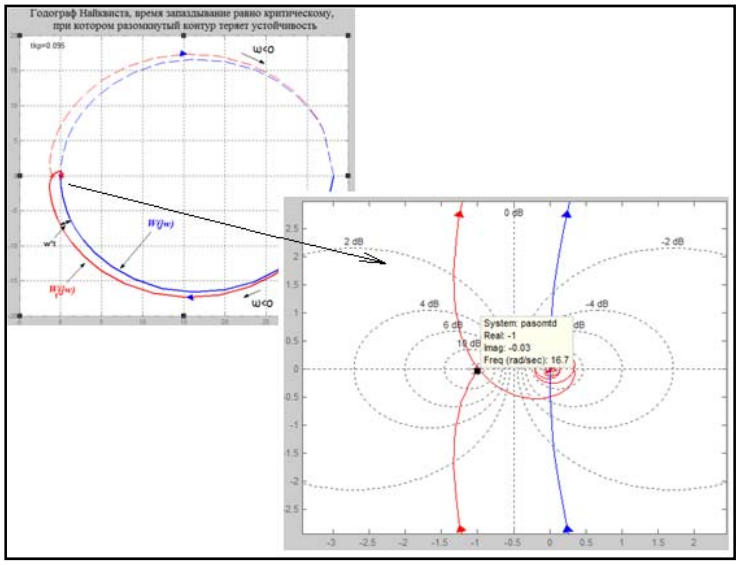


Рисунок 2. Годограф Найквиста при критическом времени запаздывания

Как видим из рисунка 2, действительно при частоте 16.7рад/сек, система теряет устойчивость.

Литература

1.Н.А. Бабаков, А.А.Воронов. Теория автоматического управления.- М.: Высшая школа.- 1977г.

2. Mr.Freeman. Цепи с распределенными параметрами.-2008г;

3. С.Бернас,З.Цёк. Математические модели элементов электро энергетических систем (Перевод с польского Э.В.Турского. Н.Н.Шелухина). М: Энергоиздат.- 1982г;

РАЗРАБОТКА TCP/IP КЛИЕНТА/СЕРВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDK 2.0.

Маклаков Р.Э.,Чурсин Ю.А., Завьялов А.П.
Научный руководитель: Чурсин Ю.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:MClakov@gmail.com

Цель работы: Реализовать передачу данных между стендом SDK 2.0 и персональным компьютером посредством Ethernet протокола.

Учебный лабораторный комплекс SDK 2.0 предназначен для изучения принципов организации микропроцессорных систем, структуры и функционирования базовых компонентов (памяти, контроллеров ввода-вывода, подсистемы памяти и т.д.), получения навыков программирования встраиваемых систем различного назначения. Отличительными чертами SDK 2.0 является высокая производительность процессорного ядра, ориентация на одну из наиболее динамично развивающихся архитектур - ARM7. Одной из коммуникационных подсистем SDK 2.0, включающая в себя контроллер Ethernet LAN91C111, является интерфейс Ethernet.

Сеть Ethernet разработана в 1976 году Меткальфом и Боггсом. Ethernet совместно со своей скоростной версией Fast Ethernet, GigaEthernet (1Гбит/с) и 10GE (10Гигабит/с) занимает в настоящее время абсолютно лидирующую позицию. В настоящее время на основе этого стандарта строятся уже не только локальные но и общегородские сети, а также межгородские каналы. Единственным недостатком данной сети является отсутствие гарантии времени доступа к среде (и механизмов, обеспечивающих приоритетное обслуживание), что делает сеть малоперспективной для решения технологических проблем реального времени. Определенные проблемы иногда создает ограничение на максимальное поле данных, равное ~1500 байт.

В системах Ethernet применяются несколько методов кодирования информации: 1.Метод кодирования NRZI. NRZI – Non Return to Zero Invertive (инверсное кодирование без возврата к нулю) Этот метод является модифицированным методом Non Return to Zero (NRZ), где для представления 1 и 0 используются потенциалы двух уровней. В коде NRZ I также используется 2 потенциала, но его текущее значение зависит от предыдущего. Если текущее значение бита “1”, то полученный потенциал должен быть инверсией от предыдущего, если значение бита “0” – такой же. Поскольку код незащищен от долгих последовательностей “нулей” или “единиц”, то это может привести к проблемам синхронизации. Поэтому перед передачей, заданную последовательность битов рекомендуется предварительно закодировать кодом предусматривающим скремблирование (скремблер предназначен для придания свойств случайности передаваемой последовательности данных с целью облегчения выделения тактовой частоты приемником).
2. Метод кодирования MLT-3. MLT-3 Multi Level Transmission – 3 (многоуровневая передача) - немного схож с кодом NRZ, но в отличии от последнего имеет три уровня сигнала. Единице соответствует переход с одного уровня сигнала на другой, причем изменение уровня сигнала происходит последовательно с учетом предыдущего перехода. При передаче “нуля” сигнал не меняется. Этот код, так же как и NRZ нуждается в предварительном кодировании.

Передача ведётся кадрами, которые принимаются всеми узлами сети.

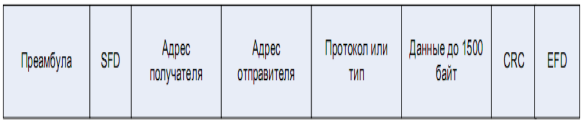


Рис.1. Формат кадра IEEE 802.3.

Поле преамбула содержит 7 байт 0xAA и служит для стабилизации и синхронизации среды (чередующиеся сигналы CD1 и CD0 при завершающем CD0), далее следует поле SFD (start frame delimiter = 0xab), которое предназначено для выявления начала кадра. Поле EFD (end frame delimiter) задает конец кадра. Поле контрольной суммы (CRC - cyclic redundancy check), также как и преамбула, SFD и EFD, формируются и контролируются на аппаратном уровне. В некоторых модификациях протокола поле EFD не используется. Пользователю доступны поля, начиная с адреса получателя и кончая полем информация, включительно. После CRC следует межпакетная пауза (IPG - interpacket gap - межпакетный интервал) длиной 9,6 мксек или более (для 10 мегабитной сети). Максимальный размер кадра равен 1518 байт (сюда не включены поля преамбулы, SFD и EFD). Интерфейс просматривает все пакеты, следующие по кабельному сегменту, к которому он подключен, ведь определить, корректен ли принятый пакет и кому он адресован, можно лишь приняв его целиком. Корректность пакета по CRC, по длине и кратности целому числу байт производится после проверки адреса места назначения. Вероятность ошибки передачи при наличии crc контроля составляет ~2-32. При вычислении CRC используется образующий полином: $G(x) = x32 + x26 + x23 + x22 + x16 + x12 + x11 + x10 + x8 + x7 + x5 + x4 + x2 + x + 1$. Алгоритм вычисления CRC сводится к вычислению остатка от деления кода M(x), характеризующего кадр, на образующий

полином G(x) (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specification. Published by IEEE (802.3-1985). Wiley-Interscience, John & sons, inc.). CRC представляет собой дополнение полученного остатка R(x). CRC пересылается, начиная со старших разрядов. Минимальная длина пакета должна быть больше удвоенного значения этой задержки (выбрано 64 байта = 512 тактов). Если размер пакета меньше 64 байт, добавляются байты заполнители, чтобы кадр в любом случае имел соответствующий размер. При приеме контролируется длина пакета и, если она превышает 1518 байт, пакет считается избыточным и обрабатываться не будет. Аналогичная судьба ждет кадры короче 64 байт. Любой пакет должен иметь длину, кратную 8 бит (целое число байт). Если в поле адресата содержатся все единицы, адрес считается широковещательным, то есть обращенным ко всем рабочим станциям локальной сети. Пакет ethernet может нести от 46 до 1500 байт данных. Формат адреса получателя или отправителя (MAC) показан на Рисунок 2. Для передачи данных на физическом уровне используется манчестерский код.

1	1	22	24
I/G	U/L	OUI	Адрес (OUA)

Рис.2. Формат mac-адреса.

Для обеспечения сетевых коммуникаций используются сокеты. Сокет это конечная точка сетевых коммуникаций. Каждый использующийся сокет имеет тип и ассоциированный с ним процесс. Сокеты существуют внутри коммуникационных доменов. Домены это абстракции, которые подразумевают конкретную структуру адресации и множество протоколов, которое определяет различные типы сокетов внутри домена.

В Internet домене сокет - это комбинация IP адреса и номера порта, которая однозначно определяет отдельный сетевой процесс во всей глобальной сети Internet. Два сокета, один для хоста-получателя, другой для хоста-отправителя, определяют соединение для протоколов, ориентированных на установление связи, таких, как TCP.

В ходе работы, в виде консольного приложения был разработан TCP-сервер, содержащий простейший стартовый код, который инициализирует все, что связано с сетью. Прослушивание порта организованно с помощью функции “listen”. Средой разработки для написания TCP-сервера, был выбран C++Builder. TCP-клиент реализован с помощью Keil 3.0 на основе примеров, поставляемых в комплекте с SDK 2.0. На Рисунке 3 показан общий вид подключения стенда SDK 2.0 к персональному компьютеру.

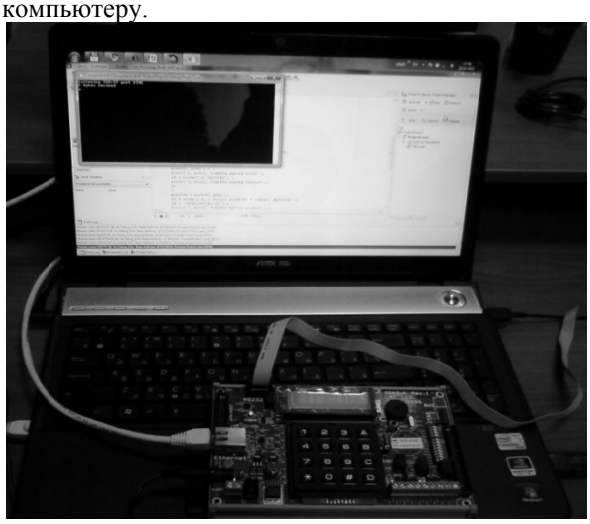


Рис.3. Общий вид подключения.

Подключив стенд SDK 2.0 к персональному компьютеру, реализовали передачу данных посредством TCP/IP протокола (рис.4).

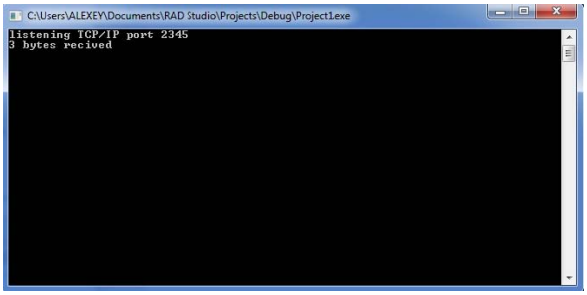


Рис.4. Скриншот TCP - сервера.

Выводы

В результате проделанной работы было проведено исследование интерфейса Ethernet и среды программирования C++Builder. Произведено подключение стенда SDK 2.0 к персональному компьютеру, произведена отладка программ, реализовано взаимодействие клиент – сервер.

Список литературы

1. Снейдер Й. Эффективное программирование TCP/IP. Библиотека программиста. — СПб.: Питер, 2002. — 320 с.

2. Касперски К. ПК: решение проблем. – М.: 2003. - 560 с.

3. Танаев. А. Программирование сокетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wist.ifmo.ru/info/index.html.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ

Мачалов О.Н., Кудрявцев В.А.
Научный руководитель: Кудрявцев В.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: adulescens@tpu.ru

К настоящему времени в области управляемого термоядерного синтеза достигнуты значительные успехи. Обнаружены и исследованы свойства режимов с улучшенным удержанием плазмы и режимов с транспортными барьерами. Идентифицированы основные физические явления, ведущие к срыву плазменного разряда, и разработаны схемы подавления неустойчивостей и стабилизации плазмы. Современные методы дополнительного нагрева позволяют нагреть плазму до термоядерных температур, а благодаря средствам безындукционного поддержания тока возможно получение длительного (десятки секунд) разряда. [1]

Необходимым условием успешной реализации проекта КТМ является развитый комплекс диагностик, без которого невозможно управление таким сложным физическим объектом, как плазменный шнур в камере токамака [2]. Одной из первостепенных диагностических задач является измерение и контроль плазмо-физической модели КТМ. Кроме того, такие измерения актуальны для контроля параметров, определяющих малый срыв плазмы и неустойчивость его развития, параметров, определяющих касание плазмы со стенками вакуумной камеры и параметров, характеризующих превышение допустимого смещения плазмы по горизонтали или вертикали.

Перечисленные события характеризуются рядом технологических и плазмо-физических параметров, по которым они и могут быть идентифицированы.

Система защиты должна быть сконструирована так, чтобы любое действие по обеспечению безопасности выполнялось до конца. При этом, в процессе исполнения этого действия, должна быть обеспечена невозможность прерывания, в частности, для формирования и поддержания режимов с улучшенным удержанием плазмы. Поэтому наряду с измерением других базовых параметров плазмы, измерения жесткого рентгеновского излучения (Hard X-Ray – HXR), во многом характеризующего состояние плазменного шнура внутри вакуумной камеры токамака КТМ, запаса устойчивости плазмы на границе q, изменения напряжения на обходе и тока плазмы должны быть внесено в список приоритетных диагностических задач КТМ [3].

Любая диагностическая задача основывается на входных и выходных данных, которые и определяют параметры безопасности. Именно поэтому необходимо их детально рассмотреть.

Параметры, характеризующие малый срыв плазмы. Данное событие можно определить по изменению напряжения на обходе и тока плазмы.

Измерение напряжения на обходе производится с помощью петель напряжения на обходе. Частота измерений составляет 100 кГц.

Диапазон измерения напряжения на обходе от 0 до 100 В. Выходной сигнал цифрового интерфейса от –5 до 5 В.

В качестве регламентного значения выбираем изменение напряжения на обходе за два измерения в 5 раз ($\Delta U_p=5*U_{р.норм.}$).

Сравнение измеряемого параметра с регламентной уставкой проводим путем простой процедуры сравнения ($\Delta U_p=U_{р.к-1}-U_{р.к}>5*U_{р.норм.}$).

Измерение тока плазмы производится с помощью пояса Роговского. Частота измерений составляет 100 кГц.

Диапазон измерения напряжения на обходе от 0 до 750 мА. Выходной сигнал цифрового интерфейса от –5 до 5 В.

В качестве регламентной уставки выбираем изменение плазмы за два измерения в 10 раз ($\Delta I_p=10*I_{р.норм.}$).

Сравнение измеряемого параметра с регламентной уставкой проводим путем простой процедуры сравнения ($\Delta I_p=I_{р.к}-I_{р.к-1}>10*I_{р.норм.}$) [5].

Превышение допустимого смещения плазмы по горизонтали или вертикали. Данное событие можно определить по запасу устойчивости плазмы на границе q.

Для измерения величины индукции тороидального поля B_T используются тороидальные измерительные витки. Поскольку тороидальное поле, создаваемое обмотками КТМ, в процессе разряда не меняется, датчики будут воспринимать изменение тороидального поля обусловленные плазмой. Измерение диамагнитного потока, позволяет определить важный интегральный параметр плазмы β, который показывает отношения газокинетического давления плазмы к давлению магнитного поля. Динамический поток связан с β следующим образом:

$$\beta = 1 + K_\beta \frac{b^2 \cdot B_T}{a^2 \cdot I_p} \partial\Phi \quad (3)$$

где a – малый радиус плазмы; b – радиус измерительного контура; B_T – индукция тороидального поля; I_p – ток плазмы; $\partial\Phi$ – динамический поток.

Зная данный параметр можно определить запас устойчивости на границе плазмы.

В качестве регламентной уставки принимаем значение запаса устойчивости q=1.7. Т.к. при значениях ниже 1,7 плазма становится неустойчивой.

Касание плазмы со стенкой вакуумной камеры. Данное событие можно определить по поведению жесткого рентгеновского излучения (Hard X-Ray – HXR) [3].

По результатам экспериментов, проводимых на установке ТВД (параметры установки: Z=1; $n_i=n_e=3*10^{13}$ см$^{-3}$; T_e=300 эВ=3,6*10^6 К; V=4 м^3) со срывом тока плазмы за счет неустойчивости по вертикале, можно сделать вывод, что HXR резко возрастает за 120 мкс до начала срыва и быстро затухает до нуля. В момент максимального значения HXR плазма начинает быстрое движение по вертикале к стенке камеры.

Для пересчета относительных единиц мощности HXR, воспользуемся формулой:

$$P_{HXR} = 1.5\cdot 10^{-27}\cdot Z^2\cdot n_i\cdot n_e\cdot\sqrt{T_e}\ ,\ (\text{эрг/см}^3*\text{сек}) \quad (1)$$

Переведем формулу в систему единиц СИ:

1 эрг/см^3*сек=10^{-6} Вт

Получаем:

$$P_{HXR} = 1.5\cdot 10^{-33}\cdot Z^2\cdot n_i\cdot n_e\cdot\sqrt{T_e}\ ,\ (\text{Вт/ см}^3) \quad (2)$$

где Z – порядковый номер элемента, ионы которого входят в состав плазмы; n_i, n_e – концентрация ионов, электронов см$^{-3}$; T_e – электронная температура ^{0}К.

Для установки ТВД: Z=1; $n_i=n_e=3*10^{13}$ см$^{-3}$; T_e=300 эВ=3,6*10^6 К; V=4 м^3.

После расчетов получаем, что рабочий уровень HXR для ТВД составляет P_{HXR}=10,2 кВт.

В качестве информационных параметров выбираем амплитуду и скорость изменения интенсивности HXR.

Для установки ТВД получаем, что $V_{HXR}=7.3*10^8$ Вт/с, а максимальный уровень HXR при срыве составил P_{HXR}=255 кВт.

Регламентные значения для токамака КТМ могут быть рассчитаны по приведенной выше методике только после проведения экспериментов, т.к. на начальных этапах функционирования токамака КТМ номинальные параметры плазмы не будут реализованы.

Рабочий уровень мощности HXR для установки КТМ (параметры установки: $n_e=n_i=5*10^{13}$ см$^{-3}$, Z=1, $V_p=4*10^6$ см^3) составляет:

T_e, К	P_{HXR}, кВт	T_e, К	P_{HXR}, кВт
10^4	0,15	10^6	1,50
5*1	0,34	10^7	4,74
0^4	0,47	4,6*10^7	10,17
10^5			

Определение положения плазмы по вертикали может быть выполнено на основании показаний различных наборов датчиков ЭМД. На начальном этапе функционирования установки, когда номинальные параметры формы плазмы не будут реализованы, для определения смещения положения плазмы может быть использован разностный метод. Для расчета положения плазмы используются показания с пары тангенциальных обмоток двухкомпонентных зондов, при этом отношение разности показаний датчиков к сумме будет пропорционально смещению. Время между отсчетами датчиков составляет $t_{сч}$= 100 мкс, что меньше выбранного времени при обработке графика.

В качестве регламентного значения выбираем скорость смещение плазмы по вертикале $\Delta=V*t_{сч}$=0.25 см.

Диапазон измерения от 0 до 20 см. Выходной сигнал цифрового интерфейса от – 5 до 5 В.

При анализе интегральной характеристики мощности жесткого рентгеновского излучения в режиме с неустойчивостью срыва на установке DAMAVAD можно выделить три участка, на которых скорость изменения HXR остается постоянной. Рассчитаем скорость на каждом участке $\upsilon_{HXR} = \Delta P_{HXR} / \Delta t$. Получаем:

$$\upsilon_1 = 0.63\ \text{отн.ед./мс} = 32{,}13\cdot 10^6\ \text{Вт/с},$$

$$\upsilon_2 = 0.50\ \text{отн.ед./мс} = 25{,}5\cdot 10^6\ \text{Вт/с},$$

$$\upsilon_3 = 2.01\ \text{отн.ед./мс} = 102{,}5\cdot 10^6\ \text{Вт/с}.$$

Для установки DAMAVAD получаем, что $\upsilon_{HXR} = (\upsilon_1+\upsilon_2+\upsilon_3)/3 = 53\cdot 10^6$ Вт/с, а максимальный уровень HXR при срыве составил P_{HXR}=255 кВт.

Регламентные значения для токамака КТМ могут быть рассчитаны по приведенной выше методике только после проведения экспериментов, т.к. на начальных этапах функционирования токамака КТМ номинальные параметры плазмы не будут реализованы.

Фактически для организации работы системы противоаварийной защиты (СПЗ) должен быть определен набор контрольных параметров токамака, заданы их регламентные значения и разработана процедура сравнения текущего значения контролируемого параметра с регламентным значением, которая может иметь различную сложность и должна представляться в вероятностной форме, поскольку параметры, измеряемые в реальном масштабе времени, будут иметь статистический характер. При математическом моделировании СПЗ будем учитывать уже известные параметры и события, которые могли бы привести к аварийным ситуациям.

1. ITER Physics Basis // Nuclear Fusion 1999. V.39 P. 2137-2638

2. ITER Design Description Document: Overview of ITER diagnostic system // (N 55 DDD 12W0.1) July 2004.

3. Поведение жесткого рентгеновского излучения в разрядах со срывами тока в токамаках DAMAVAD и ТВД. // Физика плазмы, Том 27, № 7, 2001 г, стр. 579-583.

4. Техническом проекте КТМ.03.001 Том 19.1.3 система противоаварийной защиты и синхронизации. 2004.

5. Техническом проекте КТМ.03.001 Том 19.1.2 система управления плазмой. 2004.

6. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М.: Атомиздат, 1969.-с.84-92.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Мейта Р.В., Веремеенко Е.С.
Научный руководитель: Марков Н.Г., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: garnele@tpu.ru

Одним из необходимых и перспективных направлений при исследовании земной поверхности дистанционными методами является создание информационных систем для анализа её изменений, автоматизация процесса обработки и интерпретации аэрокосмических изображений (АИ).

Одной из главных нерешенных проблем при использовании АИ остается проблема разработки новых, более эффективных, чем существующие, методов и программных средств автоматизированной интерпретации таких данных. Среди основных задач автоматизированной интерпретации данных ДЗЗ следует выделить задачу синтеза эффективных методов и алгоритмов распознавания объектов на АКИ.

С ростом возможностей вычислительной техники, появлением методов обработки, интерпретации, анализа динамики земной поверхности с использованием АКИ возросла важность АКИ как пространственных данных. Для эффективного их использования при решении различного рода задач, необходимо провести ряд действий, направленных на их обработку и интерпретацию. Это необходимо для получения растровых изображений в виде тематических карт исследуемых территорий. Для получения таких тематических карт необходимо пройти два этапа. Первый этап связан с предварительной обработкой имеющихся АКИ с целью их восстановления и улучшения. Этот класс задач решается с помощью специализированного программного обеспечения.

Второй этап связан непосредственно с интерпретацией обработанных АКИ, результатом которого является тематическая карта с набором интересующих типов земной поверхности. Этот этап основан на теории распознавания образов.

Распознавание образов в той или иной конкретной ситуации связано с учетом неопределенностей различной природы. В конечном случае, когда образы однозначно определяются конечным набором признаков, границы классов точно описываются, а сами классы образов не пересекаются, степень неопределенности можно считать минимальной, и задачу классификации можно решать, не учитывая неопределенности данных. Такой подход условно называется детерминистским.

Несмотря на многочисленные работы, проводимые в последние несколько лет в мире и направленные на разработку методов автоматизации интерпретации аэрокосмических изображений земной поверхности, универсального подхода к решению данной задачи, эффективного во всех прикладных областях, на сегодняшний день не существует. Одной из основных задач теории распознавая образов является задача оптимального выбора системы признаков, наиболее информативно описывающей образы. Другая важная задача – описание классов, построение решающих функций, с помощью которых тот или иной образ можно отнести одному из классов.

В настоящее время наиболее распространенным подходом к классификации АИ является приложение теории статистического распознавания образов с использованием статистических классификаторов.

Байесовская теория принятия решений составляет основу статистического подхода к задаче классификации образов. Этот подход основан на предположении, что задача выбора решения сформулирована в терминах теории вероятностей и известны все представляющие интерес вероятностные величины.

Для каждого класса (типа земной поверхности, такого как вода, растительность, леса и т.д.) ω_i вводится понятии вероятности появления класса ω_i в пространстве признаков Ω(X). Данная вероятность $p(\omega_i)$ называется априорной вероятностью класса ω_i. Так же предполагается, что для каждого класса известна многомерная (P-мерная) функция $p(X|\omega_i)$, описывающая условную плотность распределения (УПР) вектора признаков X в классе ω_i.

Задача классификации образов может быть сформулирована в виде задачи статистических решений с помощью определения дискриминантной функции $\phi(X)$, принимающей значение ϕ_i в случае, когда принимается гипотеза $H_i: X \in \omega_i$. Полагается, что принятие классифика-тором решения ϕ_i, когда в действительности входной образ принадлежит к классу ω_j, приводит к потере, определяемой функцией потерь $L(\phi_i \mid \omega_j)$.

Тогда условный риск $R(\phi_i \mid X)$ принятия решения ϕ_i в случае $X \in \omega_j$ находится как:

$R(\phi_i \mid X) = \sum_{j=1}^{M} L(\phi_i \mid \omega_j)\, p(\omega_j \mid X)$,

где $p(\omega_j \mid X)$, носит название апостериорной вероятности события $X \in \omega_i$ и вычисляется исходя из априорной вероятности $p(\omega_i)$ и УПР $p(X|\omega_i)$ согласно теореме Байеса следующим образом:

$$p(\omega_j \mid X) = \frac{p(\omega_i)p(X \mid \omega_i)}{\sum_{k=1}^{M} p(X \mid \omega_k)p(\omega_k)}.$$

Задача классификации сводится к выбору наименьшего условного риска, т.е. $\phi(X) = \phi_i : (X \in \omega_i)$, если $R(\phi_i \mid X) < R(\phi_j \mid X), \forall i \neq j$. Такое правило классификации носит название байесовского решающего правила классификации.

Данный подход представляет собой удобную форму представления статистических классификаторов. Таким образом, уже известно общее правило и механизм классификации. Остается только неизвестной апостериорная вероятность. Существуют несколько способов оценки УПР входящей в апостериорную вероятность, мы рассмотрим два основных подхода: *параметрическая и непараметрическая* оценка плотности распределения признаков в пространстве признаков классов образов.

Параметрический подход к классификации часто используется при предположении о нормальном распределении векторов признаков классифицируемых объектов, что позволяет применять мощный аппарат многомерного статистического анализа, разработанного для нормального распределения. Таким образом, основным недостатком параметрического подхода к классификации является ограничение на нормальность распределения признаков классифицируемых объектов.

Непараметрический подход эффективен с точки зрения точности классификации при произвольном распределении векторов признаков, в том числе и отличном от нормального, что наиболее часто встречается на реальных АКИ. Наиболее известными непараметрическими классификаторами являются классификаторы, использующие в своей основе метод *K* ближайших соседей и различные непараметрические оценки функции плотности распределения признаков. Следует отметить, что именно эта группа методов классификации на сегодняшний день представляет значительный интерес, несмотря на большую по сравнению с параметрическими методами вычислительную сложность. Развитие этого подхода в системах распознавания образов многие годы сдерживалось именно вычислительной сложностью непараметрической оценки плотности распределения признаковых векторов. Сегодня при значительном увеличении производительности компьютерных систем интерес к данному подходу заметно возрастает, однако проблема повышения вычислительной эффективности непараметрических алгоритмов классификации остается довольно актуальной.

Эффективность различных по вычислительной сложности и теоретической оптимальности решающих правил классификации также в большой степени зависит от таких факторов, как объем и качество обучающих данных, закон распределения признаковых векторов и т.д. Так, при значительном отклонении распределения признаков от нормального закона сложные статистические решающие правила, использующие модель многомерного нормального распределения признаковых векторов, могут давать худшие результаты по сравнению с более простыми методами, не учитывающими плотности распределения признаков.

Существуют по меньшей мере две причины, чтобы пожелать узнать уровень ошибки классификатора. Первая причина – это оценить, достаточно ли хорошо работает классификатор, чтобы считать его работу удовлетворительной. Вторая состоит в сравнении качества его работы с неким конкурирующим устройством.

Теоретические оценки эффективности пока не имеют общего базиса, и не применимы в полной мере для сравнения классифицирующих устройств. Эмпирический подход, позволяющий избежать этих трудностей, состоит в экспериментальных испытаниях классификатора. Стандартным методом является процедура скользящего контроля.

Скользящий контроль – процедура эмпирического оценивания обобщающей способности алгоритмов, обучаемых по прецедентам.

Фиксируется некоторое множество разбиений исходной выборки на две подвыборки: *обучающую* и *контрольную*. Для каждого разбиения выполняется настройка алгоритма по обучающей подвыборке, затем оценивается его средняя ошибка на объектах контрольной подвыборки. *Оценкой скользящего контроля* называется средняя по всем разбиениям величина ошибки на контрольных подвыборках. Если выборка независима, то средняя ошибка *скользящего контроля* даёт несмещённую оценку вероятности ошибки. Это выгодно отличает её от средней ошибки на обучающей выборке, которая может оказаться смещённой (оптимистически заниженной) оценкой вероятности ошибки, что связано с явлением переобучения.

Для оценки эффективности по обучающим данным следует использовать описанный выше метод «скользящего контроля».

АЛГОРИТМ РАЗМЕТКИ ВРЕМЕННОГО РЯДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРЕДВЕСТНИКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ

Мертвецов А.Н.
Научный руководитель: Букреев В.Г., д.т.н., профессор;
Научный консультант: Колесникова С. И., к.ф.-м.н., доцент.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: a.mertvetsov@gmail.com

Важной задачей анализа геодинамических данных полученных в результате лабораторных испытаний и мониторинга горного массива, является обнаружение этапа формирования очага разрушения (далее предвестника разрушения). В настоящее время в лаборатории ЭДИП ведутся работы по обнаружению предвестников разрушения горных пород по характеристикам их электромагнитной эмиссии (ЭМЭ) [1]. Геодинамические данные представлены в виде набора временных рядов: ЭМЭ на частоте 2 кГц, 15 кГц, 100 кГц, ЭМЭ в широкой полосе частот и интенсивность импульсов (Счет).

Для обнаружения предвестника, будем использовать модель сложной аномалии, для ее построения, по экспертным данным, выбирается множество эталонных временных рядов, соответствующих этапу формирования очага разрушения и составляется множество моделей параметров предвестника. Под параметрами предвестника понимаются: особенности временных рядов, описывающих геодинамический процесс, чаще встречающиеся на этапе формирования очага разрушения (предвестника).

В данной работе рассматривается алгоритм разметки временного ряда, используемый при построении модели предвестника разрушения.

Алгоритм разметки временного ряда по его символьному представлению.

Для символьного представления временных рядов будем использовать алгоритм SAX (Symbolic Aggregate approXimation) [2]. Алгоритм SAX позволяет временной ряд произвольной длины n описать строкой произвольной длины w, (w < n, как правило w << n). Строка состоит из символов некоторого алфавита, размер которого – произвольное целое число α, где α > 2.

Алгоритм отличается от прочих [3], своей процедурой дискретизации, в которой используется промежуточное представление временного ряда. Данные сначала преобразуются используя Кусочное Совокупное Приближение (Piecewise Aggregate Approximation) [3, 4] а затем в символьную последовательность.

С помощью PAA временной ряд длиной n можно представить в w-мерном пространстве вектором $\overline{C} = \overline{c}_1,...,\overline{c}_W$, где i-й элемент вектора $\overline{C}$ вычисляется по следующей формуле:

$$\overline{c}_i = \frac{w}{n} \sum_{j=\frac{n}{w}(i-1)+1}^{\frac{w_i}{n}} c_j .$$

Временной ряд разделяется на w равных по размеру окон, для каждого окна вычисляется среднее значение из которых и формируется вектор $\overline{C}$. Предварительно временной ряд нормируется.

Процедура дискретизации заключается в выборе пороговых значений в зависимости от размера алфавита, которые в свою очередь являются точками, через которые проходят параллельные прямые делящие пространство под кривой Гаусса [5] на участки равной площади. Пороговые значения для алфавита размером от 3 до 8 приведены в таблице 1.

Для сравнения временных рядов в символьном преставлении используются евклидова метрика, определенная в [6]:

$$MINDIST(\hat{Q},\hat{C}) \equiv \sqrt{\frac{n}{w}\sum_{i=1}^{w}(dist(\langle \hat{q}_i \rangle, \langle \hat{c}_i \rangle))} , \quad (1)$$

$$dist(r,c) = \begin{cases} 0, & if \left| r-c \right| \le 1 \\ \beta_{\max(r,c)-1} - \beta_{\min(r,c)} & \text{otherwise} \end{cases},$$

где, $\langle \hat{q}_i \rangle$ и $\langle \hat{c}_i \rangle$ - номера символов $\hat{q}_i$ и $\hat{c}_i$ в используемом алфавите.

Таблица 1.
Пороговые значения в зависимости от размера алфавита.

	3	4	5	6	7	8
β_1	-0,43	-0,67	-0,84	-0,97	-1,07	-1,15
β_2	0,43	0	-0,25	-0,43	-0,57	-0,67
β_3		0,67	0,25	0	-0,18	-0,32
β_4			0,84	0,43	0,18	0
β_5				0,97	0,57	0,32
β_6					1,07	0,67
β_7						1,15

Для разметки временного ряда, заранее, по экспертным данным, подготавливается библиотека моделей параметров предвестника (Рис. 1).

Алгоритм 1. Разметка временного ряда по его символьному представлению.

Вход: фрагмент (окно) наблюдения в символьном представлении y′1,…, yn′; множество подстрок (библиотека моделей параметров предвестника) $W = \left\{ w^v, v = \overline{1,m} \right\}$.

Выход: *и* - признак формы фрагмента наблюдения.

1: Сравнивается окно наблюдение с каждой подстрокой из множества W, используя евклидову

метрику (1). Рассчитанные расстояния образуют множество $D = \left\{ d^v, v = \overline{1, m} \right\}$.

2: Определяем минимальное расстояние min(D) и соответствующий ему номер модели *u* из множества *W*.

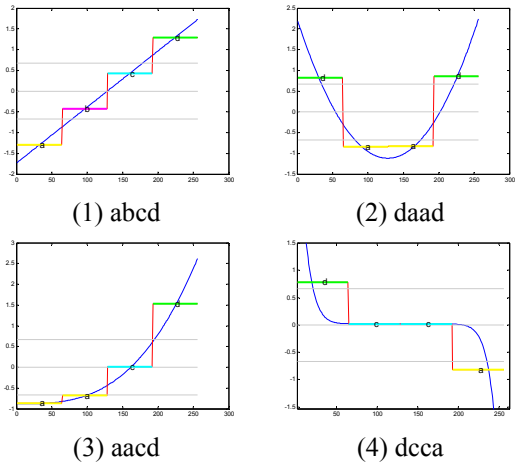


Рис. 1. Пример библиотеки моделей параметров предвестника.

Экспериментальные данные.

Для тестирования алгоритма был выбран ряд показаний электромагнитной эмиссии на 100 кГц определенного образца. При разметки использовалась библиотека моделей приведенная на рисунке 1.

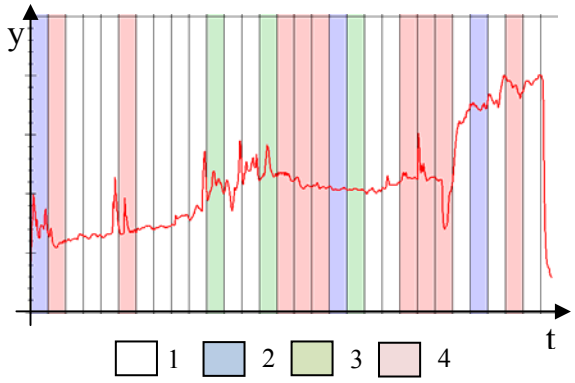


Рис. 2. Результат разметки временного ряда. Каждому отрезку соответствует номер модели из библиотеки, представленной на рисунке 1.

Результат разметки ряда представлен на рисунке 2, временной ряд был разбит на отрезки (окна наблюдения) в 20 отсчетов, использовался алфавит размером в 4 символа, каждое окно наблюдения было разбито на 4 сегмента.

1	3
3	9

Рис. 3. Карта частот, рассчитанная для тестового временного ряда (рисунок 2).

При построении модели предвестника, размеченный временной ряд представляется в виде карты частот вхождений моделей параметров предвестника, для тестового временного ряда карта частот показана на рисунке 3.

Заключение.

Рассмотрен метод символьной аппроксимации временного ряда SAX, и алгоритм разметки временного рядя использующий его символьное представление.

Данный алгоритм предлагается использовать при решении актуальной прикладной задачи обнаружения предвестников разрушения горных пород, по характеристикам их сигналов электромагнитной эмиссии, на этапе построения модели предвестника.

Апробация алгоритма осуществлена на экспериментальных данных, полученных при лабораторных испытаниях.

Целесообразно дальнейшее исследование данного подхода на предмет указания и уточнения границ применимости алгоритма разметки в зависимости от вида шума и его числовых характеристик.

Список литературы

1. Беспалько А.А., Суржиков А.П., Яворович Л.В. Исследование механоэлектрических преобразований в горных породах при динамических воздействиях //Горный журнал.- 2006.- №4.-стр. 32-34.

2. Lin, J., Keogh, E., Lonardi, S. and Patel P. Finding motifs in time series. In Proc. 2nd Workshop on Temporal Data Mining, 2002. pp. 214-221.

3. Keogh, E., Chakrabarti, K., Pazzani, M. & Mehrotra, S. Locally Adaptive Dimensionality Reduction for Indexing Large Time Series Databases. In proceedings of ACM SIGMOD Conference on Management of Data. Santa Barbara, CA, 2001. pp. 151-162.

4. Yi, B, K., & Faloutsos, C.. Fast Time Sequence Indexing for Arbitrary Lp Norms. In proceedings of the 26st Int'l Conference on Very Large Databases., Cairo, Egypt. 2000. pp. 385-394.

5. Larsen, R. J. & Marx, M. L. An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications. Prentice all, Englewood, Cliffs, N.J. 2nd Edition. 2000. pp. 97-104.

6. Lin, J., Keogh, E., Lonardi, S. & Chiu, B. A Symbolic Representation of Time Series, with Implications for Streaming Algorithms. In proceedings of the 8th ACM SIGMOD Workshop on Research Issues in Data Mining and Knowledge Discovery. San Diego, CA. 2003. pp. 71-85.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МОРФИЗМ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Миронов А.А.
«Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)», 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
E-mail: mironov@mirea.ru

Проблема информационного морфизма (инфоморфизма) в теории больших, сложных, распределенных и интеллектуализированных информационных систем (ИС) является актуальной технической проблемой, широко обсуждаемой в мире [1-2, 4]. Очевидно, что как само развитие ИС, так и лавинообразный рост мирового информационного ресурса неизбежно приводят к увеличению энтропии и асимметрии ИС, то есть их стохастичности, что требует понятийно прозрачного регулирования информационного морфизма ИС, точнее, информационного морфизма стохастических систем в самом обширном смысле [5]. Такой подход укладывается в общую парадигму вступающих в отечественную систему непрерывного образования образовательных стандартов нового поколения.

Исходя из соображений дальнейшего углубления теории информационных процессов и систем в моделировании функционала всех этих систем присутствует единый принцип изучения и упорядочения информационных морфизмов как системы с пользователем, так и на подсистемных уровнях и уровнях слияния и взаимодействия на единых семантических принципах различных баз данных с различных серверов, да еще возможно в интенсивном многопоточном запараллеленном режиме. Соответственно, в математические модели информационных морфизмов всех этих уровней и комбинаций взаимодействий должны органически вписываться в качестве основоопределяющих составляющие семантико-энтропийного регулирования.

С позиций синергетики инфоморфизм – это взаимодействие, представляющее протяженный во времени процесс взаимозависимого изменения параметров состояния информационного объекта и информационного пространства [4]. Таким образом, под инфоморфизмом можно понимать меру способности информационной системы к взаимодействию с другими информационными объектами и с информационным пространством. Показателем упорядоченности является информационная энтропия взаимодействующих объектов. По сути инфоморфизм можно трактовать как обобщенный показатель (интегральный) ИС, определяющим характер и степень взаимозависимого изменения совокупности свойств и параметров ИС в процессе взаимодействия. Совокупность свойств и параметров систем, участвующих во взаимодействии представлена аддитивностью, мажоритарностью, эргодичностью, эмерджентностью, стохастичностью и другими.

Развившаяся за последние десятилетия теория нечетких множеств представляет аппарат, позволяющий формально оперировать с нечеткими категориями, словесными формулировками, так называемыми лингвистическими переменными [6]. Для исследований в сфере информационного морфизма на основе семантико-энтропийных характеристик применение аппарата нечетких множеств обосновано, оправдано и привлекательно по целому ряду причин, в том числе:

- полнота описания континуальности систем;
- эффективное моделирование экстенсиональной семантики систем;
- подтверждение свойств аддитивности в сепарабельном метрическом пространстве с мерами, порожденными открытыми множествами, сходящимися к пространствам Лебега, что есть одно из принципиальных требований к правомерности применения семанико-энтропийной модели информационного морфизма ИС [5].

Информофизм в определенном смысле можно понимать как функционал ИС, определяющий характер и степень изменения совокупности свойств и параметров в процессе её взаимодействия с другими ИС или пользователем, при этом аргументами функционала V_i являются в том числе обобщенная энтропия (негэнтропия), мажоритарность, эргодичность, эмерджентность, стохастичность и другие.

Таким образом, возникла и начала удовлетворяться потребность в моделях xOLAP, целевым образом ориентированных на семантические методы управления в статусе главенствующих. Речь здесь, прежде всего, идет о сборе и консолидации данных из разрозненных и несогласованных источников в предметно-ориентированный, интегрированный и независимый от времени (atemporary system, AtempOLAP) набор данных. Такое построение системы уже неизбежно, если возникает опасность коллапсирования фактографической системы по схеме развития «взрыв данных»; оно вообще универсально, если ставится вопрос о перегрузке данных из одного хранилища – донора в другое

хранилище – акцептор, созданное независимо от донора. При этом сразу же возникает задача выделения частей и признаков, обладающих абсолютными свойствами мажоритарности и эргодичности, анализируя и соединяя которые можно гармонизировать контент по семантическим признакам.

Решать такого рода задачу можно с использованием систем под семантическим дирекционным управлением, то есть используя SeOLAP модельный подход. Этот подход развивает идеологию применения распределенных, многофазных, семантиконесущих и других транзакций в их новых качествах и выстраивая для этого новые модифицированные архитектуры различных версий SeOLAP систем. Традиционный в теории OLAP подход, связанный с исследованиями образующихся множеств морфем, денотатов (понятий, признаков) вполне универсально пригоден для работы практически со всеми известными автору разновидностями xOLAP, поэтому здесь подробно не обсуждается. Однако нетрудно заметить, что в разных OLAP-системах одним и тем же понятиям могут оказаться присвоены разные имена и, наоборот, одни и те же имена могут быть присвоены понятиям с разными концептами, то есть возникают пересекающиеся или еще сложнее соотносящиеся друг к другу денотаты, что и вызывает семантический разрыв.

На основе преодоления всех возможных разновидностей семантических разрывов и их комбинаций, в сущности, осуществляется интеграция xOLAP и Semantic Web с образованием SeOLAP. Современное развитие Semantic Web сконцентрировано скорее на разработке дополнительной метаинформации к документу, чем на семантической интеграции самих данных.

Возникающие носители, в частности, упомянутые выше семантические слои xOLAP, могут обладать или не обладать устойчивостью по отношению к информационной среде. При появлении устойчивого носителя может происходить фиксация возникшего типа носителя в случае возможного его использования по отношению к информационной структуре более высокого порядка. Отсюда вероятностная модель информационного морфизма V между двумя подсистемами, слоями или отображениями взаимодействий (например, в формировании отчетов) A и B в информационной среде определяется следующим образом:

$$V_i = C_i / E_a + k * E_b,$$

где C_i - относительное количество информации вида I в дуплексном (самый общий случай информационного обмена между объектами A и B) информационном пространстве; E_a и E_b – относительные (долевые) распределения информации в потоках в направлениях от A к B и от B к A; k – сложный коэффициент, в первом приближении равный натуральному числе e в степени произведения: - L (G_{ai} - G_{bi}), где L – коэффициент Лагранжа, G_{ai} и G_{bi} – характеристические коэффициенты информационных потоков в направлениях от A к B и от B к A.

Модель позволяет отследить основные закономерности информационного морфизма. Показателем упорядоченности в модели является информационная энтропия взаимодействующих объектов, что является классикой семантико-энтропийных оценок и регулирования.

Достигаемые в результате моделирования полнота вероятностей событий и информационная полнота дают основания применять подходы и результаты показанного в статье моделирования к достаточно широкому спектру разновидностей xOLAP, в том числе FSeOLAP, TransSeOLAP и другим, представленным в альбоме классификаций OLAP.

Список литературы

1. Мордвинов В.А. Онтология моделирования и проектирования семантических информационных систем и порталов: Справочное пособие. - М.: МИРЭА, 2005. - 237 с.

2. Получение знаний для формирования информационных образовательных ресурсов // Иванников А.Д. и д.р. М.: ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика», 2008. – 440с.

3. Миронов А.А., Мордвинов В.А., Скуратов А.К. Семантико-энтропийное управление OLAP и модели интеграции xOLAP в SemanticNET (ONTONET) / Научно-методический журнал «Информатизация образования и науки». №2. 2009. с.21-30.

4. Синергетическая теория информационных процессов и систем // Иванников А.Д. и др. МГДД(Ю)Т, МИРЭА, ФГУ ГНИИ ИТТ «Информика» – М., 2009. – 474 с.

5. Миронов А.А. Синергетический подход к разработке обобщённой модели информационного морфизма многомерных баз данных / Труды XVII Всероссийской научно-методической конференции Телематика'2010. – С-Пб: 2010. – Т.1. – с. 115-116.

6. Иванов И.В., Стативко Р.У. Использование аппарата нечетких множеств для оценки качества образовательных услуг / Труды заочной электронной конференции «Информационные технологии в образовании». [Электронный ресурс] Режим доступа http://www.econf.rae.ru/pdf/2004/07/Ivanov.pdf, свободный

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ДЕМОДУЛЯЦИИ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОШИРИННЫХ ШТРИХОВЫХ КОДОВ

Михайлов И.И.
Научный руководитель: Таран В.А., к.т.н, доцент
Московский государственный институт электронной техники
Россия, 124498, Москва, Зеленоград, проезд. 4806, д.5
E-mail: skink@list.ru

Введение

Применение штриховых кодов позволяет резко поднять производительность ввода данных в системах обработки информации. Однако, при использовании в качестве считывающей аппаратуры камер на основе ПЗС-матриц, возникают дефекты изображения, связанные с шумом и расфокусировкой. Указанные дефекты устраняются на уровне программного обеспечения.

В работе рассмотрены критерии качества автоматической демодуляции многоширинного штрихового кода, получаемого на следующих этапах:

– подавление шумов;
– устранение расфокусировки;
– адаптивный поиск границ.

Ввиду того, что линейные коды не содержат информации по высоте элементов, при работе алгоритмов демодуляции используют обработку данных на основе профиля кода.

Оценка «контраста профиля» штрихового кода на этапе подавления шумов

В качестве критерия оценки подавления шумов на изображении штрихового кода выбран обобщенный параметр – «контраст профиля»:

$$K = \frac{\overline{I}_{\max} - \overline{I}_{\min}}{255} \cdot \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \qquad (1)$$

где $\overline{I}_{\max}$ – среднее значение яркости белых элементов; $\overline{I}_{\min}$ – среднее значение яркости черных элементов; I_{max} – максимальное значение яркости на профиле штрихового кода; I_{min} – минимальное значение яркости на профиле штрихового кода.

