

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

**СБОРНИК ТРУДОВ
XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

12–16 апреля 2010 г.

В трех томах

Том 2

Томск 2010

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0

С56

Современные техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1 / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 426 с.

Сборник содержит статьи, разделенные 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».

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

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Материалы предоставлены в авторской редакции

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2010
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2010

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, сопред. оргкомитета
- 3.Дмитриенко В.П. к.т.н., доцент, зам. проректора по НРИИ, сопред. оргкомитета
4. Шепотенко Н.А. к.ф.-м.н., начальник УМАД НУ
- 5.Зольникова Л. М. начальник отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ, председатель Круглого стола «Проблемы организации научно-технического творчества молодежи»
6. Негруль В.В. к.ф.-м.н., директор ЦТТ НУ
- 7.Сидорова О.В. эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
- 8.Кайрова Н.Н. эксперт отдела ОНИР СиМУ УМАД НУ
- 9.Сивков А.А. д.т.н., профессор кафедры ЭСПП ЭЛТИ, председатель секции №1
- 10.Гусев А.С. д.т.н., профессор кафедры ЭСТ ЭЛТИ, сопред. секции № 1
- 10.Космынина Н.М. к.т.н., нач. отдела ОНИР СиМУ ЭЛТИ, сопред. секции №1
- 12.Вотяков В. Ф. к.т.н., доцент кафедры ИИТ ЭФФ, председатель секции №2
- 13.Темник А. К. к.т.н., зав. отделом НИИ ИН, сопред. секции №2
- 14.Силушкин С.В. ст.преп. кафедры КИСМ ЭФФ, сопред. секции №2
15. Мойзес Б. Б. к.т.н., доцент кафедры АРМ МСФ, председатель секции №3
- 16.Ефременков Е.А. к.т.н., доцент кафедры ТАМП МСФ, сопред. секции №3
- 17.Соколов А. П. к.т.н., доцент кафедры ТПМ МСФ, сопред. секции №3
- 18.Муравлев О. П. д.т.н., профессор кафедры ЭМА ЭЛТИ, председатель секции №4
- 19.Деметьев Ю.Н. к.т.н., доцент, зав. кафедрой ЭПЭО ЭЛТИ, сопред. секции №4
- 20.Усачева Т.В. к.т.н., доцент кафедры ЭМА ЭЛТИ, сопред. секции № 4
- 21.Евтушенко Г.С. д.т.н., профессор, декан ЭФФ, председатель секции №5
- 22.Пеккер Я. С. к.т.н., профессор, зав. кафедрой БМК СибГМУ, сопред. секции №5
- 23.Аристов А.А. к.т.н., доцент кафедры ПМЭ ЭФФ, сопред. секции №5
- 24.Зенин Б.С. к.т.н., доцент кафедры ММС МСФ, председатель секции №6
- 25.Егоров Ю.П. к.т.н., зав. кафедрой ММС МСФ, сопред. секции №6
- 26.Овечкин Б.Б. к.т.н., доцент кафедры ММС МСФ, сопред. секции №6
- 27.Малышенко А.М. д.т.н., профессор, зав. кафедрой ИКСУ АВТФ, председатель секции №7
28. Рудницкий В.А. к.т.н., доцент кафедры ИКСУ, сопред. секции № 7
- 29.Фадеев А.С. к.т.н., доцент кафедры АиКС АВТФ, сопред. секции № 7
- 30.Потылицын А.П. д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой ПФ ФТФ, председатель секции № 8
- 31.Вергун А.П. д.ф.-м.н., профессор кафедры ТФ ФТФ, сопред. секции № 8
- 32.Гоголев А.С. к.ф.-м.н., н.с. кафедры ПФ ФТФ, сопред. секции № 8
- 33.Кулешов В.К. д.т.н., профессор кафедры ФМПК ЭФФ, председатель секции № 9
- 34.Бразовский В.В. к.т.н., докторант НИИ ИН, зам. председателя секции № 9
- 35.Калиниченко А.Н. ст. преподаватель кафедры ФМПК ЭФФ, зам. председателя секции № 9
- 36.Заворин А.С. д.т.н., доцент, зав. кафедрой ПГС ТЭФ, председатель секции №10
- 37.Беляев Л.А. к.т.н., доцент, зав. кафедрой АТЭС ТЭФ, сопред. секции № 10
- 38.Тайлашева Т.С. к.т.н., ст. преп. кафедры ПГС ТЭФ, сопред. секции №10
- 39.Кухта М.С. д.ф.н., профессор кафедры АРМ МСФ, председатель секции № 11
- 40.Гольдшмидт М.Г. к.т.н., доцент кафедры АРМ МСФ, сопред. секции № 11
- 41.Громов А.А. д.т.н., профессор кафедры ТСН ХТФ, председатель секции 12
- 42.Митина Н.А. к.т.н., доцент кафедры ТСН ХТФ, сопред. секции 12
- 43.Степанов А.А. д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»
- 44.Маслова С.В. к.ф.н., доцент кафедры СОЦ ГФ, куратор иногородних участников конференции