Отметим, что в случае зашумленного штрихового кода, при отличии значений яркости элементов кода от идеальных (0 и 255), «контраст профиля» (1) становится меньше единицы за счет влияния нормировочного коэффициента: $\frac{\overline{I}_{\max} - \overline{I}_{\min}}{255}$.

Применение предлагаемого критерия – «контраста профиля», позволило оценить качество обработки зашумленных изображений штриховых кодов с помощью линейных и нелинейных фильтров.

На рис. 1. приведены результаты работы фильтров при подавлении гауссова шума с СКО в диапазоне [0; 200], показывающие преимущества ранговой фильтрации [1].

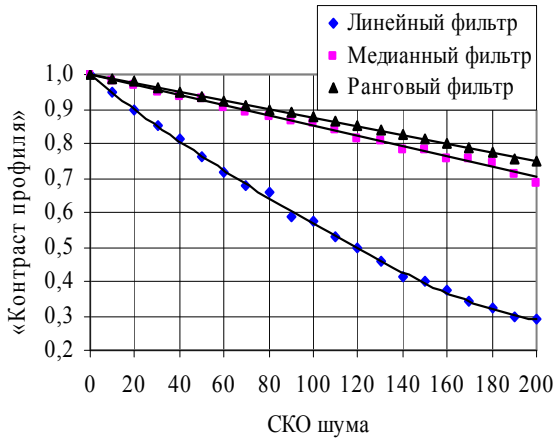


Рис. 1. Зависимость «контраста профиля» тестовой модели штрихового кода от СКО шума

Оценка качества фильтрации на этапе устранения расфокусировки

Для анализа качества фильтрации профиля штрихового кода целесообразно использовать гистограмму распределения перепадов яркости [2], так же характеризующих контраст профиля кода.

Градации перепадов яркости на гистограмме можно распределить по трем условным группам:

1. Перепады яркости, лежащие в левой части – с явными признаками перепадов яркости при ложных элементах кода.

2. Перепады яркости, лежащие в ее средней части – можно отнести как перепадам яркости при ложных элементах, так и к перепадам при действительных элементах кода.

3. Перепады яркости, лежащие в правой части – с явными признаками перепадов яркости при действительных элементах кода.

Охарактеризуем каждую группу числом — в виде отношения количества перепадов в группе n_i к общему количеству перепадов $N_{общ}$, включающему как перепады при действительных элементах, так и при ложных элементах кода:

$$k_i = \frac{n_i}{N_{общ}}$$

Качество фильтрации можно считать удовлетворительным, при соблюдении следующих условий:

$$k_1 \to \delta_{ложн} = \frac{N_{общ} - (N_э + 1)}{N_{общ}}, k_2 \to 0, k_3 \to 1 \qquad (2)$$

На рис. 2 представлены гистограммы распределения перепадов яркости расфокусированного профиля с коэффициентом

нерезкости [3] σ = 3,0 до и после обработки гребенчатым фильтром [3].

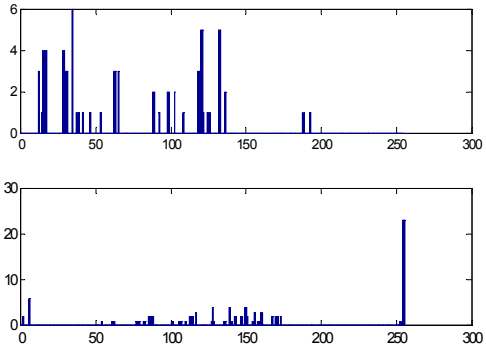


Рис. 2. Гистограмма распределения перепадов яркости тестовой модели профиля штрихового кода с коэффициентом нерезкости: σ = 3,0:
а) исходная;
б) после обработки гребенчатым фильтром

Анализ гистограмм показывает, что после фильтрации основная часть перепадов яркости сместилась вправо, с явно выраженными тремя группами: $k_1 = 0{,}0851$; $k_2 = 0{,}6596$; $k_3 = 0{,}2553$.

Несмотря на то, что условие (2) после фильтрации расфокусированного профиля тестовой модели выполняется не в полной мере, небольшое количество ложных перепадов яркости в группе k_1 позволяет перейти к адаптивному поиску границ элементов кода.

Критерий определения границ элементов кода при адаптивном поиске

Адаптивный поиск границ элементов кода производится путем вычисления яркости (3) в скользящем окне для центрального перепада. Окно захватывает 11 перепадов яркости (букву кода).

$$\bar{I}' = \begin{cases} I'_{\min} + \left(\bar{I} - I'_{\min}\right)\dfrac{\bar{I} - I'_{\min}}{I'_{\max} - \bar{I}}, \text{ при } \bar{I} - I'_{\min} > I'_{\max} - \bar{I} \\ I'_{\max} - \left(I'_{\max} - \bar{I}\right)\dfrac{I'_{\max} - \bar{I}}{\bar{I} - I'_{\min}}, \text{ при } \bar{I} - I'_{\min} < I'_{\max} - \bar{I} \end{cases} \quad (3)$$

где I' – яркость экстремумов при перепаде; $\bar{I}$ – средняя яркость, получаемая как:

$$\bar{I} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}$$

Пример анализируемой области окна показан на рис. 3.

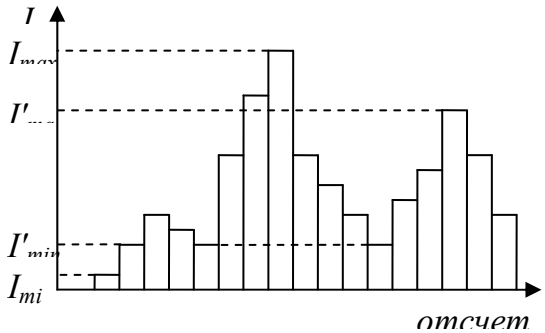


Рис. 3. Анализируемая область штрихового кода в окне

Критерий качества демодуляции

Качество демодуляции можно описать кривыми, ограничивающими область декодирования параметрами искажения кода: СКО шума и коэффициента нерезкости.

Область под кривыми характеризует уверенное качество автоматической демодуляции, отвечающей за подавление искажений на изображениях штриховых кодов.

Для описания качества демодуляции был выбран обобщенный показатель, представляющий собой произведение площади под кривой демодуляции, максимальных значений СКО шума и коэффициента нерезкости: $S \cdot b_{\max} \cdot \sigma_{\max}$.

На рис. 4 показаны результаты демодуляции с использованием перечисленных критериев в сравнении с результатами демодуляции фирмы «Spirit Corp». Качество разработанной стратегии демодуляции превосходит ПО фирмы «Spirit Corp» в 92035 / 5166 = 17,8 раза.

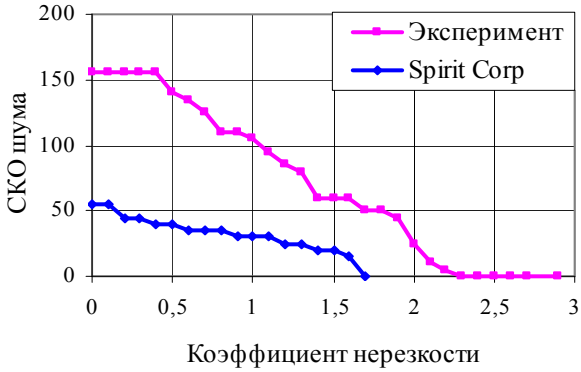


Рис. 4. Результаты тестирования разработанной стратегии демодуляции в сравнении с ПО фирмы «SPIRIT Corp» на тестовой базе штриховых кодов

Заключение

Разработка критериев качества для каждого этапа демодуляции линейного многоширинного штрихового кода позволила провести анализ качества работы применяемых фильтров, выбрать оптимальные фильтры и оценить качество выработанной стратегии демодуляции в целом.

Список литературы

1. Михайлов И.И. Обработка размытых и зашумленных изображений линейных многоширинных штриховых кодов // сб. Вопросы оборонной техники. Сер. 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. – 2010 – Вып. 3(244)-4(245).– С.65-70.

2. Михайлов И.И. Анализ методов частотной фильтрации расфокусированных изображений штрихового кода // Сборник научных трудов Российской конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2010 / под ред. В.Н. Негоды.- Ульяновск:УлГТУ, 2010. – С.354-360.

3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений // Пер. с англ.– М.: Мир, 1982.–С.790

РАСШИРЕННЫЙ ИНТЕРПРЕТАТОР ЯЗЫКА PROLOG

Михайлов И.Н.
Научный руководитель: Петухов О.А., к.т.н., профессор
Северо-Западный государственный заочный технический университет,
191186, Россия, г. Санкт-Петербург ул. Миллионная, 5
E-mail: ivan.n.m@mail.ru

Язык логического программирования Prolog, разработанный в начале 70-х годов, является на данный момент не очень распространенным, но, по своей идее, эффективным механизмом создания сложных задач, таких как системы поддержки принятия решений, анализ текста, интерпретаторы и др.

В данной статье рассматривается достоинства и недостатки языка Prolog разных версий и предлагается новое решение на базе этого языка.

Существует несколько различных интерпретаторов, основанных на языке Пролог. Среди основных: Turbo Prolog, SWI Prolog и Visual Prolog.

SWI Prolog – современный интерпретатор, основанный на стандарте языка Prolog ISO/IEC 13211-1, принятом в 1995 году. Основным недостатком его является то, что он не позволяет создавать исполняемые файлы и библиотеки, которые могли бы работать с другими системами. Также к недостаткам для неискушенных пользователей является, как ни странно, то, что он работает по стандарту, т.к. утвержденный синтаксис является сложным и непривычным для людей, знакомым только с императивным программированием. Это делает данный интерпретатор узкоспециализированным.

Visual Prolog – современная система, основанная на синтаксисе Turbo Prolog, которая включает принципы объектно-ориентированного программирования и является довольно мощным, но очень сложным механизмом, которая также в силу этих причин не получила должного распространения.

Turbo Prolog – одно из самых старых решений. Работает в среде MS DOS и отличается строгим синтаксисом, не являющимся на данный момент стандартным. В отличии от SWI- и Vusual Prolog, Turbo Prolog является более понятным. Однако некоторые моменты являются слишком сложными и неудобными, которые в других языках программирования реализованы более просто и понятно. Естественно, в силу устаревания данного интерпретатора, на нем уже невозможно писать серьезные приложения, но, однако, в силу выгодной простоты и понятности по сравнению с другими решениями Prolog'а мы остановимся именно на нем.

Итак, рассмотрев основные реализации языка Prolog, делаем вывод, что необходима система, которая включала бы следующие возможности:

- Была бы максимально понятной для людей, знакомым только с императивным программированием.
- Отвечала современным требованиям (содержала бы все основные возможности, связанные с разработкой приложений).

Для реализации предлагаемой системы используется подход, синтаксически основанный на языке Turbo Prolog, однако являющийся современным и отвечающим всем основным требованиям.

Данная система включает следующие встроенные возможности:

- Работа с данными простых и сложных типов (структуры и векторы).
- Внутренняя база данных и внешние базы данных с доступом с помощью технологии ADO.
- Работа с файлами.
- Работа с Интернетом.
- Работа с сокетами.
- Поддержка регулярных выражений.
- Поддержка SQL.
- Поддержка XML.
- Поддержка многопоточности.
- Взаимодействие с внешними модулями (поддержка динамических библиотек).

Таким образом, предлагается система, позволяющая написать практически любую программу с помощью внутренних механизмов, а также с помощью внешних библиотек, там, где эти механизмы недостаточны.

На уровне синтаксиса данная система включает следующие, отсутствующие в Turbo Prolog'е, механизмы:

- Внутренние (анонимные) предикаты.
- Ссылки.
- Расширенная работа с фактами, позволяющая использовать факты вместо списков.
- Исключения.
- Все возможные простые типы данных.
- Типы данных структура и вектор.
- Возможность использования функций и операторов внутри параметров предиката.

Теперь рассмотрим на примерах предлагаемую систему под рабочим названием NW Prolog (North-West Prolog).

Рис.1. Регулярные выражения

```
   /*
   Данная программа загружает файл в
формате csv,
   Разбивает на лексемы и выводит
элементы на экран
   */

   constants
     %выражение, определяющее строку
     line = <@"(.*?)\r?(\n|$)">

     %выражения, определяющие ячейку
строки с учетом кавычек
     item = < "\"()\"(;|$)",
              "\"((?:[^\"]|\"\")*)\"(;|$)
       ",
              "(.*?)(;|$)">
   goal
     %ввод имени файла
     readln(FileName),

     %загружаем файл в строку
     file_get_contents(FileName, F),

     %анонимный предикат
     {
       %разбиваем строку на токены
(строка csv)
       regex_token(F, line, X, _),

       %анонимный предикат
       {

         %разбиваем строку на токены
(ячейка строки csv)
         regex_token(X, item, Z, _),

         %заменяем «""» на «"»
         regex_replace(Z, "\"\"", "\"",
Z2),
         %выводим на экран
         write("[", Z2, "]\t"),

         %бектрекинг
                fail;
         true
       },
       nl, %новая строка
       fail: %бектрекинг
       true
     }.
```

Рис. 2. Работа с внутренней базой данных (факты)

```
   /*
   Данная программа сортирует внутреннюю
базу данных и выводит на экран
   */
constants
   %константа @title - заголовок окна
   @title = "СЗТУ"

%внутренняя база данных с фактом human -
имя, фамилия, должность
database
   human(string, string, string)

%определение фактов
clauses
   human("Иван", "Михайлов",
                 "студент").
   human("Олег", "Петухов",
                 "преподаватель").
   human("Александр", "Кручинкин",
                 "студент").
   human("Рафкат", "Хамидуллин",
"декан").
   human("Михаил", "Копейкин",
                 "преподаватель").
goal
   %заголовок окна Windows
   title(@title),

   %настройка длины строки для вывода
   opt(write, "length=12"),

   %создание окна среды
   makewindow(1, fgGreen + bgWhite,
                 fgBlue + bgWhite,
              @title,
              2, 10, 14, 60),

   %сортировка базы данных по должности,
фамилии, имени (в указанном порядке)
   sort(human(_, _, _), "3 2 1"),
   {

     %вывод базы данных на экран разным
цветом
     human(Name, Surname, Job),
     textcolor(fgBlue),
     write(Surname, Name),
     textcolor(fgRed),
     write(Job), nl,
     fail;

     true
   }.
```

Список литературы

1. Петухов О. А. PDC Prolog – язык систем искусственного интеллекта: Учеб. пособие. – 4-е изд., исправленное. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 172 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КАСКАДА ЭКСТРАКЦИОННЫХ КОЛОНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB/SIMULINK

Михалевич С.С., Горюнов А.Г., Чурсин Ю.А.
Научный руководитель: Чурсин Ю.А., к.т.н., преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: AnopT@ya.ru

Установка для переработки ядерного топлива по экстракционной технологии на ОАО «СХК» включает в себя 4 экстракционные тарельчатые пульсационные колонны (ЭК) и 4 выносных центробежных насоса (ВЦБН). И в настоящее время ориентирована для переработки урановых концентратов.

Анализ доступных информационных источников показал [1–4], что публикаций в области математического моделирования динамики процессов переработки ядерного топлива и автоматизации в настоящее время практически отсутствуют. В статье [5] приведены результаты разработки условно непрерывной математической модели каскада экстракционных колонн, основанной на диффузионной кинетике и позволяющей описывать переходные режимы. К сожалению, в статье содержится недостаточное количество сведений, которые позволили бы реализовать и исследовать динамическую модель для целей автоматизации процесса.

В настоящей работе моделирование установки по переработке урановых концентратов ОАО «СХК» реализуется на ЭВМ, потому что исходное математическое описание любой динамической системы представляет собой совокупность дифференциальных, алгебраических, логических, разностных уравнений, описывающих физические процессы в отдельных функциональных элементах системы. Для формирования модели требуемого аппарата используется блочный принцип формирования моделей [6] с применением специализированных программно–технических комплексов.

Целесообразно рассматривать систему экстракционных колонн как совокупность экстракционных секций (СК) отстойных зон, а также дополнительных приборов, расположенных как в самих аппаратах, так и между ними.

Для расчета профилей концентраций секция разбивается на n сечений – ячеек, в которых присутствуют две несмешиваемые фазы (дисперсная и сплошная).

Для решения уравнений с помощью встроенного решателя их необходимо привести к форме Коши. Ниже приведены дифференциальные уравнения, описывающие изменение концентраций компонентов, расхода и объема дисперсной фазы, а также уравнение, описывающее отстойную зону:

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}Qx_{i+1}(t)}{\mathrm{d}t} = \dfrac{Qx_i(t) - Qx_{i+1}(t)}{Tu_i}, \\ \dfrac{\mathrm{d}Vx_i(t)}{\mathrm{d}t} = Qx_i(t) - Qx_{i+1}(t), \\ \dfrac{\mathrm{d}\left(mx_{i,j}(t)\right)}{\mathrm{d}t} = Cx_{i,j}(t)\cdot Qx_i(t) - Cx_{i+1,j}(t)\cdot Qx_{i+1}(t) - Gx_{i,j}(t), \\ \dfrac{\mathrm{d}\left(my_{i,j}(t)\right)}{\mathrm{d}t} = Cy_{i+1,j}(t)\cdot Qy(t) - Cy_{i,j}(t)\cdot Qy(t) + Gx_{i,j}(t), \\ i = 1...n,\ j = 1...k, \\ \dfrac{\mathrm{d}C_{i+1}(t)}{\mathrm{d}t} = \dfrac{C_i(t) - C_{i+1}(t)}{T_v}. \end{cases}$$

На рисунке 1 представлена функциональная схема соединения колонн. Аналогичным образом можно представить весь каскад.

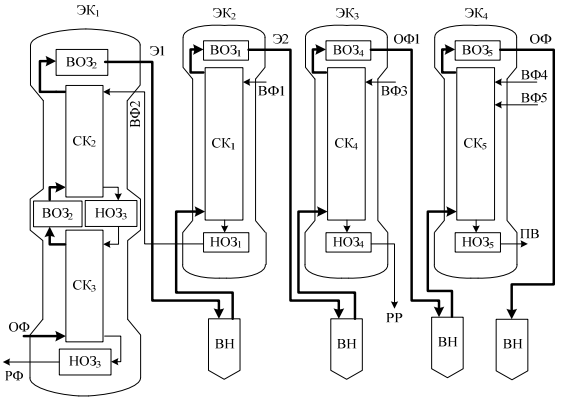


Рис. 6 – Функциональная схема математической модели
СК – экстракционная секция; ВОЗ, НОЗ – верхняя и нижняя отстойные зоны колонн соответственно; ВН – выносной насос.

Реализация колонны в целом производится путем соединения экстракционных секций между собой и другими функциональными блоками.

Структура компьютерной модели экстракционной колонны ЭК1 в программном пакете Simulink представлена на рисунке 2. Модели ВОЗ и НОЗ, а также емкости ВН основаны на разбиении их объемов на элементарные ячейки.

Пунктирными стрелками выделены входы и выходы колонны. В общем случае в колонну входит одна органическая фаза и два потока водной фазы, а выходит один поток экстракта и один поток водной фазы в виде рафината. Возможны также дополнительные выходы, содержащие другую дополнительную

информацию, как о потоке водной фазы, так и о потоке экстракта.

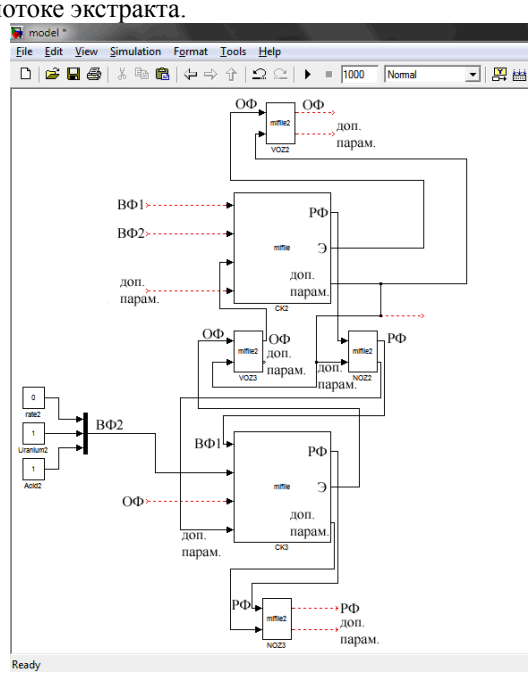


Рис. 7 – Вид экстракционной колонны ЭК1 в пакете Simulink

Входной поток должен содержать основную информацию о жидкости: скорость потока, концентрации целевых компонентов. Следовательно, целесообразно передавать их как массивы, содержащие эту информацию. Для этого воспользуемся блоками «ступень» – для передачи скорости потока, «константа» – для задания концентраций продуктов и «мультиплексор» – для объединения информационных каналов. Блок «ступень» необходим для дальнейшей проверки модели на ступенчатое изменение расхода.

Использование S-функции предпочтительнее самостоятельной реализации численного решения системы однородных дифференциальных уравнений, ввиду возможности выбора метода решения:

- discrete (no continuous states) - дискретный;
- ode5 – метод Дормана-Пренса (пятого порядка);
- ode4 – метод Рунге-Кутта (четвертого порядка);
- ode3 – метод Богацкого-Шампена (третьего порядка);
- ode2 – метод Хойне (второго порядка);
- ode1 – метод Ейлера (первого порядка).

Текст части S-функции, отвечающей за расчет производных:

```
function Derivatives(block)
for i=1:n                %%n - количество ячеек
  for j=1:k  %k - количество рассчитываемых
%компонент
  zzz=4*k*(i-1)+4*(j-1);
  d1=(Qx(i)-Qx(i+1))/Tu(i);
  d2 = Qx(i)-Qx(i+1);
  d3 = Cx(i,j)*Qx(i)-Cx(i+1,j)*Qx(i+1,j)-Gx(i,j);
  d4 = Cy(i+1,j)*Qy-Cy(i,j)*Qy+Gx(i,j);
  %присвоение производных
  block.Derrivatives.Data(zzz+1) = d1;
  block.Derrivatives.Data(zzz+2) = d2;
  block.Derrivatives.Data(zzz+3) = d3;
  block.Derrivatives.Data(zzz+4) = d4;
  end
end
for i=1:n
  for j=1:k
  zzz = 4*k*(i-1)+4*(j-1);
  Qx(i+1) = block.ContStates.Data(zzz+1);
  Vx(i) = block.ContStates.Data(zzz+2);
  Mx(i,j) = block.ContStates.Data(zzz+3);
  My(i,j) = block.ContStates.Data(zzz+4);
  end
end
```

В настоящее время модель может потерять устойчивость при большом шаге расчета. Поэтому коллективом авторов ведется оптимизация модели устраняющей данный недостаток.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

Список литературы:

1. Семёнов Е.Н., Карелин А.И. Особенности экстракционных процессов, реализуемых в колонном аппарате // Журнал прикладной химии. – 1997. – Т. 70. – № 11. – С. 1852–1854.

2. Пяртман А.К., Копырин А.А., Пузиков Е.А. Математическая модель квазиравновесных противоточных процессов разделения редкоземельных металлов методом жидкостной экстракции при вариации состава исходного сырья// Журнал прикладной химии.-1994.- Т. 67, №12.-с. 1797-1801.

3. Пузиков Е.А., Зильберман Б.Я., Федоров Ю.С. и др. Разработка математической модели для расчета стационарных режимов экстракционных каскадов при переработке ОЯТ АЭС с использованием ТБФ-совместимых процессов (СУПЕРПУРЕКС) // Радиохимия. – 2004. – Т. 46. – № 2. – С. 136–144.

4. Семёнов Е.Н., Карелин А.И. Математическая модель неравновесного экстракционного процесса в колонном аппарате // Журнал прикладной химии. – 1997. – Т. 70 – № 9. – С. 1526–1528.

5. Кондаков В.М., Семёнов Е.Н., Матюха В.А., Козырев А.С., Рябов А.С., Носков М.Д., Истомин А.Д. Математическое моделирование переходных процессов в каскаде экстракционных колонн // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2004. – № 12. – С. 139–146.

6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 742 с.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ

Мишанов М.С., Гладышев И.С., Байдали С.А.
Научный руководитель:Байдали С.А., старший преподаватель
Национальный исследовательскийТомский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Mishan@sibmail.com

В настоящее время существует большое количество методов расчета параметров настройки регуляторов в одноконтурных системах регулирования. Большинство из них являются устаревшими и используются в настоящее время без существенных доработок. Проблема разработки принципиально новых и при этом эффективных методов настройки регуляторов на сегодняшний день является актуальной. Опыт показывает, что большинство из используемых методик являются неформализованными или узкоспециализированными для определенных типов объектов управления.

На практике самыми распространенными регуляторами являются классические пропорциональный (П), пропорционально-интегрирующий (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регуляторы.

ПИД-регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Около 90 % регуляторов, находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД-алгоритм. Причиной столь высокой популярности является простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства практических задач и низкая стоимость [1].

В связи с этим, методы оптимальной настройки именно такого типа регуляторов и будут рассмотрены в данной статье.

Понятие настройки регулятора, в общем, и ПИД-регулятора в частности, подразумевает расчет конкретных значений величин $K_р$, $T_и$, $T_д$ (коэффициент передачи регулятора, постоянная интегрирования, постоянная дифференцирования), тем или иным методом.

Большинство из методов расчета параметров являются табличными, то есть для каждого параметра регулятора ($K_р$, $T_и$, $T_д$) существует отдельная формула, опирающаяся на параметры объекта. К примеру, методы Копеловича, Куна и т.д. Также есть методы, опирающиеся на другие характеристики объекта, например фазо-частотную характеристику (ФЧХ). Таким методом является метод расчета на заданный запас устойчивости [2].

Для анализа и выбора оптимального регулятора с точки зрения показателей качества (время регулирования, динамический коэффициент регулирования) были выбраны следующие методы:

1) метод оптимального модуля;
2) метод апериодической устойчивости;
3) метод Копеловича;
4) метод Куна;
5) метод Коэна;
6) метод Чина и Хронса;
7) метод настройки на заданный запас устойчивости.

Далее будем следовать этой нумерации.

Все методы, кроме первого и последнего, являются табличными. Последний метод требует подробного описания.

Запас устойчивости контура системы оценивается величиной частотного показателя колебательности M. Тогда в геометрической интерпретации требование должного запаса устойчивости сведется к тому, что комплексная частотная характеристика (КЧХ) разомкнутого контура системы не должна заходитьвнутрь М-окружности радиусом

$$r = M / (M^2 - 1),$$

центр которой расположен на отрицательной вещественной полуоси на расстоянии $u = rM$ от начала координат.При обычном виде динамических характеристик объекта точка касания располагается между отрицательной вещественной полуосью и касательным к М-окружности лучом, проведенным из начала координат. Этот луч имеет угол наклона к вещественной оси:

$$\gamma = sin^{-1}(1/M).$$

Поэтому частоту компенсации целесообразно выбрать в точке пересечения КЧХ объекта $W_о(j\omega)$ с указанным лучом, для чего следует решить уравнение фаз:

$$\varphi_о(\omega) + \pi - \gamma = 0,$$

где $\varphi_о(\omega)$ - фазовая частотная характеристика (ФЧХ) объекта. Обозначим эту частоту как ω_γ.Тогда:

$$T_d = \frac{1}{T_i \omega_\gamma^{\,2}}.$$

Далее надо, чтобы в указанной точке оказалась равной нулю производная от фазовой частотной характеристики разомкнутого контура:

$$T_i = -\frac{2}{\omega_\gamma^{\,2} \varphi'_o(\omega_\gamma)},$$

где $\varphi'_о(\omega)$ – производная по частоте от фазовой частотной характеристики объекта.

Определение коэффициента передачи регулятора производится таким образом:

$$k_p = \frac{M}{\sqrt{M^2 - 1}} \frac{1}{A_o(\omega_\gamma)}$$

где $A_о(\omega)$ – АЧХ объекта[2].

Как видно из вышеизложенного, этот метод является довольно трудоемким. К тому же, как выяснилось из опыта он не обеспечивает необходимого качества управления.

В качестве исследуемого объекта был выбран объект, близкий к реальному, со следующими параметрами:

$K_{об}$=0,3;$T_{об}$= 20 с;τ=50с.

Моделирование системы автоматического управления проводилось в пакете Matlab/Simulink. Вид САУ можно увидеть на рис. 1. Такая система применялась для всех методов настройки.

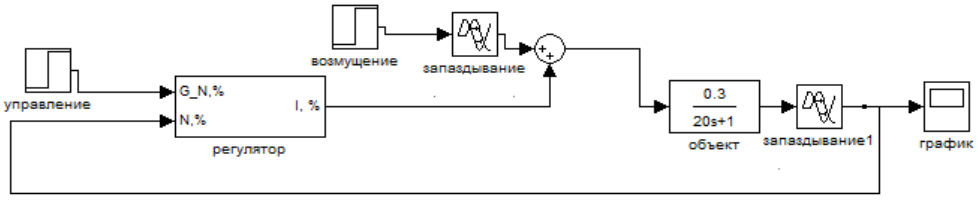


Рис.1. САУ в системе Matlab

В модель системы автоматического управления вошли: задатчик уставки, объект, регулятор, элемент запаздывания и элемент для отображения графиков переходных процессов. В связи со схожестью графиков методов 3, 4, 5, 6 на рисунке представлены методы 3 и 5. Графики переходных процессов по управляющему воздействию приведены на рис. 2.

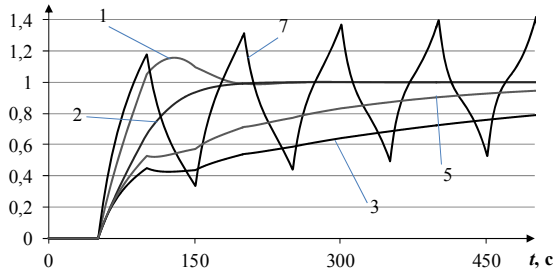


Рис.2. Общий график переходных процессов

В результате проведенного моделирования выяснилось, то наиболее оптимальными являются метод апериодической устойчивости и метод оптимального модуля. При настройке регулятора другими методами получаются неудовлетворительные результаты (большое время регулирования, высокая степень колебательности и т.д.). Так для методов 1 и 2 время регулирования составляет 200 с., когда как для остальных более 500 с. Метод 7 и вовсе вызывает автоколебания в системе.

Для первых двух методов было проведено дополнительное моделирование систем управления с ПИ-регуляторами, с подачей, как управляющего так и возмущающего воздействий. Результаты приведены на рис. 3.

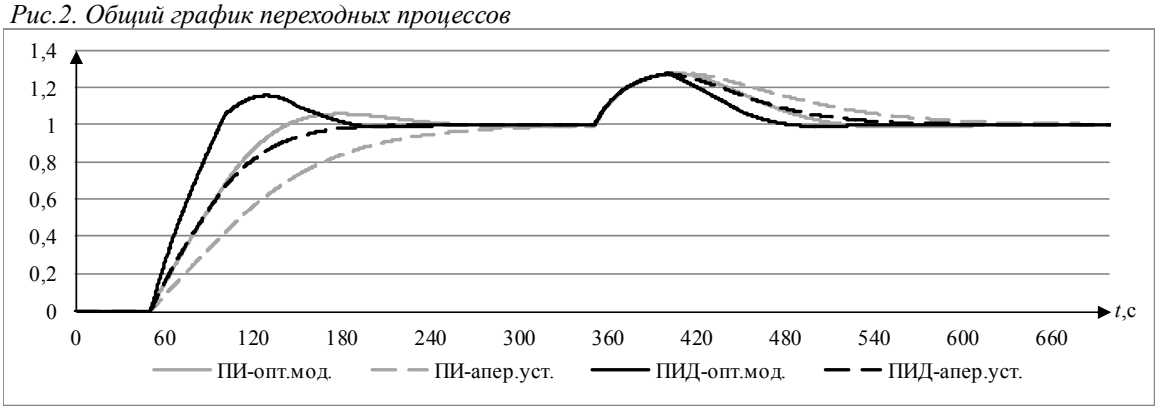


Рис.3. Переходные процессы для двух методов

Из графика переходных процессов можно сделать вывод о том, что ПИД-регулятор, рассчитанный методом апериодической устойчивости является предпочтительнее ПИ-регулятор, рассчитанный методом оптимального модуля оказался более быстродействующий, но с незначительным перерегулированием.

По возмущающему воздействию и для ПИ и для ПИД регулятора лучшим является метод оптимального модуля.

Как показывает практика, выбирать метод настройки нужно в зависимости от конкретного производства, учитывая при этом характеристики переходного процесса [3].

Список литературы:

1. Денисенко В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации. Часть 1 // Современные технологии автоматизации.-2006.-№4.-С.66-74.

2. Репин А.И., Сабанин, В.Р., Смирнов Н.И. Алгоритм оптимальной настройки реальных ПИД регуляторов на заданный запас устойчивости. //Автоматизация и IT в энергетике.-2010.-№4.-С.7-12.

3. Новиков И.С. Оптимизация автоматического систем регулирования теплоэнергетического оборудования.Часть1 // Учебное пособие.-2006.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Овчинников П.Г., Силушкин С.В.
Научный руководитель: Муравьев С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ovchinnikov.p.g@mail.ru

Введение

Химический анализ является неотъемлемой частью проведения исследований в рамках экологического мониторинга, биомедицинского и биометрического анализов, контроля состава веществ в химической промышленности и во многих других отраслях народного хозяйства.

Проведение количественного химического анализа зависит от методов проведения измерений, в результате которых должен быть получен результат, имеющий достаточную точность, достоверность и возможность подтверждения при проведении повторных измерений в других лабораториях. Для этой цели служит соответствующий математический аппарат и регламентирующие документы.

Анализ результатов измерений, очень часто, занимает достаточно много времени, так как стандартные математические пакеты не учитывают особенности обработки статистической информации и, как правило, не позволяют автоматизировать этот процесс для большого объема данных.

В рамках исследования и применения метода цифрового цветометрического анализа (ЦЦА) для определения микроколичеств веществ [1] необходимо производить множество вычислений, включая расчет погрешностей и статистической информации. Распространенные пакеты для математических операций (например, MS Excel, Mathcad и др.) не позволяют осуществлять достаточно быстро операции по вводу данных и их корректировку (импорт данных, введение и корректировка формул, запрос констант и табличных данных), что, в свою очередь, приводит к увеличению времени обработки результатов измерений. Решение этих проблем видится в разработке ПО, которое позволяет:

- осуществлять ввод данных из различных источников, а также автоматизированный и ручной ввод;
- проводить обработку статистических данных;
- оценивать точность, правильность и достоверность полученных результатов, используя заданные критерии, исходя из нормативных документов и рекомендаций;
- иметь открытый программный код для корректировки под условия конкретной задачи с возможностью учета требований заказчика.

Реализация ПО для разработанного метода ЦЦА ведется в графической среде программирования LabVIEW v. 2009 компании National Instruments, поэтому программа обработки результатов измерения реализуется в этом же пакете и встраивается как виртуальный прибор (ВП), вызываемый из основной панели инструментов.

Практическая реализация

Для количественного химического анализа оценка результатов регламентируется следующим документом РМГ61-2003: пункт 6.3 «Оценка показателя правильности методики анализа» и пункт 6.4 «Оценка показателя точности методики анализа» [2].

Созданный ВП «Статистическая обработка результатов измерений», рис. 2, может быть использован как отдельный и независимый инструмент для обработки данных, так и в комплексе с разрабатываемым ПО.

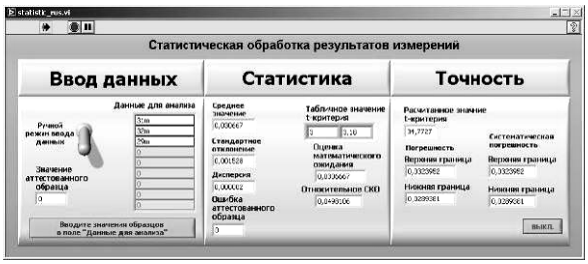


Рис. 1. ВП «Статистическая обработка результатов измерений»

Основным действием при обработке результатов измерений является преобразование простейших статистических данных выборки результатов (СКО, дисперсия) в оценочные характеристики методики (оценка воспроизводимости, повторяемости, верхняя и нижняя границы погрешности). Данные преобразования содержат обращения к табличным данным (t-критерий), а также математические операции с элементами логических функций (зависимость формул от значения экспериментального t-критерия). Поэтому алгоритм обработки полученных результатов экспериментов в обычных математических пакетах не удается упростить и автоматизировать.

Алгоритм обработки результатов измерений в ВП «Статистическая обработка результатов измерений», согласно РМГ 61, следующий:

1. Вычисляются простейшие параметры, такие как СКО, дисперсия, среднее значение. В среде LabView это выполняется блоком *Mathematic/Probability & Statistic/S.D. & Variance.* На вход подается набор данных, на выходе мы

получаем среднее арифметическое, дисперсию и СКО выборки.

Описание функций и блоков можно найти в меню «Help» при написании программного кода или в [3-4].

2. Производится оценка погрешности методики анализа как разность между средним значением результата анализа и аттестованным значением опытного образца:

$$\Theta_m = X_m - C_m, \qquad m = 1,...,M.$$

3. Производится проверка значимости вычисленных значений по критерию Стьюдента:

$$t_m = \frac{|\Theta_m|}{\sqrt{\frac{S_m^2}{L} + \frac{\Delta_{om}^2}{3}}},$$

где $S_m^2 = \frac{\sum_{l=1}^{L}(X_{ml} - X_m)^2}{L-1}$ - дисперсия, характеризующая разброс средних арифметических значений результатов единичного анализа.

Вычисления выполняются в структуре *MathScript*, позволяющей проводить математические операции в необходимой последовательности и имеющей простой синтаксис для задания расчетов.

4. Выполняется сравнение экспериментально полученного значения критерия Стьюдента с его табличным значением. Если полученное значение не больше табличного, то оценка погрешности признается незначимой на фоне случайного разброса и производится дальнейшая оценка правильности методики. Если же полученный коэффициент превышает табличный, то оценка систематической погрешности принимается значимой и вводится дополнительный критерий. Такая операция выполняется следующим образом:

4.1 Определяется объем выборки посредством анализа входного массива данных.

4.2. Для полученного объема выборки из таблицы выбирается соответствующее значение критерия Стьюдента (таблица занесена в память подпрограммы как массив констант).

4.3. Выбранное значение сравнивается с полученным логическим сравнением «больше или равно» и по результатам выполняется та или иная операция.

Зависимость действий от результата логического сравнение выполняется *Case Structure* (аналог оператора *if* в других языках программирования). Внутри логической структуры снова используется структура *MathScript*.

5. В случае если систематическая погрешность признается незначимой, то, в соответствии с РМГ 61, рассчитываются верхнюю и нижнюю границы показателей, в которых не исключена систематическая погрешность по формуле:

$$\Delta_{C.Bm} = \Delta_{C.Hm} = \Delta_{Cm} = 1,96 \times \sqrt{\frac{S_m^2}{L} + \frac{\Delta_{om}^2}{3}} = 1,96\sigma_{Cm}.$$

Также рассчитывают верхнюю и нижнюю границу, в которых погрешность результата находится с вероятностью 0,95:

$$\Delta_{Bm} = \Delta_{Hm} = \Delta_m = 1,96 \times \sqrt{\sigma_{Rm}^2 + \sigma_{Cm}^2} = 1,96\sigma_m(\Delta).$$

В случае значимой систематической погрешности в каждую из формул добавляется ее учет, и формулы выглядят следующим образом:

$$\Delta_{C.B(H)m} = \Theta_m \pm 1,96\sigma_{Cm};$$

$$\Delta_{B(H)m} = \Theta_m \pm 1,96\sigma_m(\Delta).$$

На рис. 2 показана реализация расчетов входных данных структурой MathScript в CaseStructure.

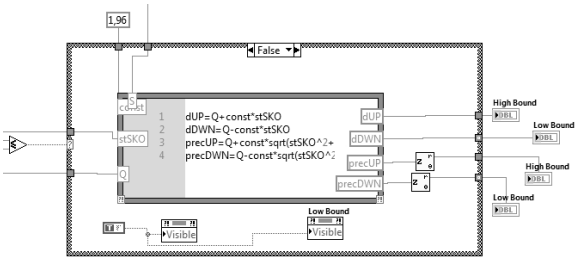


Рис. 2. Расчет параметров в среде LabVIEW

Заключение

Разработан ВП, имеющий открытый программный код, позволяющий в процессе работы быстро настраивать программу на изменяющиеся входные данные.

Автоматизирован процесс обработки массива входных данных под реальную поставленную задачу – химический количественный анализ при проведении ЦЦА.

Список литературы

1. Muravyov S.V., Gavrilenko N.A., Spiridonova A.S., Silushkin S.V. Digital color analysis for chemical measurements based on transparent polymeric optodes // ISMTII-2009: Proceedings of the 9th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments - Saint-Petersburg, Russia, 29 June-2 July 2009. - Saint-Petersburg: IMEKO, 2009. - с. 138-142.

2. РМГ 61-2003 ГСИ. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа.

3. Тревис Дж. LabVIEW для всех. Пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2004. – 544 с.: ил.

4. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСНЫХ МОДУЛЕЙ ДОСТУПА К PLM СИСТЕМАМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Очоа Бикэ А.О.
Научный руководитель: Цапко С.Г., к.т.н., доцент.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: anthonob@tpu.ru

В настоящее время постоянно расширяется круг и сложность задач, решаемых бортовой радиоэлектронной аппаратурой космических аппаратов. В условиях бурно развивающейся области электроники проектировщики сталкиваются с необходимостью сократить время, затрачиваемое на их разработку и корректировку конструкторской документации (КД), а также сократить количество конструкторских ошибок. Все это связано с тем, что до сих пор на некоторых отечественных предприятиях детали оформляются в виде чертежей, на основе которых технологи вручную составляют управляющие программы для ЧПУ. Но количество изготавливаемых изделий постоянно увеличивается, а сложность входящих в их состав деталей повышается. Данный фактор является причиной увеличения времени на разработку технологических программ и подготовки производств. Так же в процессе конструкторско-технологической подготовке производства (КТПП) РЭА принимает участие большое количество специалистов, при этом наблюдается объемный информационный поток файлов различных форматов, созданными в разных CAD/CAE/CAM-системах. Кроме того, в связи со спецификой отрасли, конструкторско-технологическая документация (КТД) постоянно дорабатывается и любые изменения должны оперативно обновляться у каждого участника процессов жизненного цикла (ЖЦ) продукции. Исходя из этого, целью работы является создание различных интерфейсов доступа к информационной системе и массиву данных, которая она оперирует.

Согласно заявленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Сбор информации и анализ современного состояния процессов управления КТД при проектировании РЭА. Разработка модели управления КТД на основе проведенного анализа.
2. Изучение PDM-системы ENOVIA SMARTEAM: возможностей программного средства, пользовательского интерфейса и инструментов администрирования.
3. Реализация процесса управления КТД в PDM-системе ENOVIA SMARTEAM применительно к задачам высокотехнологичного приборостроения.

На основании изученной информации о порядке организации и системном подходе к процессам проектирования изделий радиоэлектроники была составлена типовая схема движения КТД в процессах разработки РЭА (рис.1).

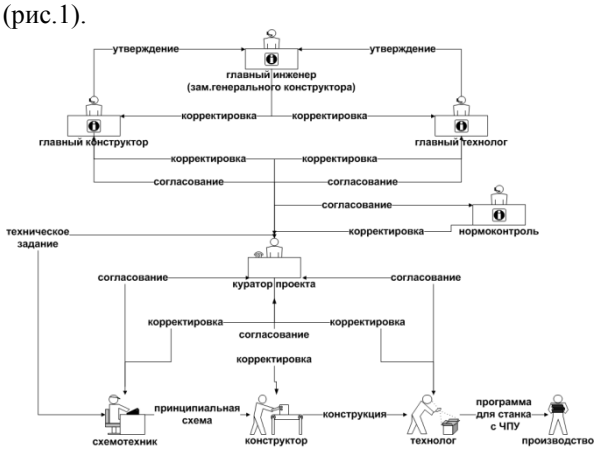


Рисунок 8 Движение КТД в процессе проектирования РЭА.

Данная схема, составленная в соответствии с концепцией командной разработки, предусматривает следующий порядок исполнения процессов проектирования: ведущий менеджер (куратор проекта), руководящий процессом проектирования конкретного объекта, выдает инженеру-схемотехнику техническое задание (ТЗ) на разработку принципиальной схемы согласно конкретным требованиям к функциональности продукции. Схемотехник направляет результаты своей деятельности – схемы, разработанные в специализированном формате САПР, программы тестирования и сопроводительную текстовую документацию на согласование куратору проекта, который может вернуть схемотехнику разработку с замечаниями на корректировку либо согласовать.

В случае согласования проект переходит на следующую стадию – разработанная схемотехником документация передается конструктору, который занимается размещением элементов на плате. На этом этапе работа приобретает уникальный характер в связи с привязкой к определенным геометрическим размерам и форме составных компонент (резисторов, конденсаторов и т.д.).

Результаты своей работы – конструкторскую документацию (КД): конструкцию, разработанную в соответствующем программном средстве, расчеты, спецификацию и другую сопроводительную информацию по проекту конструктор направляет куратору на согласование, который, в свою очередь, может вернуть обратно

на доработку, т.е. потребовать корректировки, или согласовать проект, при этом начинается этап технологической подготовки к производству.

Технолог проверяет поступившую КД и разрабатывает программу для станков с ЧПУ, после чего КТД снова поступает куратору проекта на согласование. Куратор проекта, при отсутствии замечаний на корректировку, передает проект на согласование специалистам отдела нормоконтроля, после согласования которых проектная документация направляется на согласование главному конструктору и главному технологу соответственно. При отсутствии замечаний полный комплект информации поступает на утверждение главному инженеру. При наличии всех необходимых согласований и утверждений, КТД передается в цех, в котором и осуществляется непосредственно производство.

При этом необходимо, чтобы к данному моменту все подготовительные мероприятия, связанные с покупкой определенных комплектующих, были полностью выполнены, поскольку любые несоответствия реальных составных элементов и проектной документации вызовут временные задержки и даже могут стать причиной срыва производства. Это особенно подчеркивает актуальность задачи оперативного электронного документооборота на всех этапах проектирования, с учетом всех согласований и утверждений соответствующими лицами [5-11].

В системе управления данными ENOVIA SMARTEAM промоделирован процесс проектирования радиоэлектронного изделия согласно концепции командной работы. Проведено детальное исследование среды ENOVIA SMARTEAM и приобретен опыт владения данным программным средством на уровне пользователя и администратора, что подчеркивает практическую значимость работы [1-4]. Описана сетевая архитектура и состав модулей указанной PDM-системы, рассмотрены основообразующие понятия ENOVIA SMARTEAM. Разработан шаблон структуры данных и визуально-графические формы для работы с документами, согласно специфике отрасли. Определен состав пользователей PDM-системы, их права, группы и роли. Составлена схема бизнес-процесса (БП) проектирования РЭА, в соответствии которой выполняется деятельность участников. (рис.2)

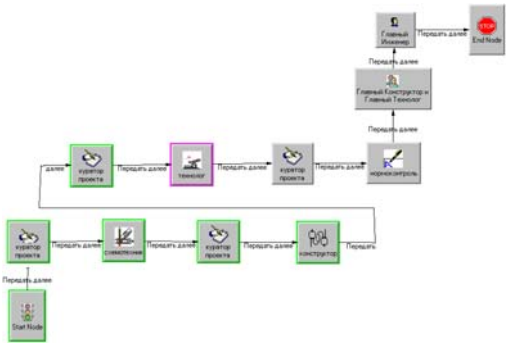


Рисунок 9 Схема БП проектирования РЭА

Список литературы

1. Описание и оценка программы Enovia SmarTeam. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.smarteam.ru/publications/article4/article4.htm свободный.