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

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., профессор кафедры ЭСПП ЭЛТИ, председатель секции № 1
4. **Вотяков В.Ф.**, к. т. н., доцент кафедры ИИТ ЭФФ, председатель секции № 2
5. **Мойзес Б.Б.**, к. т. н., доцент кафедры АРМ МСФ, председатель секции № 3
6. **Муравлев О.П.**, д.т.н., профессор кафедры ЭМА ЭЛТИ, председатель секции № 4
7. **Евтушенко Г.С.**, д.т.н., профессор, декан ЭФФ, председатель секции № 5
8. **Зенин Б.Б.**, к. т. н., доцент кафедры ММС МСФ, председатель секции № 6
7. **Малышенко А.М.**, д. т. н., профессор, зав. кафедрой ИКСУ АВТФ, председатель секции № 7
8. **Потылицын А.П.**, д.ф.- м.н., профессор, зав. кафедрой ПФ ФТФ, председатель секции № 8
9. **Кулешов В.К.**, д.т.н., профессор кафедры ФМПК ЭФФ, председатель секции № 9
10. **Заворин А.С.**, к.т.н., профессор, зав. кафедрой ПГС ТЭФ, председатель секции №10
11. **Кухта М.С.**, д.ф.н., профессор каф. АРМ МСФ, председатель секции № 11
12. **Громов А.А.**, д.т.н., профессор каф. ТСН ХТФ, председатель секции 12
13. **Степанов А.А.**, д.ф.н., профессор кафедры философии ТГПУ, председатель Круглого стола «Философия техники»

СЕКЦИЯ 5

**СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ
МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И СОБСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА

Андрющенко О. И.

Научный руководитель: Пеккер Я. С., к.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: elfijka@sibmail.com

Проблема взаимосвязи функции внешнего дыхания и коррелирующих с ним изменений в центральной нервной системе остается одной из малоизученных.

Изучение роли ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ), их пространственной синхронизации в обеспечении интегративной деятельности мозга стало одним из ведущих направлений в отечественной нейрофизиологии периода 40-70-х годов. [Свидерская Н.Е., Королькова Т.А. Пространственная организация электрических процессов мозга: проблемы и решения // Журн. высш. нерв. деят. – 1997. – № 5. С. 792-811]

Начало клинической электроэнцефалографии связывают с именем австрийского психиатра Г. Бергера, который впервые осуществил в 1928 г. регистрацию электрических потенциалов головного мозга у человека, и используя скальповые и гольчатые электроды. В его же работах было приведено описание основных ритмов ЭЭГ человека и их изменений при различных функциональных процессах и патологических процессах в мозге.

Однако, сегодня ритмическая активность мозга вновь стала предметом пристального внимания многих исследователей. Интерес к данной проблеме получил дополнительный импульс в результате открытия гамма-ритма - высокочастотной ритмической активности в диапазоне от 30 до 200 Гц, верхняя граница которого, по некоторым данным, может быть сдвинута еще далее в высокочастотную область. Частотные параметры гамма-ритма близки к характеристикам нейронной активности, что позволяет рассматривать его как ЭЭГ-показатель активности нейронных сетей. Связь гамма-ритма с процессами перцепции, опознания, формированием образа, с обработкой семантической информации [Lutzenberger W., Pulvermuller F., Birbaumer N. Words and pseudowords elicit distinct patterns of 30-Hz activity in humans // *Neurosci. Lett.* – 1994. – № 6. – P. 115-118.], процессами сознания [Singer W. Response synchronization of cortical neurons: an epiphenomenon or a solution to the binding problem? // *Intro News.* – 1991. – № 1. – P. 6-7] дает основание авторам рассматривать гамма-ритм в качестве функциональных

строительных блоков, включенных в все когнитивные и сенсорные процессы. [Basar E. Brain function and oscillations. II: Integrative brain function. *Neurophysiology and cognitive processes.* – Berlin: Springer-Verlag, 1999. – 476 p.]

В последнее время во многих странах мира отмечено развитие различных дыхательных тренировок, наиболее известными из которых являются голотропное дыхание, "ребефинг", вайвэйшин, свободное дыхание, циклическое дыхание и т. д. Дыхательные технологии в настоящее время широко применяются во всем мире, в том числе и в России, как альтернативные фармакологической коррекции различных заболеваний. [Быков П.В., Свидерская Н.Е., Базиян Б.Х. ЭЭГ-корреляты и изменения функционального состояния мозга человека в процессе циклического дыхания. // Мат. научной конференции по проблеме «Структурно - функциональные и нейрохимические закономерности ассиметрии и пластичности мозга-2006». – Москва, 2006. – 62-65 с.]

Применение же капнометрии совместно со всевозможными дыхательными гимнастическими наглядно отображает эффективность данных методик, так как дефицит углекислого газа в организме человека вызывает множество заболеваний. [Метод Бутейко: Опыт внедрения в медицинскую практику. Сборник/Сост. К. П. Бутейко. – М.: Патриот, 1990. – 224 с.]

Целью наших исследований является обнаружение электрофизиологических коррелятов ЭЭГ при использовании дыхательных технологий, эффективность которых регистрируется капнографом.

То, что углекислый газ влияет на биоэлектрическую активность мозга, давно не вызывает никаких сомнений. Но относительно механизма его действия ученые никак не могут прийти к единому мнению. Одни считают, что влияние углекислоты на биоэлектрическую активность головного мозга осуществляется двумя путями — гуморально и рефлекторно, т. е. с помощью хеморецепторов сосудов, возбуждение которых стимулирует ретикулярную формацию ствола мозга, а затем нейроны больших полушарий. Приверженцы такой точки зрения считают, что сдвиги, возникающие на ЭЭГ при гипервентиляции, обусловлены гипоканией (т. е. дефицитом диоксида углерода). По мнению большинства ученых, существенный вклад в гипоканией эффект вносит

непременная спутница недостаточности углекислоты — гипоксия. Однако сама по себе, т. е. без сопутствующей гипоксии, гипоксия, по-видимому, не способна вызывать замедление биоэлектрической активности мозга.

Другие считают, что нейроны головного мозга непосредственно возбуждаются углекислотой.

Изменения биоэлектрической активности мозга при гипервентиляции подчиняются некой закономерности. [Научные статьи [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.geolayf.ru>, свободный. - Гипервентиляция]

Согласно проводимым исследованиям, в целом динамику электрической активности головного мозга в процессе связанного дыхания, можно отметить ряд совершенно четких параллелей с соответствующей динамикой во время сна. По существу, измененное состояние сознания при использовании дыхательных техник - это своеобразный, искусственно вызываемый действием гипервентиляции сон с сохранением волевого контроля. Это определяет основные черты сходства между ЭЭГ сна и ЭЭГ измененных состояний сознания.