2. Официальный сайт компании Enovia SmarTeam [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.3ds.com/ru/products/enovia/welcome/ свободный.

3. Организация распределенной работы в ENOVIA Smarteam. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.hetnet.ru/wcmfiles/REM4.pdf свободный.

4. Реализация методологии проектирования сложных изделий в среде систем SmarTeam и CATIA V5. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.catia.ru/articles/article59.htm свободный.

5. Мир управления проектами: Основы, методы, организация, применение / Под ред. Х. Решке, Х. Шелле. — М.: Аланс, 1994. — 303 с.

6. Варжапетян А.Г. Системы управления. Исследование и компьютерное проектирование: [учебное пособие] / А. Г. Варжапетян, В. В. Глущенко. — 2-е изд. — М.: Вузовская книга, 2005. — 328

7. Создание системы информационной поддержки жизненного цикла изделий на основе ИПИ-технологий / Стрекалов А.Ф., Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Червяков Л.М. // Технол. машиностр. - 2005. - N 11(41). - С.70-72. - Библиогр.: 2 назв.

8. Соколов В.П. Технологическая среда параллельного проектирования сложных технических объектов // Интеграция САПР и систем информ. поддержки изделий: матер. междунар. науч.-техн. конф., Соловецкие о-ва, 6-9 сент. 2004. - Архангельск: АГТУ, 2004. - С.38-42.

Стандарты предприятия:

9. Стандарт предприятия СТП 154.173-99
10. Стандарт предприятия СТП 154-180-2001
11. Стандарт предприятия СТП 154-115-81

ПРОЕКТИРОВАНИЕ WEB-СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СТАРТАП-ПРОЕКТОВ

М.Х. Писегов, Е.С. Прокопчук, М.А. Распопина
Научный руководитель: Е. А. Кузьмина, доцент, к.т.н.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: pisegov@gmail.com

Введение

Любые инвестиции требуют проведения прединвестиционных исследований эффективности проекта, которые бы гарантировали положительный результат этих инвестиций. Оценка эффективности инвестиционного проекта подразумевает под собой детальный анализ финансовой и экономической информации о проекте.

Обычно для проведения такой оценки привлекается сторонняя консалтинговая компания, результаты исследований такой оценки станут основой для принятия решения о целесообразности инвестиций. Но такой путь не всегда оправдан и эффективен для начинающих предпринимателей.

Внедрение информационной системы оценки стартап-проектов в среду Интернет – это важнейший этап оптимизации ресурсных и временных затрат на проведение прединвестиционных исследований, а это в свою очередь упрощает и ускоряет процесс модернизации создаваемого проекта. Идея нашего проекта состоит в создании такой системы.

Анализ рынка информационных систем

Для определения необходимых параметров и критериев оценки инновационного проекта был произведен анализ существующих аналогов на рынке систем оценки инновационных и инвестиционных проектов.

На данный момент информационных систем оценки стартап-проектов в Интернете не представлено. Существуют только оффлайн-системы, распространяемые через сайт консалтинговой фирмы. Программу нужно купить и установить на персональный компьютер соответсвующее программное обеспечение. Не все компании предлагают демо-версии, поэтому пользователь не всегда может определить по описанию, будет ли система предоставлять необходимые пользователю расчеты.

Для проведения сравнительного анализа систем-аналогов были выделены следующие критерии:

- род деятельности, целевая аудитория;
- расчет финансовые показателей;
- оценка рисков;
- удобство интерфейса;
- формы представления результатов.

Список систем, по которым проводился анализ:

- Project Expert;
- САПИП;
- Audit Expert;
- Альт-Инвест 6.0;
- Альт-Инвест Сумм 6.0;
- Альт-Инвест-Прим.

По результатам анализа установлено преимущество одних систем по ряду показателей над другими, но самым мощным инструментом по оценке стартап-проектов является система Project Expert. Интерфейс данного продукта удобен, но не отвечает современным запросам со стороны пользователя. С помощью этой системы можно рассчитать целый ряд показателей, однако механизма их расчета скрыт от пользователя, что является недостатком.

Наш проект будет занимать другую нишу на рынке, так как отличительной чертой проекта является возможность работы в режиме онлайн.

Стартап и особенности стартап-проектов

Стартап (от англ. start-up — запускать) — компания с короткой историей операционной деятельности. Как правило, такие компании созданы недавно, находятся в стадии развития или исследования перспективных рынков. Новые проекты в отраслях высоких технологий часто называют хайтек стартап. Также нужно отметить что хотя этот термин можно применять ко всем сферам деятельности, однако преимущественно он получил распространение в сфере IT и интернет проектов.

Основные особенности стартап-проектов:

1. Минимальное количество данных для оценки.
2. Сложность прогнозирования результатов и как итог - повышенные риски.
3. Однако эти риски оправдываются в случае успешной реализации проекта.
4. Энтузиазм и личная заинтересованность исполнителей.
5. Отсутствие привычных стандартов для стартап-проекта. Даже самая четкая концепция проекта может претерпеть серьезные изменения в процессе разработки.

Прототип Web-системы оценки стартапов

Изучив наполнение сайтов, посвященных близкой тематике, были сделаны выводы о том, что создаваемый интернет-портал для оценки стартап-проекта должен содержать как базу знаний, так и непосредственно систему оценки.

База знаний включает в себя ознакомительную информацию о стартап-проектах, а также краткое описание методов и критериев оценки стартап-

проекта. Приведем некоторые показатели, с помощью которых будет производиться оценка:

- Период окупаемости инвестиций
- Коэффициент эффективности инвестиций
- Чистый дисконтированный доход
- Индекс рентабельности инвестиции
- Показатель внутренней нормы прибыли

Система оценки содержит две части: базовую и расширенную.

Базовая часть будет содержать основные критерии и показатели и позволяет пользователю получить поверхностную оценку стартап-проекта в виде краткого отчета.

Для детальной оценки пользователь может запрос на предоставление ему расширенной части, результатом работы которой будет являться полный и подробный отчёт об эффективности и перспективности данного проекта.

Обе части системы будут иметь вид дерева, т.е. на предыдущем шаге ответ пользователя будет учитываться системами, и уже в зависимости от него будет предоставляться следующий критерий и следующий вопрос.

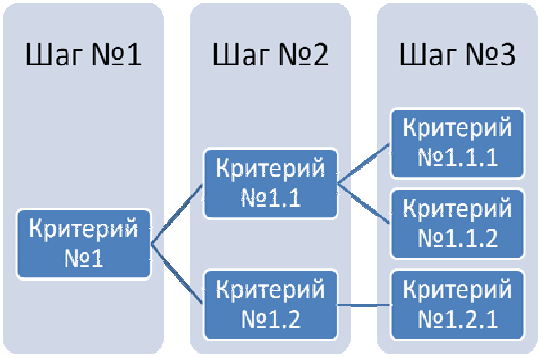


Рис. 1 - Схема работы системы на сайте

Прототип спроектированного сайта разработан на скриптовом языке программирования общего назначения PHP. Данный язык применяется для разработки web-приложений. С помощью него можно легко развернуть информационный портал, а также спроектировать необходимые модули расчетов.

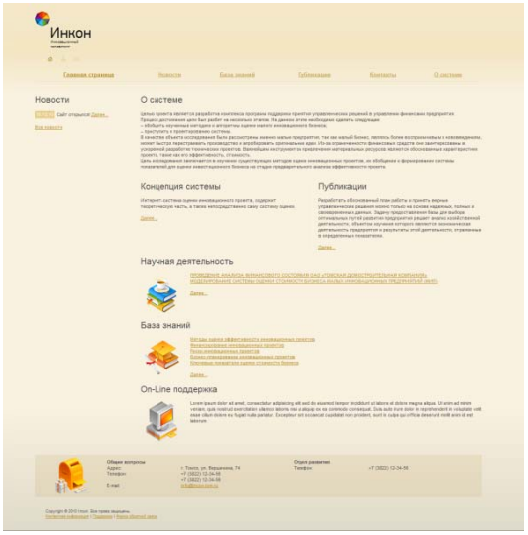


Рис. 2 – Прототип сайта. Главная страница.

Заключение

Принципиальное отличие разрабатываемого проекта от существующих аналогов – это возможность экспресс оценки проектов в режиме on-line и максимально дружественный интерфейс, а, следовательно, простота и удобство в использовании, что является основным недостатком рассмотренных систем.

В дальнейшем работа авторов будет направлена на объединение преимуществ существующих программ (систем) и разработку web-системы по оценке инновационных проектов.

Первоочередная цель — это создание самого сайта, на котором будет находиться ознакомительная информация об инновациях и инновационной деятельности. Следующим этапом будет внедрение непосредственно самой системы.

Литература

1. Бузова И. А., Маховикова Г. А., Терехова В. В. Коммерческая оценка инвестиций /Под ред. Есипова В. Е. — СПб.: Питер, 2004. — 432 с: ил.

2. Валдайцев С.В. Оценка бизнеса.: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2004. – 360 с.

3. Валдайцев С.В. Управление инновационным бизнесом. Пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 343 с.

4. Оценка бизнеса: Учебник / Под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 736с.:ил.

5. Википедия – Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/, свободный.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ В СРЕДЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

Поплетнева К. Ю.
Научный руководитель: Бориков В. Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ksenikus@mail.ru

Созданный виртуальный прибор предназначен для мониторинга процесса микроплазменной обработки материалов импульсными токами. Сформированные в результате обработки оксидные покрытия обладают высокой износостойкостью, механической прочностью, термостойкостью и другими функциональными свойствами. Поэтому в последнее время метод микродугового оксидирования приобретает все большую популярность.

Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) в течение процесса микродугового оксидирования играет очень важную роль. По виду кривой ВАХ можно делать выводы о структуре и свойствах формируемого покрытия.

Созданный виртуальный прибор, лицевая панель которого представлена на рисунке 1, является полнофункциональной виртуальной панелью осциллографа *GDS-71062A*, позволяет работать как в ручном режиме измерений, так и в автоматическом, измерения ВАХ осуществляются через заданные временные интервалы с разрешением до 1 с.

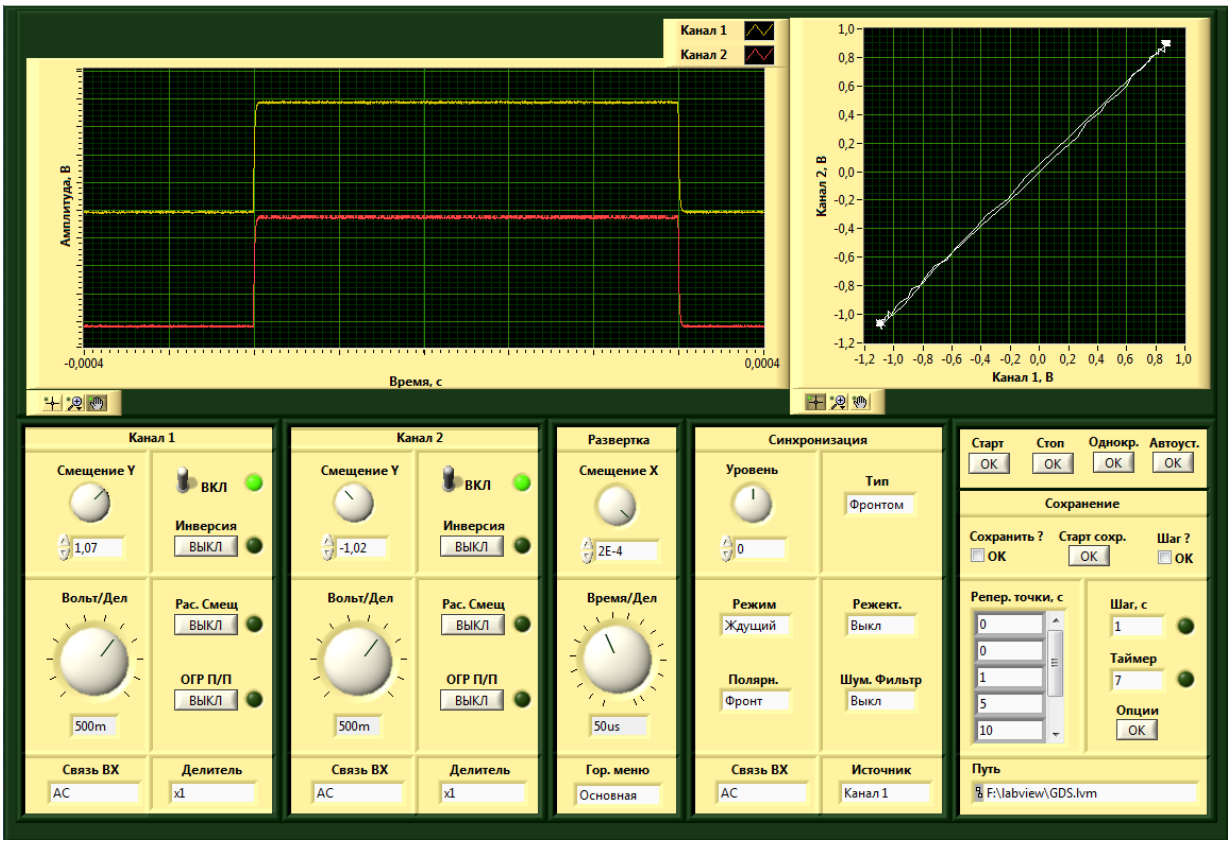


Рис.1 Лицевая панель виртуального осциллографа

Осциллограф является частью системы нанесения покрытий. В общем случае оборудование для микродугового оксидирования включает: специализированный источник питания; ванну, в которой производится подготовка и обработка поверхности; манипулятор для перемещения подвески с деталями (в случае серийного производства); металлоконструкций для размещения ванн и манипулятора.

От источников питания на клеммы ванн подаются импульсы тока трапециевидной формы, при этом деталь выполняет роль анода, в качестве катода служит ванна или дополнительные электроды, как правило, из нержавеющей стали.

Схема подключения оборудования приведена на рисунке 2.

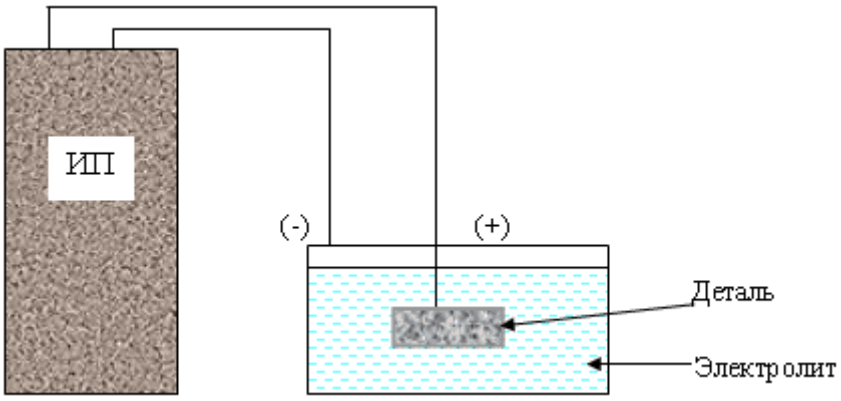


Рис.2 Оборудование для микродугового оксидирования

Для обеспечения процесса микродугового оксидирования импульсными двухполярными токами использовался источник питания КОРУНД-М1.

Технические характеристики источника:

- частота следования импульсов 60 Гц. Основная погрешность установки частоты не превышает 5%;

- величина импульса напряжения от 100 до 600 В с шагом 100 В. Основная погрешность установки амплитуды выходного напряжения не превышает 5%;

- длительность импульса тока от 50 до 200 мкс с шагом 50 мкс. Основная погрешность установки длительности не превышает 5%.

Измерительная часть данной системы нанесения покрытий включает в себя осциллограф. *GDS-71062A,* его виртуальную панель, выполненную в LabVIEW.

На вирутальной панели осциллографа предусмотрено два дисплея. Один отображает формы импульсов тока и напряжения, другой – вольтамперные характеристики в режиме реального времени. Ниже расположена, разделенная на отдельные зоны, область настройки виртуального прибора.

Зоны «канал 1» и «канал 2» абсолютно аналогичны. Позволяют настраивать смещение графика сигнала по оси Y (вверх/вниз), устанавливать параметры сетки (количество вольт на деление).

Зона «развертка» позволяет добиться на экране нужного числа периодов изучаемого сигнала. Настраивается смещение по оси X, параметр время/деление.

Зона «синхронизация» ответственна за синхронизацию изучаемого сигнала и генератора развертки. Предусмотрены следующие режимы синхронизации: ждущий, автоматический, однократный. Настраивается уровень и тип синхронизации: фронтом или срезом.

Также предусмотрено сохранение полученных данных.

Принцип работы системы следующий. Источник КОРУНД-М1 генерирует импульсы напряжения трапециевидной формы (при такой форме импульса процесс нанесения покрытий наиболее экономичный). Импульсы поступают на клеммы ванн. В это время осциллограф *GDS-71062A* измеряет по двум каналам напряжение и ток импульсного сигнала. Через интерфейс USB цифровой осциллограф связан с компьютером.

Здесь начинается программная обработка данных. Виртуальный осциллограф считывает поступающие от *GDS-71062A* данные, строит графики импульсов тока и напряжения (каналы 1,2) и вольтамперную характеристику. При настройке параметров сохранения, записывает полученные данные в текстовый файл.

Разработанный осциллограф позволяет контролировать процесс микродугового оксидирования. Результаты контроля используются для регулировки параметров технологического источника питания с тем, чтобы добиться определенной структуры покрытия.

Список литературы

1 Мамаев А.И., Мамаева В.А., Бориков В.Н., Дорофеева Т.И. Формирование наноструктурных неметаллических неорганических покрытий путем локализации высокоэнергетических потоков на границе раздела фаз: Учеб. Пособие.- Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2010

2 Бориков В.Н., Сарычев С.В., Мамаев А.И. Промышленный источник питания для микродугового оксидирования в водных растворах электролита «Воу-2» // Приборы, 2007, №3

3 Мамаев А. И. Сильнотоковые процессы в растворах электролитов / А. И. Мамаев, В. А. Мамаева. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 255с.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ «ВЕДУЩИЙ-ВЕДОМЫЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ LEGO РОБОТОВ

К.В. Прасолов, М.В Ларин, Т.В Александрова
Томский политехнический университет
Prasolov_k@sibmail.com,Max_kz@sibmail.com

Постановка задачи

Основной проблемой существующих современных мобильных роботов (МР), перемещающихся самостоятельно, без управления со стороны человека, остается навигация. Для успешной навигации в пространстве бортовая система робота должна уметь строить маршрут, управлять параметрами движения (задавать угол поворота колес и скорость их вращения), правильно интерпретировать информацию об окружающей среде, получаемую от датчиков, и постоянно отслеживать собственные координаты.

Важными свойствами системы управления мобильным роботом (МР) является способность к обучению и адаптации, т.е. способность генерировать последовательность действий для решения поставленной цели, а также подстраивать свое поведение под изменяющиеся условия окружающей среды.

При решении задачи управления группами автономных МР особое внимание следует уделить вопросу обеспечения устойчивости конфигураций при наличии навигационных и динамических ошибок, а также ограничений на ресурсы управления.

Одним из возможных способов обеспечения устойчивости конфигурации группового движения МР является управление по принципу “лидер – ведомый”. Ведомые управляют своим движением на основе измерения параметров собственного движения, а также параметров движения своего лидера.

Цель работы

Разработать два алгоритма движения “ведомого” мобильного робота и провести их сравнительный анализ по следующим характеристикам:

- Автономность
- Быстродействие системы
- Точность
- Плавность хода
- Надежность

Решение

Мобильный “ведомый” робот собран из кибернетического конструктора LEGO Mindstorms NXT 2.0. Программирование разработанных алгоритмов осуществлялось с использованием программной платформы LabVIEW Robotics 9.0 [1].

В качестве примера мобильного робота была создана модель автомобиля (рис.1) с использованием 3-х серводвигателей, 2-х датчиков света (имитация фар) и ультразвукового датчика.

Рис.1 Модель мобильного робота

Первый вариант – разработка алгоритма движения, основанного на линейной модели; использование “жесткого” управления.

Созданный алгоритм движения основан на сохранении фиксированного расстояния между “лидером” и роботом “ведомым” при движении по заранее заданной прямолинейной траектории.

Программирование осуществлялось с использованием оператора CASE. Для управления движением МР этот вариант программы был скомпилирован непосредственно в контролер объекта управления.

Плюсы:

Программа подходит для компиляции в NXT контроллер, что позволяет модели работать автономно, без использования компьютера.

Быстродействие системы составляет примерно 0.24 с

Точность выполнения составляет приблизительно 90%, но имеем небольшой, заранее определенный набор значений мощности 30,50,75.

Высокая надежность выполнения алгоритма программы.

Минусы:

Из – за отсутствия возможности постепенного линейного наращивания (убывания) мощности изменение скорости происходит рывками.

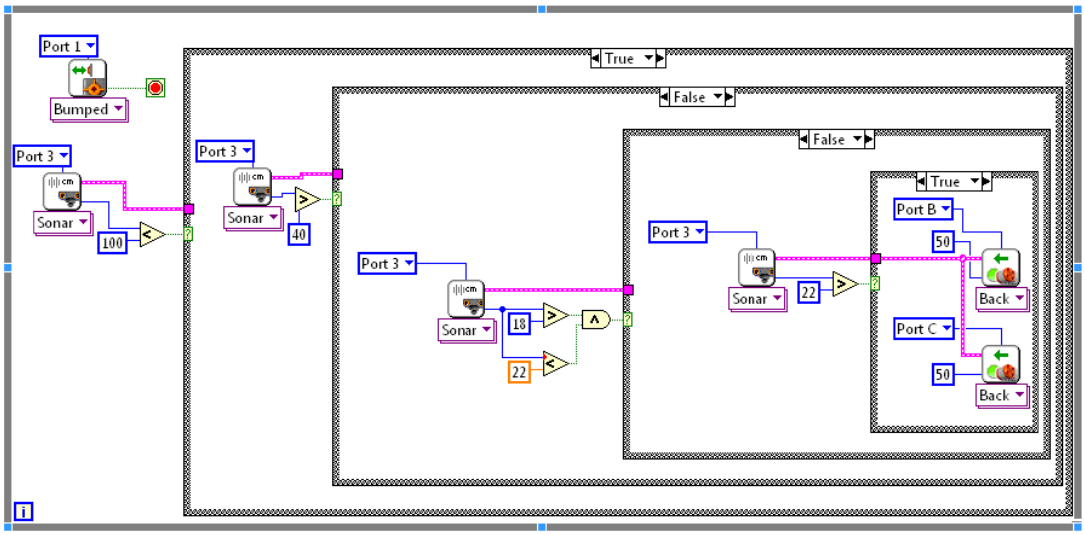


Рис. 2. Пример программы в LabVIEW Robotics

Второй вариант – разработка алгоритма движения с использованием аппарата нечеткой логики.

Для точного выполнения моделью поставленных задач, этот вариант программы требует тщательной настройки:

1 этап: генерация лингвистических правил

2 этап: корректировка функций принадлежности

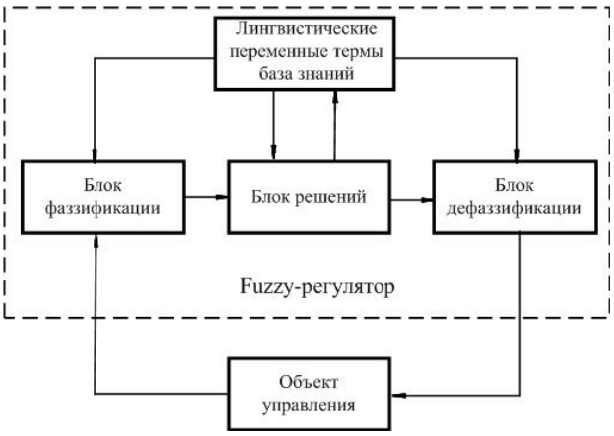


Рис. 2. Функциональная схема системы с нечеткой логикой

Все системы с нечеткой логикой функционируют по одному принципу: показания измерительных приборов фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются, дефаззифицируются и в виде привычных сигналов подаются на исполнительные устройства.

Созданная система правил фаззификации и дефаззификации была записана в отдельный файл формата «fs», который находился на локальном диске компьютера. В процессе работе программы происходит обращение к этому файлу. Полученную программу невозможно скомпилировать непосредственно в контроллер MP, так как он не поддерживает процедуру обращения, и использование созданной системы правил.

Плюсы

Система управления MP с применением нечеткой логики имеет гораздо больший диапазон значений мощности, что обеспечивает более

плавное движения автомобиля (постепенно набирает и сбрасывает скорость).

Быстродействие системы составляет примерно 0.5с

Автомобиль более точно реагирует на изменение расстояние. С изменением расстояния на 1 см мощность двигателей изменяется приблизительно на 3 %, но в связи с маломощностью двигателя и несовершенстве модели мы эти изменения наблюдать не можем.

Выводы:

Результаты проведенных исследований доказали и подтвердили целесообразность использования принципов нечеткого управления для управления поведением мобильного робота в условиях “лидер – ведомый”. Однако в случае использования модели собранной на базе конструктора LEGO Mindstorms NXT 2.0 существует ряд недостатков. Чтобы исключить эти недостатки в дальнейшем в качестве объекта управления планируется использовать мобильный робот более высокого уровня Robotics Starter Kit, который построен на контроллере sbRIO.

Литература

1. Официальный сайт компании National Instruments в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.labview.ru.

2. В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голупов. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. — М.: Физматлит, 2000. — 224 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OLAP ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ СУБЪЕКТОВ РФ

Раевская Е.А.
Научный руководитель: Сарапулова Т.В.
Кузбасский государственный технический университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: helenara@mail.ru

Не секрет, что сегодня одним из основных факторов успешности развития какого-либо предприятия или отрасли в целом является степень эффективности использования информации. Сейчас на предприятиях довольно часто типична парадоксальная ситуация: информация есть и ее очень много. Но она пребывает в хаотичном состоянии: хранится в различных, часто не совместимых источниках, неструктурированна, несогласованна и разрознена, не всегда достоверна и часто ошибочна, ее практически невозможно найти и получить. Производится длительная и зачастую бесполезная генерация гор финансовой отчетности, которая неудобна для анализа, трудна для восприятия, так как создается не для внутреннего управления, а для предоставления внешним контролирующим органам, при этом предоставить отчеты необходимо в довольно короткие сроки. Зачастую при этом используются привычные для всех электронные таблицы и базы данных, которые не обеспечивают гибкий и многоаспектный анализ данных, т.к. имеют жесткую структуру.

Однако существует технология, способная эффективно решить все вышеперечисленные проблемы – это технология OLAP. Для того, чтобы продемонстрировать основные ее особенности, было проанализировано экономическое положение субъектов РФ в сфере сельского хозяйства. Для этого был создан куб данных, с помощью которого можно производить всевозможные операции для анализа информации.

Необходимость исследования тенденций экономического развития субъектов РФ обусловлена тем, что уровень жизни и благополучия населения зависит от того, насколько тщательно проведен анализ положение региона. В связи с этим, на сегодняшний день актуально изучение состояния и развития хозяйственной деятельности отдельных регионов страны.

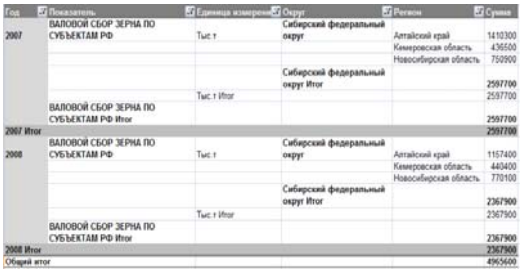
Основой для анализа являются статистические данные, предоставляемые ежегодно Росстатом [1]. Но значительные объемы и неоднородность имеющихся данных вызывает ряд сложностей при исследовании. Основной проблемой становится предоставление пользователю агрегатных данных для различных выборок из исходного набора в удобном для восприятия и анализа виде, т.е. необходим процесс отсеивания и предварительной обработки данных с целью предоставления результирующей информации пользователям для статистического анализа и создания аналитических отчетов.

Для наглядного визуального представления статистических показателей была использована технология комплексного многомерного анализа данных **OLAP,** которая позволяет конечному пользователю получить результаты анализа в многомерном концептуальном представлении, причем с полной поддержкой иерархий в минимальный срок [2]. К тому же, благодаря такой модели данных пользователи без знания программирования могут формулировать сложные запросы, генерировать отчеты, получать подмножества данных.

Построение информационной системы проходило в три этапа (рис. 1).

Рис.1. Этапы построения информационной системы

Средствами службы Analysis Services, представляющей собой многомерную СУБД, работающую в связке с SQL Server, был создан OLAP-куб, а использование службы OLAP Cube Wizard позволило построить куб данных в виде сводной таблицы MS Excel (рис.2).



Год	Показатель	Единица измерения	Округ	Регион	Сумма
2007	ВАЛОВОЙ СБОР ЗЕРНА ПО СУБЪЕКТАМ РФ	Тыс.т	Сибирский федеральный округ	Алтайский край	1410300
				Кемеровская область	436500
				Новосибирская область	750900
			Сибирский федеральный округ Итог		2597700
		Тыс.т Итог			2597700
	ВАЛОВОЙ СБОР ЗЕРНА ПО СУБЪЕКТАМ РФ Итог				2597700
2007 Итог					2597700
2008	ВАЛОВОЙ СБОР ЗЕРНА ПО СУБЪЕКТАМ РФ	Тыс.т	Сибирский федеральный округ	Алтайский край	1157400
				Кемеровская область	440400
				Новосибирская область	770100
			Сибирский федеральный округ Итог		2367900
		Тыс.т Итог			2367900
	ВАЛОВОЙ СБОР ЗЕРНА ПО СУБЪЕКТАМ РФ Итог				2367900
2008 Итог					2367900
Общий итог					4965600

Рис.2. Куб данных в виде сводной таблицы

На основе статистических данных было проведено исследование экономического положения субъектов РФ в сфере агропромышленного комплекса. Если рассмотреть на примере, то представляется возможным сделать конкретный запрос по Кемеровской области, выбрать информации по валовому сбору зерна и указать необходимые периоды времени, при этом, не загромождая отчет неактуальной информацией. В итоге, можно сделать вывод о том, что

наблюдается рост производства зерна, и за последние 10 лет он вырос практически на 20000 млн. тонн (рис. 3).

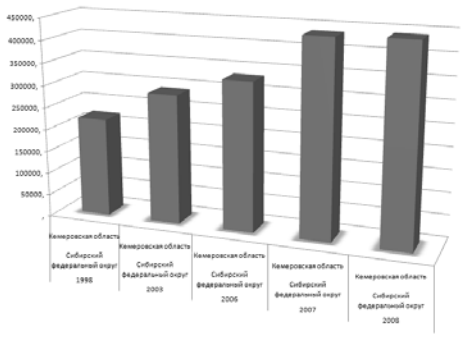


Рис. 3. Динамика валового сбора зерна по Кемеровской области

Таким образом, совершая операции непосредственно над кубом, можно получать нужные сведения для решения конкретно поставленных экономических задач, связанных с планированием, что позволяет существенно сэкономить как временные и трудовые затраты, так и финансовые.

В ходе проведенного исследования четко обозначается вывод о том, что использование OLAP представляется наиболее удачным при решении различного рода задач, связанных с обработкой информации, и имеет большое количество преимуществ по сравнению с электронными таблицами и хранилищами данных:

1. Решается проблема несовместимости ERP – систем и разрозненного хранения данных за счет использования единого хранилища, взаимодействуя с которым, появляется возможность для проведения различных видов анализа (анализ выполнения плана, анализ зависимостей, сравнительный анализ, анализ динамики), составления отчетности, мониторинга, прогнозирования, а так же для дальнейшего экспорта в другие информационные системы.
2. OLAP - удобный инструмент многомерного, динамического и интерактивного анализа данных. Традиционные отчеты, даже построенные на основе единого хранилища, лишены одного - гибкости. Их нельзя "развернуть" или "свернуть", чтобы получить желаемое представление данных. Поэтому, если возникает необходимость в дополнительном анализе, таких отчетов оказывается недостаточно и требуется подготовка нового. В отличие от этого, данная информационная система использует куб данных, в котором возможно изменение измерений и представления данных так, как это удобно для анализа.
3. Многомерное визуальное представление. Появляется возможность менять структуру отчета в интерактивном режиме, переключаться с табличного представления на графическое, убирать ненужные сведения и детализировать нужные, переходить с детальных данных на итоги.
4. Минимальное время обработки запроса и доступа к данным.
5. Главной особенностью этой технологии является то, что она ориентирована на использование не специалистом в области информационных технологий, а профессионалом в прикладной области – среднестатистическим менеджером. Она предназначена для общения аналитика с проблемой, а не с компьютером.

Однако, как и любая технология, OLAP также имеет свои недостатки: высокие требования к аппаратному обеспечению, подготовке и знаниям административного персонала и конечных пользователей, высокие затраты на реализацию проекта внедрения (как денежные, так и временные, интеллектуальные). Но несмотря на то, что стоимость аналитических систем даже сегодня остается достаточно высокой, а методологии и технологии реализации таких систем находятся ещё в стадии их становления, уже сегодня, экономический эффект обеспечиваемый ими существенно превышает эффект от традиционных оперативных систем.

Однако не следует и заблуждаться. Высокий экономический эффект обеспечивает не сама система, а люди с ней работающие. Современные аналитические системы не являются системами искусственного интеллекта, и они не могут ни помочь, ни помешать в принятии решения. Их цель своевременно обеспечить менеджера всей информацией необходимой для принятия решения в удобном виде.

Остается сказать только одно, подобные системы могут помочь разрешить многие проблемы современной хозяйственной деятельности и могут иметь далеко идущий положительный эффект.

На примере созданной информационной системы, не трудно заметить, что эффективность работы с информацией при использовании OLAP повышается в разы, по сравнению с использованием стандартных средств. К тому же, данная система может использоваться различными предприятиями, деятельность которых связана с обработкой больших объемов статистической информации, финансовых потоков и т.д.

Литература

1. Российский статистический ежегодник. – М.: Росстат, 2009.

2. Бергер А. Microsoft SQL Server 2005 Analysis Services. OLAP и многомерный анализ данных. – СПб, 2007 – 928 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СМЕШАННОГО УПРАВЛЕНИЯ БИЛИНЕЙНЫМИ ОКРЕСТНОСТНЫМИ СИСТЕМАМИ

Роенко С.С.
Научный руководитель: Шмырин А.М., д.т.н., профессор
Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30
E-mail: roenko2004@mail.ru

Введение

Для моделирования сложных дискретных систем, имеющие нелинейные связи между подсистемами удобно использовать билинейные окрестностные системы, которые являются новым направлением в моделировании. Возникла необходимость в обеспечении математического аппарата окрестностных систем программным комплексом. Используя методологию объектно-ориентированного программирования, автору удалось разработать программы, позволяющие в общем виде работать с билинейными системами, а именно: параметрическая идентификация билинейных окрестностных систем с возможностью задания четких или нечетких окрестностей по состоянию и управлению, смешанное управление билинейными окрестностными системами с возможностью задания четких или нечетких окрестностей по состоянию и управлению, построение усредненных моделей различных функций с помощью окрестностных билинейных систем, а также моделирование работы нейронных сетей окрестностными билинейными системами.

Разработанные программы обобщают все ранее написанные программы в области окрестностных систем.

1. Особенности программной реализации алгоритмов параметрической идентификации и смешанного управления

Для алгоритмов параметрической идентификации и смешанного управления билинейными окрестностными системами был разработан ряд дополнений, которые существенно модернизировали эти алгоритмы, что позволило реализовать их в программном виде. К ним относятся формирование матриц-шаблонов неизвестных параметров, специальная процедура перемножения матриц, формирование вспомогательных матриц и др.

Для описания системных матриц-параметров билинейной окрестностной системы, являющихся объектами, согласно методологии ООП, и операций с ними создан специальный класс *Matrix*. В нем реализуются следующие функции: определение количества строк матрицы, определение количества столбцов матрицы, транспонирование матрицы, умножение матрицы на число, сложение двух матриц, умножение матриц и нахождение псевдообратной матрицы по методу Гревиля. Все эти методы вызываются из построенного по умолчанию класса *Form1* во время выполнения кода по нажатию соответствующей кнопки на форме.

Разработанные программы имеют универсальную структуру, что позволяет задание неограниченного количества узлов (причем возможно задание системы из одного узла), неограниченного количества строк в матрицах-параметрах, векторов состояний и управлений, а также четких или нечетких окрестностей по входам и состояниям. Задание окрестностей в программе представляет собой задание матриц инцидентностей. Если окрестности четкие, то в матрицу инцидентности проставляются целые значения. При нечетких окрестностях – значения окрестностей выражаются десятичной дробью. Проведение операций с матрицами инцидентностей позволяет учитывать структуру системы. Количество неизвестных параметров в программах параметрической идентификации и смешанного управления может быть любым и определяется практическими соображениями. В случае неизвестности всех параметров будет получено нулевое тривиальное решение. В общем случае, чем меньше количество неизвестных, тем точнее решение. Хотя и при большом количестве неизвестных параметров разработанные программы выдают достаточно точное решение.

2. Примеры работы программы параметрической идентификации окрестностных систем

Продемонстрируем работу программы параметрической идентификации окрестностных систем, произведя идентификацию линейной и билинейной окрестностных систем, состоящих из 2-х узлов с матрицами-параметрами размерности 2×2.

Пример 1. Итак, решим задачу параметрической идентификации линейной окрестностной системы, состоящей из двух узлов.

Окрестности по состоянию и управлению:

$$O_x[a_1]=\{a_1,a_2\}, O_x[a_2]=\{a_1,a_2\}, O_v[a_1]=\{a_1\}, O_v[a_2]=\{a_2\}.$$

Матрицы инцидентностей, описывающие окрестности, имеют следующий вид:

$$O_x[a_1,a_2]=\begin{bmatrix}1 & 1\\ 1 & 1\end{bmatrix}, O_v[a_1,a_2]=\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{bmatrix}.$$

В первом уравнении системы

$$w_x[1,1]=\begin{bmatrix}9 & w_1\\ 2 & 5\end{bmatrix}, w_x[1,2]=\begin{bmatrix}4 & -1\\ w_2 & 8\end{bmatrix}, w_v[1,1]=\begin{bmatrix}12 & w_3\\ -4 & 2{,}1\end{bmatrix}, w_v[1,2]=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix},$$

Во втором уравнении системы

$$w_x[2,1]=\begin{bmatrix}w_4 & 7\\ 3 & 1\end{bmatrix}, w_x[2,2]=\begin{bmatrix}4{,}6 & -3\\ w_5 & 2\end{bmatrix}, w_v[2,1]=\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}, w_v[2,2]=\begin{bmatrix}-2 & 7\\ 5 & w_6\end{bmatrix},$$

Заданы состояния и управления в обоих узлах системы:

$$x[1]=\begin{bmatrix}3\\4\end{bmatrix}, x[2]=\begin{bmatrix}2\\5\end{bmatrix}, v[1]=\begin{bmatrix}4\\6\end{bmatrix}, v[2]=\begin{bmatrix}2\\-1\end{bmatrix}$$

Используя программу параметрической идентификации, получаем искомые элементы матриц-параметров: w_1 = -6, w_2 = -31,3, w_3 = -9, w_4 = 0, w_5 = -13,2, w_6 = 6,6. Отклонение левых частей уравнений от правых: 0,0 %.

Пример 2. Требуется решить задачу параметрической идентификации билинейной окрестностной системы, состоящей из двух узлов.

Окрестности по состоянию и управлению:

$$O_x[a_1]=\{a_1,a_2\}, O_x[a_2]=\{a_1,a_2\}, O_v[a_1]=\{a_1\}, O_v[a_2]=\{a_2\}.$$

Матрицы инцидентностей, описывающие окрестности, имеют следующий вид:

$$O_x[a_1,a_2]=\begin{bmatrix}1&1\\1&1\end{bmatrix}, O_v[a_1,a_2]=\begin{bmatrix}1&0\\0&1\end{bmatrix}.$$

В первом уравнении системы

$$w_x[1,1]=\begin{bmatrix}w_1&5,5\\2&4\end{bmatrix}, w_x[1,2]=\begin{bmatrix}3&w_2\\17&-9\end{bmatrix}, w_v[1,1]=\begin{bmatrix}1&16\\8&5,1\end{bmatrix}, w_v[1,2]=\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix},$$

$$w_{xv}[1,1,1]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}2&3\\1&w_3\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}-4&5\\8&1\end{bmatrix}\end{bmatrix}, w_{xv}[1,1,2]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix},$$

$$w_{xv}[1,2,1]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}3&2\\w_4&1\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}6&9\\-15&4\end{bmatrix}\end{bmatrix}, w_{xv}[1,2,2]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}.$$

Во втором уравнении системы

$$w_x[2,1]=\begin{bmatrix}1&3\\4&w_5\end{bmatrix}, w_x[2,2]=\begin{bmatrix}-2&7,4\\15&w_6\end{bmatrix}, w_v[2,1]=\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}, w_v[2,2]=\begin{bmatrix}2&7\\w_7&9\end{bmatrix},$$

$$w_{xv}[2,1,1]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}, w_{xv}[2,1,2]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}4&3\\1&12\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}5&7\\3&w_8\end{bmatrix}\end{bmatrix},$$

$$w_{xv}[2,2,1]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}0&0\\0&0\end{bmatrix}\end{bmatrix}, w_{xv}[2,2,2]=\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}w_9&-2\\17&4\end{bmatrix}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\begin{bmatrix}2,2&3\\8&6\end{bmatrix}\end{bmatrix}.$$

Заданы состояния и управления в обоих узлах системы:

$$x[1]=\begin{bmatrix}6\\2\end{bmatrix}, x[2]=\begin{bmatrix}5\\4\end{bmatrix}, v[1]=\begin{bmatrix}3\\2\end{bmatrix}, v[2]=\begin{bmatrix}1\\-2\end{bmatrix}.$$

Используя программу параметрической идентификации, получаем искомые элементы матриц-параметров: w_1 = 0, w_2 = -72, w_3 = -2,65, w_4 = -6,62, w_5 = -2,59, w_6 = -5,19, w_7 = -1,3, w_8 = 5,19, w_9 = 18,48. Отклонение левых частей уравнений от правых: 0,0 %.

Заключение

В работе представлены особенности реализации программного комплекса для работы с билинейными окрестностными системами, а также приведены примеры, демонстрирующие работу разработанных программ.

Список использованных источников

1. Блюмин С.Л. Окрестностные системы / С.Л. Блюмин, А.М. Шмырин – Липецк: Липецкий эколого-гуманитарный институт, 2005. – 132 с.

2. Блюмин С.Л. Билинейные окрестностные системы/ С.Л. Блюмин, А.М. Шмырин, О.А. Шмырина. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 130 с.

СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ОТНОСИТЕЛЬНО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РЕГИОНА

Ф.В. Саврасов, С.В. Ларионов
Научный руководитель: Рейзлин В.И., к.ф-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
savrasov@tpu.ru

За последнее время появились разнообразные технические решения, направленные на автоматизацию диспетчерских служб управления транспортными средствами. Диапазон этих разработок достаточно широк: от автономных программных комплексов, устанавливаемых на транспортное средство (ТС) до серьёзных аппаратно–программных решений, предполагающих использование технологии «клиент-сервер» с передачей данных по спутниковым, сотовым и радиоканалам.

Рис. 1. Простейшая схема взаимодействия мобильного транспортного средства с диспетчерским центром.

При этом одной из основных задач, которую обязана решать система, является корректное

определение текущего географического местоположения ТС (фактически, определение текущих координат ТС с точки зрения их принадлежности тому или иному региону - району города, кварталу, географической зоне, и т.д). Т.к. ТС непрерывно находится в движении, то его местонахождение постоянно претерпевает изменение.

Для решения вышеописанной задачи необходимо соответствующее техническое оснащение, включающее:

- устройство для получения координат (как правило, используются GPS- либо ГЛОНАСС-приёмники с антеннами соответствующего типа);
- аппаратно-программный комплекс (АПК), позволяющий вести обработку поступающих координат с целью статистического мониторинга и решения различного рода навигационных задач;
- канал связи (КС), по которому осуществляется связь между диспетчерским центром и ТС.

При отсутствии КС либо при нецелесообразности его использования ввиду каких-либо причин (дороговизна трафика, недостаточная устойчивость к помехам, временное отсутствие) для поддержки возможности оперативного контроля над местонахождением ТС необходимо, чтобы навигационные задачи решались теми средствами, которые возможно задействовать на самом ТС (например, бортовой компьютер либо специализированное устройство). Как правило, эти средства достаточно ограничены по своим параметрам относительно высокопроизводительных серверов, что обуславливает специфику области их использования и накладывает ряд требований, предъявляемых вычислительным алгоритмам и методам, предназначенным для полноценного функционирования в системе.

Рассмотрим способ реализации подзадачи определения принадлежности ТС тому или иному географическому региону с использованием автономного телекоммуникационного терминала (АТТ) «Мобис» (рис. 2). Данное устройство содержит процессор AT91RM9200 с тактовой частотой 192 Мгц, 32 Мб ОЗУ и внутренний накопитель памяти ёмкостью 128 Мб.

На входе программа расчёта получает следующие данные:

- текущие координаты ТС;
- массив координат точек полигонов, задающих конкретные районы.

Текущие координаты (а также такие параметры, как скорость, время, и т.д.) «Мобис» получает от встроенного GPS-приёмника. Информация о координатах географического региона закладывается на АТТ удалённо либо при инсталляции необходимого программного обеспечения (ПО) и хранится в таблицах БД (СУБД — SQLite), имеющих структуру, приведённую ниже.

Рис. 2. Терминал «Мобис» с дисплейно-клавиатурным модулем.

Таблица «Регионы» («regions») - таблица, содержащая описание всех регионов (остановки, городские районы, области, и т.п.), её поля:

- *id_region* — автоиндекс;
- *name* — географическое название региона;
- *type* — тип региона:
  1. окружность (состоит из центра и радиуса);
  2. квадрат (состоит из левого верхнего угла и размера стороны);
  3. прямоугольник (состоит из верхнего левого и правого нижнего углов);
  4. треугольник (состоит из трех вершин);
  5. многоугольник (состоит из произвольного множества вершин).

Таблица «Точки» («points») — таблица, содержащие координаты точек, из которых формируются регионы:

- *id_point* — автоиндекс;
- *latitude* — широта;
- *longitude* — долгота.

Таблица «Точки в регионах» («points_in_regions») — таблица, устанавливающая связь N:M между точками и регионами. Регион состоит из произвольного числа точек. Точка может входить в произвольное число регионов.

- *id_points_in_regions* — автоиндекс;
- *to_point* — указатель на точку, входящую в данный регион;
- *to_region* — указатель на регион, к которому относится эта точка.

Необходимо отметить, что поле *id_points_in_regions* определяет порядок, согласно которому записи из таблицы «Точки» относятся к выбранному региону (например, порядок обхода точек для многоугольника). При типе региона

«окружность» потребуется две записи: первая указывает координаты центра, во второй поле *latitude* обозначает величину радиуса, а поле *longitude* не заполняется. Аналогичным образом формируются записи для остальных типов регионов.

На выходе имеется информация, находится или нет ТС в исследуемом регионе. Сам алгоритм определения принадлежности региону базируется на методах, описанных в [1], при этом он модифицирован следующим образом:

- изначально все регионы в имеющейся подсистеме описываются прямоугольниками, и координаты этих прямоугольников заносятся в специальную таблицу;
- далее, уже в ходе работы алгоритма, при поступлении очередной координаты проверяется, в какие из описываемых прямоугольных областей она попадает (их может быть несколько, например, точка может входить в полигон маршрутной остановки и полигон городского микрорайона);
- для описанного региона с учётом его типа проверяется нахождение точки внутри него.

Данная модификация реализована с целью снижения нагрузки на процессор терминала (отсутствует необходимость проверять нахождение точки в регионах, изначально неподходящих по координатным значениям).

Вышеописанный АПК «Мобис» в настоящий момент функционирует на автомобилях МЛПМУ «Станция скорой медицинской помощи» г. Томска.

Литература:

1. Ласло М. Вычислительная геометрия и компьютерная графика на C++. – М.: Бином, 1997. – 301 с.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИМЕНЕНИЕМ НАКАПЛИВАЮЩЕГО АЛГОРИТМА

Савченко Д. И.
Научный руководитель: Музыченко О.Н., д.т.н., профессор
НПФ «Меридиан», 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Блохина, 19
E-mail: cfdX@list.ru

Успешность и эффективность выполнения задач кораблями ВМФ в значительной степени определяются полнотой и достоверностью используемой информации о целевой обстановке (ЦО). Так как современные корабли оснащаются большим числом средств и систем, осуществляющих обнаружение и сопровождение воздушных и надводных целей, возникает задача отождествления информации от нескольких источников (ИИ), результатом решения которой является единая ЦО – более полная и достоверная по сравнению с данными отдельных ИИ.

Так как с течением времени ЦО изменяется (цели меняют свои координаты и параметры движения, появляются новые объекты, ИИ теряют и берут цели на сопровождение), задача отождествления решается в корабельных системах регулярно, как правило, с некоторым периодом T. Алгоритмы отождествления, выполняемые для принятия решений о тождественности или не тождественности формуляров целей (ФЦ) от пары ИИ на каждом цикле, рассмотрены, например, в [1, 2, 3]. Далее эти (или аналогичные) алгоритмы будем называть алгоритмами отождествления данных в один момент времени (АОДОМ). Так как решения о принадлежности или не принадлежности каждой пары ФЦ от разных ИИ одному реальному объекту принимаются регулярно (в разные моменты времени и по разным замерам), то возможно повышение вероятностей принятия правильных решений, а также устранение последствий аномальных измерений и случайных выбросов, путем учета результатов выполнения АОДОМ для каждой пары ФЦ в n моментов времени.

Количество ФЦ от первого ИИ (ИИ1) обозначим N, от второго ИИ (ИИ2) – M. Для облегчения формальной записи введем N дополнительных фиктивных ФЦ от ИИ2 с номерами из диапазона $[M+1,M+N]$ (реальные ФЦ имеют номера с 1 по M) и будем считать, что если ФЦ с номером i от ИИ1 АОДОМ признан не отождествленным, то он отождествлен с фиктивным ФЦ с номером $M+i$ от ИИ2.

Для каждого ФЦ с номером k от ИИ1 имеется последовательность H_k из n номеров ФЦ от ИИ2, с которыми он был отождествлен на последних n циклах работы АОДОМ:

$$H_k = \{h_{1,k}, h_{2,k}, ...h_{n,k}\},$$

где $h_{i,k} \in \{1,..,M\} \cup \{M+k\}$ – номер ФЦ от ИИ2, с которым был отождествлен ФЦ от ИИ1 i вызовов АОДОМ назад.

Рассмотрим ситуацию, когда от ИИ1 имеется всего один ФЦ (N=1). В этом случае рациональным будет выбирать ФЦ от ИИ2, с которыми должен быть отождествлен

единственный ФЦ от ИИ1, по решающему правилу (РП), формально записываемому в виде:

$$g' = \arg \max_{g \in \{1..M+1\}} \sum_{i=1}^{n} \beta\left(h_{i,1} = g\right), \qquad (1)$$

где β – функция, возвращающая единицу при истинном значении своего аргумента (то есть при $h_{i,1} = g$) и ноль в противном случае.

То есть выбираться должен тот ФЦ от ИИ2, номер которого встречается в последовательности H_1 наибольшее число раз (за который отдано больше всего голосов). Если таких номеров несколько, то выбор среди них произволен.

Для получения выражения для вероятности принятия правильного решения по РП (1) введем ряд допущений:

- будем считать, что ИИ2 не меняет перечня сопровождаемых целей в течение $n \cdot T$ секунд (сопровождает M одних и тех же объектов);

- будем считать, что события, заключающиеся в принятии АОДОМ решения о тождественности ФЦ от ИИ1 с каким-либо из ФЦ (включая фиктивный) от ИИ2 в каждом из n моментов времени, независимы.

Пусть единственный ФЦ от ИИ1 принадлежит той же реальной цели, что и g -ый ФЦ от ИИ2 (с учетом фиктивного ФЦ, $g \in \{1,..,M+1\}$).

Допустимый результат голосования представляет собой упорядоченный набор из нулей и натуральных чисел:

$$s_m = \{n_{1,m}, n_{2,m}, .., n_{M+1,m}\} = \{n_{i,m}\}_{i=1..M+1},$$

где $n_{i,m} \in \{0,..,n\}$ – количество повторений в последовательности H_1 номера i ФЦ от ИИ2.

Причем для этого набора всегда выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^{M+1} n_{i,m} = n.$$

Обозначим S множество всех наборов s_m. Можно ввести в рассмотрение подмножество S_g множества S, определяемое следующим образом:

$$S_g = \left\{ s_m \mid s_m \in S \wedge \bigcap_{i=1}^{M+1} \left(n_{g,m} \geq n_{i,m}\right) \right\},$$

которое, в свою очередь, может быть разбито на подмножества S_g^{γ}, определяемые как:

$$S_g^{\gamma} = \left\{ s_m \mid s_m \in S_g \wedge \left(\sum_{i=1}^{M+1} \beta\left(n_{i,m} = n_{g,m}\right) = \gamma \right) \right\}.$$

S_g^{γ} представляет собой множество наборов s_m, на которых максимальное количество голосов набирает ФЦ с номером g от ИИ2, но кроме того, имеется $(\gamma - 1)$ других ФЦ, набравших такое же число голосов. Очевидно, что для всех $\gamma \notin [1, n]$ S_g^{γ} являются пустыми множествами.

Считаем, что при $\gamma > 1$ выбор среди γ номеров, набравших одинаковое наибольшее количество голосов, в РП (1) осуществляется произвольно. Тогда общее выражения для вероятности выбора ФЦ g РП (1) записывается (с использованием обобщенного Бинома Ньютона) в виде:

$$P = n! \cdot \sum_{\gamma=1}^{n} \left(\gamma^{-1} \cdot \sum_{s_m \in S_g^{\gamma}} \prod_{i=1}^{M+1} \frac{P_{1,i}^{\,n_{i,m}}}{n_{i,m}!} \right),$$

где $P_{1,i}$ – вероятность принятия АОДОМ решения о тождественности единственного ФЦ от ИИ1 с i-ым ФЦ от ИИ2.

Графики зависимостей вероятности принятия правильного решения РП (1) от вероятности принятия правильного решения АОДОМ для различных значений M и n представлены на рисунке 1. При построении графиков предполагалось, что вероятности ошибочного отождествления с любым ФЦ (в том числе с фиктивным, то есть ошибочное неотождествление) от ИИ2 с номером, отличным от g, одинаковы.

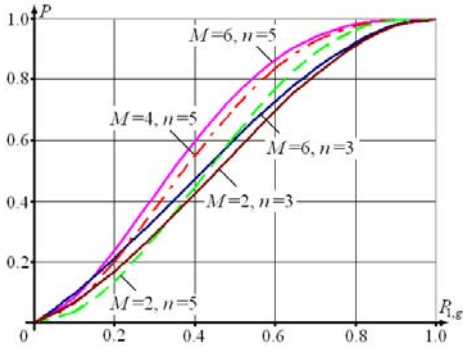


Рис. 1 Вероятности правильных решений

В общем случае, когда от ИИ1 имеется N ФЦ, и, соответственно, N последовательностей H_k, результатом работы алгоритма будет не один номер g' ФЦ от ИИ2, а упорядоченный набор:

$$G_l = \{g_{1,l}, g_{2,l}, ..., g_{N,l}\},$$

где $g_{i,l} \in \{1,..,M\} \cup \{M+l\}$ – номер ФЦ от ИИ2, с которым отождествляется i-ый ФЦ от ИИ1.

Для любой допустимой последовательности G_l, очевидно, должно выполняться условие $\forall i \neq j : g_{i,l} \neq g_{j,l}$, так как ФЦ от ИИ2 не может быть отождествлен с двумя и более ФЦ от ИИ1.

В качестве итоговой, разумно выбирать такую последовательность G_l, за которую в сумме отдано наибольшее число голосов, поэтому РП формально можно записать в виде:

$$G' = \arg \max_{G_l} \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{n} \beta(h_{j,i} = g_{i,l}).$$

Переборная реализация данного РП оказывается весьма трудоемкой. Однако можно ввести в рассмотрение матрицу R размерности $N \times (N+M)$, элементы которой определяются следующим образом:

$$r_{i,j} = \begin{cases} w_{i,j}, & w_{i,j} \neq 0 \\ -\beta(i \neq j - M), & w_{i,j} = 0 \end{cases},$$

где $w_{i,j} = \sum_{m=1}^{n} \beta(h_{m,i} = j)$.

Данная матрица представляет собой матрицу весов полного двудольного графа (ДГ), совершенное паросочетание максимального веса (СПМВ) в котором будет однозначно характеризовать искомую последовательность G'. Для поиска СПМВ в ДГ широкое применение находит Венгерский метод, известная модификация которого обладает сложностью $O(n^3)$ [4].

Нахождение аналитического выражения для вероятности принятия правильного решения в общем случае представляет значительные трудности математического характера, тем не менее, можно утверждать, что в большинстве практических ситуаций применение данного алгоритма будет приводить к увеличению вероятностей принятия правильных решений.

Выбор значения n на практике должен осуществляться исходя из требований к максимальной задержке между моментами взятия цели на сопровождение и принятия решения о тождественности ФЦ. В самых благоприятных условиях эта задержка составляет $]0.5 \cdot n[\cdot T$.

Таким образом, предложенный алгоритм обеспечивает повышение вероятностей принятия правильных решений и обладает относительно малой *O*-сложностью, что обуславливает возможность его применения при отождествлении информации в современных системах управления.

Список литературы

1. Савченко Д.И. Алгоритм отождествления информации двух источников для систем управления оружием надводных кораблей // Молодежь. Техника. Космос: труды III Международной молодежной науч.-техн. конф . – СПб: БГТУ, 2011.

2. Музыченко О.Н., Савченко Д.И. Использование теории графов для отождествления целевой информации // Сборник докладов науч.-техн. конф. «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов». – М: ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2009. – с. 132-136.

3. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки радиолокационной информации – М.: Сов. радио, 1974. – 432 с.

4. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. – М: Мир, 1984. – 510 с.

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Савченко Д. И.
Научный руководитель: Музыченко О.Н., д.т.н., профессор
НПФ «Меридиан», 197198, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Блохина, 19
E-mail: cfdX@list.ru

Необходимой составляющей перечня задач, решаемых в любой системе управления, получающей данные от нескольких источников информации (ИИ) о целевой обстановке (ЦО), является задача отождествления формуляров целей (ФЦ) от всех ИИ и формирования единой ЦО [1]. При ее решении часто возникает необходимость в оценке качества получаемого результата, причем, в большинстве случаев, требуется, чтобы соответствующий признак был бинарным и характеризовал достоверность или недостоверность производимых в данный момент отождествлений и неотождествлений. Этот признак может применяться в целом ряде задача, например:

1. При решении задачи уточнения относительных координат носителей, на основе решений о тождественности ФЦ от ИИ корабля и летательного аппарата. При недостоверности отождествления лучше отказаться от уточнения координат, так как в этом случае может происходить не уменьшение, а существенное увеличение погрешностей.

2. При использовании алгоритмов, повышающих качество отождествления за счет учета решений, принятых для пар ФЦ в нескольких точках траектории [2]. При малых вероятностях принятия правильных решений в одной точке, применение таких алгоритмов будет ухудшать качество, поэтому в «плохих» ситуациях имеет смысл отключать данные процедуры.

Стандартный подход [1] к отождествлению данных пары ИИ предполагает выполнение двух этапов: «грубого» и «точного» отождествления. Основой первого этапа является процедура сравнения разностей признаков из всех пар ФЦ от разных ИИ с соответствующими порогами, вычисляемыми исходя из значений среднеквадратических ошибок измерения. На основе полученных таким образом предварительных отождествлений на втором этапе формируются непересекающиеся группы предварительно отождествленных ФЦ, внутри каждой из которых производится точное отождествление. Согласно [1], выбор варианта отождествления (ВО) в группе, то есть

совокупности решений о принадлежности и непринадлежности всех пар входящих в группу ФЦ одним реальным объектам, осуществляется по максимуму апостериорной вероятности (АВ):

$$P(A_g \mid U) = \frac{K_g! q^{K_g} p^N}{C(1-q)^{K_g+1}} \prod_{m=1}^{k_g} \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta X_{y_{g,m}}^T \Psi_{y_{g,m}}^{-1} \Delta X_{y_{g,m}}}}{\omega \cdot (2\pi)^{\frac{L}{2}} \left|\Psi_{y_{g,m}}\right|^{-\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

где A_g – g-ый ВО внутри группы; U – полные данные по группе (массивы ФЦ); k_g – количество отождествляемых в соответствии с ВО A_g пар ФЦ; $q=q_1 \cdot q_2$ – произведение вероятностей пропуска целей первым и вторым ИИ (ИИ1 и ИИ2); $y_{g,m}$ – m-ая пара отождествляемых ФЦ ВО A_g; $\Delta X_{y_{g,m}}$ – вектор (размерности L) разностей признаков для отождествления для m-ой пары отождествляемых ФЦ ВО A_g; $\Psi_{y_{g,m}}$ – корреляционная матрица ошибок измерения разностей признаков для m-ой пары отождествляемых ФЦ ВО A_g; C – постоянный для всех ВО коэффициент; ω – плотность вероятности нахождения цели в каждой точке пространства признаков; N_1, N_2 – количества ФЦ от ИИ1 и ИИ2 в группе; $N=\min(N_1,N_2)$; $K_g=N_1+N_2-k_g$.

Для характеристики достоверности отождествления могут использоваться вероятности ошибочных решений, однако, аналитическое их определение представляет собой сложную математическую задачу. Кроме того, полученные выражения на практике окажутся бесполезными ввиду отсутствия большей части исходных данных о реальной текущей ЦО.

В качестве признака, характеризующего уверенность в производимом отождествлении, может выступать само значение АВ (1) выбранного ВО внутри группы. Однако, во-первых, порядок абсолютного значение АВ ВО будет варьироваться в широких пределах в зависимости от ЦО, а само значение АВ может быть весьма мало, даже если степень уверенности в выбранном ВО велика (АВ других ВО при этом могут быть на порядки меньше). Во-вторых, значение коэффициента C в (1), которое не требуется для выбора оптимального ВО (ОВО), становится необходимым для определения нормированного значения АВ ОВО. Расчет этого коэффициента требует вычисления АВ для всех ВО, что делает применение такого алгоритма практически невозможным.

Избавиться от обоих недостатков можно используя в качестве признака достоверности отношение АВ ОВО и АВ некоторого альтернативного ВО (АВО), не являющегося оптимальным, но обладающего максимальным значением АВ среди оставшихся ВО. Если это отношение близко к единице, то выбор производится между двумя (или более, для решаемой задачи это не принципиально) почти равновероятными ВО и достоверность принятых решений мала. По мере роста данного отношения, будет расти уверенность в правильности выбранного ВО. Для конкретной системы и задачи может быть определено (например, путем статистического моделирования) пороговое значение данного признака, при превышении которого отождествление будет считаться достоверным. Очевидным требованием к АВО, как отмечалось, является наибольшее значение АВ (1) среди не оптимальных ВО. Однако представляется бессмысленным выбор АВО, обладающего близким значением АВ, но почти полностью дублирующего ОВО. Например, если ОВО включает решения о тождественности восьми пар ФЦ, то выбор АВО, отличающегося только тем, что в нем одна из этих пар ФЦ не отождествлена, не охарактеризует достоверность выбранного ВО. Поэтому второе требование к искомому АВО можно определить как отсутствие в нем решений для пар ФЦ, присутствующих в ОВО. Конкретизируя это требование, можно выделить два типа АВО:

1. АВО, не содержащий решений о тождественности пар ФЦ из ОВО (АВО1).
2. АВО, не содержащий решений о тождественности и содержащий минимальное число решений о нетождественности пар ФЦ из ОВО (АВО2).

Необходимо отметить, что найти ВО, вообще не содержащий решений о нетождественности пар ФЦ из ОВО, не всегда возможно. Например, если от ИИ1 имеется один ФЦ, а от ИИ2 – три, и в соответствии с ОВО ФЦ от ИИ1 отождествлен с первым ФЦ от ИИ2 и неотождествлен со вторым и третьим, то, очевидно, нет ВО, в соответствии с которым ФЦ от ИИ1 был бы отождествлен и со вторым, и с третьим ФЦ от ИИ2.

Формально ВО может быть представлен виде матрицы H размерности N_1xN_2, элемент h_{ij} которой содержит единицу, если ФЦ i от ИИ1 и j от ИИ2 отождествляются в соответствии с этим ВО, и ноль в противном случае.

Квазиоптимальный алгоритм поиска ОВО, согласно [1], сводится к нахождению совершенного паросочетания максимального веса (СПМВ) в двудольном мультиграфе (ДМ) множества вершин долей которого соответствуют множествам ФЦ в группе от каждого ИИ, а между любой парой вершин $\{i, j\}$ существует два ребра, веса которых определяются как:

$$r_{i,j}^1 = a + l_{i,j}\,; \qquad r_{i,j}^2 = \ln(\omega)\,,$$

где $l_{i,j} = -\frac{1}{2} \cdot \left(\Delta X_{i,j}^T \Psi_{i,j}^{-1} \Delta X_{i,j} + L\ln(2\pi) + \ln\left|\Psi_{i,j}\right|\right)$;

$$a = 6\left(N^3 + 3N^2 + 2N\right)^{-1} \cdot \sum_{i=0}^{N} \left(2i - N\right) f\left(N_1 + N_2 - i\right);$$

$$f(k) = \sum_{i=1}^{k} \ln i + k \cdot \ln q - (k+1) \cdot \ln(1-q)\,.$$

Для нахождения СПМВ в ДМ производится преобразование ДМ в простой двудольный граф (ДГ), за счет исключения минимального из ребер

между каждой парой вершин. То есть веса ребер полученного ДГ определяются как:

$$r_{i,j} = \max\left(r^1_{i,j}, r^2_{i,j}\right).$$

Далее в этом ДГ, с использованием описанных в [3] алгоритмов, находится СПМВ M и элементы матрицы H ОВО определяются как:

$$h_{i,j} = \beta\left[\left(\{i,j\} \in M\right) \wedge \left(r^1_{i,j} > r^2_{i,j}\right)\right], \qquad (2)$$

где β – функция, возвращающая единицу при истинном значении аргумента (то есть при выполнении условий $\left(\{i,j\} \in M\right)$ и $(r^1_{i,j} > r^2_{i,j})$) и ноль в противном случае.

В ходе преобразования ДМ в ДГ, по сути, исключаются решения для пар ФЦ, заведомо не входящие в ОВО. При формировании матрицы H, сравнением весов кратных ребер ДМ (см. (2)), производится восстановление информации о том, какие решения для пар ФЦ были оставлены, а какие отброшены при переходе от ДМ к ДГ.

Поиск АВО1 и АВО2 может осуществляться аналогичными способами с той разницей, что на этапе формирования ДГ решения для пар ФЦ отбрасываются еще и по признаку их вхождения в ОВО. Веса ребер ДГ для поиска АВО1 и АВО2 будут определяться соответственно как:

$$r'_{i,j} = \begin{cases} r^2_{i,j}, & h_{i,j} = 1 \\ r_{i,j}, & h_{i,j} = 0 \end{cases}; \quad r''_{i,j} = \begin{cases} r^2_{i,j}, & h_{i,j} = 1 \\ r^1_{i,j}, & h_{i,j} = 0 \end{cases}.$$

На основе найденных в полученных ДГ СПМВ M' (для АВО1) и M'' (для АВО2) формируются матрицы H' (для АВО1) и H'' (для АВО2):

$$h'_{i,j} = \beta\left[\left(\{i,j\} \in M'\right) \wedge \left(h_{i,j} = 0\right) \wedge \left(r^1_{i,j} > r^2_{i,j}\right)\right],$$

$$h''_{i,j} = \beta\left[\left(\{i,j\} \in M''\right) \wedge \left(h_{i,j} = 0\right)\right].$$

Данный признак (с использованием АВО1 или АВО2) характеризует условия, в которых производится отождествление в одной группе ФЦ. Для характеристики по всем группам, можно использовать взвешенное по количеству целей усредненное значение данного признака.

Оценка достоверности отождествления данным способом требует примерно такого же времени, как и выполнение самого алгоритма отождествления. Однако на практике период решения задачи отождествления выбирается много меньше времени существенного изменения ЦО, поэтому нет необходимости в пересчете значения рассмотренного признака на каждом цикле работы. Это обеспечивает возможность применения данного подхода в реальных системах при отождествлении целевой информации.

Список литературы

1. Савченко Д.И. Алгоритм отождествления информации двух источников для систем управления оружием надводных кораблей // Молодежь. Техника. Космос: труды III Международной молодежной науч.-техн. конф. — СПб: БГТУ, 2011.

2. Савченко Д.И. Повышение качества отождествления целевой информации применением накапливающего алгоритма // Сборник трудов XVII международной науч.-практ. конф. студентов и молодых учёных "Современные техника и технологии" – Томск: ТПУ, 2011.

3. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. – М: Мир, 1984.

РАСПОЗНАВАНИЕ ЦИФР НАВЫКОВОЙ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Самарин Н.В., Уврачёв Е.В. , Марчук С.В.
Научный руководитель: Кавыгин В.В.., к.т.н., доцент
Липецкий государственный технический университет, 398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: kabugun@mail.ru

В навыковой нейроподобной системе технического зрения используется рекуррентно-итерационный алгоритм обучения. В результате самообучения между изображениями обучающей выборки и соответствующими откликами устанавливается навыковая связь: для каждого изображения вырабатывается определённый отклик. Процесс обучения заключается в расчёте весовых синаптических коэффициентов, которые являются аналогами биологических синапсов между аксонами и дендритами корковых нейронов живых организмов. Количество весовых синаптических коэффициентов равно количеству фотоэлементов воспинимающих изображение. Каждое изображение характеризуется пикселями с определённой комбинацией интенсивностей отражённого света, число которых зависит от разрешающей способности приёмника видеосигнала: сканера или фото-, видео-, вэб-камер. Принцип работы системы универсален и не зависит от сложности изображений. Некоторые способности работы системы удобно продемонстрировать на примере задачи классификации цифр.

Навыковая система технического зрения выполнена на платформе .NET 2.0 и использует её удобные средства для работы с формами и элементами управления, а также средства работы с

изображениями. Средства работы с изображениями System.Drawing и System.Drawing.Imaging библиотеки классов .NET, хотя и не обладают высоким быстродействием, позволяют упростить и сделать прозрачной структуру программы, что и является нашей целью в условиях эксперимента.

Выбрав код будущей картинки и нажав кнопку «Add», мы можем добавить изображение в базу. Приложение поддерживает все графические форматы, поддерживаемые конструктором класса Bitmap – достаточно широкий набор форматов графических файлов, включающий BMP, GIF, JPG, PNG, TIFF и EXIG. Выбран формат TIFF, потому что именно данный формат является стандартом формата без потерь во многих системах. В качестве основного цвета выбран белый, это означает, что цифры будут изображены белым цветом на фоне другого цвета, в данном случае чёрного. Принцип выбора цвета основывается на том, что «возбудителем», является именно белый цвет, для которого значение яркости для всех каналов максимально в аддитивной модели формирования цвета. Вероятно, человеческий глаз использует субтрактивную модель, поэтому мы привыкли читать чёрный текст на белом фоне.

Добавление изображения в базу происходит не непосредственно в том виде, в котором оно содержится в графическом файле, а лишь после обработки. Обработка заключается в обрезке изображение по крайним белым точкам, а также масштабирование его до размеров элементов управления PictureBox, которые были установлены равными 200x300 пикселей. Данного размера вполне достаточно для корректного распознавания изображений. Для масштабирования опять же используются средства System.Drawing. Поскольку быстродействие классов System.Drawing при работе с отдельными пикселями является весьма невысоким, поэтому область памяти, в которой хранится изображение заблокирована. Усреднённые значения яркостей каналов для каждого пикселя скопированы в массив. Данный массив и значение кода передаются в качестве параметров метода-конструктора нового объекта базы изображений.

Объектная модель системы описывается четырьмя классами. Первый из них, класс «Form1» отвечает за взаимодействие с пользователем, проще говоря, описывает графический интерфейс. Кроме того, он содержит метод «Crop» , отвечающий за обрезку изображений и метод «Img2Pixels», выполняющий преобразование объекта класса Bitmap в массив, содержащий яркости пикселей. Класс «ImgSample» описывает подготовленное для добавления в базу изображение. Класс содержит конструктор, в который передаются соответствующий изображению код и яркость пикселей. Помимо инициализации соответствующих им значений конструктор выполняет вычисление так называемого делителя «divider», который представляет собой сумму квадратов всех пикселей. Класс «LearnResult» является по сути структурой, содержащей результаты обучения. И, наконец, класс «Sample», содержащий изображения с кодами в виде списка (System.Collections.Generic.List) объектов класса «ImgSample», информацию о статусе выборки и метод «Learn», который отвечает за выполнение процедуры обучения. Для удобства добавления большого количества изображений в программе есть функция пакетного добавления изображений («Packet adding»).

Изначально массив весовых синаптических коэффициентов инициализирован нулями. Затем совершается некоторое количество проходов по базе изображений. С учётом каждого из изображений производится модификация значений коэффициентов. Во время прохода фиксируется максимальное значение ошибки, достигаемое на всей обучающей выборке, и процесс обучения останавливается лишь тогда, когда максимальная на данном проходе ошибка не превышает максимально допустимой величины, которая задана в виде константы «eps» в классе «Sample». Программа написана на платформе .NET, в результате чего работа с изображениями происходит медленно. Для расчётов количественных показателей производительности системы необходимо производить замеры на системе, аналогичной той, что будет работать в реальных условиях. Весьма удачным решением была бы реализация в реальной системе вычислений на графических процессорах, аналогичных тем, что стоят в современных видеокартах, поскольку процесс очевидным образом поддаётся распараллеливанию, а современные видеоадаптеры весьма эффективны при решении параллельных задач. После обучения коэффициенты можно сохранить для последующей быстрой загрузки и анализа.

Для обучения навыковой системы технического зрения в обучающую выборку включили 90 изображений. Изображения представляют собой цифры от 0 до 9, напечатанные одним из 9 шрифтов. Проверка показала, что все цифры из обучающей выборки распознаются безошибочно. Однако при предъявлении набора изображений чисел от 0 до 9 не включенных в обучающую выборку лишь две из 10 цифр в этом случае распознаются корректно. Причина такой неточности в том, что коэффициенты навыковой системы перестают нести смысловую нагрузку, являясь решениями конкретной системы, но не позволяя верно определять код изображения в общем случае. Происходит наслоение информации и этот переизбыток препятствует правильному распознаванию.

Введем понятие облака коэффициентов. Облаком коэффициентов будем называть представление значений весовых коэффициентов в виде изображения (Рисунок). Для построения облака коэффициентов все значения нормируются сначала линейно относительно интервала [0;255], причём пиксель цвета 0x7F7F7F согласно нотации RGB соответствует коэффициенту со значением, близким или равным 0.

Намного лучшие результаты при распознавании показывает метод обучения и распознавания «свой–чужой». Суть его состоит в формировании нескольких матриц весовых коэффициентов. Каждая матрица весовых коэффициентов настроена на распознание объектов одной категории. Поступающие на вход изображения могут иметь лишь 2 различных значения кода: изображения, принадлежащие распознаваемому классу, характеризует одно значение, а не принадлежащие ему – другое.

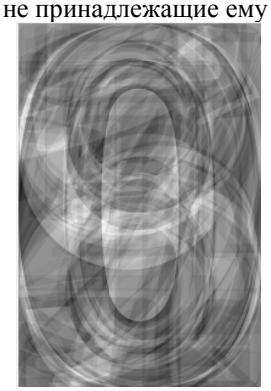


Рисунок. Весовые коэффициенты обученной навыковой системы технического зрения

Естественно, для распознания 10 различных цифр требуется обучить систему 10 раз и хранить 10 матриц коэффициентов, однако данный подход является гораздо более эффективным, чем предыдущий и поэтому оправдывает накладные расходы в виде памяти, которые не являются в действительности столь критичными.

При обучении системы 90 изображениями с кодами -1 и 1 и последующем распознании 10 неиспользованных изображений (один шрифт, которому систему не обучали) все 10 обученных систем (для цифр от 0 до 9) давали верный результат, возвращая для «своего» изображения положительный, а для «чужого» - отрицательный код, отклоняясь в худшем случае на 0.5 при допустимом отклонении 1.0. Больше того, если возникает спорная ситуация и две нейросети при подаче на вход изображения возвращают положительный код, можно принять решение в пользу той из них, которая вернула больший код либо код, менее отстоящий от 1. Такие ситуации, естественно, необходимо фиксировать и переобучать системы с учётом данных «спорных» изображений.

Таким образом, навыковая система технического зрения способна обучаться безошибочному распознаванию изображений из обучающей выборки и частичному распознаванию изображений из тестирующей выборки. В целом достоверность распознавания изображений цифр составила 92% при общей матрице весовых коэффициентов. Для повышения достоверности навыковой системы целесообразно увеличить количество матриц весовых коэффициентов, а также включать в обучающую выборку негативные - «чужие» примеры.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ

Сачков С.А., Козин К.А., Горюнов А.Г.
Научный руководитель: Козин К.А., ассистент кафедры ЭАФУ
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: perfer@sibmail.com

Развитие в России высокотехнологичной индустрии микроэлектроники, силовой электроники и солнечной энергетики во многом зависит от собственной базы полупроводниковых материалов и, в первую очередь – кремния. В основе производств базового материала (поликристаллического кремния (ПКК) высокой чистоты) лежит Siemens-технология, реализующая метод парофазного химического осаждения – “Chemical vapore deposition”(CVD) кремния в процессе водородного восстановления трихлорсилана (ТХС). Процесс проводят в реакторах проточного типа (Siemens-реакторах), в котором образующийся кремний осаждается на

разогреваемых электрическим током кремниевых стержнях-основах. Восстановление хлорсиланов ведут при постоянной температуре поверхности стержней-подложек в интервале 1000–1200°С [1].

Эффективность Siemens-технологии в частности ограничивается необходимостью нахождения компромисса между скоростью осаждения и качеством получаемого ПКК, путем обеспечения оптимальных значений мольного отношения $H_2/SiHCl_3$ (трихлорсилан, ТХС), плотности подачи $SiHCl_3$ (кг/м^2·с) и температурой поверхности стержней в течение длительного времени (до 200 ч), что требует использование систем автоматического управления. При этом процесс осаждения кремния обладает рядом особенностей [2] которые затрудняют ручную стабилизацию температуры стержней.

Отсутствие информации о зарубежном опыте автоматизации подобных производств, а также отсутствие в России опыта эффективного и надежного управления Siemens-реактором является серьезной проблемой в задаче снижения себестоимости продукции для повышения конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности этих производств РФ на международном рынке.

На кафедре ЭАФУ ТПУ были ранее разработаны математическая модель Siemens-реактора как объекта управления [3] и адаптивная двухконтурная САУ [2]. Используемый в модели «зонный» подход расчета температурного профиля кремниевых стержней в аппарате не позволяет качественного проведения синтеза САУ из-за пилообразного изменения основных выходных технологических переменных. Используемая в алгоритме управления процедура коррекции скорости осаждения кремния сильно зависит от химического состава парогазовой смеси (ПГС) в реакторе, что снижает универсальность предложенного алгоритма управления.

В данной работе предлагается модифицировать представленную модель путем определение температуры поверхности кремниевого стержня по результатам решения нестационарного уравнения теплопроводности в цилиндрической системе координат:

$$\rho c(T)\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{J^2}{\sigma(T,r)}, \qquad (1)$$

где r – радиальная координата, м; ρ – плотность кремния, кг/м^3; c, λ и σ – удельная теплоемкость, Дж/кг·К, теплопроводность, Вт/м·К и электропроводность, 1/Ом·м кремния соответственно, J – плотность тока, А/м^2, определяемая величиной силы электрического тока резистивного нагрева стержня – I, А.

Для уравнения (1) начальное условие: $T\left(t_i,r\left(t_i\right)\right)=T\left(t_{i-1},r\left(t_{i-1}\right)\right)$, граничные условия следующие:

$$\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=0}=0;$$

$$\lambda(T)\left.\frac{\partial T}{\partial r}\right|_{r=r_s}=h\left(T-T_{ПГС}\right)+\varepsilon\sigma_B\left(T^4-T_{ПГС}^4\right)\Big|_{r=r_s};$$

где h – коэффициент конвекции и теплопередачи, Вт/м^2·К; ε – степень черноты кремния; σ_B – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м^2·К^4.

Разработанная математическая модель была реализована в виде компьютерной модели в пакете Matlab/Simulink. Решение дифференциальных уравнений теплового баланса осуществлялось с использованием встроенного решателя «pdepe»

Для повышения гибкости и универсальности алгоритма управления, ранее предложенной САУ, предлагается использование экстраполятора 1-ого порядка при расчете текущего значения *Dprog*, что позволит адаптировать расчет *Rprog* к реальным условиям изменения диаметра стержней. Принцип работы экстраполятора представлен на рисунке 1.

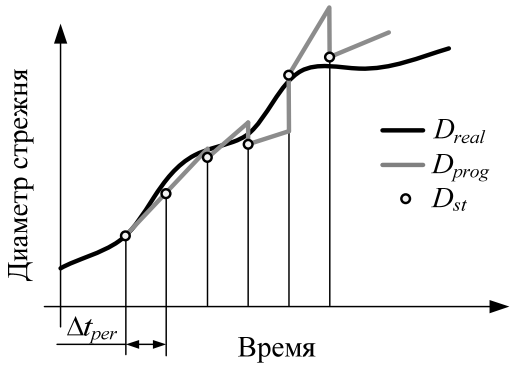


Рис.1. Принцип работы экстраполятора 1-ого порядка по диаметру

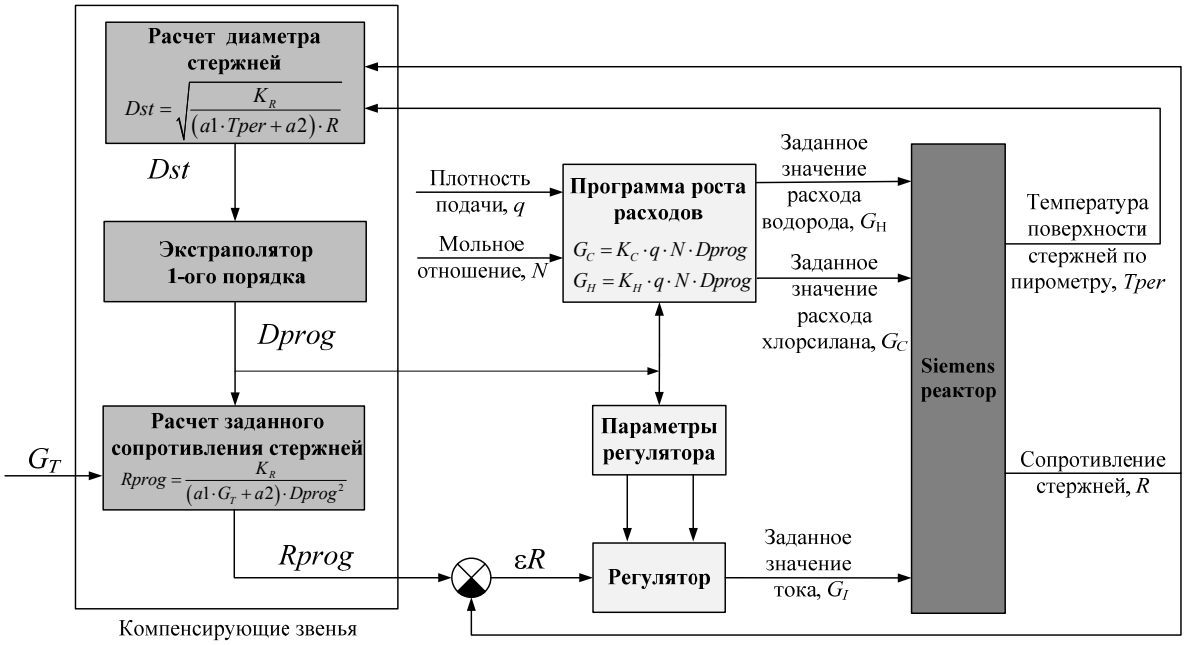


Рис.2. Структурная схема САУ температурой стержней Siemens-реактора

Структурная схема САУ температурой стержней Siemens-реактора представлена на рисунке 2.

Модификация модели Siemens-реактор потребовала пересчета параметров настройки регулятора. Для ПИ-закона регулирования методом оптимального модуля [4] были определены зависимости параметров настройки от диаметра.

Результаты ведения технологического процесса производства поликристаллического кремния на промышленной установке с применением различных алгоритмов управления представлены на рисунке 3.

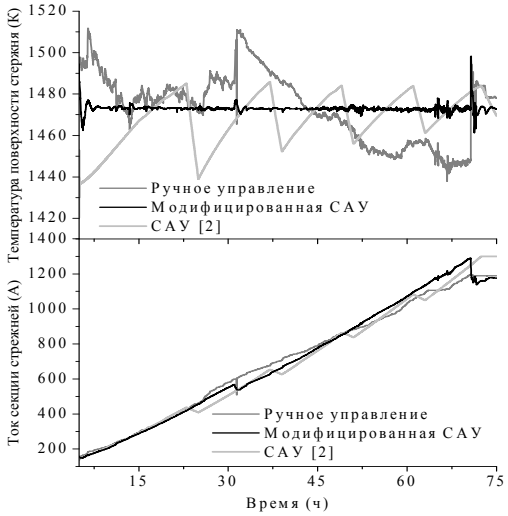


Рис.3. Временные диаграммы основных переменных при сравнении ведения процесса с применением различных алгоритмов управления.

Сравнительный анализ временных диаграмм показывает, что использование модифицированной САУ позволяет снизить на порядок среднеквадратичное отклонение температуры стержней от заданного значения по сравнению иными алгоритмами управления.

Список литературы

1. Фалькевич Э.С, Пульнер Э.О., Червоный И.Ф. и др. Технология полупроводникового кремния – М.: Металлургия, 1992. – 408 с

2. Козин К.А., Горюнов А.Г., Ливенцов С.Н., Гаврилов П.М., Ревенко Ю.А. Алгоритм управления Siemens-реактором производства поликристаллического кремния // Известия Томского политехнического университета. Т. 315, № 5. – Томск: ТПУ, 2009 – С. 70-74.

3. Горюнов А.Г., Козин К.А., Ливенцов С.Н. и др. Математическая модель Siemens-реактора как объекта управления // Цветные металлы. – 2009. – № 7. – С. 69–77.

4. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 327с.

СИНТЕЗ ПД-РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ МОДЕЛИ САМОУСИЛИВАЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗА

Сейтбатталулы Г., Старых А.А.
Научный руководитель: Старых А.А., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: galims87@mail.ru

В работе осуществляется синтез пропорционально дифференциального регулятора системы управления самоусиливающимся электрогидравлическим тормозом. Моделирование выполняется на базе упрощенной модели объекта. Проводится сравнительная оценка системы управления тормозом с пропорциональным и ПД-регулятором.

Самоусиливающиеся тормозы являются объектом интенсивных исследований последних лет. Принцип действия таких тормозов заключается в использовании в качестве источника энергии для торможения только инерции ходовой части транспортного средства. Одним из главных преимуществ самоусиливающихся тормозных систем является снижение энергозатрат, что делает перспективным данное направление исследований.

В настоящее время в Институте гидропривода и управления Аахенского технического университета (IFAS, RWTH Aachen University, Germany) ведется разработка новой концепции самоусиливающегося электрогидравлического тормоза для пассажирских поездов. Принцип работы и описание тормозной системы могут быть найдены в работах [1−4].

Постановка задачи

Задачей управления самоусиливающимся электрогидравлическим тормозом является слежение за заданным значением давления p_{sup} (выходная переменная) в напорной гидролинии системы. Система управления с пропорциональным регулятором позволяет добиться поставленной цели (рис. 1), однако, как видно из рисунка, в системе возникают колебания давления в напорной гидролинии, а, соответственно, и тормозной силы. Такой характер торможения, очевидно, не является предпочтительным для пассажирских поездов. Поэтому основным требованием к качеству управления является получение монотонного процесса изменения давления, независимо от величины требуемой тормозной силы.

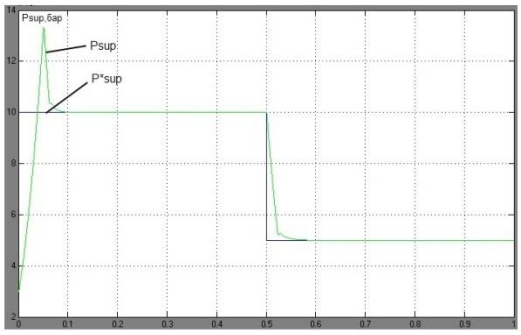


Рис. 1. Давление в напорной гидролинии в системе управления с пропорциональным регулятором

Синтез ПД-регулятора

Как известно, для улучшения динамических свойств системы управления, а именно для снижения колебательности, в закон управления вводят производные от отклонения. Поэтому с целью получения управления требуемого качества будем использовать пропорционально дифференциальный регулятор, который имеет вид [5]:

$$u = K_p\varepsilon + K_D\dot{\varepsilon} = (K_p + K_D p)\varepsilon,$$

где K_D - коэффициент обратной связи по скорости изменения ошибки $\varepsilon(t)$, $\varepsilon = P^*_{\text{sup}} - P_{\text{sup}}$ - рассогласование между заданным и фактическим значением давления в напорной линии, K_p - постоянный коэффициент обратной связи.

Моделирование самоусиливающегося электрогидравлического тормоза будем проводить на базе его упрощенной модели, которая имеет вид [6-7]:

$$\dot{x} = f(x) + g\,u$$

где вектор состояния x и вектор g определяются в форме

$$x = \begin{pmatrix} p_L \\ P_{\text{sup}} \\ V_V \\ x_V \end{pmatrix}, \quad g = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \omega_V^2 K_V \\ 0 \end{pmatrix}.$$

а уравнение выхода имеет вид:

$$y = P_{\text{sup}}$$

Вектор-функция $f(x)$ для случая увеличения (Случай А) и уменьшения (Случай Б) тормозной силы определяется как

Случай А:

$$f(x)=\begin{pmatrix} T_L^A x_V \sqrt{p_{\sup}-p_L-\alpha p_{lp}} \\ T_{\sup}^A x_V \sqrt{p_{\sup}-p_L-\alpha p_{lp}} \\ -2D_V\omega_V V_V-\omega_V^2 x_V \\ V_V \end{pmatrix}$$

Случай Б:

$$f(x)=\begin{pmatrix} T_L^B x_V \sqrt{\alpha p_{\sup}+p_L-p_{lp}} \\ T_{\sup}^B x_V \sqrt{\alpha p_{\sup}+p_L-p_{lp}} \\ -2D_V\omega_V V_V-\omega_V^2 x_V \\ V_V \end{pmatrix}$$

Здесь p_L, V_V, x_V - соответственно, давление нагрузки гидродвигателя, опорное давление, скорость и перемещение плунжера золотникового распределителя; α - отношение полной и кольцевой площадей поршня гидродвигателя; p_{lp} - давление жидкости в линии слива; K_V, D_V, ω_V, V_V - параметры золотника; T_L^A, T_L^B - известные коэффициенты, $T_{\sup}^A, T_{\sup}^B$ - параметры, зависящие от коэффициента трения μ; u - входное напряжение электромагнита золотника.

Результаты моделирования

Моделирование проводилось для следующих начальных условий:

$T_L^A = T_L^B = 15820;$ $T_{\sup}^A = 35412;$ $T_{\sup}^B = 35598;$ $D_V = 0.8;$ $K_V = 1.0;$ $\omega_V = 6.283\cdot 10^2;$ $\alpha = 0.609;$ $p_{\sup}(0) = p_{lp}(0) = 3\cdot 10^5;$ $p_L(0) = 0;$.

Имитационная модель самоусиливающегося электрогидравлического тормоза была разработана в среде Matlab/Simulink.

Для имитационного моделирования были выбраны следующие коэффициенты регулятора $K_p = 13.1579$, $K_D = 0.35$. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

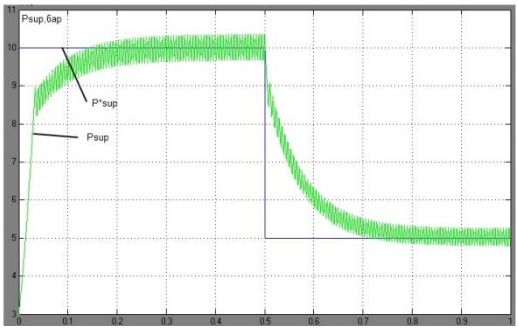


Рис. 2. Давление в напорной гидролинии в системе управления с ПД-регулятором

Из рисунка видно, что по сравнению с пропорциональным регулятором в системе с ПД-регулятором отсутствуют «выбросы» опорного давления, однако возникают незатухающие колебания. Причиной этого может являться отсутствие динамики поршней гидроцилиндров, отброшенной при выполнении процедур упрощения для исходной модели самоусиливающегося электрогидравлического тормоза. Использование пропорционально дифференциального управления для исходной модели тормоза является предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Liermann M., Stammen C. Development of a self-energizing electro-hydraulic brake (SEHB) for rail vehicles // The 10th Scandinavian Intern. Conf. on Fluid Power, SICFP07, Tampere, Finland, May 21-23, 2007. − Tampere: SuviSoft, 2007. − CD-Rom.

2. *Старых А.А., Лирман М.* Система управления самоусиливающимся электрогидравлическим тормозом подвижного состава // Локомотив - информ. – 2010. – № 8. – С. 8–11.

3. Liermann M., Stammen C., Murrenhoff H. Pressure tracking control for a self-energizing hydraulic brake // Symposium on Power Transmission and Motion Control, PTMC07, Sept 12-14, 2007, Bath, England. − Bath: Hadleys, 2007. – P. 315−330.

4. *Liermann M., Stammen C., Murrenhoff H.* Development and experimental results of a self-energizing electro-hydraulic brake using switching valves // The 6th Int. Fluid Power Conf. «Fluid power in Motion», 2008. – Dresden: Technische Universität, Institut für Fluidtechnik. – V. 2. – S. 400–422.

5. Мирошник, И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы : учебное пособие / И. В. Мирошник. — СПб. : Питер, 2005. — 334 с. : ил. — (Издательская программа "300 лучших учебников для высшей школы в честь 300-летия Санкт-Петербурга") (Учебное пособие) . — Библиогр.: с. 326-333.