Несмотря на то, что различные техники дают несколько различающиеся картины ЭЭГ, существуют общие закономерности. Как и при сне, изменения ЭЭГ при связанном дыхании сводятся к постепенному замещению ритмов бодрствования (альфа и бета) на тета и дельта ритм. Начало процесса, как и начальная стадия сна сопровождается снижением амплитуды, а затем и исчезновением альфа-ритма и появлением на этом фоне низкоамплитудных тета и дельта волн, а также низкоамплитудной высокочастотной активности. [Тренинговый центр ТЕРТОН [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.terton.ru>, свободный. - Экспериментальные психофизиологические и нейропсихологические исследования интенсивного дыхания] Причем, как свидетельствуют данные литературы, медленно-волновая активность мозга и в частности, тета-ритм гиппокампа ассоциативно связаны с высшими функциями ЦНС, особенно с механизмами памяти.

Причем, как свидетельствуют данные литературы, медленно-волновая активность мозга и в частности, тета-ритм гиппокампа ассоциативно связаны с высшими функциями ЦНС, особенно с механизмами памяти. Дыхательные психотехники, таким образом, являются одним из эффективных путей коррекции и оптимизации функционального состояния организма.

Как показывают результаты исследований, в случае дыхательных психотехник

«разрушительными силами» являются метаболические сдвиги в организме, индуцируемые гипоксией, и вызванное этими сдвигами перераспределение мозгового кровотока.

По определенным данным, начальные степени гипоксии вызывают характерное для этого состояния изменение электрической активности головного мозга. Это находится в некотором противоречии с классическими работами физиологии труда, согласно которым появление дельта и тета-волн на ЭЭГ является признаком утомления и сопровождается снижением эффективности деятельности.

Произвольная гипервентиляция как функциональная проба стала применяться для выявления скрытых поражений нервной системы, когда независимо друг от друга появились работы немецкого ученого Фёрстера и американского исследователя Розетта. Фёрстер и его одичном обращении немецких невропатологов в Инсбруке в сентябре 1924 г. предложил использовать произвольную гипервентиляцию для выявления скрыто протекающих форм эпилепсии. Розетт применял ее для распознавания самых разнообразных поражений нервной системы. Этот метод в течение нескольких лет широко распространился, и его стали использовать при диагностике не только эпилепсии, но и истерии, мигрени, нарколепсии, невропатии, психопатии, эпидемического энцефалита, органических поражений нервной системы. Кроме того, многие ученые начали применять произвольную гипервентиляцию как метод функционального исследования сердца.

Впоследствии, с разработкой ЭЭГ для диагностики скрыто протекающих форм эпилепсии стала применяться гипервентиляционная проба с электроэнцефалографическим контролем.

При этом на ЭЭГ больных, как правило, возникала пароксизмальная медленная активность.

Дюсседэ Барена с соавторами предположили, что в основе сдвигов биоэлектрической активности мозга лежит развивающийся коллапс нервных тканей. По мнению Джибса и др., причиной возникновения тета-волн является нарушение мозгового кровообращения, которое проявляется в сужении сосудов головного мозга под влиянием гипоксии и связанного с ней острого газового алкалоза.

О том, что гипоксия вызывает церебральный сосудосуживающий эффект, известно давно. Так, Вольф и Леннокс, изучая реакцию мозговых сосудов у животных при изменении содержания O_2 и CO_2 в крови, установили, что сосуды мягкой мозговой оболочки суживаются при гипоксии. Дэвис, Вэллэс и многие другие их последователи полагают, что возникновение тета и дельта - активности при гипервентиляции обусловлено развитием гипоксического состояния в следствие снижения кровотока че-

рез церебральные сосуды в результате их спазма. Последнее приводит к недостаточному снабжению мозга кислородом и глюкозой, от которых зависит его метаболизм.

Определенную роль в изменении ЭЭГ играют рефлексогенные зоны, локализованные в верхних дыхательных путях. Так, Криштоф и др. полагают, что существует нервный (рефлекторный) механизм активирующего влияния гипервентиляции через нос.

Теоретическая значимость полученных данных состоит в углублении представлений о нейрофизиологических механизмах измененных состояний сознания, индуцированных одним из современных методов дыхательных технологий – циклическим дыханием. Выявленные особенности перестройки показателей периферической

биопотенциалов в сеансе циклического дыхания указывают на определенную «специфичность» нейродинамических систем при усилении различных психофизиологических процессов в состоянии измененного сознания.