6. Старых А.А. Синтез нелинейного управления самовозбуждающимся электрогидравлическим тормозом // Известия вузов. Электромеханика. - 2008. - № 6. - С. 54-59.

7. Старых А.А. Система управления самовозбуждающимся электрогидравлическим тормозом с нелинейным регулятором. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2008615909. Роспатент. Москва. 10.12.2008.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ В ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Серова Т.О.
Научный руководитель: Тузовский А.Ф., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 3
E-mail: tanya-8b50@bk.ru

Иерархическая модель представления данных на основе файлов и каталогов имеет множество недостатков, так как не всегда просто решить в какую из папок необходимо поместить тот или иной файл, как найти необходимые данные и как автоматически рассортировать большое количество файлов.

На сегодняшний момент существует ряд разработок по-своему решающих эту проблему. Например, так называемые smart-папки в Mac OS X и Windows Future Storage.

В связи с существующей проблемой было решено разработать систему, которая бы позволяла организовать хранение файлов, не отказываясь от привычного представления на основе каталогов, а так же использовать преимущества тегов и информации, которую можно получить из онтологической модели.

Данная система предназначена для автоматической классификации файлов произвольных типов, используя метаданные, основанные на онтологической модели. Классами в нашем случае является иерархия папок. Каждый новый файл должен быть отнесен к одной или более папкам.

Файлы и папки имеют описание в виде семантических метаданных, которые содержат набор понятий онтологической модели и коэффициенты соответствия t_{bi} (t_{bj}), которые показывают, насколько понятие b из метаданных соответствует информации, содержащейся в файле i (папке j).

Онтологическая модель в самом простом случае содержит иерархию понятий для описания файлов и папок. Онтологическая модель описывается с использованием какого-либо редактора (например, Protege) на языке OWL.

Классификация проводится на основе метаданных файлов и метаданных папок. На каждом шаге классификации метаданные файла поочередно сравниваются с метаданными папок, и подсчитывается коэффициент близости папки i и файла j (Fij). Если этот коэффициент больше заданного порогового значения, то в папку i добавляется ссылка на файл j и процесс продолжается, пока не будут просмотрены все папки.

$$F_{ij} = \frac{\sum_1^n k_n}{m}, \quad (1)$$

где n – количество совпавших по названию определений из метаданных файла и папки:

$n = x \cap y$,

m – общее количество неповторяющихся определений в метаданных файла и папки:

$m = x \cup y$,

где x – множество определений для файла i, y - множество определений для папки j;

k_n – нормированный коэффициент для совпавшего метаданного n из описания файла i и папки j, рассчитываемый по формуле:

$$k_n = \begin{cases} 1, t_{ni} \geq t_{nj} \\ \frac{t_{ni}}{t_{nj}}, t_{ni} < t_{nj} \end{cases}, \quad (2)$$

где t_{ni} – коэффициент соответствия метаданного n из множества совпавших определений для файла i,

t_{ni} – коэффициент соответствия метаданного n из множества совпавших определений для папки j.

Модификации формул подсчета меры семантической близости

В приведенном способе классификации есть недостаток, который заключается в том, что невозможно определить соответствует ли описание файла описанию некоторой папки, если в этих описаниях нет прямого совпадения определений. Очевидным решением данной проблемы является использование онтологии. Так как онтология содержит иерархию всех понятий, используемых для описания файлов и папок, то по ней можно оценить, насколько тесно связаны между собой те или иные определения.

На сегодняшний момент существует множество методов для подсчета семантического сходства. Меры близости онтологических термов используют различные семантические характеристики сравниваемых термов – их свойства (атрибуты и отношения с другими термами), взаимное положение в онтологических иерархиях [1].

Нелинейная комбинация кратчайшего пути и глубины общего предка

Li и др. [2] описывает, как подсчитывается сходство, используя глубину низшего общего предка(lowest common subsumer (LCS)) и число граней в кратчайшем пути между концептами.

Этот метод основан на следующей логике: концепты в верхних слоях иерархии имеют более общую семантику и меньшее сходство между собой. Близость понятий между концептами определяется не только длиной пути, но и глубиной и плотностью.

Этот метод описывается следующей функцией. Наилучшая пара понятий (α,β) получена экспериментальным путем в [2].

$$sim_{Li}(c_1,c_2) = e^{-\alpha d(c_1,c_2)} \frac{(e^{\beta N(LCS)} - e^{-\beta N(LCS)})}{(e^{\beta N(LCS)} + e^{-\beta N(LCS)})}, \quad (3)$$

$\alpha = 0.2$ и $\beta = 0.6$,

где $d(c_1,c_2)$ – длина кратчайшего пути между вершинами c_1 и c_2,

N – глубина *LCS*-вершины.

Кратчайший путь

Близость двух понятий онтологии может быть оценена по положению вершин, соответствующих этим понятиям в онтологической иерархии.

В данном подходе используется кратчайшая длина пути как мера близости двух концептов. Rada и др.[3] предлагают следующее уравнение.

$$sim_{EDGE}(c_1,c_2) = 2d - d(c_1,c_2),$$

где D – максимальная глубина таксономии,

$d(c_1,c_2)$ – длина кратчайшего пути между вершинами c_1 и c_2.

Нормализованная длина пути (Leacock и Chodorow)

Данный подход основан на длине кратчайшего, измеряемого числом вершин (или ребер) в пути между двумя соответствующими вершинами в is-a иерархии семантической сети], с учетом глубины таксономической иерархии . Leacock и Chodorow [4] предлагают следующую формулу:

$$sim_{LC}(c_1,c_2) = \log \frac{2D}{d(c_1,c_2)}, \quad (4)$$

где D – глубина дерева,

$d(c_1, c_2)$ – длина кратчайшего пути между вершинами c_1 и c_2.

Метрика (Wu и Palmer)

В данном подходе используется расстояние между узлами в таксономии is-a [5]. Семантическое сходство представлено в следующем виде:

$$sim_{WP}(c_1,c_2) = \frac{2depth(LCS)}{length(c_1,LCS) + length(c_2,LCS) + 2depth(LCS)}, \quad (5)$$

где LCS - низший общий родитель,

depth – количество ребер от LCS до корневого узла,

length(c, LCS) – расстояние от вершины LCS до вершины c.

Дополнительно была использована модификация формулы (8), приведенной в [6]:

$$sim(c_1,c_2) = \frac{2depth(LCS)}{length(c_1,LCS) + length(c_2,LCS) + 2depth(LCS) + AVG}, \quad (6)$$

где LCS - низший общий родитель,

depth – количество ребер от LCS до корневого узла,

length(c, LCS) – расстояние от вершины LCS до вершины c.

AVG – это средняя длина расстояния от MAX до глубины концептов c_1 и c_2,

MAX – это величина самого длинного пути от корневого концепта онтологии до любого из ее листовых концептов.

Однако в контексте реализуемой системы ни одна из формул не может быть применена в чистом виде. Проблема заключается в том, что для каждого определения в метаданных дополнительно задан коэффициент соответствия. Он показывает, насколько содержимое файла (или папки) соответствует ему. Таким образом, каждую из формул следует умножать на коэффициент k_n, рассчитываемый по формуле (2). При этом при расчете коэффициента близости файла и папки учитывается только лишь одна наибольшая мера семантической близости для каждого определения.

В итоге формула для расчета близости файла i и папки j выглядит следующим образом:

$$F_{ij} = \frac{\sum_1^n k_n + \sum_1^q sim_q}{m}$$

где q – количество не совпавших определений из метаданных файла с определениями из метаданных папки;

Применение расчетов семантической близости понятий

Эффективность применения той или иной меры семантической близости зависит как от задачи, так и от пользователя.

Поэтому было решено реализовать подсчет близости разными способами по формулам (3), (4), (5) и (6), и тем самым дать возможность пользователю определить свои предпочтения при выборе меры семантической близости

Литература:

1. Yumiko Mizoguchi-Shimogori, Toshiaki Nakamoto, Kazuma , Masumi Inaba, Takahiro Kawamura TV Navigation Agent for Measuring Semantic Similarity Between Programs. - Corporate Research & Development Center, Toshiba Corporation, Japan, - 84 c.

2. Li, Y., Bandar, Z.A., McLean, D. An Approach for Measuring Semantic Similarity between Words Using Multiple Information Sources. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 15(4), 2003, 871–882c

3. Rada, R., Mili, H., Bicknell, E., Blettner, M. Development and Application of a Metric on Semantic Nets. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics 19(1), 1989, 17–30 c.

4. Leacock, C., Chodorow, M.: Combining local context and WordNet similarity for word sense identification. Fellbaum, 1997, 265–283 c.

5. Wu, Z., Palmer, M.: Verb semantics and lexical selection. In: 32nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 1994, 133–138 c.

6. Gil Chamiel and Maurice Pagnucco. Exploiting Ontological Information for Reasoning with Preferences. - School of Computer Science and Engineering, The University of New South Wales, Sydney, Australia, - 6c.

УСКОРЕНИЕ ФИНАНСОВЫХ РАСЧЁТОВ НА БАЗЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ CUDA

Снопков А.С., Сорокин Н.Ю., Кузнецова Л.Г.
Научный руководитель: Сорокин Н.Ю., к.т.н, доцент
Тихоокеанский государственный университет, 680000, Россия, г. Хабаровск
Email: nus@mail.khstu.ru

Поиск возможностей по ускорению финансовых расчетов проводился на примере модели ценообразования опционов Блэка-Скоулза. /1/ С момента появления модели в 1973 г. ее используют тысячи трейдеров и инвесторов, работающих на финансовых рынках по всему миру, для оценки не только опционов, но и других финансовых активов.

Покупка-продажа финансовых активов предполагает обладание наиболее полной информацией о торгуемых активах. Однако с возникновением высокочастотного трейдинга формируется потребность в проведении анализа всей доступной информации в максимально сжатые сроки. Удовлетворение этой потребности может быть достигнуто только в рамках программной торговли, в соответствии с чем поиск новых программных решений по ускорению вычислительных процедур приобретает особую актуальность.

В данное время высокочастотный трейдинг(заключение огромного количества сделок в секунду) играет важную роль в торговле. По данным Tabb Group, даже несмотря на последний коллапс финансовых рынков, совокупная валовая прибыль «высокочастотных» трейдеров составила $21 млрд. В июне 2010 года объем сделок на Нью-Йоркской фондовой бирже (NYSE) вырос по сравнению с аналогичным периодом прошлого года на 43%, достигнув отметки в 6,2 млрд акций; полагают, что при этом на долю «высокочастотных» трейдеров приходится от 50% до 70% сделок. Примерно та же картина наблюдается на электронных рынках фьючерсов и опционов. При высокочастотной торговле заключается большое количество сделок(порядка 1000 в секунду). Для каждой из них требуется осуществлять сложные математические расчёты. Возникает потребность в ускорении процесов так, как в буквальном смысле от скорости работы зависит количество сделок, и, соответственно получаемая прибыль. /2/

Предлагается ускорить вычисления показателей модели Блэка-Скоулза на базе поточно-ориентированной архитектуры Cuda /3/, в которой программная реализация поставленных задач может осуществляться в двух модулях, между которыми не существует способов взаимодействия и синхронизации.

В принципиальной схеме строения современных GPU значительную часть занимают блоки, ответственные за непосредственное выполнение арифметических и логических задач, в структуре современных CPU преобладающую часть занимают блоки контроля и кэш-памяти. Кроме того, на всех мультипроцессорах GPU располагается набор из M-скалярных процессоров, выполняющих в каждый момент времени одну и ту же инструкцию, благодаря чему работа GPU соответствует SIMD архитектуре: «одна инструкция, множество данных». /4/

Следовательно, для случаев, требующих параллельной обработки данных большого объема, в расчетах лучше использовать GPU, поскольку на CPU эта задача решается последовательно, что увеличивает время на проведение вычислений. С учетом сказанного алгоритм определения цены большого числа опционов PUT и CALL может быть следующим:

-выделение и инициализирование памяти под массивы данных;
-перенос данных в память GPU;
-запуск функции для расчетов с максимальным количеством потоков в каждом блоке;
-возвращение данных из памяти GPU в оперативную;
- запуск функции для расчетов на CPU;
-нахождение ошибки между результатами.

Добавим, что массивы данных, к которым производилось наибольшее число обращений, были перенесены из глобальной в текстурную память CUDA. Эта операция еще более сокращает время расчетов в GPU, что связано с медлительностью глобальной памяти, обусловленной ее техническими характеристиками.

«Узким» местом предложенного алгоритма является возвраще-ние данных из памяти GPU в оперативную.

Для возвращения вычисленных в GPU данных в оперативную память CUDA требуется создание двух массивов большого размера, запись в которые занимает много времени. При этом реализация CUDA не позволяет вести запись в оба массива синхронно. Запись производится отдельными порциями потоков.

Для сокращения затрат времени в этой ситуации предлагается использовать выравнивание типов данных в программе. Оно позволяет скомпилировать запрос в глобальную память в одну команду GPU, что может значительно повысить производительность расчетов. Рекомендуется применять тип данных с размерностью 4, 8, 16 байт или произвести выравнивание с помощью ключевого слова align.

Применение представленного алгоритма показало, что вычисление цены опционов на графическом процессоре можно проиводить в 3-4 раза быстрее, нежели на центральном процессоре. Это обусловлено тем, что графический процессор предназначен для обработки больших объемов информации.

Ниже представлены результаты тестировани на рисунках 1,2. (*Тестовая конфигурация №1:* Операционная система: Microsoft WIndows 7 Ultimate, 64-bit; Драйвер видеокарты: NVidia ForceWare 197.0; Версия CUDA: 3.0; Центральный процессор: Intel Core i7 920 (2,67ГГц); Объём оперативной памяти: 6 ГБ; Видеокарта: NVidia GeForce GTX 260 896 Mb; *Тестовая система №2:* Операционная система: Ubuntu 10.04, 32-bit; Драйвер видеокарты: NVidia ForceWare 195.36; Версия CUDA: 3.0; Центральный процессор: Intel Pentium Dual CPU E2180 (2ГГц); Объём оперативной памяти: 2 ГБ; Видеокарта: Nvidia GeForce 9600GT 512MB;)

Рисунок 1 - Тестовая конфигурация №1:

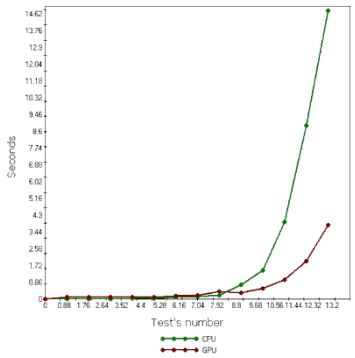
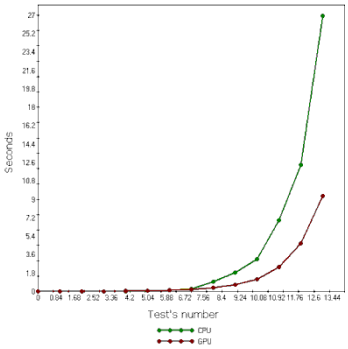


Рисунок 2 - Тестовая конфигурация №2:



Как мы видим, различия в расчётах не заметны при данных малого объёма. Это обусловленно тем, что архитектура графического процессора изначально разрабатывалась для одновременной работы с данными большого объёма.

Так, как при высокочастотном трейдинге в секунду совершается большое количество сделок, данная модель, реализованная на GPU, даёт весомое преимущество перед конкурентами использующими привычные системы для расчёта цены опционов.

Следовательно, будет целесообразно перенести русурсоёмкие расёты с центрального процессора на графический. Тем самым высвобождаются дополнительные ресурсы компьютера и снижаются издержки. Подобные решения могут найти применение в более сложных, интегрированных системах трейдинга.

Список использованных источников

1. Fischer Black and Myron Scholes (1973). "The Pricing of Options and Corporate Liabilities". Journal of Political Economy 81 (3): 637-654.

2. "Новые хоязяева биржи", Forbes Лиз Мойер, Эмили Лэмберт, Forbes 10/2010 /17.06.2010/

3. NVIDIA CUDA Reference Manual Version 3.0 February 2010

4. Nvidia Tutorial CUDA, Cyril Zeller, NVIDIA Developer Technology

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕГУЛЯРНЫХ МИКРОКЛАСТЕРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Смуров А.А., Сорокин А.А.
Научный руководитель: Печаткин А.В., канд. техн. наук, зав. кафедрой РТС
Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина,53, г. Рыбинск, тел./факс (4855) 22-28-37
E-mail: rts@rgata.ru

Ключевой принцип работы классической сотовой системы связи заключается в многократном использовании одних и тех же частотных каналов в различных сотах, расположенных соответствующим образом в зоне покрытия системы. Группа из N сот, использующая все доступные частоты несущих, исключая при этом их повторное использование, называется сотовым кластером (англ. *Ce11 cluster*). Для анализа размера и особенностей кластера используются геометрические свойства набора шестиугольников. При этом с целью повышения информативности и упрощения расчетов вводится система координат с 60° углом между осями [1,2].

Пусть радиус окружности, описанной вокруг каждого шестиугольника, равен r. Очевидно, что r – это также и расстояние от центра шестиугольника до его вершины. Свойства равностороннего треугольника со стороной r, позволяют утверждать, что расстояние между двумя соседними шестиугольниками равно $\sqrt{3}r$. Примем его за единицу длины. В системе координат с углом между осями координат, равным 60°, расстояние от центра любого шестиугольника до начала координат составляет

$$R = \sqrt{3}r\sqrt{i^2 + ij + j^2}, \quad (1)$$

где i и j – координаты центра рассматриваемого шестиугольника, выраженные в принятых единицах длины, равных $\sqrt{3}r$.

Выражение (1) прямо следует из обобщенной теоремы Пифагора, которая утверждает, что квадрат длины стороны R, лежащей напротив угла α, образованного сторонами с длинами u и v, равен

$$R^2 = u^2 + v^2 - 2uv\cos\alpha. \quad (2)$$

Формируемые кластерные структуры должны быть расположены таким образом, чтобы покрываемые ими области не перекрывались, не имели разрывов. Возникает следующий вопрос: какое количество сот в кластере обеспечивает наиболее компактное покрытие? Используя выражения (1) и (2), а также выражения для расчета площади гексагональной соты и сформированного на ее основе кластера, можно доказать, что количество N сот в кластере, удовлетворяющее рассмотренным выше требованиям может быть найдено следующим образом:

$$N = i^2 + j^2 + ij. \quad (3)$$

В различных источниках указывается, что кластер, образующий регулярную сетевую структуру, может состоять из одной, трех, четырех, семи, двенадцати и т. д. сот – рис.1 [1…9].

При этом регулярной считается структура, в которой количество мешающих станций и их

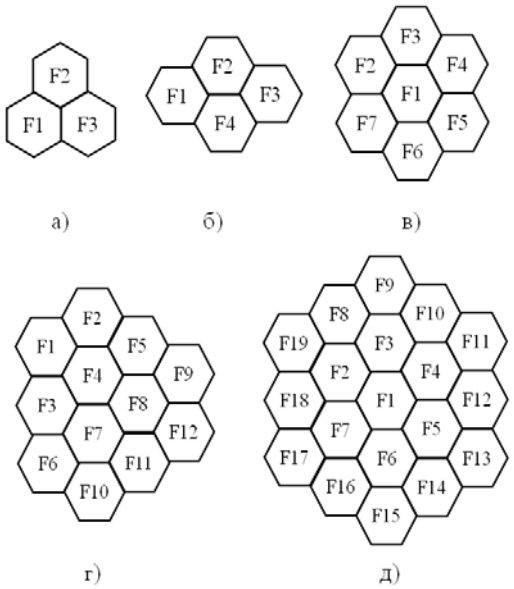


Рис.1. Построение многоэлементных кластеров: а) 3-элементного; б) 4-элементного; в) 7-элементного; г) 12-элементного; д) 19-элементного

взаимное расположение, в т.ч. расстояние до «опорной» (анализируемой) соты, определены однозначно на любом ярусе (эшелоне) мешания.

Между тем, очевидно, что количество сот в кластере не ограничено и в соответствии с выражением (3) регулярных структур гораздо больше, и можно предположить, что благодаря большему количеству ячеек в кластере форма регулярной структуры может быть инвариантной, позволяя наиболее оптимально выбирать геометрию зоны обслуживания, особенно для микросотовых телекоммуникационных сетей . Для проверки этого предположения рассчитаем возможное количество ячеек в кластере,

удовлетворяющее требованию регулярности. Результаты расчетов отражены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчета количества ячеек в составе регулярного кластера

i / *j*	Количество ячеек в кластере			
	1	*2*	*3*	*4*
1	3	7	13	21
2	7	12	19	28
3	13	19	27	37
4	21	28	37	48

Результаты синтеза новых кластерных структур отраженные на рис.2…4 полностью подтверждают правильность высказанных предположений и, кроме того, наглядно показывают, что регулярная структура не обязательно должна быть геометрически симметричной.

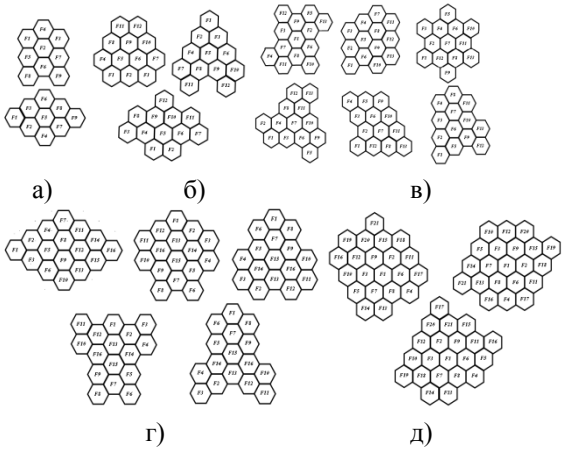


Рис.2. Новые структуры регулярных многоэлементных кластеров: а) 9-ти элементная; б) 12-ти элементная; в) 13-ти элементная
г) 16-ти элементная; д) 21 элементная

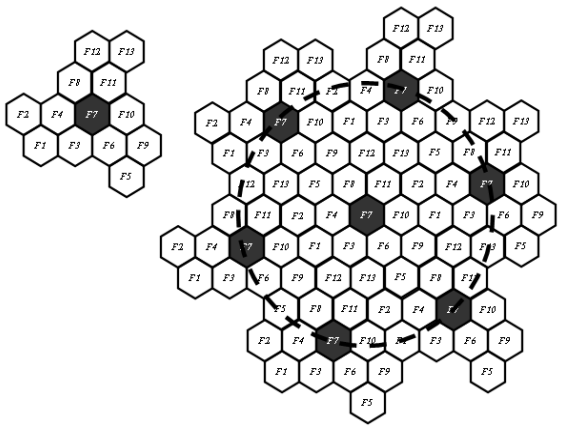


Рис. 3. Пример формирования регулярной зоны обслуживания на основе 13-ти элементного кластера

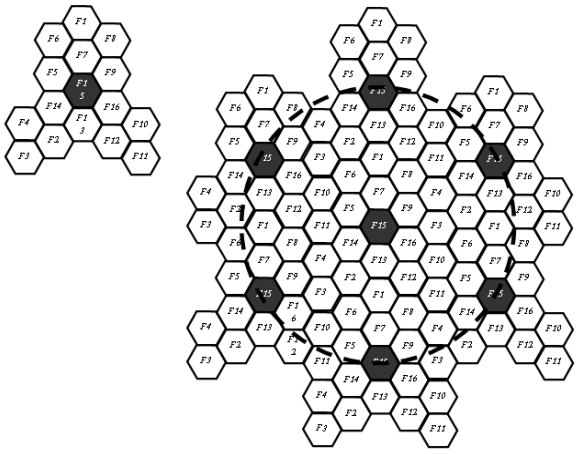


Рис. 4. Пример формирования регулярной зоны обслуживания на основе 16-ти элементного кластера

Многообразие полученных геометрических решений позволяет утверждать, что с их помощью формирование зоны обслуживания мобильной телекоммуникационной сети может быть осуществлено с максимальным уровнем оптимизации. Возможность получения инвариантных геометрических форм регулярных структур особенно актуальна в связи с ужесточением норм электромагнитного излучения.

Список литературы

1. Всеволод Кшиштов Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польского И.Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. М.: Горячая линия – Телеком, 2006

2. Печаткин А.В. Системы мобильной связи. Принципы организации, функционирования и частотного планирования систем мобильной связи: Учебное пособие. – Рыбинск, 2009.

3. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007

4. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов/ В.П. Ипатов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; под ред. В.П. Ипатова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003

5. Мухин А.М. и др. Энциклопедия мобильной связи. В 2-х томах. Том 1. Системы связи подвижной службы общего назначения. / СПб: Наука и техника, 2001

6. Андрианов В.И., Соколов А.В. Сотовые, пейджинговые и спутниковые средства связи. – СПб.: BHV-Петербург, Арлит, 2001

7. Невдяев Л.М. Мобильная спутниковая связь 3-го поколения. Справочник. Серия изданий “Связь и бизнес”, М.: МЦНТИ, 2000

8. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б. Зимина. – М.: Радио и связь, 1998

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ И ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СВЧ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА

Степачева А.В., Абрамов А.О.
Научный руководитель: Добуш И.М., аспирант, м.н.с.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: amaya_89@sibmail.com

Применение СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) позволяет значительно улучшить характеристики радиоэлектронных средств (РЭС). В частности, без таких устройств невозможно создание современных высококачественных средств космической, спутниковой, персональной и сотовой связи, телекоммуникационных и навигационных систем, систем цифрового телевидения и др.

Для успешного и своевременного изготовления СВЧ МИС необходимо выполнять точные измерения каждого компонента непосредственно на полупроводниковой пластине. При этом измерения позволяют не только проверить, удовлетворяют ли изготовленные компоненты и устройства поставленным требованиям, но также построить и верифицировать математические модели элементов для организации процесса проектирования МИС.

Главным элементом СВЧ МИС является транзистор, который характеризуют при помощи параметров рассеяния (S-параметров), вольтамперных характеристик (ВАХ), шумовых и мощностных параметров. В настоящее время существует несколько методик для построения нелинейных моделей гетероструктурных полевых СВЧ транзисторов, перспективным является использование так называемых табличных моделей. Достоинством, которых является высокая точность в широком диапазоне изменения режимов работы транзистора и частоты [1]. Однако, для построения адекватной табличной модели необходимо выполнить измерения S-параметров более чем в 100 рабочих точках транзистора. При использовании ручного труда для сбора экспериментальных данных, хотя бы для одной конфигурации транзистора, может понадобиться несколько часов, что неприемлемо при массовом производстве и очень затратно при выполнении исследовательских работ, т.к. количество опытных конфигураций транзисторов может исчисляться десятками.

Целью настоящей работы является разработка программы на основе среды Indesys MS [2], с помощью которой можно автоматизировать процесс измерения параметров рассеяния и вольтамперных характеристик для построения табличной нелинейной модели СВЧ полевого транзистора.

Для получения указанных характеристик СВЧ транзисторов, в НОЦ «Нанотехнологии» ТУСУР разработан измерительный стенд, структурная схема которого приведена на рис.1.

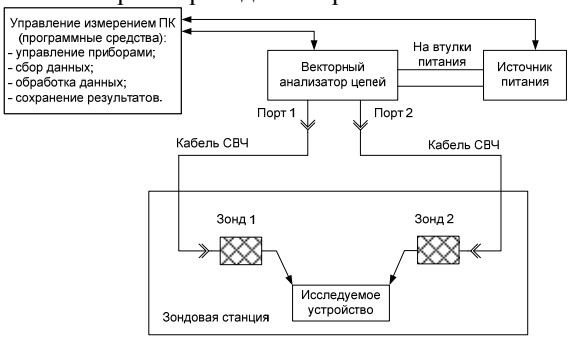


Рис.1. Установка для зондовых измерений параметров рассеяния и ВАХ СВЧ транзисторов

Измерительный стенд состоит из следующих устройств:

- Зондовая станция Cascade Microtech серии Summit 11K, используемая для размещения и фиксации полупроводниковой пластины с исследуемыми компонентами, а также обеспечивающая взаимодействие измерительных приборов с СВЧ МИС;
- Векторный анализатор цепей (ВАЦ) Rohde & Shwartz (ZVA 40, 10 МГц – 40 ГГц) для измерения малосигнальных S-параметров;
- Двухканальный источник питания (ИП) Agilent E3646A для установки режима активного элемента по постоянному току;
- Персональный компьютер для управления измерительным оборудованием.

Алгоритм (см. рис.2), разработанной программы, включает два режима: «предустановка» и «измерение».

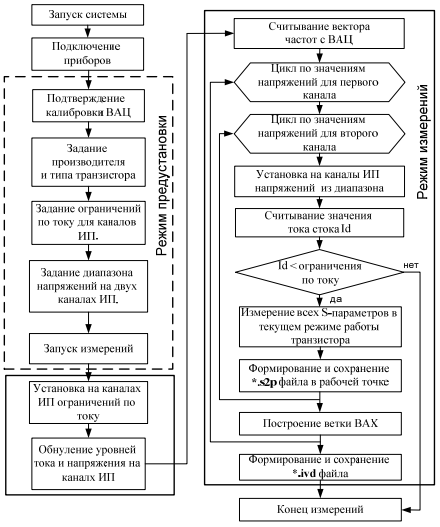


Рис.2. Алгоритм разработанной программы

В качестве примера опишем процесс измерений параметров полевого гетероструктурного СВЧ транзистора изготовленного по технологии ОАО «НИИПП», г. Томск.

После калибровки ВАЦ и установки СВЧ зондов на исследуемый транзистор на персональном компьютере необходимо запустить программную среду Indesys-MS для подключения измерительных приборов (ВАЦ и ИП). После чего нужно запустить диалог измерений (см. рис.3), программа работает в режиме «предустановка». Оператор вводит наименование производителя и тип исследуемого транзистора, диапазон и шаг изменения значений напряжений (затвор-исток и сток-исток), а также ограничение по току для каждого канала ИП (см. рис. 3).

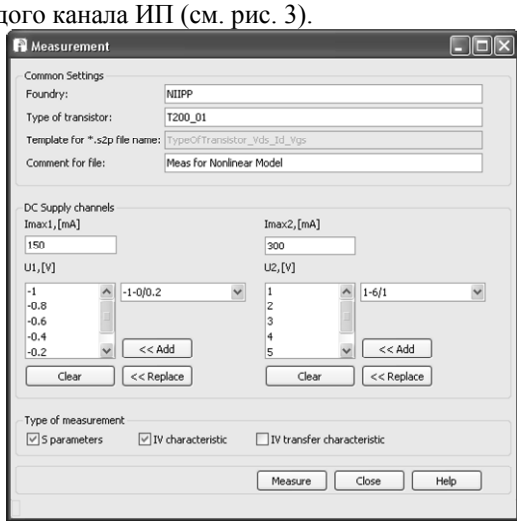


Рис.3. Диалог задания параметров измерений

После нажатия кнопки «Measure» программа устанавливает ограничения и обнуляет уровни напряжений на каналах ИП, а также выводит количество рабочих точек транзистора, в которых будут измеряться параметры рассеяния.

Далее следует режим «измерение», в котором производится измерение параметров рассеяния транзистора в заданных режимах работы, уже без участия оператора согласно приведенному алгоритму (см. рис.2). При выходе транзистора из строя в процессе измерений или аномальном скачке тока в измерительном тракте программа оповещает оператора и предоставляет возможность завершить процесс измерений.

После завершения процесса измерений среда Indesys-MS позволяет выводить результаты экспериментальных данных на графические диаграммы (прямоугольную, интегральную, полярную и диаграмму Смита, см. рис.4) и в табличной форме.

С использованием разработанной программы, автоматизации процесса измерений параметров рассеяния и ВАХ, временные затраты уменьшаются более чем в 10 раз, по сравнению с ручным режимом. Кроме того при проведении длительных измерений исключаются ошибки связанные с человеческим фактором.

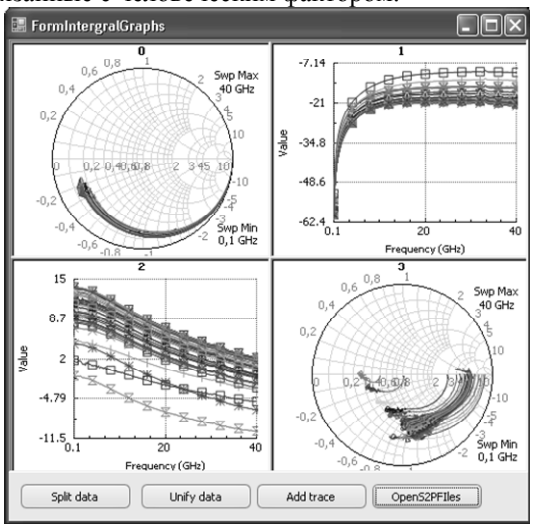


Рис.4. Частотные зависимости S-параметров СВЧ транзистора в различных режимах работы

Также к достоинствам данной системы относится возможность проводить измерения характеристик транзистора, как совместно, так и по отдельности. Благодаря наличию в системе графических возможностей можно наблюдать и анализировать экспериментальные данные в процессе измерений. Результаты измерений сохраняются в файлы с расширением *.s2p и *.ivd, что позволяет в дальнейшем их использовать в коммерческих системах автоматизированного проектирования и моделирования СВЧ-устройств, таких как AWR Microwave Office, ADS, IC-CAP и др.

Работа выполнялась в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы» (П1418), «Создание электронной компонентной базы» (П1492), «Микроэлектроника» (П669, П499, 16.740.11.0092) и «Проведение исследований коллективами НОЦ по направлению «Микроэлектроника» (14.740.11.0135).

Авторы выражают благодарность сотрудникам ОАО «НИИПП» за предоставление тестовых образцов транзисторов для проведения экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Дмитриенко К.С., Бабак Л.И. Построение табличной нелинейной модели PHEMT-транзистора // 19-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». – Севастополь: Вебер, 2009. – Т. 1. – С. 119–120

2. Программная среда Indesys MS [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ellics.com/index.php?option=com_remository&Itemid=102&func=startdown&id=14

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Стотланд И.А.
Научный руководитель: Деменкова Т.А., к.т.н., доцент
Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет), 119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, 78
E-mail: irastot@gmail.com

Высокая конкуренция на рынке вычислительных систем требует от разработчиков создания все более сложных и многофункциональных сверхбольших интегральных схем (СБИС) и сокращения сроков их проектирования. Высокие темпы должны сочетаться с качеством выполняемых работ.

Чтобы убедиться, что система удовлетворяет всем функциональным требованиям, сформулированным в спецификации, применяется функциональная верификация. Задача функциональной верификации — доказать, что разрабатываемое устройство будет работать согласно его спецификации (техническому заданию) [1]. Одним из основных способов функциональной верификации является имитационное тестирование.

Центральными в процессе имитационного тестирования являются стадии разработки тестового окружения и процесса непосредственного тестирования RTL-модели (Register Transfer Level), интегрированной в тестовое окружение. Сегодня, при всей сложности разрабатываемых систем, актуальна иерархическая структура проектов, когда более сложная система строится на основе более простых блоков. Процесс верификации также основан на принципе иерархичности: существует несколько уровней, на каждом из которых происходит верификация структурных элементов всей системы. Можно выделить два основных уровня верификации вычислительных систем: модульный и системный. При модульной верификации функциональные блоки, входящие в состав верифицируемой системы, тестируются автономно (stand-alone verification). Основным преимуществом модульной верификации является возможность проводить тестирование на ранних стадиях разработки, как только готова RTL-модель модуля, входящего в состав системы, не дожидаясь всей системы в целом.

Существуют два подхода к имитационному тестированию – интерактивное тестирование и тестирование с использованием тестовой системы (testbench). Интерактивное тестирование подразумевает задание управляющих воздействий и наблюдение полученных откликов непосредственно в процессе моделирования. Тестирование на основе тестовой системы требует разработки дополнительного окружения, генерирующего для верифицируемого устройства входные воздействия и анализирующего выходные сигналы.

Тестовая система имитирует окружение, в котором будет в дальнейшем функционировать верифицируемое устройство. Среди других задач тестовой системы можно выделить задачи генерации входных последовательностей и проверку правильности выходных последовательностей, а также оценка полноты тестового покрытия и генерации файлов-отчетов (log files). Исходя из перечисленных задач, стоящих перед тестовой системой, ее можно декомпозировать на структурные элементы, отвечающие за выполнение каждой из поставленных задач. Тестовая система также должна обладать свойствами масштабируемости и быть конфигурируемой для повторного применения (reusability), предоставлять возможность взаимодействия с другим программным и аппаратным обеспечением, применяемым для верификации [2].

В детерминированной (самопроверяющей) тестовой системе устройство проверки осуществляет не только анализ выходных сигналов, но и заведомо описывает правильную функциональность верифицируемого устройства [3]. Каждый тест после оказания воздействий на систему осуществляет заранее определенные проверки. Детерминированные тестовые системы требуют больших усилий на разработку и поддержку тестов, так как в тесте должен быть «вручную» произведен анализ выходных сигналов. При изменении функциональности или интерфейса верифицируемой системы, детерминированные тестовые системы требуют тщательной переработки.

В данной работе предлагается тестовая система на основе эталонной модели (golden model). Такой подход лишен недостатков, связанных и использованием детерминированных тестовых систем. В данном случае отдельно от самой тестовой системы разрабатывается программная модель верифицируемого устройства, обладающая той же функциональностью, но, описанная на более абстрактном уровне. Основной задачей программной модели вычислительной системы или ее отдельных блоков является интерпретация спецификации целевой системы за счет реализации набора состояний целевой системы и инструкций для перехода из одного состояния в другое. Нет необходимости в полном представлении спецификации программной

моделью. В зависимости от уровня абстракции программные модели можно разделить на функциональные (transaction level model) и потактовые (cycle level model) [3]. Функциональные модели описывают систему на уровне набора транзакции (команд). В таких моделях длительность одной транзакции принимается за один такт. Такое упрощение не влияет на качественные оценки функционирования модели и позволяет уменьшить детализацию описания, а следовательно, увеличить скорость моделирования.

Разработанная архитектура тестовой системы, использующая эталонную функциональную модель, представлена на рис.1. В отличие от классической самопроверяющей тестовой системы устройство проверки данной тестовой системы не анализирует входные воздействия. Таким образом, в тестовой системе, построенной с применением эталонной модели, удалось сделать независимыми («развязать») драйвер и устройство проверки. Это повышает наглядность системы, ее надежность, а также позволяет разрабатывать и отлаживать отдельные компоненты тестовой системы независимо друг от друга.

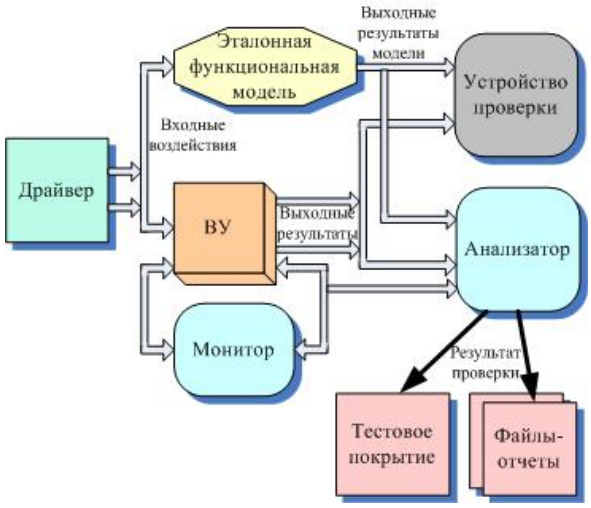


Рис.1. Архитектура тестовой системы на основе эталонной функциональной модели

Центральным элементом любой тестовой системы является само верифицируемое устройство – ВУ (DUT - Design Under Verification). В состав тестовой системы также входит генератор входных последовательностей – Драйвер (Driver). Входные воздействия (поток команд и данных), на которых выполняется моделирование, могут генерироваться как псевдослучайная последовательность, так и быть направленными. Выполнив на некотором множестве инструкций и данных моделирование RTL-модели, необходимо сравнить полученные результаты с результатами ожидаемыми. Для этого в состав тестовой системы входит Устройство проверки (Checker). Анализатор (Scoreboard) – механизм вывода результатов работы верифицируемого устройства и устройства проверки (файлов-отчетов) и анализа тестового покрытия. Для контроля работы тестовой системы служит блок Монитор (Monitor), осуществляющий мониторинг не только выходных, но и входных последовательностей верифицируемого устройства.

При имитационном тестировании с применением эталонной функциональной модели на разработку тестовой системы и программной модели выделяется большая часть времени. Один из подходов к решению этой проблемы заключается в переносе некоторых возможных этапов верификации на более ранние стадии. Поэтому создание программной модели целесообразно проводить одновременно с разработкой RTL-модели. Программная модель должна основываться только на функциональной спецификации. При одновременной разработке программной модели и RTL-модели сокращаются сроки проведения верификации, а также обеспечивается независимость тестового окружение от конечной RTL-модели. Тестовая система работает как с самим верифицируемым устройством, так и с его программной моделью. Используя технологию DPI (Directed Programming Interface) языка System Verilog, возможно абстрагироваться от конкретной реализации устройства, так как DPI позволяет импортировать в SystemVerilog-модуль функции, реализованные на языке C++, и экспортировать в C++-модуль функции, реализованные на SystemVerilog. Таким образом, благодаря технологии DPI организовывается интерфейс программной модели и тестового окружения.

Наличие эталонной функциональной модели позволяет также автоматизировать проверку правильности функционирования верифицируемой системы и генерацию тестовых воздействий. Это позволяет существенно сократить сроки верификации и повысить качество проверки.

Список литературы

1. Bergeron Janick. Writing testbenches: functional verification of HDL models. — Boston: Kluwer Academic Publishers, 2003. — 479p.

2. Bamford N., Bangalore R.K., Chapman E., Chavez H., Dasari R., Yinfang Lin Jimenez E. Challenges in System on Chip Verification. // Microprocessor Test and Verification, 2006. MTV '06. Seventh International Workshop, 2006. P.52–57.

3. Wile B., Goss J.C., Roesner W. Comprehensive functional verification the complete industry cycle. — CA: Morgan Kaufmann Publishers, 2005. — 676p.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Е.В. Тараканов
Научный руководитель: Муравьев С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tark@tpu.ru

Введение

Беспроводные сенсорные сети все чаще используются для мониторинга окружающей среды [1], отслеживания перемещений, в системах пожарной безопасности [2]. В таких системах данные собираются автономными сенсорами с последующей передачей по беспроводной сети. Обычно сеть имеет иерархическую (древовидную) структуру, в которой данные передаются от узлов-источников данных к одному или нескольким узлам-приемникам.

По сравнению с проводной сетью передача данных в беспроводной сенсорной сети имеет ряд особенностей. В данной статье описываются задачи, стоящие перед протоколами транспортного уровня. Рассматривается соответствие системы Pritrans стоящим данным задачам.

1. Особенности передачи данных в беспроводных сенсорных сетях.

Для передачи данных в беспроводной сенсорной сети используются радиоканалы сравнительно малой пропускной способности. По этим каналам передается огромное количество различных видов данных – от периодических сообщений до внеочередных сообщений о произошедшем событии и управляющих пакетов. Но даже при передаче исключительно простых периодических сообщений в сети возникают коллапсы перегрузки из-за нестабильности радиоканалов. Более того, в сети могут исчезать или появляться новые узлы, что может приводить к перегрузкам относительно свободных участков сети.

Проблема коллапса перегрузки описана в [3]. Основной задачей протокола транспортного уровня является предотвращение подобного коллапса за счет распределения сетевой нагрузки и управления скоростью передачи пакетов. Также не менее важной задачей является уменьшение последствий перегрузки сети, как правило, методом повторной отправки пакета.

Распределение сетевой нагрузки и управление скоростью передачи может осуществляться двумя способами – либо равномерно для всех узлов какой-либо части дерева, либо по некоторым заданным приоритетам узлов.

Следующей существенность особенностью беспроводной сенсорной сети является автономность сенсоров от внешних источников питания. В результате сенсоры имеют весьма ограниченные вычислительные ресурсы. Следовательно, существуют значительные ограничения по сложности используемых алгоритмов и по объему выделяемой памяти. Например, MICAz использует для очереди сообщений 4 КБ. Ещё одним следствием из автономности сенсоров является необходимость энергосбережения – как через минимизацию мощности передатчика, так и через уменьшение логических операций на сенсоре. Характерными примерами протоколов с упором на энергосбережение являются RCRT [4] и протокол, представленный By [5]. Оба протокола используют принцип «тонкого клиента», при котором все операции производятся на узле-приемнике данных, как правило, расположенном на более мощной платформе чем сенсорный узел.

2. Применение отношений консенсуса к передаче данных.

Как показано в [6], для управления передачей данных может использоваться метод назначения приоритетов сенсорным узлам на базе теории социального выбора. Просматривая проходящие через некоторый узел пакеты данных можно, используя методы поиска отношения консенсуса, назначить каждому узлу некоторый уровень приоритета. Преимуществом данного подхода является возможность динамического назначения приоритетов в зависимости от текущего состояния сенсорных узлов.

Наилучшим алгоритмом для поиска отношения консенсуса является метод Кондорсе. Однако данный метод работает не для всех наборов предпочтений.

Наилучшим приближением к методу Кондорсе является медиана Кемени, определяемая формулой:

$$\beta = \arg\min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda) \qquad (1)$$

где $D(\lambda, \Lambda) = \sum_{k=1}^{m} d(\lambda, \lambda_k)$ - расстояние между отношением λ и профилем Λ, Π - набор всех $n!$ строгих отношений на A.

Но данный метод обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, задача вычисления медианы Кемени является в общем случае NP-полной. Поиск отношения консенсуса даже с помощью эмпирических методов занимает значительное время, следовательно, требует значительных затрат ресурсов сенсора и электроэнергии. Во-вторых, медиана Кемени не всегда является единственной. Может

существовать от одной до нескольких миллионов равноправных медиан.

В качестве альтернативы медиане Кемени лучше всего подходит счет Борда. В данном методе решение всегда существует и единственно, и вычислимо за $O(n^2)$.

3. Описание Pritrans

На базе назначения приоритетов сенсорным узлам с использованием отношения консенсус Томским политехническим университетом и Сингапурским Национальным университетом разработана система Pritrans для передачи данных в беспроводных сенсорных сетях. Основными компонентами данной системы является очередь отправки пакетов и распределение пропускной способности сети.

Для передачи пакетов на следующий узел сети используется очередь сообщений, упорядоченных по приоритету. В случае если очередь не переполнена, поступающий на вход пакет добавляется в конец очереди. В случае же переполнения очереди поступающий пакет вытесняет из очереди пакет с самым низким приоритетом из имеющихся. Данный способ формирования очереди сообщений обеспечивает первоочередную передачу наиболее важных пакетов, что позволяет повысить скорости доставки в условиях близкой к коллапсу сети. Ещё одним важным результатом упорядоченной очереди сообщений является минимизация последствий перегрузки сети, поскольку в сузившийся канал передачи данных попадают наиболее важные пакеты.

Каждый узел в древовидной структуре беспроводной сети, имеющий узлы-потомки, распределяет между ними полосу пропускания канала. Тем самым обеспечивается повышение частоты отправки пакетов с узлов, зарегистрировавших нужное событие.

Более подробное описание механизмов работы сети и результаты моделирования можно найти в [7] .

4. Обсуждение

Как следует из описания, система Pritrans решает две основные задачи – минимизацию последствий перегрузки сети и распределение пропускной способности сети. Рассмотрим другие задачи, стоящие перед протоколами в беспроводных сенсорных сетях.

По вопросу энергосбережения данная система проигрывает протоколам с «тонкими клиентами», поскольку требует вычислений на каждом из промежуточных узлов. Однако затраты на вычисления настраиваются благодаря возможности задавать период пересчета приоритетов узлов. Таким образом, мы получаем гибкий инструмент для маневра между энергосбережением и эффективностью.

Для предотвращения коллапса перегрузки системе необходим модуль обнаружения перегрузок. При помощи данного модуля система получала бы возможность снижать пропускную способность сети при угрозе перегрузки и повышать при улучшении качества каналов связи. Наиболее эффективным способом реализации модуля является сочетание системы Pritrans и протокола RCRT, позволяющее получить динамическое распределение пропускной способности от первого и обнаружение перегрузок от второго протокола.

Заключение

В данной статье рассмотрены основные задачи, стоящие перед протоколами в беспроводных сенсорных сетях. Показано, как в системе Pritrans, разработанной совместно с Сингапурским Национальным университетом, решаются данные задачи, намечены пути дальнейшего усовершенствования системы.

Список литературы

1. Szewczyk R., Mainwaring A., Polastre J., Anderson J., Culler D. An analysis of a large scale habitat monitoring application // Proc. of SenSys. – Baltimore, MD, USA, 2004. – pp. 214–226.

2. Song H., Zhu S., Cao G. Svats: A sensor-network-based vehicle anti-theft system // Proc. of Infocom. – Phoenix, AZ, USA, 2008 – pp. 171–175.

3. Hull B., Jamieson K., Balakrishnan H. Mitigating Congestion in Wireless Sensor Networks // ACM SenSys – Baltimore, MD, USA, 2004

4. J. Paek and R. Govindan, “Rcrt: Rate-controlled reliable transport for wireless sensor networks,” in *Proc. of SenSys*, Sydney, Australia, 2007, pp. 305–319.

5. A. Woo and D. Culler, “A transmission control scheme for media access in sensor networks,” in *Proc. of MobiCom*, Rome, Italy, 2001, pp. 221–235.

6. Muravyov S.V., Chan M. Ch., Khomyakova M. Prioritizing sensed data transmission by consensus relation in wireless sensor network. Proceedings of the 12th Joint International IMEKO TC1 & TC7 Symposium "Man, Science & Measurement" (September 3 - 5, 2008, Annecy, France), Universite de Savoie, 2008, 277-282.

7. Shao Tao, Chan M. Ch., Muravyov S.V., Tarakanov E.V. Pritrans: A Prioritized Converge-cast Scheme using Consensus Ranking in Wireless Sensor Networks. Proceedings of the IEEE Sensors Applications Symposium (SAS-2010), 23-25 February 2010, Limerick, Ireland, 251-256.

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СВЕРТОЧНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Титова Е.М.
Научный руководитель: Мирончиков Е.Т., д.т.н., профессор
Петербургский государственный университет путей сообщения,
190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9
E-mail: titovaevg@gmail.com

Большинство каналов связи подвержены угрозе съема (пассивного перехвата) информации перехватчиком с данных линий, используя побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН) [1,2], которые заложены в природе этих каналов. Исходя из этого, можно сделать вывод о необходимости разработке систем, увеличивающие степень защищенности информации в условиях пассивного перехвата.

Возникновение ПЭМИН происходит в результате того факта, что при прохождении электрического тока по элементам системы связи вокруг этих элементов возникают электрические и магнитные поля. Следовательно, существует возможность считать электромагнитные поля и получить информацию о передаваемых сообщениях на их основе. Такой технический канал утечки возникает за счет ПЭМИН.

Существует ряд методик, направленных на оценку защищенности за счет ПЭМИН [3,4]. Данные методики направлены на оценку требуемого радиуса контролируемой зоны. Контролируемая зона представляет собой территорию, на которой благодаря проведению различного рода технических и режимных мероприятий созданы условия по предотвращению утечки информации.

Существующие методики оценки защищенности технических средств и систем обработки, передачи и хранения конфиденциальной информации не только определяют размер контролируемых зон, но и на основании методов их определения разрабатывают рекомендации по оптимальному месту размещения технических средств и систем [1,3,4].

Наибольший интерес представляет собой поведение перехватчика вне предела контролируемой зоны, поскольку современные достижения в области разработки новых технических средств позволили создать миниатюрные и чувствительные радиоприемники, которые позволили сильно увеличить дальность перехвата информации. Использование же для самого факта передачи ПЭМИН значительно затрудняет обнаружение факта съема информации.

Применение широкополосных генераторов шума, несомненно, снижает вероятность успешного перехвата информации. Однако данный метод при определенных условиях не гарантирует защиту информации, поскольку требует серьезного и дорогостоящего исследования после установки для оценки эффективности шумоподавления. Другим способом защиты является экранирование [1]. Однако данный способ требует серьезных экономических затрат на защиту помещения и постоянных проверок его эффективности.

Существуют системы помехоустойчивого кодирования с зашумлением [5], которые не используют средства шифрования [6], а значит и не требуют значительных затрат на системы генерации, хранения и распределения ключей, однако обеспечивают защиту информации легитимного пользователя от несанкционированного перехвата. Для надежной защиты такими системами нужно обеспечить такое воздействие на перехватчика, которое создавало резкие ухудшения условий его работы, а именно - чтобы канал перехвата имел худшие характеристики, чем легитимный канал.

Данный термин впоследствии получил название кодового зашумления [1,5]. В кодовом зашумлении используются приложения линейного кодирования, которые не требуют наличия дорогостоящих систем генерации, хранения и распределения ключей, а также основаны на разработанном математическом аппарате и допускают простую техническую реализацию кодирующих и декодирующих устройств.

Классические методы реализации кодового зашумления на блоковых кодах [5,7,8], решают проблему передачи конфиденциальной информации и являются развитием концепции Вайнера [9]. Однако повышение вероятности правильной передачи информации (понижение вероятности ошибки в основном канале) создает быстрый рост вероятности успешного перехвата.

Поэтому достаточно актуальными представляются меры по защите информации с помощью сверточного кодирования с зашумлением особого рода [10,11], поскольку применение в качестве способа противодействия перехвату зашумления канала передачи с использованием сверточных кодов во многих случаях может не только обеспечить более низкую вероятность успешного перехвата (повышение уровня защищенности информации), сохраняя не меньший уровень верности передачи по сравнению с блоковым зашумлением, но и навязать перехватчику политику, которая выгодна пользователям.

Рассмотрим пример оценки защищенности элемента сети связи с помощью системы сверточного кодирования с кодовым зашумлением.

Исходные данные:

- коэффициент погонного затухания, который определяется по изменениям напряженности электромагнитного поля в двух точках;
- отношение сигнал/шум в районе источника сигнала (равно 14 дБ);
- расстояние до контролируемой зоны (равно 2000 м);
- расстояние до перехватчика (равно 4000 м).

Пусть шум в канале является аддитивным белым гауссовским [11]. Тогда принятый сигнал является суммой переданного сигнала и случайной величины, распределенной по гауссовскому закону. Пусть эта величина является нормированной и, следовательно, имеет нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию. В этом случае вероятность того, что эта величина будет больше некоторого числа $x \in R$ можно определить гауссовской хвостовой функцией $x \in R \quad Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$. Число x представляет собой порог, разделяющий решающие области [11].

Полученные вероятность ошибки двоичного символа в легитимном канале равна $\varepsilon = 1,077 \cdot 10^{-5}$, а вероятность ошибки двоичного символа в канале перехвата - $\delta = 5,64 \cdot 10^{-3}$.

Следовательно, вероятность неправильного приема символа поля $GF(2^r)$, $r = 6$ на одно ребро длины $n = 31$ для сверточного кода со скоростью $27/31$ в легитимном канале равна $p_0 = 1-(1-\varepsilon)^r = 6,462 \cdot 10^{-5}$, а в канале перехвата $p = 1-(1-\beta)^r = 3,343 \cdot 10^{-2}$.

Вероятность неправильного приема ребра длины n в основном канале в свою очередь равна

$$p_{01} = 1-(1-p_0)^n + np_0(1-p_0)^{n-1} + \\ + \frac{n(n-1)}{2} p_0^2 (1-p_0)^{n-2} = 1,21117 \cdot 10^{-9},$$

вероятность успешного перехвата на одно ребро в решетчатом представлении сверточного кода равна

$$p_{11} = (1-p)^n + np(1-p)^{n-1} + \frac{n(n-1)}{2} p^2 (1-p)^{n-2} = \\ = 0,91607.$$

Таким образом, в случае использования дополнительного кодового зашумления (распределения ответственного сообщения по 30 ребрам используемого кода) вероятность успешного перехвата сообщения из 30 ребер сверточного кода приблизительно равна $p_{12} = p_{11}^{30} = 0,05$. Отсюда можно сделать вывод, что применение в системе сверточного кодирования дополнительного кодового зашумления ухудшает ситуацию в канале перехвата почти в 20 раз. Вместе с тем в этих условиях, при отсутствии кодового зашумления ответственное сообщение длиной 30 символов будет принято противником без ошибки с вероятностью $0,35425$. Кроме того, многие принятые с отдельными ошибками сообщения могут быть правильно поняты. Поэтому можно сделать вывод, что применение предлагаемого комплексного метода кодового зашумления сократит радиус контролируемой зоны при уровне конфиденциальности $0,05$ на кодовое слово длины 31 при применении сверточного кода $27/31$ на 35 %, а энергетический выигрыш составит 52 %.

Список литературы

1. Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А. В. Защита от утечки информации, М.: Горячая линия - Телеком, 2005.

2. M.G. Kuhn, R.J. Anderson, “Soft Tempest: Hiddeen Data Transmission Using Electromagnetic Emanations,” in David Aucsmith (Ed.), Information Hiding, Second International Workshop Springer LNCS, vol. 1525, pp. 124–142., April, 1998.

3. Временная методика оценки защищенности основных технических средств и систем, предназначенных для обработки, хранения и (или) передачи по линиям связи конфиденциальной информации, Гостехкомиссия России, Москва, 2002.

4. Временная методика оценки защищённости конфиденциальной информации, обрабатываемой основными техническими средствами и системами, от утечки за счёт наводок на вспомогательные технические средства и системы и их коммуникации, Гостехкомиссия России, Москва, 2002.

5. Яковлев В.А. Защита информации на основе кодового зашумления. Часть 1. Теория кодового зашумления (монография), СПб.: ВАС, 1993.

6. Шнайер Б., Прикладная криптография. – М.: Триумф, 2005.

7. Осмоловский С.А. Стохастические методы передачи данных. М.: Радио и связь, 2003.

8. Савельев М.Ф. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб.: ГПУ, 2003.

9. A.D. Wyner, “The Wire-Tap Channel,” Bell Sys.Tech.J., vol. 54, pp. 1355–1387, Oct. 1975.

10. Титова Е.М., Мирончиков Е.Т. Сверточные коды с алгебраическим декодированием // Программные продукты и системы: прил. к межд. журн. "Проблемы теории и практики управления". – №4 (84) – Тверь: Фактор, 2008. – С. 153–155.

11. Возенкрафт Дж., Джекобс И. Теоретические основы техники связи, М.: Мир, 1969.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ КУЗБАССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ

Трофимов И.Е.
Научный руководитель: Пимонов А.Г., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: ivaniv-star@mail.ru

Текущее состояние дел в сфере высшего профессионального образования таково, что при увеличении конкуренции среди ВУЗов за ежегодно сокращающееся число абитуриентов, отсутствии притока молодых преподавателей и слабой мотивации имеющегося профессорско-преподавательского состава от высших учебных заведений по-прежнему требуется качественная подготовка выпускаемых специалистов.

В рамках работ по автоматизации Кузбасского государственного технического университета было принято решение о разработке качественно новой системы поддержки принятия решений.

Разрабатываемая автоматизированная система поддержки принятия решений будет включать в себя модули:

1) учета и анализа успеваемости студентов;
2) количественной оценки и анализа деятельности профессорско-преподавательского состава (ППС);
3) количественной оценки и анализа научной и внеучебной деятельности студентов;
4) планирования штатного расписания кафедр;
5) учета регистрируемых объектов интеллектуальной собственности;
6) учета социально незащищенных студентов.

За счет использования открытой архитектуры предусмотрена возможность дальнейшего расширения функциональности системы путем добавления новых модулей.

Актуальность работ по созданию системы поддержки принятия решений в задачах управления ВУЗом обусловлена отсутствием на рынке программного обеспечения подобных продуктов.

В настоящее время разработаны отдельные модули, которые планируется включить в состав проектируемой системы:

1) автоматизированная система «Объекты интеллектуальной собственности» [1, 2, 3];
2) автоматизированная система учета социально незащищенных студентов [4, 5];
3) автоматизированная система учета научно-исследовательской работы студентов [6];
4) автоматизированная система планирования штатного расписания кафедр университета [7, 8, 9];
5) рейтинг профессорско-преподавательского состава [10].

Данные системы зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, получены 7 свидетельств об официальной регистрации программ и баз данных.

В результате реализации проекта будет разработана система поддержки принятия решений в задачах управления высшим учебным заведением. Применение данной системы в высших учебных заведениях позволит автоматизировать обработку больших объемов информации, важной для принятия своевременных и продуманных управленческих решений, позволит повысить качество предоставляемых образовательных услуг, а также повысить престиж ВУЗа и выпускаемых им специалистов. Использование данной системы может стать существенным конкурентным преимуществом как в борьбе за абитуриентов, так и в борьбе за привлечение дополнительных финансовых потоков, что особенно важно в период мирового финансово-экономического кризиса.

Модуль планирования штатного расписания кафедр университета позволит планировать распределение штатных единиц ППС исходя из реализуемых учебных планов специальностей. Применение подхода, связанного с анализом учебных планов, позволяет обеспечить равномерное распределение штатных единиц по кафедрам, оперативный расчет и прогнозирование, что немаловажно в условиях меняющихся требований к образовательным учреждениям.

Модуль количественной оценки и анализа деятельности ППС университета позволит оценивать результаты учебной, научно-исследовательской и других видов работ преподавателей в реальном времени, что позволит организовать своевременное и адекватное достигнутым результатам стимулирование труда, отслеживать качественные и количественные показатели как конкретных подразделений, так и ВУЗа в целом.

Модуль учета регистрируемых объектов интеллектуальной собственности позволит автоматизировать учет и обработку данных о зарегистрированных в учебном заведении объектах интеллектуальной собственности, а также ускорить принятие решений, касающихся научно-исследовательской работы в высшем учебном заведении.

Возможности модулей учета и анализа успеваемости студентов университета, количественной оценки и анализа научной и внеучебной деятельности студентов, учета

социально незащищенных студентов позволят совершенствовать процессы принятия решений в отношении студентов. Необходимость в разработке данных модулей обусловлена сложностью работы со студентами и невозможностью должного применения личностно-ориентированного подхода к воспитанию и управлению студентам в связи с тем, что на одного задействованного в процессе воспитания преподавателя часто приходится до нескольких сотен студентов, а на одного административного служащего – и того больше. В подобных условиях применение разрабатываемой системы поддержки принятия решений позволит не только заочно познакомиться со студентами, но и при общении с ними максимально эффективно решать поставленные задачи.

Существующие тенденции к снижению федеральных дотаций, сокращению числа высших учебных заведений и ужесточению требований к организации учебного процесса вынуждают руководство учебных заведений обратить внимание на средства оптимизации и качественного улучшения деятельности ВУЗа в целом. Система поддержки принятия решений позволит снизить стоимость принимаемых организационных решений за счет упрощения информационных потоков и автоматизации обработки данных, обеспечить выполнение предъявляемых к высшим учебным заведениям России требований по организации учебного процесса.

Разработка системы поддержки принятия решений помимо внедрения инновационных технологий в образовательный процесс может также привести к ее дальнейшей коммерциализации и тиражированию в различных ВУЗах страны.

Литература

1. Качесов, А. В. Автоматизация документооборота информационно-патентного отдела высшего учебного заведения // Наука. Технологии. Инновации. Мат. всерос. науч. конф. мол. ученых. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009. – Часть 1, с. 187-188.

2. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2010612369. Автоматизированная система «Объекты интеллектуальной собственности» / Качесов А. В., Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2010610500 от 02.02.2010; зарег. 31.03.2010.

3. Свидетельство о гос. рег. БД №2010620303. База данных автоматизированной системы «Объекты интеллектуальной собственности» / Качесов А. В., Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2009620066 от 02.02.2010; зарег. 26.05.2010.

4. Дороганов, В. С. Автоматизация документооборота профсоюзного комитета студентов КузГТУ // В. С. Дороганов, И. Е. Трофимов // Междунар. НТК "Современные информационные технологии". – Пенза: Изд-во ПГТА, 2009. – Выпуск 10, с. 153-154.

5. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2010615104. Автоматизированная система учета социально незащищенных студентов / Дороганов В. С., Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2010613357 от 15.06.2010; зарег. 09.08.2010.

6. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2010615103. Автоматизированная система учета научно-исследовательской работы студентов / Дороганов В. С., Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2010613356 от 15.06.2010; зарег. 09.08.2010.

7. Трофимов, И. Е. Автоматизация планирования штатного расписания кафедр КузГТУ // Междунар. НТК "Современные информационные технологии". – Пенза: Изд-во ПГТА, 2009. – Выпуск 10, с. 152-153.

8. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ №2009616522. Автоматизированная система планирования штатного расписания кафедр университета / Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2009615308 от 28.09.2009; зарег. 25.11.2009.

9. Свидетельство о гос. рег. БД №2009620552. База данных автоматизированной системы планирования штатного расписания кафедр университета / Трофимов И. Е. ; правообладатель Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т» (ГУ КузГТУ). – заявка №2009620477 от 28.09.2009; зарег. 25.11.2009.

10. Панькин, И. Ю. Автоматизация оценки деятельности профессорско-преподавательского состава высшего учебного заведения // И. Ю. Панькин, И. Е. Трофимов // XV Междунар. НПК "Современные техника и технологии". – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – Том 3, с. 190-192.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Трухачев С.С., Косоногова М.А.
Научный руководитель: Трухачев С.С., к.т.н., ст. преподаватель
ГОУ ВПО "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова" (БГТУ им. В.Г. Шухова), 308012, Россия, г. Белгород, ул. Костюкова 46
E-mail: marinakosonogova_sc@mail.ru

Анализ российского рынка программного обеспечения [1] позволил сделать вывод об устойчивом экономическом развитии сегмента систем электронного документооборота (СЭД). Среди основных вендоров и их решений выделяются: SAP (SAP R/3), Oracle (Oracle ECM Suite), Microsoft (Microsoft SharePoint, Dynamics), 1С (1С:Документооборот), Naumen (Naumen DMS, NauDoc), Электронные Офисные системы (ДЕЛО-Предприятие), Cognitive Technologies (ЕВФРАТ - Документооборот), DIRECTUM (DIRECTUM).

Основными проблемами при проектировании новых СЭД и совершенствовании существующих являются: обеспечение безопасности хранения и использования данных, в том числе и в распределенных системах; повышение надежности функционирования на основе качественного проектирования и применения современных аппаратно-программных решений; увеличение быстродействия за счет оптимизации структур данных и информационных потоков.

С точки зрения повышения безопасности хранения и использования персональных, коммерческих данных значительное внимание уделяется вопросам сохранения целостности, полноты, достоверности и конфиденциальности сведений, участвующих в документообороте организаций. При разработке политики безопасности учитываются меры по предотвращению несанкционированного доступа к информации, что предполагает наличие в СЭД гибкой подсистемы разграничения прав доступа и назначения ролей, использование современных методов аутентификации пользователей и средств криптографической защиты информации, организацию защищённых каналов передачи данных. Для снижения риска потерь данных в случае сбоев необходимы механизмы резервного копирования, восстановления и архивации. Электронный документооборот предполагает коллективную работу нескольких пользователей с объектами системы, что несет угрозу нарушения целостности данных, для предотвращения чего используются средства поддержки версионности документов и обеспечения совместной работы над ними.

Для решения проблемы повышения отказоустойчивости серверных частей СЭД могут быть использованы технологии виртуализации, которые позволяют перемещать виртуальные серверы с одного физического сервера на другой без прекращения пользовательских сессий, обеспечивая, тем самым, быстрое восстановление системы в критических ситуациях. Виртуализация предоставляет возможности по повышению надежности функционирования и гибкости системы. Кроме того, надежность СЭД может достигаться путем функционирования на основе отказоустойчивых кластеров или кластеров с балансировкой нагрузки, рассматриваемых как единый аппаратный ресурс и обеспечивающих бесперебойную работу системы.

Один из способов повышения быстродействия СЭД - применение алгоритмов поиска данных, доказавших на практике свою эффективность. Как правило, используются комбинации из простейших алгоритмов: булев поиск [2] или поиск по релевантности.

При необходимости поиска на точное соответствие поисковому шаблону обычно используется булев поиск, основанный на логической (булевой) математической модели:

$$Q = (q_1 \wedge \overline{q}_2 \wedge ... \wedge q_n) \vee ... \vee (\overline{q}_1 \wedge q_2 \wedge ... \wedge q_n), \quad (1)$$

где Q – поисковый шаблон; q_i – элементарный термин.

Алгоритм булевого поиска базируется на формировании уникальных индексов с перечислением некоторых параметров вхождения ключевого слова в документ.

Анализируя выражение (1), можно сделать вывод, что поиск будет иметь высокое быстродействие при простых поисковых запросах. С использованием замера производительности работы алгоритма было установлено, что с увеличением вложенности запроса скорость его выполнения снижается, в среднем, в 1,5 раза.

Основной областью применения данного поискового метода является реализация системы быстрого поиска по слову либо простому выражению.

Одной из проблем, возникающих на этапе реализации метода булевого поиска, является формирование поискового индекса. Наиболее распространенным вариантом является построение инвертированных индексных файлов, где ключевым терминам, упорядоченным по алфавиту, сопоставляется список их вхождений в документы. Основная проблема при реализации – большой размер индекса. Предлагаются несколько путей решения: неполное инвертирование, когда вместо информации о точном местоположении каждого термина в документах хранятся исключительно ссылки на документы; применение методов сжатия инвертированного индекса.

Для ускорения поиска в системах с большим объемом исходных данных инвертированные индексные файлы организуются в виде древовидных структур.

Основой второго подхода к поиску данных является формирование выборки документов, наиболее близких по смыслу к запросу. Для этого вводятся функции релевантности, построенные, как правило, на основе вероятностных методов, которые позволяют количественно выразить степень соответствия информационного содержания некоторого документа и поискового запроса. Кроме того, для формализации термина "степень соответствия" могут быть использованы меры, основанные на векторном представлении документов, как например, схожести Джаккарда или косинуса [2]:

$$C(D_i, D_j) = \frac{\sum_{k=1}^{n} w_k^i \cdot w_k^j}{\sum_{k=1}^{n} {w_k^i}^2 + \sum_{k=1}^{n} {w_k^j}^2 - \sum_{k=1}^{n} w_k^i \cdot w_k^j}, \quad (2)$$

$$C(D_i, D_j) = \frac{\sum_{k=1}^{n} w_k^i \cdot w_k^j}{\sqrt{\sum_{k=1}^{n} {w_k^i}^2 \cdot \sum_{k=1}^{n} {w_k^j}^2}}, \quad (3)$$

где D_i, D_j – документы; n – размерность словаря терминов; w_k^i, w_k^j– вес k-го термина из i-го и j-го документа соответственно. Вес термина может быть вычислен на основе простого статистического анализа документов:

$$w_k^i = \frac{f_k^i}{F_k}, \quad (4)$$

где f_k^i – количество вхождений k-го термина в документ D_i; F_k – суммарное количество вхождений k-го термина во все документы. Выражение (4) может быть сопоставлено с вероятностью нахождения поискового запроса во множестве документов. Для определения степени релевантности данных поисковому запросу следует аналогично вычислить веса для терминов, входящих в запрос.

Анализируя выражение (2) и (3), можно сделать вывод, что меры схожести Джаккарда и косинуса принимают значения из отрезка [0; 1]. В случае, когда документы D_i и D_j не имеют общих терминов, числитель, а значит и все выражение (2), обращается в 0. Если $w_k^i = w_k^j \ \forall \ k=1..n$, то коэффициент Джаккарда и косинуса принимает значение 1, что соответствует ситуации, когда документы наиболее близки по содержанию. Значение мер схожести Джаккарда и косинуса определяется соотношением w_k^i и $w_k^j \ \forall \ k = 1..n$: если $\sum | w_k^i - w_k^j | \to 0$, то $C(D_i, D_j) \to 1$. Значит, рациональным вариантом классификации является группировка документов с наиболее схожими терминами. Только такой способ классификации документов позволяет повысить эффективность и быстродействие СЭД.

Поскольку выражение (3) основано на векторном представлении документов, отсюда следует его физический смысл – представление меры схожести как косинуса угла между векторными отображениями документов. Таким образом, построение документов в виде векторов, в общем случае в n-мерном пространстве, позволяет судить об их релевантности при определении проекции на вектор запросов.

Меры степени соответствия, выраженные зависимостями (2) и (3) могут использоваться для кластеризации документов в рамках обработки результатов поисковых запросов [3], полученных с помощью булевого поиска или поиска по релевантности. При этом, для оптимизации времени поиска имеет смысл осуществлять кластеризацию инкрементно, подгружая результаты по мере обработки.

Все современные СЭД включают основной функционал либо дополнительно распространяемый модуль поиска данных, алгоритм функционирования которых строится на базе вышеописанных методов. При этом, для эффективной реализации релевантного поиска необходимо группировать данные в соответствии с выше рассмотренными принципами. Несмотря на развитое состояние поисковых систем, существует несколько вопросов, решением которых, по мнению специалистов, будет заниматься современная наука в этой отрасли. При булевом поиске это и формирование индексных файлов, и способы сортировки данных, размещение дополнительной информации, количество индексированных элементов. В случае поиска по релевантности это проблема выбора функций релевантности; состояние связей с определением весов каждого элемента словаря терминов; выбор порогового значения, определяющего релевантны ли данные запросу. Таким образом, перед разработчиками будет стоять выбор между формированием дополнительного объема информации с её структурой и качеством реализации функции поиска.

Список использованных источников:

1. Демидов М.А. Обозрение: Рынок СЭД 2010 [Электронный ресурс] / М.А. Демидов, Т.А. Бакажинская, А.А. Надеждин // Издание о высоких технологиях – Cnews. – Режим доступа: http://www.cnews.ru/reviews/free/dms2010.

2. Автоматизированный анализ текстовой информации / Васенин В.А., Афонин С.А., Козицын А.С. // Информационные технологии. – 2009. – №7. – С. 56 – 57.

3. Хачумов М.В. Задача кластеризации текстовых документов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2010. – №2. – С. 24 – 28.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ СУБЪЕКТА РФ

Тудупова С.Ц.
Научный руководитель: Кузьмина Е.А., к.т.н., доцент
Томский университет систем управления и радиоэлектроники, 634045, Россия, г.Томск, ул.Вершинина,74
E-mail: seska@vtomske.ru

Введение

Платежеспособность – это способность субъекта экономических отношений выполнять свои долговые обязательства в полном объеме и в установленные сроки [1].

Для субъекта РФ важной задачей является эффективное управление государственным долгом. При этом оценка платежеспособности областного бюджета может показать, способен ли бюджет обеспечить финансирование расходов, своевременно погашать государственный долг, существует ли возможность наращивания государственного долга без нарушения требований Бюджетного кодекса РФ, а также к каким последствиям может привести принятие новых обязательств в планируемом объеме. Использование этих данных позволяет более продуктивно производить планирование бюджета на прогнозируемый период.

На основании данных об исполнении бюджета Томской области [2] был проведен анализ изменения регионального долга Томской области, результаты которого приведены на рисунке 1.

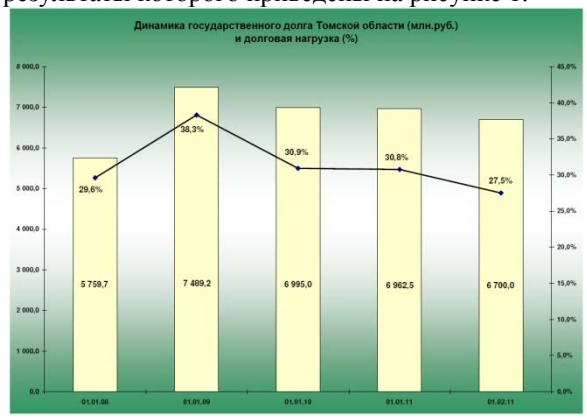


Рис. 1 - Динамика государственного долга Томской области в млрд.руб. и долговая нагрузка в %

В результате проведенного анализа, можно сделать следующий вывод по системе управления государственным долгом Томской области: общая величина государственного долга увеличилась по отношению к доходам бюджета без учета финансовой помощи (показатель долговой нагрузки) за период 2008-2009гг. с 29,6% до 38,3%. Однако, за период 2009-2010 снизилась до 30,9% (см. рис. 1). Данный уровень долговой нагрузки позволяет осуществлять заимствования без риска ухудшения кредитного качества Томской области.

Методология оценки платежеспособности бюджета Томской области

Методология расчета платежеспособности бюджета Томской области была утверждена Приказом №33 Департамента финансов Томской области от 25.12.2006г. «О расчете платежеспособности областного бюджета и объема возможного привлечения новых долговых обязательств»[3].

В данной методологии оценка платежеспособности производится на основании определения уровня фактической платежеспособности и уровня потенциальной платежеспособности (см. рис. 2).

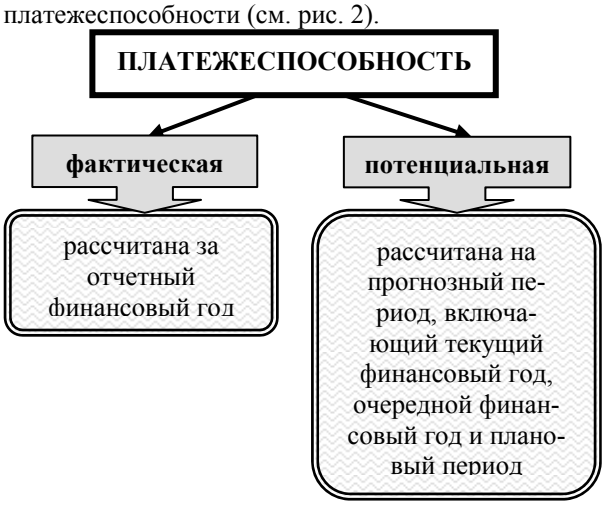


Рис. 2 - Разделение понятия платежеспособности на фактическую и потенциальную платежеспособность

Расчет платежеспособности производится раз в год на основании среднесрочного финансового плана при составлении проекта бюджета на очередной финансовый год и на плановый период. Но при возникновении необходимости проведения незапланированных заимствований, а также при проведении операций рефинансирования, реструктуризации или досрочного выкупа действующих долговых обязательств расчет платежеспособности может проводиться и дополнительно в течение года [3].

Для определения уровня фактической платежеспособности определяются 17 показателей уровня платежеспособности, перечень, порядок расчета и удельные веса этих показателей приведены в Приложении 1 к Методологии расчета платежеспособности областного бюджета Томской области [3].

После расчета значений показателей, каждый из них относят к одному из уровней платежеспособности. В соответствии с уровнем платежеспособности показателю присваивается балл (таблица 1). Также каждому из 17

показателей, используя экспертный подход, присваивается удельный вес этого показателя в определении уровня фактической и потенциальной платежеспособности.

Таблица 1 – Уровни платежеспособности

Уровень платежеспособности	Присваиваемый балл (MFj, MPj, j=1..17)
Абсолютный	4
Нормальный	3
Неустойчивый	2
Кризисный	1

Первые три показателя из 17 показателей имеют не расчетный, а ограничительный статус. В случае если значение какого-либо показателя уровня фактической платежеспособности с ограничительным статусом соответствует кризисному уровню платежеспособности, то уровень фактической платежеспособности оценивается как кризисный [2].

Если же ни один из показателей с ограничительным статусом не соответствует кризисному уровню, то в соответствии с разработанной схемой (см. рис. 3) определяется уровень фактической платежеспособности P_F и уровень потенциальной платежеспособности P_P, которые рассчитываются как средневзвешенное значение показателей уровня фактической и потенциальной платежеспособности соответственно.

Уровни потенциальной и фактической платежеспособности принимают следующие значения:

4 – для абсолютного уровня (A);

3 – для нормального уровня (B);

2 – для неустойчивого уровня (C);

1 – для кризисного уровня (D).

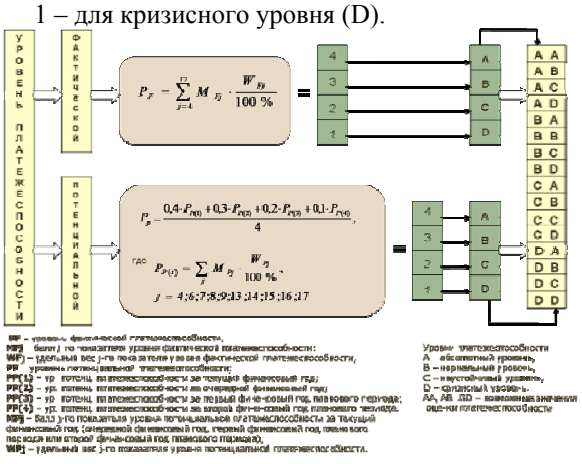


Рис. 3 - Схема расчета платежеспособности бюджета, составленная по методологии расчета платежеспособности бюджета Томской области

Проектирование системы оценки платежеспособности

Данная система предназначена для расчета оценки платежеспособности бюджета.

Входными данными для данной подсистемы являются такие данные, как: всего доходов бюджета; объем выданных гарантий; объем средств, направляемых на погашение долга; объем средств, направляемых на погашение заимствований, направленных на восполнение кассовых разрывов; объем долга, номинированного в иностранной валюте; общий объем долга; всего расходов бюджета; объем капитальных расходов бюджета; объем безвозмездных поступлений в бюджет из бюджетов других уровней бюджетной системы РФ; объем межбюджетных трансфертов, предоставляемых из бюджета; объем налоговых поступлений в бюджет от десяти крупнейших налогоплательщиков; объем налоговых доходов бюджета; объем просроченных обязательств по обслуживанию и погашению долга на конец финансового года; прирост объема долга за финансовый год; прирост всего доходов бюджета без учета финансовой помощи от бюджетов других уровней; объем средств, направленных на обслуживание долга; объем просроченной кредиторской задолженности государственных учреждений; объем краткосрочной задолженности; прирост/уменьшение объема просроченной кредиторской задолженности областных государственных учреждений за финансовый год.

Выходными данными для системы расчета оценки платежеспособности бюджета являются значение уровня платежеспособности бюджета, а также характеристика состояния государственного долга в соответствии со значением платежеспособности.

Заключение

Определение уровня платежеспособности бюджета на прогнозируемый период позволяет повысить эффективность принятия управленческих решений при выборе источника рефинансирования социально значимых проектов, определить оптимальный объем заимствований, что позволит сохранить платежеспособность бюджета на экономически безопасном уровне.

Литература

1 Галасюк В., Вишневская-Галасюк А, Галасюк Об определении понятия “Платежеспособность” в контексте концепции CCF [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.aup.ru/articles/finance/23.htm

2 Официальный сайт Департамента финансов Томской области [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://findep.org

3 Приказ №33 Департамента финансов Томской области от 25.12.2006г. О расчете платежеспособности областного бюджета и объема возможного привлечения новых долговых обязательств [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://findep.tomsk.ru/prikaz33.htm

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ

Турунтаева Н.Ю.
Научный руководитель: Коваль Т.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tnudom06@mail2000.r

Введение

Для разрушения клеток опухолевых тканей в биологических объектах применяется метод температурного воздействия на злокачественные новообразования. Температурное воздействие, при котором раковые клетки гибнут, может производиться как низкими, так и высокими температурами. Одной из важных составляющих воздействия является контроль температурного поля, необходимый для того, чтобы полностью уничтожить раковые клетки и не оказать неблагоприятное воздействие на здоровые участки. При воздействии низкими температурами важным моментом является не только этап заморозки опухоли, а также этап оттаивания этой области. Одной из причин различной эффективности разрушения онкоклеток является разная скорость смены этих этапов, а также наличие или отсутствие их постоянного чередования.

В данной работе с применением конечно-разностных методов проводится моделирование трехмерного нестационарного температурного поля в биологическом объекте при воздействии низкими температурами.

Математическая модель

Нестационарное температурное поле в биологическом объекте описывается уравнением биотепла [1]:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla\cdot\left(-k\nabla T\right)=0\,, \qquad (1)$$

где ρ – плотность ткани [$кг/м^3$], C – удельная теплоемкость ткани [$Дж/кг\cdot K$], k – теплопроводность ткани [$Вт/м\cdot K$]. Все теплофизические коэффициенты в общем случае являются функциями температуры T.

Вблизи области замораживания на рассматриваемом участке биологического объекта может находиться много кровеносных сосудов. В этом случае кровеносная система будет постоянно снабжать эту область более теплой кровью, тем самым привнося тепло в замораживаемый участок. Чтобы учесть высокую плотность кровеносных сосудов в биологическом объекте и тепло, поступающее в эту зону, необходимо в уравнение биотепла (1) добавить дополнительное слагаемое, отвечающее за поступающее с кровью тепло. Тогда уравнение биотепла (1) запишется в виде [2]:

$$\rho C\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla\cdot\left(-k\nabla T\right)=\rho_{bl}C_{bl}\omega_{bl}\left(T_{bl}-T\right), \qquad (2)$$

где ρ_{bl} –плотность крови [$кг/м^3$], C_{bl} – удельная теплоемкость крови [$Дж/кг\cdot K$], ω_{bl} – перфузия крови [$1/c$], T_{bl} – температура крови [K].

Уравнения биотепла (1) и (2) решаются с учетом краевых условий, т.е. совокупности граничных и начальных условий. Краевые условия могут быть различными в зависимости от способа охлаждения. При объемном источнике охлаждения используются зонды, помещенные в биологический объект, внутри которых постоянно происходит подача жидкого азота. В данном случае в качестве граничного условия выступает температура, задаваемая на поверхности зонда. В случае поверхностного источника замораживания зонд, например, криоаппликатор, не имеет полой конструкции как в случае объемного источника. В этом случае граничным условием будет условие непрерывности, а начальным условием – начальная температура $T\left(t_0\right)$.

Численный эксперимент

Численный эксперимент реализован для параметров реального биологического объекта. Схема биологического объекта приведена на рис. 1. Биологический объект состоит их одного материала. Зонд представляет собой теплоизолированный стержень, на конце которого находится активная часть диаметром 2 мм и длиной 9 мм. Зонды расположены на окружности радиуса R. Схема активной части зонда представлена на рис. 2.

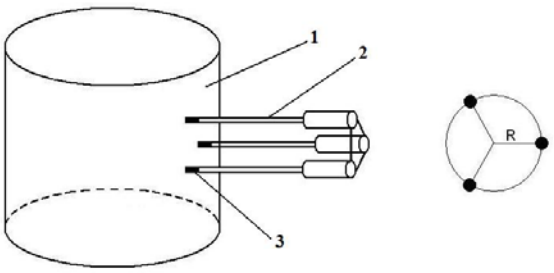


Рис. 1. Схема биологического объекта. 1 – составная часть объекта, 2 – зонды, 3 – активная часть зондов, R – радиус окружности местоположения зондов

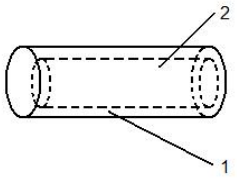


Рис. 2. Схема активной части зонда. 1 – металл, 2 – жидкий азот

Начальная температура материалов биологического объекта принималась равной T_0 =310 К. Температура жидкого азота T =73 К. Раковые клетки гибнут при температурном воздействии на них ниже 233 К – 223 К. При решении нестационарной задачи анализировались переходные процессы теплопередачи.

Динамики нестационарного температурного поля в биологическом объекте при объемном источнике охлаждения вдоль радиуса R без учета и с учетом кровеносных сосудов представлены на рис. 3 – рис. 4 соответственно. Из рис. 3 видно, что область между зондами охлаждена до необходимых температур. Однако в случае учета кровеносных сосудов требуемые значения температуры наблюдаются только вблизи поверхности зондов, а по мере удаления к центру области температура повышается (рис. 4). Динамика нестационарного температурного поля в биологическом объекте у поверхности зонда при поверхностном источнике охлаждения представлена на рис. 5. При использовании поверхностного источника замораживания область быстро прогревается и длительного воздействия требуемых температур не происходит, что видно из рис. 5.

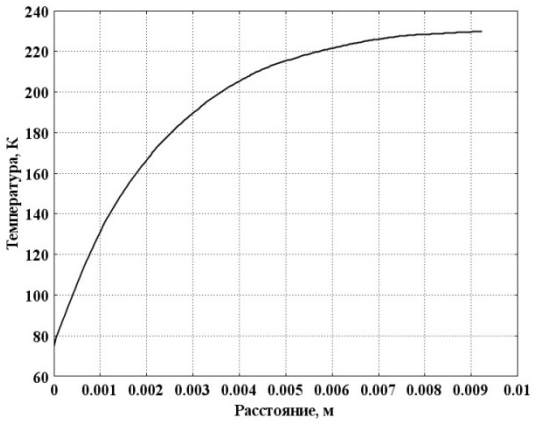


Рис. 3. Динамика нестационарного температурного поля вдоль радиуса R

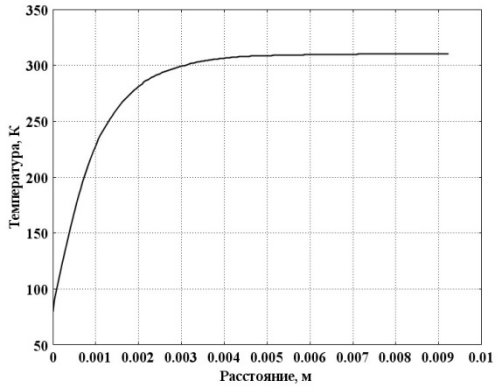


Рис. 4. Динамика нестационарного температурного поля вдоль радиуса R с учетом кровеносных сосудов

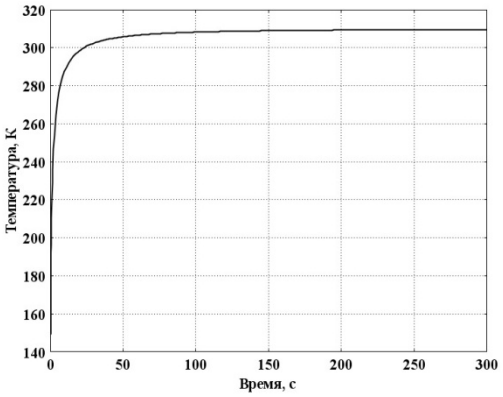


Рис. 5. Динамика нестационарного температурного поля у поверхности зонда при поверхностном источнике охлаждения

Заключение

Для разрушения онкологических клеток применяется метод замораживания. Необходимо учитывать наличие кровеносных сосудов в биологическом объекте, если в этом есть необходимость. Для достижения лучшего результата возможно изменение геометрии расположения, а также количества зондов.

Литература

1. Supan Tungjitkusolmun, S. Tyler Staelin et al. Three-dimensional finite-element analyses for radio-frequency hepatic tumor ablation //IEEE transactions on biomedical engineering, vol. 49, No. 1, January 2002.

2. Турунтаева Н.Ю. Моделирование нестационарного температурного поля в биологическом объекте при резистивном нагреве с учетом отвода тепла // Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. ч.1. – Томск: Изд. СПБ Графикс, 2010. – С. 129-130.

ПРИМЕНЕНИЕ OPC-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ ТРЕНАЖЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Федоров Р.А., Нагайцева О.В.
Научный руководитель: Нагайцева О.В., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: rsvisor@mail.ru

Технологические процессы электрохимических производств в металлургической и атомной промышленностях, кроме того, что относятся к категории наиболее опасных и вредных производств, отличаются значительным превышением требуемых затрат электроэнергии в случае некорректного управления либо незапланированных остановок производства по вине персонала. Овладение эффективными приемами управления и безопасной эксплуатации технологических процессов электрохимических производств возможно в результате многолетней наработки опыта при эксплуатации или, что наиболее безопасно и выгодно, с помощью специального компьютерного тренажера [1]. Тренажер позволит обучать, повышать и поддерживать необходимый уровень знаний и навыков оперативного персонала, непосредственно влияющего на ход технологического процесса, а также получать ценный опыт действия в аварийных и нештатных ситуациях без ущерба для производства и окружающей среды.

Концепция разрабатываемого тренажера для оператора электрохимического производства фтора, его структура, описание структуры, а также функциональные возможности тренажера приведены в работе [1].

В статье приводятся результаты по разработке специального блока данного тренажера – модуля сопряжения, который обеспечивает целостное функциональное взаимодействие между компонентами тренажера. Благодаря этому блоку реализуется возможность обмена данными между компонентами тренажера, которые исполняются на разных программных платформах.

Модуль сопряжения представляет собой приложение-сервер для Windows, такими образом другие компоненты тренажера являются по отношению к нему клиентами. Взаимодействие между сервером и приложениями-клиентами реализуется с использованием открытой и эффективной коммуникационной архитектуры взаимодействия между приложениями, которую предлагает стандарт OPC (OLE for Process Control) – основной промышленный стандарт взаимодействия между программными компонентами сбора данных и управления, основанный на Component Object Model (COM) фирмы Microsoft [2].

запрещено.

Разработанный модуль сопряжения представляет собой типовой локальный OPC-сервер для устройства автоматизации. Структура сервера представлена на рис. 1.

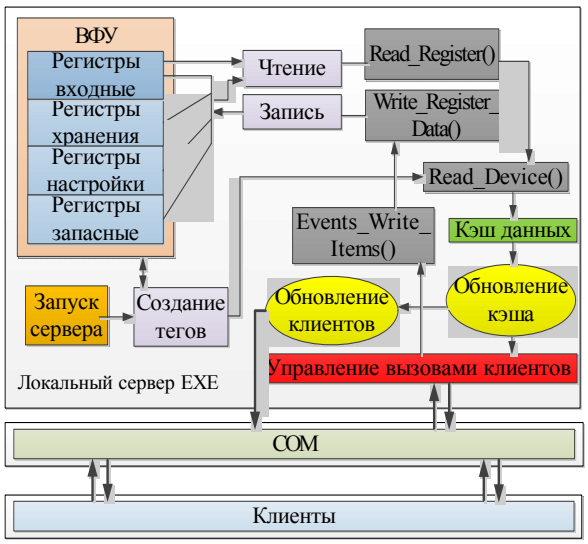


Рис. 1. Структура разработанного OPC-сервера

При запуске сервера происходит создание тэгов, которые предоставляют клиентам доступ к регистрам Виртуального Физического Устройства (ВФУ), являясь таким образом «каналами», обеспечивающими OPC-взаимодействие.

ВФУ представляет собой программную реализацию реального физического устройства, обладающего памятью и выполняющего определенные функции (в нашем случае формирование пилообразного сигнала). ВФУ присутствует для сохранения концепции OPC-сервера, применяемого в промышленности, где связь обеспечивается между реальным физическим устройством и клиентом, в роли которого обычно выступает SCADA-система.

Количество тэгов и их описание формируется на основании регистров ВФУ, – их количества, типа принимаемых данных, режима доступа.

«Регистры входные» предназначены для формирования тестового пилообразного сигнала для проверки связи с клиентами, – если клиенты считывают значения этого сигнала с сервера, значит связь установлена и возможен обмен данными. Эти регистры доступны только для чтения, записывать в них какие-либо данные

Остальные регистры предназначены для хранения данных и доступны как для чтения, так и для записи.

Клиент опрашивает данные с помощью функции сервера Read_Device(). Эта функция работает в купе с функцией Read_Register(), которая извлекает значение необходимого регистра ВФУ и передает его функции Read_Device().

С помощью связки функций Events_Write_Items() – Write_Register_Data() клиент может записать данные в доступные для записи регистры ВФУ.

Процесс «Обновление кэша» обеспечивает периодическое обновление кэша данных и передачу обновленной информации клиентам. При этом периодичность обновления информации может задаваться клиентом.

Процесс «Обновление клиентов» служит для передачи данных клиентам в случае асинхронного обмена и подписки.

В виду того, что связующее звено модулей тренажера реализует технологию OPC, сами модули для осуществления целостного функционирования тренажера должны являться OPC-клиентами. Структура разрабатываемого тренажера предполагает наличие нескольких модулей в базовой конфигурации и возможность подключения новых. Для исключения необходимости разработки отдельного OPC-клиента под каждый из модулей, принята и реализуется следующая концепция: единый каркас, реализующий OPC-взаимодействие и подключаемые к нему dll-библиотеки, реализующие полезные с точки зрения тренажера функции (например, dll-библиотека, реализующая функции виртуального инструктора, dll-библиотека, реализующая функции модели технологических процессов и т.д.).

Каждая отдельная dll-библиотека подключается к OPC-каркасу клиента, соответствующим образом в нем настраивается и, в итоге, получается рабочий модуль тренажера.

Обобщенная структура данной концепции представлена на рис. 2.

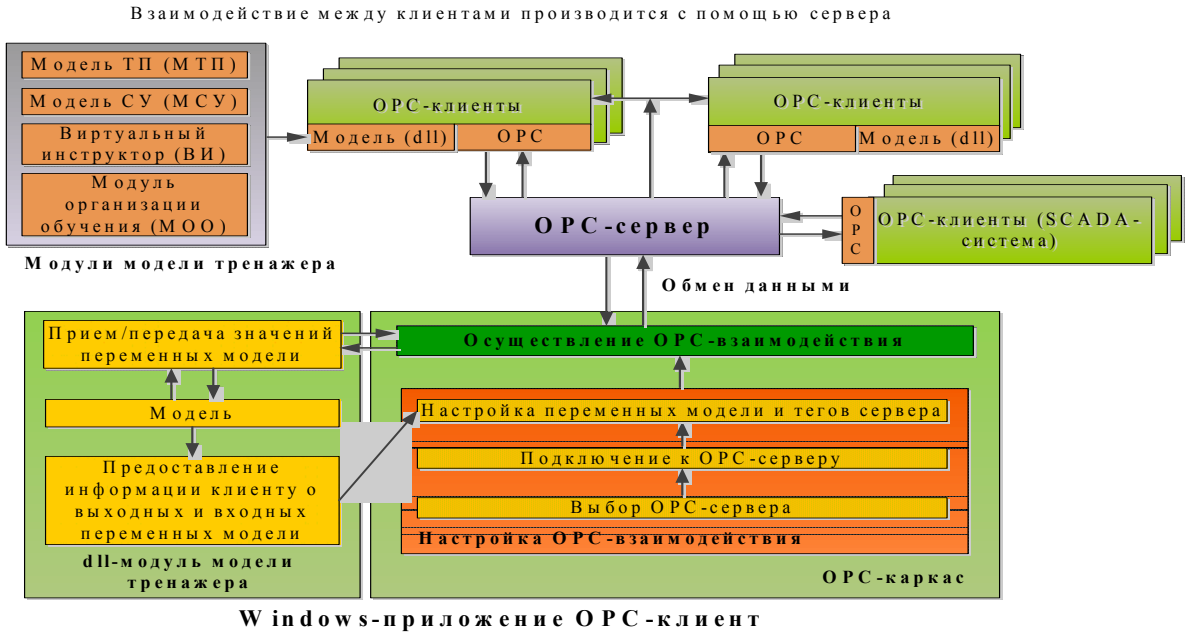


Рис. 2. Обобщенная структура концепции взаимодействия модулей тренажера

В рамках данной работы был разработан OPC-сервер, позволяющий осуществлять обмен данными между модулями тренажера; принята концепция взаимодействия между модулями тренажера.

В дальнейшем планируется реализовать данную концепцию, а именно разработать OPC-каркас клиентов и организовать взаимодействие dll-библиотек с данным каркасом.

Список литературы

1. Нагайцева О.В., Ливенцова Н.В., Ливенцов С.Н. Концепция тренажерной модели электрохимического производства. // Известия ТПУ. – 2009 – Т.315.–№5. С.89-93.

2. Давыдов В.Г., Чыонг Динь Тяу. OPC-серверы с открытой архитектурой – средства взаимодействия компонентов в промышленной автоматизации. // Автоматизация в промышленности - 2003 - №7. С.10.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ АСУ ТП

И.С. Цевменкова, А.Е. Карелин, А.А. Светлаков
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
iriskis@sibmail.com

Введение

На современном этапе развития тренажеростроения, одним из звеньев технологической оптимизации реального времени в обучающих системах является компьютерный тренинг, требующий специфической технической и программной реализации, с использованием новейших информационных технологий. Современные автоматизированные обучающие системы, в том числе и автоматизированные тренажерно-обучающие комплексы должны быть реализованы с учетом высокого уровня развития мультимедиа-технологии и с использованием широкого спектра предоставляемых ею возможностей. В существующих тренажерных комплексах отсутствует полномасштабное представление средств мультимедиа, а положенные в основу их создания методики не содержат многовариантную адаптивную среду моделирования с информационными и математическими моделями управления [1].

Таким образом, как при создании общей концепции и структуры тренажеров для обучения оперативного персонала автоматизированных систем, так и при дальнейшей реализации составных частей тренажерного комплекса важно использовать современные методологические и технологические технологии.

Процесс обучения в тренажерном комплексе

На данный момент большинство разработчик производственных тренажерных комплексов стараются как можно больше расширить функционал тренажеров и возможные области их применения. Например, в работе [2] была подробно описана структура тренажерного комплекса, который одинаково эффективно возможно применять для двух целей: обучение операторов АСУ ТП либо студентов в университетах и использование для решения инжиниринговых задач таких как многоступенчатая проверка автоматизированной системы перед приемом в эксплуатацию, отработка разрабатываемых алгоритмов управления технологическими процессами, проверка технических средств автоматизации и т.д.

Не смотря на широкий спектр производственных задач, которые возможно решить с помощью тренажеров, основной их функцией остается обучение. Обучение персонала — это развитие профессиональных знаний, умений и навыков сотрудников с учетом целей соответствующих подразделений, которые в свою очередь определяются стратегией компании. Благополучная, стабильная организация думает о своем будущем, готова вкладывать в него деньги [3]. Поэтому разработка обучающих тренажерных комплексов особенно привлекает крупные промышленные организации.

Причем, в настоящее время в отечественных тренажерных системах больше внимания уделяется проблемам адекватного построения математических моделей технологических процессов и скорости обмена данными между компонентами тренажера. А усовершенствованием методик обучения и оценки обучения на основе современных методов современные разработчики тренажеров занимаются не столь активно. Слабо представлена методическая сторона обучения: низок уровень проработки тренировочных упражнений и сценариев обучения; отсутствуют эффективнее инструменты вмешательства инструктора в ход процесса с целью создания непредвиденных для обучаемого ситуаций; не предусмотрены протоколирование и анализ хода обучения; уровень выполнения документации недостаточен [4]. В связи с этим имеет смысл заняться более детальной проработкой данной предметной области.

На данный момент существует множество различных методик обучения - способов, при которых достигается овладение знаниями, умениями, навыками обучающихся [5]. Сейчас большее распространение получают активные метода обучения, которые включают в себя любые способы, приемы, инструменты разработки, проведения и совершенствования процесса обучения чему-либо, которые отвечают следующим требованиям:

– приоритет характеристик, запросов, особенностей обучающихся в разработке и организации процесса обучения;

– сотрудничество обучающихся и преподавателя (в данном смысле – инструктора, координатора обучения) в планировании и реализации всех этапов процесса обучения (от определения учебных целей до оценки степени их достижения);

– активное, творческое, инициативное участие обучающихся в процессе получения необходимого им результата обучения;

– максимальная приближенность результатов обучения к сфере практической деятельности обучающихся; пригодность результатов к

практическому внедрению, развитию и совершенствованию после окончания обучения;

– развитие – наряду со специфическими изучаемыми навыками – приемов эффективного обучения [6].

Рассмотрим некоторые наиболее подходящие активные методы обучения:

1. Инструктаж представляет собой разъяснение и демонстрацию приемов работы непосредственно на рабочем месте и может проводиться как сотрудником, давно выполняющим данные функции, так и специально подготовленным инструктором. Инструктаж, как правило, ограничен во времени, ориентированным на освоение конкретных операций или процедур, входящих в круг профессиональных обязанностей обучающегося.

2. Наставничество является традиционным методом обучения, особенно распространенным там, где практический опыт играет исключительную роль в подготовке специалистов. Данный метод требует особой подготовки и склада характера от наставника, которым практически невозможно стать по распоряжению сверху.

3. Рассмотрение практических ситуаций (кейсов) предполагает анализ и групповое обсуждение гипотетических или реальных ситуаций, которые могут быть представлены в виде описания, видеофильма и т.д. В основе рассмотрения практических ситуаций лежит дискуссия, обсуждение, в котором обучающиеся играют активную роль, а инструктор направляет и контролирует их работу.

Для обучения операторов АСУ ТП необходимо применять комбинацию из представленных методик. Причем в данной комбинации лучше использовать принцип от «меньшего к большему» и максимально адаптировать под «тренажерное обучение» и автоматизировать каждый из трех методов обучения.

В начале обучения, используя современные мультимедийные технологии, следует производить инструктаж в интерактивном режиме, когда инструктор может заранее подготовить видеоматериал по освоению графического представления технологического процесса (мнемосхемы) и основных механизмов управления ТП с помощью элементов мнемосхемы.

На следующих этапах обучения возможно использование стандартных сценариев обучения, составленных при помощи конфигуратора тренировочных задач. Сценарий тренировки должен состоять из последовательности шагов, представляющих собой группу одновременно исполняемых команд, так как процесс управления как правило представляет собой совокупность действий над технологическими объектами. Шаг выполняется лишь при соблюдении указанных условий, которые могут быть как простыми, т.е. сформированными на основании регламентированного значения состояния объекта управления, так и вложенными, т.е сформированными на основании целого ряда информативных данных о технологическом процессе в целом.

На последнем этапе обучения будет эффективней использовать вмешательство инструктора в ход технологического процесса, которым управляет обучающийся оператор.

Заключение

Тенденции комплексной автоматизации производства и необходимость высокоэффективной подготовки специалистов с использованием автоматизированных систем обучения обуславливают актуальность разработки автоматизированного тренажерно-обучающего комплекса в предметной области «Автоматизация технологических процессов и производств» [1].

Наряду с разработкой универсальных систем моделирования объектов управления и технологических процессов, важно уделять должное внимание разработке эффективных методов обучения операторов ТП.

Комплексный подход с использованием различных активных методов обучения позволит сделать подготовку обучающихся более продуктивной и упростит процесс мониторинга и оценки обучения.

Литература

1. Годов А.А.Автоматизированные тренажерно-обучающие комплексы в системах управления химико-технологическими процессами. Автореф.дис…канд.техн.наук. – М., 2003 г. – 32с.

2. Цевменкова И.С., Карелин А.Е. Тренажер для операторов АСУ ТП// Автоматизация, мехатроника, информационные технологии : материалы I Междунар науч.-техн. интернет-конф. молодых ученых, 18-20 мая 2010 г. – Омск, 2010. – С.62-65.

3. Кибанов А.Я. Управление персоналом организации: Учебник – М.: ИНФРА-М, 1999. – 512с.

4. Дозорцев В.М., Шестаков Н.В. Компьютерные тренажеры для нефтехимии и нефтепереработки: опыт внедрения на российском рынке// Приборы и системы управления. – 1998. - №1 – С.27-32.

5. Цыпкин Ю.А. Управление персоналом: Уч.пос. -М.:Юнити-Д.,2001.-446с.

6. Оганесян И. Управление персоналом организации: Уч. пос. -Мн.:Амалфея,2000.-256с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ

Цисык Р. О.
Научный руководитель: Крючкова Е. Н., к.ф-м.н., профессор
Алтайский государственный технический университет, 656038, Россия, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-Mail: roman@tsisyk.com

Введение

Современные тенденции развития техники привели к тому, что программное обеспечение и вычислительные мощности могут быть предоставлены как традиционный сервис, наравне с коммунальными услугами. Информационные услуги создаются в центрах обработки данных, а потребители получают их с использованием тонкого клиента посредством глобальных вычислительных сетей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Предоставление услуг по описанной схеме предполагает наличие соглашения об уровне качества обслуживания сервиса SLA (service-level agreement), определяющего метрики оценки качества услуги. Цель потребителя — за меньшие деньги получить сервис, удовлетворяющий определенному уровню качества, как, например, среднее и максимальное время отклика, процент отброшенных запросов, максимальное количество запросов в единицу времени и т.п. Цель поставщика ресурсов — продать как можно больше вычислительных ресурсов, выручив большую прибыль. Очевидно, что эти две цели противоречат друг другу.

В данной работе рассмотрены вопросы оценки качества обслуживания в распределенных системах, позволяющие найти равновесие между запросами потребителей и возможностями поставщика услуг. Произведено исследование зависимости между количеством выделенных ресурсов и среднем временем отклика сервиса на пользовательские запросы. Это открывает новые возможности для динамической перенастройки системы и приспособления к изменяющейся нагрузке для обеспечения качества обслуживания и снижения суммарной стоимости владения ресурсами (TCO).

Сколько необходимо вычислительных ресурсов каждого вида для того, чтобы получить ответ на запрос к системе не более чем через время t? В общем случае, производительность не зависит линейно от количества ресурсов. Так, например, выделение недостаточного количества памяти приведет к аварийному завершению программы, при этом выделение избыточного количества не увеличит производительность. Однако для некоторых ресурсов можно установить такое соответствие. Для ответа на поставленный вопрос для начала рассмотрим, как разделяются ресурсы между приложениями в пределах одного узла обслуживающей сервис распределенной системы.

Разделение ресурсов

Многие ОС являются многозадачными, однако аппаратное обеспечение по сути дела таковым не является. Одно ядро процессора выполняет в один момент времени один поток инструкций, при этом остальные задачи временно вытесняются из обработки. Процесс выполнения n задач можно рассмотреть как очередь $G/G/n$ с алгоритмом кругового опроса (RR, round robin). Процессор работает с каждой задачей квант времени δ, после чего она перемещается в конец очереди и начинается обработка следующей задачи [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

При переходе к пределу $\delta \to 0$ каждый процесс получает в точности $1/n$ от общего количества ресурса (дисциплина PS, processor sharing). При добавлении в очередь приоритетов получаем дисциплину GPS (generalized PS), где выделенное для двух задач с приоритетами ϕ_i и ϕ_j время S интервале $[t_0, t_1)$ распределяется так:

$$\frac{S_i(t_0,t_1)}{S_j(t_0,t_1)} \geq \frac{\phi_i}{\phi_j}.$$

GPS является идеальной моделью, по которой должен функционировать планировщик задач [3]. В практических реализациях наблюдается своего рода отставание (lag) при переключении задач:

$$lag_i(t) = S_{i,GPS}(t_0,t) - S_{i,REAL}(t_0,t).$$

В работе [4] было показано, что планировщики **«O(1)»**, **RSDL** и **CFS** ядра Linux достаточно близки к идеальным, но все же обладают величиной lag порядка миллисекунд при переключение между задачами.

Стоит заметить, что описанные механизмы применяются и для других ресурсов. Так, например, при I/O операциях с дисковыми устройствами ядро Linux использует основанный на модели GPS планировщик CFQ. Интернет протокол (IP) так и вообще изначально спроектирован с использования PS при управлении потоками трафика.

Производительность

Каждый запрос к сервису может требовать различное количество ресурсов для своей обработки. Предположим, что все запросы можно классифицировать по их функциональной принадлежности в группы, внутри которых затраты на обработку отличались бы незначительно. Проведя предварительное

однопоточное тестирование выборки запросов, мы можем определить среднее время ответа $\bar{t}$ для каждой группы. Тогда из соображений использования дисциплины PS (пренебрегая величиной задержки lag) в случае многопоточной очереди из n потоков время среднее ответа должно увеличиться в n раз. При помощи комбинирования однородных потоков к различным группам запросов метод обобщается и для всего приложения в целом.

Заметим, что средства виртуализации и технологии облачных вычислений позволяют точно регулировать количество ресурсов для каждой виртуальной машины. Это достигается за счет разделения аппаратных ресурсов между многими пользователями с использованием описанных планировщиков на уровне уже самого физического сервера. Исходя из этих соображений, должна существовать линейная зависимость между количеством выделенного ресурса и средним временем ответа внутри виртуальной машины

Практические измерения

Для практической проверки зависимости был разработан генератор нагрузки процессора (loadgen-XXX), эмулирующий различные группы запросов и осуществляет то ил иное количество произвольных операций при каждом HTTP запросе к нему. Различные значения XXX эмулируют различные группы запросов. Произведено нагрузочное тестирование производительности в нескольких конфигурация с использованием утилиты Apache Benchmark (ab).

В первом тесте использовались одиночные независимые запросы из каждой группы. Для различных лимитов ресурса процессора u вычислено среднее значение времени ответа $\bar{t}$. Результаты показаны точками на рис. 1, где $u = 100$ соответствует одному ядру эталонного тестового процессора. При помощи линейной регрессии построены аппроксимации функций зависимости $\bar{t}$ от $1/u$.

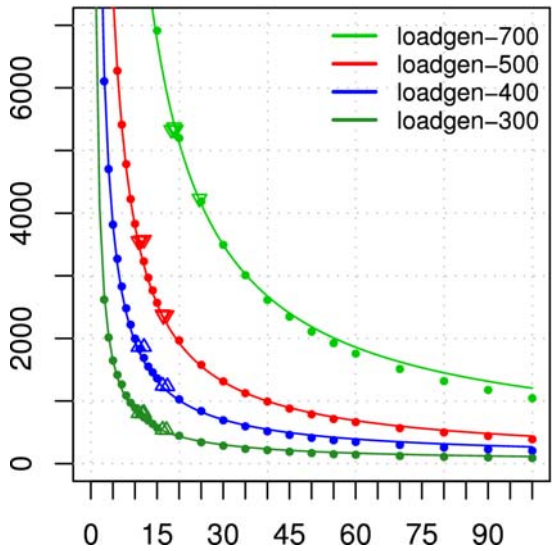
Во втором тесте использовалась очередь с фиксированным количеством (n) потоков запросов каждой группы. Доступный ресурс рассчитан как u/n по дисциплине PS и в пределах случайной погрешности аналогичен предыдущему тесту.

В третьем тесте было зафиксировано u и использовались произвольные независимые потоки из всех групп. По измеренным данным для каждого кванта времени Δ вычислено количество одновременно запущенных в системе потоков и доля ресурса каждого потока как u/n_{Δ}. Значения просуммированы для каждого запроса из всех его интервалов и нормированы по времени обработки запроса. Пары $(\bar{u}_i, t_i)$ для каждого из запросов i изображены треугольниками на рис. 1.

Анализ результатов и заключение

Полученная изначально линейная регрессия достаточно точно аппроксимирует произвольный поток запросов. Измерив серией тестов коэффициенты регрессии для каждой группы запросов, можно рассчитать максимально допустимое количество запросов в единицу времени, при котором будет соблюдаться показатель метрики среднего времени ответа соглашения SLA. Для независимых запросов метод легко обобщается и на распределенную систему с произвольным количеством узлов. Технологии «облачных» вычислений уже сейчас позволяют запрашивать ресурсы по мере необходимости, предлагая как вертикальную, так и горизонтальную масштабируемость. Полученные нами результаты дают возможность к грамотной динамической настройки балансировщика нагрузки системы для обеспечения качества обслуживания при минимальных затратах на аппаратное обеспечение.

Рис. 1. Время обработки запроса t в зависимости от количества ресурсов u



Список литературы

1. Цисык Р. О., Крючкова Е. Н. Принципы реализации сервисов предоставления информационных услуг в среде глобальных вычислительных сетей // НиМ – 2010: VII Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. — АлтГТУ им И.И. Ползунова. — С. 81–88.

2. L. Kleinrock. Queueing Systems, Volume 2: Computer Applications. — 1976.

3. A.K. Parekh and R. G. Gallager.A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks—the single node case // IEEE INFOCOM ’92. — pp. 915–924.

4. Fairness and Interactivity of Three CPU Schedulers in Linux / Shen Wang, Yu Chen, Wei Jiang et al. // RTCSA’2009 — Vol. 0. — pp. 172–177.

СИСТЕМА ИНФОРМИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ RFID

Чубов С.В., Маморцев С.В.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: student11@mail.ru

Большинству людей, не имеющих личного транспорта, хорошо известны особенности работы общественного транспорта. Не редко приходится в непогоду находиться в длительном ожидании нужного маршрута, а иногда, будучи не уверенным в правильности решения, садиться на другой, менее удобный, с пересадками. Предлагаемая система направлена на повышение уровня жизни населения и содержит следующие основные функции: фиксирование перемещения городского пассажирского транспорта и информирование его потенциальных пассажиров.

На сегодняшний день популярны дорогостоящие системы слежения спутниковой навигации (ГЛОНАСС, GPS, GALILEO). Концепция таких систем построена на получении данных, приоритетно используемых для задач организации движения и трудовой дисциплины самими же транспортными предприятиями (ТТУ, ПАТПы). Здесь пассажир ограничен в получении информации и, как правило, она доступна только через сеть Интернет.

В основе функции определения местонахождения транспорта, предлагаемой нами системе, заложена технология радиочастотной идентификации (RFID). Технология RFID востребована в различных сферах, где требуется автоматизированная идентификация ряда объектов в реальном времени.

Рассмотрим структуру системы (см. рис. 3).

На транспортных единицах устанавливаются RFID метки. На остановочных пунктах и при необходимости между ними (например, в случаях относительно большого разнесения остановок) размещаются стационарные блоки, а также располагаются устройства отображения информации. Информация, считанная стационарными блоками, передается на сервер.

RFID метка представляет собой миниатюрное запоминающее устройство, способное передавать данные по радиоканалу. В памяти меток содержится их уникальный, идентификационный код. В соответствие с уникальным кодом производится идентификация номера маршрута и другие данные, привязанные к коду метки, необходимые транспортному предприятию. Метка устанавливается на гузов транспортного средства. Изготовители меток выпускают их в корпусах устойчивым к воздействиям окружающей среды: механическому, температурному, влаге. Когда транспорт попадает в зону регистрации, в радиусе до 100 м от стационарного блока и на скорости до 100км/ч, информация принимается стационарным блоком. Технология позволяет идентифицировать до 200 меток одновременно.

Стационарный блок включает в себя следующие основные элементы: GSM модуль, RFID-считыватель, микроконтроллер, антенна. Назначением блока является прием-передача данных по каналам связи GSM (~900 МГц) и RFID (~866 МГц), их обработка, а также взаимодействие с устройством отображения информации. Блок схема стационарного устройства показана на рис. 2.

Устройство отображения информации может представлять собой экран, табло, а также устройство с функцией удаленного запроса: терминал, сотовый телефон или персональный компьютер с выходом в сеть Интернет. Табло выполняется из сегментных элементов и отображает необходимый минимум информации (см. рис. 1). На экране отображается расширенная информация о маршруте с картой города, а также рекламная информация.

Следует отметить, что существуют остановочные пункты и в «чистом поле» и в мегаполисе. В соответствии с этим предполагается вандалозащитное исполнение корпуса и обогревательный элемент в нем.

Номер маршрута	Время прибытия по расписанию	Пройденная остановка

Рис.1 Шаблон отображения информации на табло

Помимо основных функций предлагаемой системы, возможно их расширение. Возможно сотрудничество с рекламодателями, т.к. на устройстве отображения информации кратковременно может быть выведена рекламная информация; возможно построение автоматизиро-

ванной системы въезда и выезда на территорию транспортного парка, а также системы заправки. Для транспортных предприятий важно учитывать рабочее время и оценивать добросовестность водителей. В большинстве случаев контроль осуществляется с помощью промежуточных регистрационных пунктов (далее ПРП), размещенных на остановках. На ПРП водитель предоставляет протокол маршрута, в котором фиксируется время прибытия на остановку. Протокол сдается в конце рабочей смены. Очевидны недостатки такой системы: невозможность оперативно определять нахождение транспорта на маршруте, ведение бумажного учета, не добросовестность ответственных на ПРП, водитель вынужден оставлять транспортное средство и затрачивать время на процедуру регистрации на ПРП.

Официальный сайт системы: http://www.sipot.ru

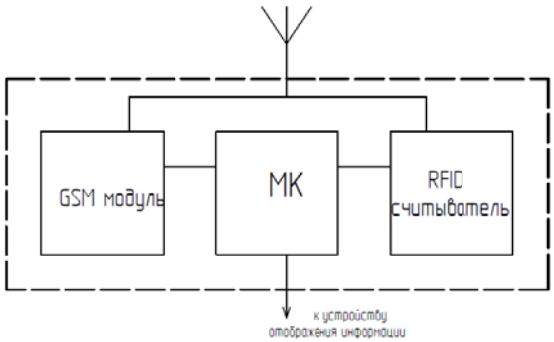


Рис.2 Блок-схема стационарного блока

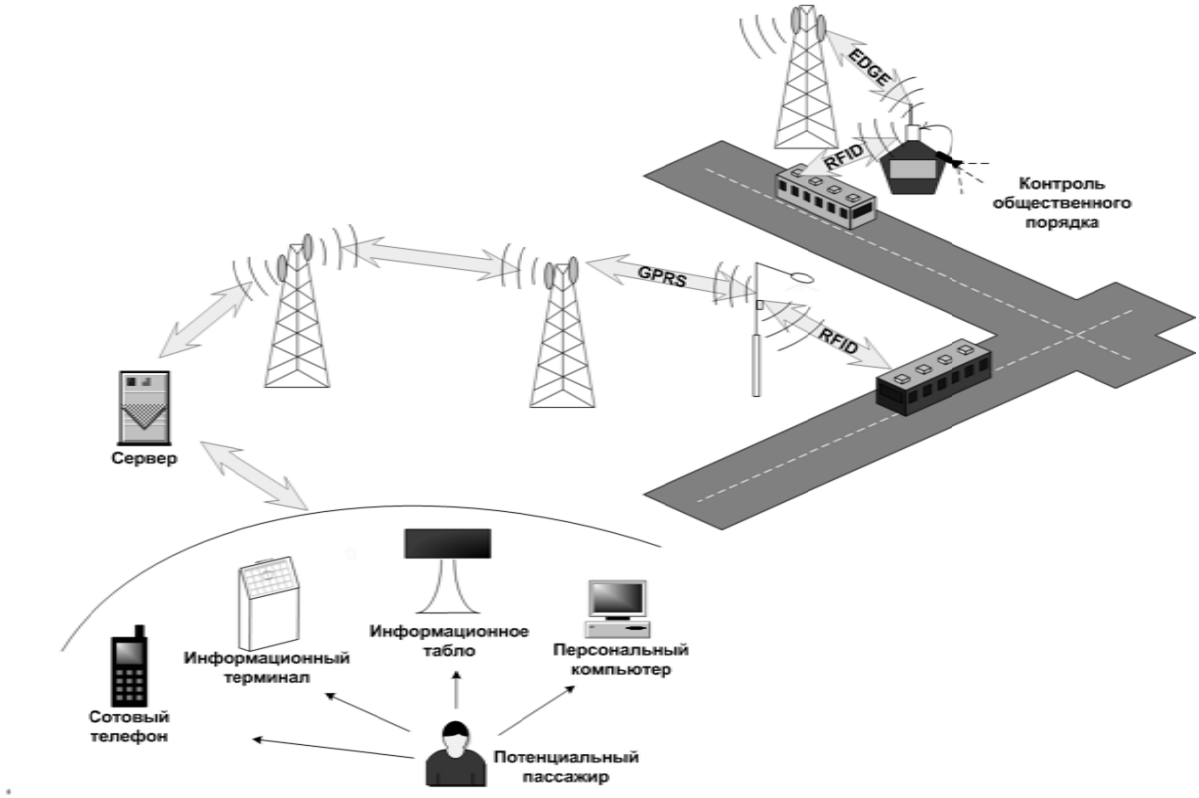


Рис. 3 Структурная схема системы информирования пассажиров общественного транспорта

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА С ТОПКОЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Шахнович В.Р..
Научные руководители: Щинников П.А.., д.т.н., профессор, зав. каф., Новиков С.И., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет, Россия,
630092, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: vrsh@ngs.ru

При проектировании систем автоматического регулирования широко применяются динамические модели объектов регулирования. Модели, отражающие реакцию системы на изменение системы задания и нанесение возмущений. [1, 2].

Паровой котел с топкой кипящего слоя (КС), как объект регулирования можно разделить на несколько подсистем:

1. топка КС;
2. испарительные поверхности;
3. пароперегревательные поверхности с регулирующими клапанами.

Для топки КС входным параметром является расход (подача) топлива, выходным - тепловыделение в топке. Для испарительных поверхностей входным и выходным параметрами будут соответственно тепловыделение в топке и давление пара на выходе из барабана. Возмущающие воздействия: изменения расхода пара, расхода питательной воды, энтальпии воды после экономайзера. Для пароперегревательной поверхности – давления на входе и на выходе [3].

Рассмотрим подробнее динамику каждой из подсистем.

Для описания топки с КС в [4] была рассмотрена система уравнений теплового и материального балансов. При моделировании авторами был принят ряд допущений. В результате была получена следующая система, описывающая переходные процессы:

$$\begin{cases} \dfrac{dQ}{d\tau} = VsQ_i^r\, jz - wFc_z t - kF_n t; & (1) \\ M_{сл}\dfrac{dz}{d\tau} = B - Vsjz. & (2) \end{cases}$$

В уравнениях (1) и (2): $\dfrac{dQ}{d\tau}$ - изменение тепловыделения в топке, s – удельная поверхность реагирующих коксовых частиц, Q_i^r - низшая рабочая теплота сгорания топлива, j – удельный поток углерода, при реагировании с кислородом, z – концентрация горючих в объеме слоя, w - скорость продуктов сгорания на свободное сечение, F - площадь поперечного сечения топки, c_z - теплоемкость продуктов сгорания, t - температура, k - коэффициент теплопередачи, F_n - поверхность теплосъема, $M_{сл}$ -масса слоя, B – расход топлива.

Выразив из уравнения (2) z и подставив его в (1) получим уравнение теплового баланса:

$$\frac{dQ}{d\tau} = Q_i^r\left(B - M_{сл}\frac{dz}{d\tau}\right) - (wFc_z - kF_n)t; \quad (3)$$

Для оценки постоянной времени кипящего слоя из уравнения (1), записанного для стационарных условий, выразим концентрацию горючих в объеме кипящего слоя как функцию температуры

$$z = (Fwc_z + kF_n)t/(Q_i^r\, jVs);$$

и, пренебрегая зависимостью удельного потока углерода j от температуры, запишем соотношение между производными по времени от концентрации горючих и от температуры в виде

$$\frac{dz}{d\tau} = \frac{Fwc_z + kF_n}{Q_i^r\, jVs}\cdot\frac{dt}{d\tau}.$$

Подставляя производную $dz/d\tau$ в (3), получим линеаризованное уравнение для изменения температуры слоя

$$\left(1 + \frac{Fwc_z + kF_n}{jVsc_м}\right)\frac{d\Delta Q}{d\tau} == Q_i^r\Delta B - \frac{(Fwc_z + kF_n)}{M_{сл}c_м}\Delta Q.$$

Обозначив

$$T_1 = \frac{Mc_м}{Fwc_z + kF_n};$$

$$T_2 = \rho_м(1-\varepsilon)/js,$$

и, выполнив преобразование Лапласа, получим передаточную функцию изменения тепловыделения в топке, при изменении подачи топлива:

$$\Delta Q(s) = \frac{T_1 Q_i^r}{(T_1 + T_2)s + 1}\Delta B(s).$$

Для определения динамических характеристик испарительной и пароперегревающей поверхностей воспользуемся методикой, описанной в [3]:

Схема парообразующей поверхности парогенератора показана на рисунке 1

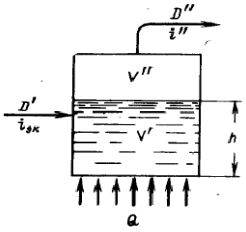


Рис.1. Схема парообразующей поверхности

Величина теплоподвода не зависит от состояния потока в трубе и является заданной. В модели, изображенной на рисунке, физические параметры имеют одно и тоже значение во всем

объеме парогенератора, как в переходном, так и в стационарном режимах.

Закон изменения давления в парогенерирующей поверхности нагрева при нестационарном режиме находится путем решения уравнений, выражающих материальный и энергетический баланс.

Уравнение материального баланса:

$$D'-D''=\frac{d}{d\tau}(V'\rho'+V''\rho''), \qquad (4)$$

Уравнение энергетического баланса:

$$D'i'-D''i''+Q=\frac{d}{d\tau}(V'\rho'i'+V''\rho''i''+G_м c_м\theta), (5)$$

где $G_м$ – масса металла испарительной поверхности; Q – количество тепла, воспринимаемого испарительной поверхностью.

Поскольку при поступлении возмущения металл отдает тепло в течение некоторого времени, то

$$T_м\frac{d\Delta\theta}{d\tau}+\Delta\theta=\Delta t'+K_Q\Delta Q, \qquad (6)$$

где

$$T_м=\frac{G_м c_м}{\alpha_в H_в};\ K_Q=\frac{1}{\alpha_в H_в}. \qquad (7)$$

Линеаризация и последующее преобразование по методу Лапласа уравнений (4)-(7) по переменной τ и исключение $\Delta V'(s)$ и $\Delta\theta(s)$ приводит к следующему результату:

$$\Delta p_1(s)=\frac{\Delta Q(s)}{As(Ts+1)}+\frac{(T_м s+1)D_0\Delta i_{эк}(s)}{As(Ts+1)}+$$
$$+\frac{(T_м s+1)\left[\left(\frac{\rho''r}{\rho'-\rho''}-\delta i_{эк}\right)\Delta D'(s)-\frac{\rho' r}{\rho'-\rho''}\Delta D''(s)\right]}{As(Ts+1)},$$

где

$$T=\frac{A'+A''}{A}T_м;$$
$$A=A'+A''+A_м;$$
$$A'=V'_0\left[\frac{\rho''r}{\rho'-\rho''}\frac{d\rho'}{dp}+\rho'\frac{di'}{dp}\right];$$
$$A''=V''_0\left[\frac{\rho' r}{\rho'-\rho''}\frac{d\rho''}{dp}+\rho''\frac{di''}{dp}\right];$$
$$A_м=G_м c_м\frac{dt'}{dp}$$

Физическая модель пароперегревательной поверхности нагрева включает в себя последовательно соединенные сосредоточенные в точке сопротивление паропровода, его паровую емкость и переменное местное сопротивление регулирующих клапанов турбины.

В систему уравнений, описывающих динамику расхода и давления в трубопроводе, входит семь переменных величин: D_1, D, ρ, p, p_1, p_2, $\xi_{кл}$. Первые четыре являются функциями и подлежат определению, а три последующие – возмущениями, возникающими на границе рассматриваемой системы. Линеаризованная система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases}\Delta D_1-\Delta D=V\dfrac{d\Delta\rho}{d\tau}\\ \Delta\rho=\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial p}\right)_{t_0}\Delta p+\left(\dfrac{\partial\rho}{\partial t}\right)_{p_0}\Delta t\\ \Delta p_1-\Delta p=\dfrac{2\delta p_1}{D_0}\Delta D_1\\ \Delta p-\Delta p_2=\dfrac{2\delta p_2}{D_0}\Delta D+\dfrac{\delta p_2}{\xi_{кл0}}\Delta\xi_{кл}-\dfrac{\delta p_2}{\rho_0}\Delta\rho\end{cases}$$

где δp_1 – сопротивление паропровода в стационарном режиме; δp_2 – перепад на регулирующем клапане в стационарном режиме.

Решая систему уравнений относительно давления в паропроводе p, получим:

$$T\frac{d\Delta p}{d\tau}+\Delta p=K_{p_1}\Delta p_1+K_{p_2}\Delta p_2+K_\xi\Delta\xi_{кл}-$$
$$-K_t(T_t\frac{d\Delta t}{d\tau}+\Delta t),$$

Коэффициенты имеют следующий вид:

$$T=T_t\frac{K}{\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial p};\ \mathrm{T_t}=\frac{2G_0}{D_0};\ \mathrm{K}=\frac{1}{\frac{\delta p}{\delta p_1\delta p_2}+\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial p}};$$
$$\mathrm{K_{p_1}}=\frac{K}{\delta p_1};\mathrm{K_{p_2}}=\frac{K}{\delta p_2};\ \mathrm{K_\xi}=\frac{K}{\xi_{кл0}};K_t=\frac{K}{\rho_0}\frac{\partial\rho}{\partial t}$$

Применив преобразование Лапласа при нулевых начальных условиях, получим связь изображения изменения давления с изображением возмущающих воздействий:

$$\Delta p(s)=W_{pp_1}\Delta p_1(s)+W_{pp_2}\Delta p_2(s)+$$
$$+W_{p\xi}\Delta\xi_{кл}(s)+W_{pt}\Delta t(s),$$

где передаточные функции имеют вид:

$$W_{pp_1}=\frac{K_{p_1}}{Ts+1};\ W_{pp_2}=\frac{K_{p_2}}{Ts+1};\ W_{p\xi_{кл}}=\frac{K_\xi}{Ts+1};$$
$$W_{pt}=-K_t\frac{T_t s+1}{T s+1}$$

Таким образом, получены уравнения, необходимые для построения динамической модели, отражающей изменение давления пара на выходе из парогенератора с топкой КС, при изменении подачи топлива.

Список литературы:

1. Новиков С.И. Практическая идентифткаия динамических характеристик объектов управления теплоэнергетического оборудования: Учеб. пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2004.

2. Ротач В.Я. Теоретичские основы автоматического регулирования теплоэнергетических процессов. – М.: Энергоатомиздат, 2004.

3. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. – М: Энергия, 1972.

4. Мунц В.А., Филипповский Н.Ф., Баскаков А.П. Топка с кипящим слоем как объект регулирования.//Теплоэнергетика. 1998. №6. С.15-19.

ИНФОРМАЦИОННО-СОЦИАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ В ПОДДЕРЖКУ ДЕТСКОГО МУЗЫКАЛЬНО-ПЕВЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

Шемончук Д.С.
МИРЭА, 119454 г. Москва, проспект Вернадского, дом 78
E-mail: shemonchuk@mirea.ru

Начало развития мультимедиа продукции, безусловно, было нацелено на поддержку информационной потребности в областях быта, искусств, культуры. Сохраняя значение в этих сферах, мультимедиа продукция и средства её обработки стремительно обретают новое, расширенное применение в самых различных направлениях в науке, технике, образовании [1–3].

В развитие сформировавшейся тенденции массового применения мультимедиа технологий в социальной сфере Центром новых информационных технологий МИРЭА - МГДД(Ю)Т в рамках государственной бюджетной НИОКР в локальной среде МИРЭА разработан и поддерживается Т-образный консорциум порталов [4] в поддержку мирового музыкально-певческого творчества молодых дарований. Структурная схема консорциума представлена на рис. 1.

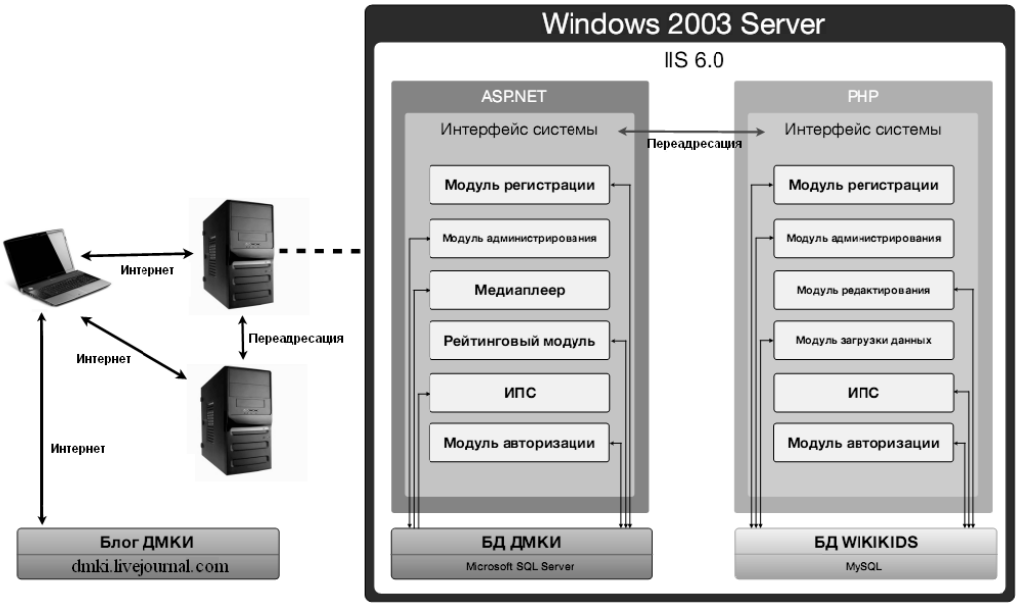


Рис.1. Структурная схема консорциума

Созданный группой исполнителей под руководством автора статьи информационный портальный консорциум состоит из мультимедиа портала – ядра консорциума, обслуживающего предметную область «Дети. Музыка. Кино. Интернет» («ДМКИ») и развёрнутой масштабируемой многоуровневой системы пользовательских репликаций, зеркалирований, персонализированных виртуальных туннелей, а также выполняющего функции виртуального Интернет-демзала информационного мультимедиа киоска «Новости, Объявления» и тендоров – накопителей на входе в мультимедиа систему, закреплённых за каждым из модераторов по их тематическим направлениям и спецификациям. Мультимедиа консорциум «Дети. Музыка. Кино. Интернет» в сочетании с образовательными горизонтальным и несколькими профильными вертикальными порталами дополнительного образования детей и юношества в сфере информатики и новых информационных технологий образует основную виртуально-информационную мультимедиа магистраль создаваемого в Московском городском Дворце детского (юношеского) творчества (МГДД(Ю)Т) Интернет/Экстранет града учащейся молодёжи столичного региона.

Мультимедиа портал МИРЭА - МГДД(Ю)Т комплексирован на строго аддитивной основе со специализированным Интернет-сайтом и с информационным порталом Wikikids, реализующим вики-технологии и представляющим собой общепризнанную базу знаний как о биографии детей-исполнителей и их творчестве, так и о предметной области теории и инженерной практики «моделирование, проектирование и сопровождение мультимедиа систем», куда вошли основные научные положения и результаты исследований и проектных разработок отраслевого высшей школы РФ Московского межвузовского

специализированного по информатизации дополнительного образования детей и юношества Центра НИТ МИРЭА-МГДД(Ю)Т.

Основным отличием разработанного мультимедиа портала от аналогов, таких как treblemusic.net, kidsmusic.net.ru и ряда других не менее известных проектов, явилось внедрение в разработанный портал результатов проводимых ЦНИТ МИРЭА-МГДД(Ю)Т исследований в части управления, регулирования и поиска медиа контента. Так в разработанном портале нашли отражения предложенные методы поиска медиа контента не только по онто-признакам, таким как название композиции, но и по техническим характеристикам самого медиа файла (битрейт, частота дискретизации, амплитудно-частотные колебания и др.) [4-6], которые позволяют повысить не только релевантность, но и пертинентность откликов на запросы пользователей.

Аналогичные подходы к поиску медиа информации реализовываются и зарубежными разработчиками систем подобного уровня. Так медиа портал mufic.com от разработчика формата кодирования mp3 Карлхайнца Бранденбурга (Karlheinz Brandenburg) отражает такую начавшуюся тенденцию. Как утверждает главная страница портала поисковая система, на основе анализа тех песен, которые нравятся пользователю, подберет похожие композиции. Она не ориентируется на название песни, исполнителя, альбом, жанр - то, с чем оперирует большинство обычных музыкальных поисковых систем. Анализируются около 40 параметров мелодии: ударные, стиль, интенсивность звука, голос, речь, темп, окраска звука, инструменты, громкость.

В связи с вышеизложенным, продолжение подобных изысканий в области мультимедиа технологий участниками проекта видится достаточно актуальным и востребованным как для систем социально-образовательного назначения, так и для проектирования и разработки мультимедиа систем в целом.

Список литература

1. Дрешер Ю.Н. Применение мультимедийных технологий в образовательном процессе. [Электронный ресурс] / Республиканский медицинский библиотечно-информационный центр – 5 с. – Режим доступа: www.gpntb.ru/win/inter-events/crimea2007/eng/cd/153.pdf, свободный.

2. Смолянинова О.Г. Мультимедиа для ученика и учителя // ИНФО. – 2002. – №2. – с. 48-54

3. Бент Б. Андресен, Катя ван ден Бринк. Мультимедиа в образовании. Специализированный учебный курс. / Авторизованный перевод с англ. – М.: «Обучение-сервис», 2005 – 216 с.

4. Шемончук Д.С. Полнота и точность мультимедиа контента. Научный вестник МИРЭА. - 2009. – №1(6) – с.78-85

5. Куракин Д.В., Шемончук Д.С. Расширение использования мультимедиа технологий в сфере образования. Информатизация образования и науки - 2009. – № 4. – с.43-50

6. Мордвинов В.А., Шемончук Д.С. Регулирование функциональных характеристик мультимедиа в образовательных технологиях. Известия Томского политехнического университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2009. – Т. 314. – № 5. – с. 202-207

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ФИЗИЧЕСКИМИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ БАЗЫ ДАННЫХ ПО АТОМНЫМ СПЕКТРАМ

Шиманский Д.Н.
Научный руководитель: Казаков В.Г., к.ф.-м.н.
Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2.
E-mail: rooruu@ro.ru

Проведение исследований в атомной спектроскопии подразумевает сбор и анализ данных об оптических свойствах атомов и ионов – характеристик энергетических уровней и радиационных переходов. Эффективным способом получения спектральных характеристик являются информационные системы (ИС) на основе баз данных (БД), опубликованные в Интернете.

Пополнение БД происходит за счёт различных источников информации: научных публикаций в специализированных журналах, трудов научных конференций, других электронных БД, оригинальных исследований и др. Очевидно, что объём и разнородность вводимых данных может привести к различным ошибкам при пополнении, поэтому актуальной проблемой является

увеличение достоверности и устранение избыточности БД.

Целью данной работы является разработка средств для повышения достоверности БД по атомным спектрам с помощью проверки зависимостей и соотношений между параметрами физических объектов.

Для наиболее удобного и эффективного контроля данных требуется разработать модель данных, описывающую все необходимые параметры, и ориентированную на как можно более простую проверку выполнения требуемых зависимостей между ними. Только после создания модели данных возможна разработка алгоритмов, увеличивающих достоверность данных.

Работа проводится на основе ИС «Электронная структура атомов»*, разрабатываемой специалистами Новосибирского государственного университета и Института автоматики и электрометрии СО РАН. В настоящее время используемая в ИС база данных содержит экспериментальные и теоретические данные по уровням 105 и переходам 98 атомов и ионов. Всего в БД ИС ЭСА более 200 тыс. записей.

Результаты данной работы увеличивают достоверность данных в информационной системе, которая может использоваться в таких областях науки, как атомная спектроскопия, астрофизика и физика плазмы, а также в учебном процессе. Также данная ИС впоследствии может стать национальной ИС по спектральным данным атомов. Разработанные подходы к построению ИС и методы контроля целостности БД могут использоваться другими исследователями для своих работ.

Для выполнения работы необходимо также определить **особенности ИС «ЭСА»**, которые также формируют некоторые требования к БД. В первую очередь, это открытый доступ к системе через Интернет и удалённый доступ для заполнения БД специалистами. ИС обеспечивает возможность графического представления данных в виде автоматически построенных диаграмм Гротриана и табличного вывода точных данных с поддержкой сортировки, выборки и поиска по различным параметрам. Также следует отметить наличие в ИС библиографических ссылок, а также вспомогательной и справочной информации для облегчения работы с системой.

ИС «ЭСА» предоставляет пользователю информацию об радиационных переходах и энергетических уровнях атомов и ионов химических элементов. Определим **основные параметры рассматриваемых объектов атомной спектроскопии:**

Химическим элементом называют множество атомов с одинаковым зарядом ядра (Z) – числом протонов, совпадающим с порядковым или атомным номером в таблице Менделеева. Элемент однозначно определяется по его *атомному числу*, что позволяет назвать его главным параметром этого объекта.

Атом состоит из ядра, обладающего положительным электрическим зарядом, и окружающих его электронов с отрицательными электрическими зарядами. Заряд ядра равен $+Ze$, где $-e$ – отрицательный заряд одного электрона. В нейтральном атоме ядро с зарядом $+Ze$ удерживает Z электронов общим зарядом $-Ze$, и полный заряд равен нулю. В положительном ионе – атоме, потерявшем k электронов, остаётся Z-k электронов (k=1, 2, 3, … – *степень ионизации*) и его заряд равен $+ke$. Определим атомы и ионы как атомные системы. Параметром, однозначно определяющим атомную систему, является пара значений – его степень ионизации (определённой как ноль для нейтральных атомов) и атомное число химического элемента, которому принадлежит эта система.

Энергетический уровень — возможное значение *энергии* атомной системы, характеризует определённое её состояние. Положение электронов на оболочках атомной системы описывается *электронной конфигурацией,* описывающей распределение атомов по орбиталям системы, и *термом,* описывающим состояние этих электронов.

Радиационный переход – скачкообразный переход атомной системы с *верхнего энергетического уровня* на *нижний энергетический уровень*, обладающий меньшим значением энергии. Освобождённая таким образом энергия излучается в виде света с определённой *длиной волны*.

При анализе физических параметров объектов атомной спектроскопии были выявлены их зависимости, на основе которых были сформулированы правила, которым должны удовлетворять записи в БД. Рассмотрим **ограничения целостности**, реализуемые на уровне ИС:

Степень ионизации атомной системы не может быть больше атомного числа элемента, т.к. у нейтрального атома количество электронов совпадает с его атомным числом. Переход может ссылаться как на свои верхний и нижний уровни только на уровни, принадлежащие той же атомной системе. Ещё одним ограничением, позволяющим устранить некоторые ошибки при вводе данных, является проверка на равенство суммы электронов в электронной конфигурации уровня и разности атомного числа и степени ионизации. Электронная конфигурация и терм однозначно определяют энергетический уровень – поэтому не должно быть двух уровней, у которых эти параметры бы одновременно совпадали. Если переход классифицирован в базе данных (определены его верхний и нижний уровни), то энергия его верхнего уровня больше энергии его нижнего уровня, при этом длина волны перехода

пропорциональна величине, обратной к разности между энергией верхнего и нижнего уровней. Также, в дополнение к этим и другим ограничениям целостности, реализуемым на уровне ИС, добавляются ограничения, проверяемые на уровне БД. В качестве примера можно привести ограничения на возможные значения терма энергетического уровня. Для удобства хранения в БД термы были разделены на 4 вида (в зависимости от связи электронов применяются разные нотации записи). Несмотря на разный их вид, все термы можно разбить на составные части, которые хранятся в атрибутах «префикс терма», «мультиплетность терма», «квантовое число полного углового момента», «первая» и «вторая часть терма». При этом «квантовое число..» – это либо число, либо строка вида «число»+«/2». Первая и вторая части терма описываются таким же образом, но параметр «первая часть терма» может содержать в себе только одну заглавную латинскую букву. Эти ограничения целостности помогают устранить ошибки как при ручном вводе данных, так и при заполнении БД из каких-либо электронных источников, возникающие из-за неправильной конвертации данных.

В настоящий момент создана БД на основе предложенной модели данных, закончен перенос в новую базу значений, ранее описываемых ИС «ЭСА», и реализованы некоторые ограничения целостности.

В заключение приведу **ER-диаграмму модели данных**, реализованной в БД ИС «ЭСА»:

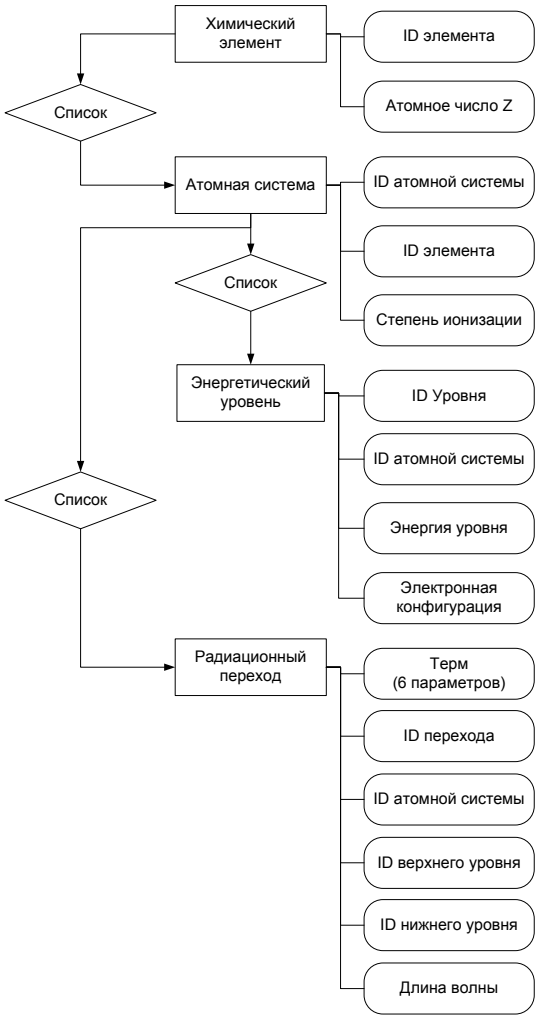


Рис. 1. ER-диаграмма модели данных

Данная диаграмма является неполной, т.к. не отображает некоторые параметры (например, параметр *«вероятность перехода»* радиационных переходов) и связи (с объектами, в которых хранятся библиографические ссылки), но в целом описывает устройство БД.

* – работа ведётся при поддержке федеральной целевая программа Развитие ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК П2374.

КОМПОНЕНТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ

Юнусова М.Р.
Научный руководитель: Мирошниченко Е.А., к.т.н.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: yunusova@tpu.ru

Геофизические исследования скважин (ГИС) - это методы изучения геологического разреза и выявления полезных ископаемых путем анализа различных геофизических полей в скважинах. Обширную группу методов ГИС составляет каротаж, предназначенный для изучения пород, непосредственно примыкающих к стволу скважины. Различают электрический, магнитный, радиоактивный, акустический и другие методы каротажа. В результате каротажа строятся каротажные диаграммы: графики изменения различных геофизических параметров от расстояния вдоль ствола скважины [1].

Визуализация каротажных диаграмм позволяет проводить их качественную (визуальную) интерпретацию. Принципы обработки диаграмм сводятся к выделению аномалий: максимумов, минимумов, изрезанных интервалов и других на

нормальном фоне. По ним можно определить местоположение пластов, их мощности. Качественная интерпретация результатов каротажа включает как подобную обработку каждой диаграммы, так и их межметодную и межскважинную корреляцию [1].

Существующие информационные системы (ИС) хранения и визуализации данных каротажа можно разделить на два класса. Первый класс составляют модули крупных программных комплексов, недостатком которых является их высокая стоимость. Второй класс представлен небольшими самостоятельными приложениями с ограниченным функционалом. Такие системы, как правило, не предоставляют возможности гибкой настройки для решения конкретных задач, а также содержат скудные средства интеграции с другими ИС на предприятии.

Лаборатория геоинформационных систем Института кибернетики при Национальном исследовательском Томском политехническом университете создает средство ввода, хранения, обработки и визуализации данных каротажа с целью их качественного анализа – компонент «Каротажные диаграммы». Компонент предназначен для внедрения в информационные системы, разрабатывается в среде CodeGear Delphi 2007 и распространяется в исходном коде.

Компонент «Каротажные диаграммы» предоставляет пользователю инструменты визуализации набора каротажных кривых с настройкой отображения каждой кривой и их расположения относительно друг друга. При этом на одном графике могут отображаться данные каротажа нескольких скважин с целью проведения межскважинной корреляции. Кроме того, компонент реализует возможность ввода и хранения результатов анализа каротажных диаграмм пользователем.

Каротажные диаграммы представляют собой кривые в системе координат, где одна из осей совпадает с осью скважины. При корреляции скважин и решении ряда других задач интерпретации результатов каротажа требуется пересчет кривых на ось абсолютных глубин, направленную от поверхности земли к ее центру. Как правило, предварительным этапом такой обработки каротажных диаграмм является расчет траектории скважины по данным инклинометрии.

Метод инклинометрии заключается в измерении через равные отрезки длины ствола скважины угла отклонения оси скважины от вертикали (зенитного угла) и азимута ее искривления по отношению к устью. Для расчета траектории скважины необходимо произвести преобразования результатов инклинометрии в прямоугольную систему координат [2].

Существует несколько методов обработки данных инклинометрии, различающихся по сложности расчетов и точности результатов. Данные методы позволяют для каждого интервала, соответствующего участку ствола скважины между двумя замерами, найти приращения по трем осям ΔX, ΔY, ΔZ, используя длину интервала ΔD и значения дирекционных α_1, α_2 и зенитных углов θ_1, θ_2 на концах интервала. Суммируя эти приращения и зная координаты точки привязки (координаты устья скважины), можно определить координаты любой точки траектории скважины [2].

Вместо дирекционного угла часто используют получаемый непосредственно при измерениях магнитный азимут искривления φ. Дирекционный угол отличается от магнитного азимута на величину $\gamma \pm d$, т.е. $\alpha = \varphi + \gamma \pm d$, где γ – угол между осевым меридианом и меридианом в данной точке, d – магнитное склонение.

Компонент «Каротажные диаграммы» реализует популярный метод расчета траекторий скважин по данным инклинометрии – метод усреднения углов. В данном методе участок ствола скважины между двумя точками замера представляется отрезком прямой, причем дирекционный угол и азимут на протяжении участка интерполяции принимаются равными средним арифметическим соответствующих углов, замеренных на концах интервала. При условии не очень большого расстояния между точками замера по сравнению с кривизной ствола, этот метод позволяет легко и с достаточной точностью вычислять координату ствола скважины.

В дальнейшем могут быть реализованы другие широко распространенные методы расчета траектории скважин: метод радиуса кривизны и метод минимальной кривизны [2].

Для обработки данных каротажа и инклинометрии скважин требуется предварительно импортировать данные из файлов различных форматов. Общепринятым форматом хранения и передачи данных каротажных исследований в скважинах является стандарт LAS (Log ASCII Standard) [3]. Формат также используется для представления данных инклинометрии скважин. LAS файл – это структурированный текстовый документ, состоящий из нескольких разделов. Обязательные разделы содержат следующую информацию:

- версию стандарта и другую служебную информацию;
- информацию о скважине, начальной и конечной глубине измерений, шаге измерений, дате проведения исследований и другую;
- метаданные одной или нескольких каротажных кривых (обозначение, единица измерения, описание);
- колонки с результатами каротажа, где в качестве первой колонки-индекса используется расстояние вдоль ствола скважины от ее устья до точки замера, в остальных колонках содержатся значения измеренных геофизических параметров.

Для хранения данных инклинометрии скважин применяются и другие текстовые форматы. Для большинства из них общим является табличное представление данных. Строки файла соответствуют точкам на оси скважины, столбцы – параметрам, измеряемым при проведении инклинометрии. Как правило, в первой строке таблицы содержатся имена столбцов для их идентификации, в первом столбце, как и в стандарте LAS, указаны относительные координаты точек замера. В качестве разделителей значений внутри строк таких файлов по столбцам используются символы пробела, табуляции, запятой, точки с запятой и их комбинации. Кроме того, данные инклинометрии могут быть представлены в формате таблиц Microsoft Office Excel.

Компонент «Каротажные диаграммы» позволяет импортировать данные каротажа и инклинометрии в формате LAS, а также производить их автоматизированную проверку на соответствие требованиям стандарта. Также планируется реализация загрузки данных инклинометрии из файлов произвольных текстовых форматов или таблиц Microsoft Office Excel в полуавтоматизированном режиме. В таком случае пользователю будет необходимо задать параметры импорта данных: расположение таблицы в файле, разделители строк и столбцов (для текстовых форматов), соответствие между столбцами таблицы и данными каротажа и инклинометрии.

При импорте данных каротажа компонент сохраняет в базе данных (БД) исходный файл и значения атрибутов каротажа, необходимые для его идентификации. Хранить непосредственно в таблицах БД значения измеренных геофизических параметров не требуется по ряду причин, среди которых наиболее значимы следующие. Во-первых, файл каротажа может содержать произвольное число атрибутов и комментариев с дополнительной информацией о скважине и проводимых исследованиях. В связи с этим задача сохранения исходных каротажных данных в полном объеме является актуальной. Во-вторых, отдельно взятые точки каротажных кривых в рамках решаемых задач не имеют смысла. Наконец, импорт каротажных кривых в формате LAS требует реализации в компоненте алгоритмов синтаксического анализа таких файлов. Указанные алгоритмы могут быть использованы и при дальнейшей работе с каротажными данными.

Компонент «Каротажные диаграммы» спроектирован по принципам архитектуры Model-View-Controller (MVC), в которой модель данных приложения, пользовательский интерфейс и управляющая логика разделены на три отдельных составляющих так, что модификация одной из них оказывает минимальное воздействие на другие. Под моделью здесь понимается часть, содержащая в себе функциональную логику (бизнес-логику) приложения. Представление отвечает за отображение данных, полученных от модели. Котроллер интерпретирует данные, введенные пользователем, и информирует модель и представление о необходимости соответствующей реакции. Представление подписывается на события изменения Модели. При возникновении такого события Представление обращается к Модели за обновленными данными, после чего их отображает. В связи с особенностями среды разработки в компоненте «Каротажные диаграммы» реализована разновидность MVC, в которой контроллер интегрирован в представление.

Список литературы

1. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования земной коры. Кн. 1: Методы прикладной и скважинной геофизики. Учебник. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека "Дубна", 1997. – 276 с.

2. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Проселков Е.Ю. Бурение горизонтальных скважин. – Краснодар, Советская Кубань, 2008. – 424 с.

3. The Canadian Well Logging Society (CWLS). LAS – Log ASCII Standard [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cwls.org/las_info.php

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ №5

СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА ТУБЕРКУЛЕЗА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
Агафонов В.Ю., Баланцев Г.А……7

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СРЕДСТВАМИ И МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОГРАФИИ
Александров А.В., Кабакова А.В……...9

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ЛЕГОЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ СРЕДСТВАМИ И МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОГРАФИИ
Александров А.В., Кабакова А.В……11

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ ДЛЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
Баранов В.Н., Квашнина С.И., Кузяков О.Н……...13

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В МЯГКИХ ТКАНЯХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЯХ
Батухтин К.С……..14

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСКОРЕНИЯ РАСТВОРЕНИЯ КАМНЕЙ ЖЕЛЧНОГО ПУЗЫРЯ ПОД УЛЬТРАЗВУКОВЫМ И МЕДИКАМЕНТОЗНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ
Гайдышева Е.В., Киселева Е.Ю……...16

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МОРФОМЕТРИИ ГРАНУЛ ПРЕДСЕРДНОГО НАТРИЙУРЕТИЧЕСКОГО ПЕПТИДА НА ЭЛЕКТРОННЫХ МИКРОФОТОГРАФИЯХ КАРДИОМИОЦИТОВ УШКА ПРАВОГО ПРЕДСЕРДИЯ БОЛЬНЫХ ИШЕМИЧЕСКОЙ КАРДИОМИОПАТИЕЙ
Гутор С.С., Сафонова А.В……19

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНЫХ ПРОБ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СВЕРТЫВАНИЯ КРОВИ
Жогло Е.В., Аристов А.А., Рафальский А.С…….21

ПРИМЕНЕНИЕ ЭСТ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ЭПИЛЕПСИИ
Зыков С.В……...23

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ПО ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА
Кононенко Т.С., Латышева И.К., Погудин Д.И……25

ВЫЯВЛЕНИЕ МАРКЕРОВ ГИПОКСИИ ПЛОДА В ВЫДЫХАЕМОМ БЕРЕМЕННОЙ ВОЗДУХЕ
Кузнецова Е.И., Кузьмин Д.А., Толмачев И.В…….27

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЙ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЕГКИХ С ПОМОЩЬЮ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
Кузьмин Д.А., Николаев М.А……...29

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПРОТЕЗ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДИСТЫХ НАНОТРУБОК И УПРАВЛЯЮЩЕГО НЕЙРОКОНТРОЛЛЕРА
Куракина Т.В., Сенников А.В……...31

НОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОТОЛЕЧЕНИЯ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ
Т.А. Ларина, А.В. Леднева, Е.А. Франциян……33

ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ КАРДИОРИТМА
Латышева И.К, Кононенко Т.С., Лопатнев Н.Ю……35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ИНФОСТРУКТУРЫ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ
Лопатнев Н.Ю., Погудин Д.И., Кононенко Т.С……...37

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ В ТКАНЯХ ОРГАНИЗМА ВО ВРЕМЯ АНЕСТЕЗИИ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ
Малинин В.С……..39

МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПРЕССИЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ
Мальцев А.В., Квашнина С.И…..……41

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ CASE-BASED ПОДХОДА
Меньших Н.А, Казанцева А.А……..43

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ CASE-BASED ПОДХОДА К ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ПРОЦЕДУРЕ НА МОДЕЛИ КЛИНИЧЕСКИХ (КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ) ДАННЫХ
Монгуш.Ш.С……46

МЕТА-АНАЛИЗ ДАННЫХ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕПАРАТА «ЙОДАНТИПИРИН» ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ КЛЕЩЕВОГО ЭНЦЕФАЛИТА
Морозова К.В……48

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БРОНХОЛЕГОЧНОЙ СИСТЕМЫ У БОЛЬНЫХ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
Мочула А.В., Краснобаева Л.А., Старовойтова Е.А……50

ИЗМЕРЕНИЕ ИМПЕДАНСА БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ
Муратхан.А., Айнакулова А.Е., Великая В.В……52

РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКСПРЕССИИ МАРКЕРОВ АПОПТОЗА И ПРОЛИФЕРАЦИИ ПРИ НОВООБРАЗОВАНИЯХ ЖЕЛУДКА ПО ДАННЫМ ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Острикова О.И……54

МУЛЬТИРЕЖИМНЫЙ ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
Педина А.Б., Пайгин Д.В., Болотина И.О……56

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ЗОНД ДЛЯ ВНУТРИПОЛОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ИЗЛУЧАТЕЛЕМ
Педонова З.Н……58

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРМИРОВАННЫХ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ ИМПЛАНТАТОВ
Петлин Д.Г., Твердохлебов С.И., Больбасов Е.Н……60

ИЗМЕРЕНИЕ СОСУДИСТОГО ТОНУСА И АД ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ ВРПВ
Погудин Д.И., Лопатнев Н.Ю., Латышева И.К……62

БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ НАРУШЕНИЙ КРОВООБРАЩЕНИЯ ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА ПРИ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ
Рашев Р.Р., Баранов В.Н……63

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ КОНСУЛЬТАНТОВ КЛДЦ КЛИНИК СИБГМУ ГОУ ВПО РОСЗДРАВА. УНИВЕРСАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛОВ КОНСУЛЬТАТИВНЫХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПРИЕМОВ СПЕЦИАЛИСТОВ
Резцова А.М……65

О ТЕНДЕНЦИЯХ В РАЗВИТИИ МЕДИЦИНСКОГО КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
Рогова О.В., Жилина Е.А……67

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ НЕФТИ С СЕМЕЙСТВАМИ БЕЛКОВ ЦИТОХРОМА P450 (CYP1, CYP2 И CYP3) И ПОЛИМОРФИЗМОВ, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ У РАЗНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ IN SILICO
Рубцова К.В……69

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ УРОВНЯ КРОВОТОКА В ОБЛАСТИ ПЛАЦЕНТЫ ПО ДАННЫМ РЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
Побызакова К.С., Самбуева Е.Д., Солошенко И.С……71

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Тищенко П.Н……73

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ РЕЗИСТИВНОМ НАГРЕВЕ С УЧЕТОМ ОТВОДА ТЕПЛА
Турунтаева Н.Ю……75

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКГ
Уваров А.А., Пеньков П.Г., Чебуренко Д.С……77

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФОТОТЕРАПИИ И ФОТОПУНКТУРЫ
Хлынов М.А. Баранов В.Н……79

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИОННЫХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
К. А. Чаптыкова……81

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ СНЯТИЯ ЭЭГ И ЭКГ
Чебуренко Д.С., Уваров А.А……83

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТНЫХ СВОЙСТВ ЛОКАЛЬНЫХ ЗОН У ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ТЕПЛОЗАВИСИМЫХ ОБЪЕКТОВ
Полторацкая О.В., Юсупов Д.И……...85

СЕКЦИЯ №6
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

МЕТОД ОПТИЧЕСКОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ В ИЗУЧЕНИИ ТОПОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОЗИТОВ С МИНЕРАЛЬНЫМ БАЗАЛЬТОВЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ
Александрова Л.С., Тубалов Н.П., Яковлев В.И……...89

ИМПУЛЬСНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ZnSe
Алексеев Н.А……..91

АТТЕСТАЦИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ МЕЗООБЪЕМОВ ПОЛИ- И МОНОКРИСТАЛЛОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕОДНОРОДНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ
Е.А. Алфёрова……93

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ СМК НИКЕЛЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОТЖИГУ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ, С ПОМОЩЬЮ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА
Андреева Е.М., Петракова И.В., Рахматулина Т.В……95

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА
Базаркина В.В., Огнев А.Ю., Кривеженко Д.С……97

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДОРОДА В ЦИРКОНИЙ ЧЕРЕЗ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ, МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ИМПУЛЬСНЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ
Березнеева Е.В., Березнеев Д.В., Пушилина Н.С……...99

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СИСТЕМАХ С ТЕРМОБАРЬЕРНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ. ДИСКРЕТНО-КОНТИНУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
Бикинеев Г.Ш., Моисеенко Д.Д., Максимов П.В……101

АЗОТИРОВАНИЕ ФЕРРОСИЛИКОАЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ СВС
Болгару К.А., Чухломина Л.Н……103

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ АДГЕЗИОННОЙ СИСТЕМЫ «ПЕЧАТНАЯ КРАСКА - КОМБИНИРОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ»
Борисова А.С……105

СТАДИЙНОСТЬ ЛОКАЛИЗОВАННОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ ОБРАЗЦОВ ИЗ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА С ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА ПО ДАННЫМ АКУСТО-ЭМИССИИ, КАРТИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕНЗОМЕТРИИ
Бурков М.В., Любутин П.С., Бяков А.В……107

ПОЛУЧЕНИЕ ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПОЛИСОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ТРИАДЫ ЖЕЛЕЗА
Вайсбеккер М.С……109

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАРЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЛИТОЙ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ОЛОВЯННОЙ БРОНЗЫ
Веригин С.В., Стрелкова И.Л., Егоров Ю.П……111

ПОЛУЧЕНИЕ СФЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО ВОЛЛАСТОНИТА
Ветрова В. Е……113

АЗОТИРОВАНИЕ ТИТАНОХРОМОВОГО ФЕРРОСПЛАВА
Витушкина О.Г., Чухломина Л.Н…...115

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СТАЛИ 12Х1МФ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ИОННЫМ ПУЧКОМ Zr+
Власов И.В., Панин С.В., Сергеев В.П……117

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 30ХГСН2А
Газетдинова А.О., Стрелкова И.Л…..119

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ В ПЯТНЕ НАПЫЛЕНИЯ
Гладких И.А., Зенин Б.С……121

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ ОКСИДОВ И МЕТАЛЛОВ ТЕРМОЛИЗОМ ОКСАЛАТОВ Co, Ni, Cu
Голубчикова Ю.Ю., Пивоваров Д.А.....123

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭВОЛЮЦИЮ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ 08Х18Н10Т, ПОДВЕРГНУТОЙ УСТАЛОСТНЫМ ИСПЫТАНИЯМ
Горбунов С.В., Воробьев С.В., Бессонов Д.А……125

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИМПУЛЬСНОЙ РЕНТГЕНОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ СЕЛЕНИДА ЦИНКА
Горина С.Г., Олешко В.И., Вильчинская С.С……..127

СПЕКАНИЕ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ С ДОБАВКАМИ
Грехова М.В…….129

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА ТЕМПЕРАТУРЫ МАРТЕНСИТНОГО ПЕРЕХОДА В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА
Данильсон Ю. Н……..131

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ПРИ ТЕРМОВАКУУМНОЙ СУШКЕ
Елфимова М.В……133

ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ БЕЛОГО ХРОМОВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА
Еремина Л.В., Дампилон Б.В……135

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ РАБОЧИХ КОЛЕС ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА
Ермошкин А.А……137

АКТИВАТОРНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ LiF-TiO2
Есильбаев Д. Б, Лисицына Л.А, Корепанов В.И……139

ИЗМЕНЕНИЕ НАНОТВЕРДОСТИ ЖЕЛЕЗА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ
Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Мартусевич Е.В……141

СТРУКТУРНЫЕ ПРИЧИНЫ ШИФЕРНОГО ИЗЛОМА В СТАЛИ 12ГБА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ
Заточная Л.В., Деревягина Л.С…….143

ВЛИЯНИЕ РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ И ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОТЖИГОВ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 06МБФ В ФЕРРИТО - МАРТЕНСИТНОМ СОСТОЯНИИ
Захарова Г.Г., Тукеева М.С…….145

МЕХАНИЗМ АТОМНЫХ СМЕЩЕНИЙ ВБЛИЗИ МЕЖФАЗНОЙ ГРАНИЦЫ ДВУМЕРНОЙ МОДЕЛИ СПЛАВА NI-AL ПРИ НАЛИЧИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ
Захаров П.В……..147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИАБАЗА И БАЗАЛЬТА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕКОРАТИВНОЙ ПЛИТКИ
Зыкова Ю.А., Сафонова Т.В……..149

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩЕГО ГИДРОКСИЛАПАТИТА ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЯ ИЗ ПЛАЗМЫ ВЧ-РАЗРЯДА
А.А. Иванова, Р.А.Сурменев, М.А.Сурменева……151

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ИЗНАШИВАНИЯ НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5
Игнатов А.А., Дураков В.Г…….153

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ РЕАГЕНТА И ПРОДУКТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛАСТИНЫ В УСЛОВИЯХ РАСТЯЖЕНИЯ
Кадирова А.С……155

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА [123]-МОНОКРИСТАЛЛОВ ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА Ni-Fe-Ga-Co
Казанцева Л.П……157

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОДЛОЖКИ CU ИОНАМИ TI НА ХАРАКТЕР ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ SIALN
Кастеров А.М……..159

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА ОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛОВ
Киямов М.Ю., Федоров И.А……..161

УПРУГОЕ ГОФРИРОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК Al НА ВЯЗКОУПРУГОМ ПОДСЛОЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ
Козельская А.И……163

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИТА WC – (Fe-Mn-C) В СКОРОСТНОМ ИНТЕРВАЛЕ 1 – 37 м/с ПРИ СУХОМ ТРЕНИИ ПО СТАЛИ
В.А. Красновейкин, И.Н. Севостьянова……165

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ НА СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ФЕРРОМАГНИТНОГО СПЛАВА CONIGA
Кретинина И. В……167

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГАННЫХ ОТХОДОВ
Кузнецова Н. А……169

МИКРОДУГОВЫЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫЕ БИОПОКРЫТИЯ НА ЦИРКОНИИ
Куляшова К.С……..171

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ СУЛЬФИДА КАДМИЯ ПРИ ВЫСОКИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ
Лысык В.В., Олешко В.И……173

ОСОБЕННОСТИ СВ-СИНТЕЗА ПИГМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ШПИНЕЛЕЙ
Львов О.В. , Радишевская Н.И., Найбороденко Ю.С……..175

СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ V2 O3
Лях О.В., Суриков В.И., Данилов С.В…….177

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА СОЕДИНЕНИЙ V_2 O_3 НА ПАРАМЕТРЫ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА МЕТАЛЛ – ДИЭЛЕКТРИК
Лях О.В., Суриков В.И., Данилов С.В……179

СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТИТАНА ВТ1-0 ДЕФОРМИРОВАННОГО В ХОЛОДНОМ СОСТОЯНИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ РОТАЦИОННОЙ ВЫТЯЖКИ
Макарова Е.Б., Журавина Т.В., Руктуев А.А……181

АГРЕГАТИЗАЦИЯ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ
Маркидонов А.В., Барчук А.А……..183

ВЛИЯНИЕ ФОНОННОГО ТРЕНИЯ НА ДВИЖЕНИЕ КРАУДИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ
Маркидонов А.В., Барчук А.А……185

ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ СИЛУМИНА ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ
Е.А. Маркова, Ю.Ф. Иванов…….187

ИЗУЧЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ
Е.В. Мельников, Г.Г. Захарова, М.С. Тукеева……189

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СПЕКАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ ДИЛАТОМЕТРИИ
Михайленко Л.С……191

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ ПРИ ТВЧ-НАГРЕВЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ
Мишустин Н.М., Ишков А.В., Иванайский В.В……193

ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ВИСМУТАИ ЕГО ОКСИДОВ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИАПАЗОНА
Мищенко К.В……195

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕМОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ TIO2 И TI-O-N, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ РЕАКТИВНОГО РАСПЫЛЕНИЯ
Морозова Н.С., Тургалиев Д.А……..197

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛОСКИХ ТЕЛ С ОТВЕРСТИЕМ
Морозов М.Н., Жданова А.О……199

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ГОРЕНИИ БОРСОДЕРЖАЩИХ СВС-СИСТЕМ ПРИ НАГРУЖЕНИИ ИНЕРТНЫМИ ДОБАВКАМИ
Исаченко Д.С., Кузнецов М.С., Мысков О.С……201

ПРИРОДА ПОВЫШЕНИЯ СТОЙКОСТИ ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ
Корочкин А.Е., Костерев В.Б., Мясникова В.И……203

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ОДНОРОДНОСТИ МАГНИТОМЯГКИХ ФЕРРИТОВ ТГ(М)/ДТГ(М) МЕТОДОМ
Назмутдинов И.М., Лысенко Е.Н….205

РЕЛАКСАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ АЛЮМИНИЯ В УСЛОВИЯХ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
Невский С.А., Коновалов С.В., Мясникова В.И……207

ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИИ ПОДРЕШЕТОК НА ЗОННУЮ СТРУКТУРУ КРИСТАЛЛОВ Ag2O И Cu2O
Нефёдова Д.С., Николаева Е.В……209

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО КРЕМНЕЗЕМА НА ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ И ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТА
Новосёлова А.П., Сударев Е.А……211

ОГРАЖДАЮЩИЕ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА, АРМИРОВАННОГО БАЗАЛЬТОПЛАСТИКОМ
Пономарев М.В., Пономарева Г.П., Сладков О.М……213

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПАКТНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ С УЧЁТОМ ЕЁ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
Посысаев С. С……215

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ
Романов Д.А., Будовских Е.А……217

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КВАНТОВОГО ВЫХОДА ЛЮМИНОФОРОВ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА
Гончарова Ю.С., Саврук Е.В……219

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНСОЛИДАЦИИ НАНОПОРОШКОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ
Садилов Д.Д., Дутлова Ю.В……221

ПРОЦЕССЫ ПРИ ОБЖИГЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ СУГЛИНКОВ
Сафонова Т.В., Зыкова Ю.А……223

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ГИДРОКСИАПАТИТА НА КЕРАМИКЕ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ
Е.С.Семанцова, П.Ф. Муль, А.А.Величко……225

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЕНОК ГИДРОКСИЛАПАТИТА НА КРЕМНИИ И СИТАЛЛЕ МЕТОДОМ ИК СПЕКТРОСКОПИИ
Е.С.Семанцова, П.Ф. Муль, А.А.Величко……..227

СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА (СВМПЭ), ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СПЕКАНИЯ
Смачная О.В., Панин С.В., Иванова Л.Р……..229

ИССЛЕДОВАНИЕ И КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА ПЛЕНОК АЛЮМИНИЙ НА ПОДЛОЖКЕ Д16АТ ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ИЗГИБЕ
Срайыл З.Б., Панин С.В., Полтаранин М.А……..231

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ АДГЕЗИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ
Супуева А.С, Леонов А.П.……233

РАСЧЁТ ДИАГРАММ РАСТЯЖЕНИЯ КОМПОЗИТА Al + 10%Al2O3 С УЧЁТОМ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ЗОНЕ ФОРМИРОВАНИЯ ШЕЙКИ
Сухомлинова М.С……235

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНА ВТ1-0 ПРИ НАВОДОРОЖИВАНИИ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ
Таразанова Е.И., Кретова О.М…….237

УПРУГОЕ ПОВЕДЕНИЕ СПЛАВА Sm1-XYXS ВБЛИЗИ ВАЛЕНТНОГО ПЕРЕХОДА
Теслева Е. П., Белькова Т. А……239

КЕРАМИЧЕСКИЕ ГЛАЗУРИ НА ОСНОВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
Тодовянская О.В……241

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОКИСЛЕНИЯ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ЛИТИЕВЫХ ФЕРРИТОВ МЕТОДОМ ТЕРМОГРАВИМЕТРИИ
Трофимова О.А., Лысенко Е.Н……..243

ВЛИЯНИЕ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ И КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРУ МОНОКРИСТАЛЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА
Тукеева М.С., Мельников Е.В., Захарова Г.Г…….245

КЕРАМИЧЕСКИЙ ПРОППАНТ С НИЗКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ
Усова З.Ю……247

ОСОБЕННОСТИ СПЕКАНИЯ ОПОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА
Устинов А.В., Терёхина Ю.В., Котляр В.Д……249

ВЛИЯНИЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАСС МЕТАЛЛОВ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ЖЕЛЕЗА И ТИТАНА
Филипьев Р.А., Пономарева М.В., Рыбянец В.А……251

РАССЕЯНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ ФОРМЫ ПАРАЛЛЕЛЕПИПЕДА
Фуфачев М.А……253

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ
Хаймин В.А……255

СТРУКТУРНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СПЛАВА Ni3Al С СИММЕТРИЧНОЙ ГРАНИЦЕЙ ЗЕРЕН <111> ПРИ ТЕРМОАКТИВАЦИИ
Харина Е.Г., Барчук А.А…….257

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛОВ ДЛЯ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА
Цапало Л. И., Найбороденко Ю. С., Касацкий Н.Г……259

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНА В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ABC-ПРЕССОВАНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МНОГОХОДОВОЙ ПРОКАТКОЙ
Чабанец А.А……261

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ МЕТОДОМ ГИП В СИСТЕМАХ «Ti-O-N» и «Ti-Al-O-N» НА ОСНОВЕ СВС-ПОРОШКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ВОЗДУХЕ
Чаплина Е.В., Паутова Ю.И., Громов А.А……263

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ФОСФАТНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В КОМПОЗИЦИЯХ С КАРБОНАТСОДЕРЖАЩИМИ ОТХОДАМИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
Чернова Е.А…….265

ФОТОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ
Чудин И.С., Горшков А.И., Дмитриенко Т.Г……267

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАГРУЖЕННОЙ СТАЛЬНОЙ ТРУБЫ
Чумаченко А.Ю., Батаев И.А., Ромашова Ю.Н……269

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА БРОНЗЫ БРОС10-10
Шахова Д..С., Петренко Ю.Н., Мартюшев Н.В…….271

ОСОБЕННОСТИ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ ЭК-181 ПОСЛЕ ТЕРМООБРАБОТОК ПО РАЗНЫМ РЕЖИМАМ
Шевяко Н.А., Литовченко И.Ю……..273

НАНЕСЕНИЕ ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ
Шпакова Н.Ю……275

ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ГОРЕНИИ БОРСОДЕРЖАЩИХ СВС-СИСТЕМ ПРИ НАГРУЖЕНИИ РЕАКЦИОННО-СПОСОБНЫМИ ДОБАВКАМИ
Исаченко Д.С., Семенов А.О., Штин А.А…….277

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ПРОЦЕССУ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ
Шушаков Р.А……279

СЕКЦИЯ №7
ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГЕННЫХ СЕТЕЙ
Акиньшин А.А……283

ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО, ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ
Алтухов Ю.А., Любутин П.С., Панин С.В…….285

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПО ОЦЕНКЕ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ
Афиркина Т.А., Суркова С.В., Гладченко В.С……287

ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СЕРТИФИКАЦИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
Беляков И.А……289

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ПРОМЫСЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ
Т.А.Бестемьянова……291

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ
Бордулёв Ю.С……293

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО СВЯЗЬ ЭМИТЕНТА С ИНВЕСТОРОМ
Т.И. Боровская…….295

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОПИСАНИИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ
Бортников А.В., Захарьянц А.Г……..297

ПОДАВЛЕНИЕ ШУМОВ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЯДРА РЕГРЕССИИ
Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг……...299

ЦЕЛОЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ ЦИФРОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ОКРУЖНОСТИ
Булатников А.А……...……301

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ERP-СИСТЕМ
Бухта А.А., Кожевников А.С…….303

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МЕНЕДЖМЕНТА БИЗНЕСА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ
Валанов А.А., Трофимов И.Е…….305

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ТРУДОЕМКОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
Ваховский В.В…….307

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ И ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ОНТОНЕТ
Войтович А.Ю……..309

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ ТЕСТОВ
Воронова С.А……..311

ПРИМЕНЕНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ОБРАБОТКЕ СООБЩЕНИЙ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ
Воронов Э.С……313

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ ДВУХКОНТУРНЫХ САУ
Гладышев И.С., Мишанов М.С., Байдали С.А……315

МНОГОВАРИАНТНОЕ ТИПИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТА
Горюнов Е.К……317

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И ВЕЙВЛЕТОВ
Григорьев Д.С……319

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ НЕРАВНОВЕСНОЙ МОДЕЛИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ РЕКТИФИКАЦИИ
Грязнова И.А., Вольф А.В., Новикова К.А……321

РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ
Демьянович Д.Н……323

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАБОТЫ УСТАНОВОК КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА
Дериглазов В.В……325

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ И РАСХОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ
Дорошенко С.В……327

СИСТЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ЛИЦ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ
Друки А.А…….329

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ
Ермолаев М. В……..……331

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ИНТЕРВАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ, ГАРАНТИРУЮЩИХ ЗАДАННОЕ ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ
Ефимов С.В., Пушкарев М.И…….333

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИНАНСОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ
Ефремов В.А., Кузьмина Е.А…….335

ОТЛАДКА ПРОГРАММ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО АППАРАТНОГО ИНТЕРФЕЙСА JTAG
Завьялов А.П., Чурсин.Ю.А., Маклаков Р.Э……337

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАЛЬНЫХ БИЕНИЙ РОТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ВРАЩЕНИЯ
Зайцев Е. С……339

ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ КЭШИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
Захарьянц А.Г., Бортников А.В…….341

РАЗВИТИЕ ЯЗЫКА GIL
Зорин Ю.А……343

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ РИФОРМИНГА И ДЕГИДРИРОВАНИЯ ВЫСШИХ ПАРАФИНОВ
Иванов С.Ю……344

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УЗЛА ФТОРИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕКСАФТОРИДА УРАНА
Извекова Ю.В., Криницын Н.С……..346

РЕАЛИЗАЦИЯ КОНТРОЛЬНЫХ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ MOODLE
Исмаилова А.И., Морозова Ю.В……348

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАКРОСА APDL ПРИ ЧИСЛЕННОМ АНАЛИЗЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КАНАТОВ В ANSYS
Калентьев Е.А., Тарасов В.В., Новиков В.Н…….350

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ В СОСТАВЕ INDESYS-MS ДЛЯ ХРАНЕНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СВЧ ИЗМЕРЕНИЙ
Каратаев Е. П……352

РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛЬНО-ГРАФИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЯНОГО СЕПАРАТОРА
Кинчин Е.В……354

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАССООБМЕННОГО ПРОЦЕССА В НЕФТЕГАЗОВОМ СЕПАРАТОРЕ
Кинчин Е.В……356

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМИ И ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ
А. С. Киняева……358

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ
Колосова О.С., Денисова М.Н……360

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ АТОМНЫХ СПЕКТРОВ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМОВ*»
Ковалёв В.С., Казаков В.В……362

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФИНАНСОВОГО ИНЖИНИРИНГА ДОЛГОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ
Ефремов В. А., Козлов А.Н., Кузьмина Е. А……..364

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЯТНИКА НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ТР-802 ФИРМЫ FESTO
Кондратенко М.А., Пастухова Е.А., Федоров В.А……366

МЕТОД ЗАПОЛНЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
Коробулина О.Ю……368

НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА
Кошарный И.В……370

ИНСТРУМЕНТ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, ОСНОВАННЫЙ НА ПРИМЕНЕНИИ БАЗ ЗНАНИЙ
Кречетов И.А……372

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAN ПРОТОКОЛА
Кузнецов С.В., Чурсин Ю.А……...374

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Кузьмин Т.Г., Молодых П.В., Попов А.А……376

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ПО ЧАСТОТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
Кусатаева А.К., Касимова Б.Р., Есликовский К.А……378

РАЗРАБОТКА TCP/IP КЛИЕНТА/СЕРВЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SDK 2.0.
Маклаков Р.Э.,Чурсин Ю.А., Завьялов А.П……380

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ ТОКАМАКА КТМ
Мачалов О.Н., Кудрявцев В.А……382

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ И НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
Мейта Р.В., Веремеенко Е.С……..384

АЛГОРИТМ РАЗМЕТКИ ВРЕМЕННОГО РЯДА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ПРЕДВЕСТНИКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО СОБЫТИЯ
Мертвецов А.Н……386

ИНФОРМАЦИОННЫЙ МОРФИЗМ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
Миронов А.А……388

К ВОПРОСУ О КРИТЕРИЯХ КАЧЕСТВА ДЕМОДУЛЯЦИИ ЛИНЕЙНЫХ МНОГОШИРИННЫХ ШТРИХОВЫХ КОДОВ
Михайлов И.И……390

РАСШИРЕННЫЙ ИНТЕРПРЕТАТОР ЯЗЫКА PROLOG
Михайлов И.Н……392

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КАСКАДА ЭКСТРАКЦИОННЫХ КОЛОНН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB/SIMULINK
Михалевич С.С., Горюнов А.Г., Чурсин Ю.А……394

МЕТОДЫ РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ
Мишанов М.С., Гладышев И.С., Байдали С.А…….396

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПРИБОР ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ЦИФРОВОГО ЦВЕТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Овчинников П.Г., Силушкин С.В…..398

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСНЫХ МОДУЛЕЙ ДОСТУПА К PLM СИСТЕМАМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ
Очоа Бикэ А.О……400

ПРОЕКТИРОВАНИЕ WEB-СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СТАРТАП-ПРОЕКТОВ
М.Х. Писегов, Е.С. Прокопчук, М.А. Распопина……..402

ВИРТУАЛЬНЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ В СРЕДЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW
Поплетнева К. Ю……404

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ «ВЕДУЩИЙ-ВЕДОМЫЙ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНЫХ LEGO РОБОТОВ
К.В. Прасолов, М.В Ларин, Т.В Александрова……406

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ OLAP ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ СУБЪЕКТОВ РФ
Раевская Е.А……408

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И СМЕШАННОГО УПРАВЛЕНИЯ БИЛИНЕЙНЫМИ ОКРЕСТНОСТНЫМИ СИСТЕМАМИ
Роенко С.С……410

СПОСОБ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА ОТНОСИТЕЛЬНО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РЕГИОНА
Ф.В. Саврасов, С.В. Ларионов……411

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИМЕНЕНИЕМ НАКАПЛИВАЮЩЕГО АЛГОРИТМА
Савченко Д. И……412

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИМЕНЕНИЕМ НАКАПЛИВАЮЩЕГО АЛГОРИТМА
Савченко Д. И……413

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
Савченко Д. И……..415

РАСПОЗНАВАНИЕ ЦИФР НАВЫКОВОЙ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
Самарин Н.В., Уврачёв Е.В., Марчук С.В……...417

МОДИФИЦИРОВАННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ И СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ
Сачков С.А., Козин К.А., Горюнов А.Г……419

СИНТЕЗ ПД-РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ УПРОЩЕННОЙ МОДЕЛИ САМОУСИЛИВАЮЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТОРМОЗА
Сейтбатталулы Г., Старых А.А……..422

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ В ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
Серова Т.О……424

УСКОРЕНИЕ ФИНАНСОВЫХ РАСЧЁТОВ НА БАЗЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ CUDA
Снопков А.С., Сорокин Н.Ю., Кузнецова Л.Г……..426

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ РЕГУЛЯРНЫХ МИКРОКЛАСТЕРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ
Смуров А.А., Сорокин А.А……428

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАССЕЯНИЯ И ВОЛЬТАМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ СВЧ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА
Степачева А.В., Абрамов А.О……430

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДУЛЬНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
Стотланд И.А…….432

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ
Е.В. Тараканов…….434

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ СВЕРТОЧНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
Титова Е.М……..436

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ КУЗБАССКИМ ГОСУДАРСТВЕННЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УНИВЕРСИТЕТОМ
Трофимов И.Е……438

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ
Трухачев С.С., Косоногова М.А…….440

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ СУБЪЕКТА РФ
Тудупова С.Ц……...442

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В БИОЛОГИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НИЗКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ
Турунтаева Н.Ю……...444

ПРИМЕНЕНИЕ ОРС-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДУЛЕЙ ТРЕНАЖЕРНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА
Федоров Р.А., Нагайцева О.В…….446

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ В ТРЕНАЖЕРНЫХ КОМПЛЕКСАХ ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ АСУ ТП
И.С. Цевменкова, А.Е. Карелин, А.А. Светлаков……448

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ
Цисык Р. О……450

СИСТЕМА ИНФОРМИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ RFID
Чубов С.В., Маморцев С.В……452

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА С ТОПКОЙ КИПЯЩЕГО СЛОЯ
Шахнович В.Р……..454

ИНФОРМАЦИОННО-СОЦИАЛЬНЫЙ ПОРТАЛ В ПОДДЕРЖКУ ДЕТСКОГО МУЗЫКАЛЬНО-ПЕВЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА
Шемончук Д.С…….456

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ФИЗИЧЕСКИМИХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ БАЗЫ ДАННЫХ ПО АТОМНЫМ СПЕКТРАМ
Шиманский Д.Н…….457

КОМПОНЕНТ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КАРОТАЖНЫХ ДИАГРАММ
Юнусова М.Р……459

XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ»

Сборник трудов

Том 2

Подписано к печати 30.06.2011. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать RISO. Усл. печ. л. 61,65. Уч.-изд. л. 55,76.
Тираж 150 экз.

Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета
сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE
по стандарту ISO 9001:2011
ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30