Результаты, которые планируется получить, представляют практический интерес для специалистов, использующих разные технологии управления дыханием. Особую ценность имеют данные, указывающие на возможность объективного и инструментального контроля за состоянием и спящих и пациентов, проходящих тренировки и лечение с помощью дыхательных упражнений. [Тренинговый центр ТЕРТОН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terton.ru>, свободный. – Экспериментальные психофизиологические и нейропсихологические исследования интенсивного дыхания.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ КОРОТКОЛАТЕНТНЫХ СЛУХОВЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ

Батищева Ю.Н., Назарова В.А.
Липецкий государственный технический университет,
398600, Россия, г. Липецк, ул. Московская, 30
E-mail: batishceva_y@mail.ru

В настоящее время метод вызванных потенциалов (ВП) мозга находит все более широкое применение в клинической практике для получения объективной информации о состоянии различных сенсорных систем, причем не только их периферических звеньев, но и центральных. Метод позволяет получить диагностическую информацию без словесного ответа пациента, что особенно важно в случае обследования маленьких детей и лиц больных с различными нарушениями сознания или негативного отношения к обследованию. Метод связан с выделением слабых и сверхслабых изменений электрической активности мозга в ответ на стимулы широко используется благодаря применению современной электронной техники для их регистрации.

Коротколатентные слуховые вызванные потенциалы (КСВП) представляют собой субмикроволновые коротколатентные слуховые вызванные потенциалы, получаемые при большом числе усреднений со скальпа. Они являются потенциалами отдаленного поля, регистрируются за счет объемного проведения и отражают состояние слуховых стволовых ядер разного уровня и состояние слухового нерва [1,2].

КСВП значительно стабильнее и воспроизводимее, имеют меньшую вариабельность,

чем длиннолатентные ВП и получили наибольшее распространение в клинической практике [1].

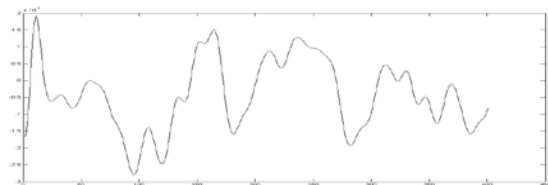


Рис. 1 Кривая КСВП, полученная с помощью аппаратного комплекса Нейро-МВП.

Для оценки полученных от пациентов КСВП обычно проводится идентификация компонентов выделенного ответа. Особенно важна правильная идентификация I, III и V компонентов, определение латентностей I, III, V пиков, межпиковых интервалов.

Задача правильной оценки компонентов кривой КСВП связана с необходимостью нахождения наилучшего метода для обработки КСВП.

Основным методом, используемым в настоящее время для выделения ВП, является метод синхронного и лигированного накопления (усреднения) [1-3].

Выделение ВП происходит за счет многократной подачи стимулов и суммации каждого

последующего ответа с предыдущими. Опорным моментом для такой суммации является момент подачи стимулов. В результате такого накопления с игнал В П, закономерно с вязанный со стимулом, растет значительно быстрее, чем шум спонтанной ритмики, не связанный со стимулом и подающийся при суммации в случайную фазу друг с другом. В результате, чем больше число накоплений, тем лучше выделение сигнала из шума [1,2]. Обычно, в место синхронного накопления используют методику синхронного или когерентного усреднения, когда происходит не только сложение от ветов, но и деление на число суммации. В большинстве своем в современных устройствах используется именно эта методика, и, поэтому, современные цифровые устройства для выделения В П на зывают еще нейроусреднителями [1].

Несмотря на то, что метод синхронного усреднения — мощный метод и позволяет выделить сигнал практически при любом соотношении уровня сигнала/шум, у него есть ряд недостатков. Самый главный — это необходимость подачи достаточно большого числа стимулов (событий), что во многих случаях представляется не физиологичной процедурой из-за наличия привыкания и других связанных процессов в ЦНС. Именно необходимость подачи большого числа стимулов (сообщений) для выделения ответа мозга на это с обобщение затрудняет и использование метода В П в психофизиологических исследованиях. Кроме того, есть стимулы (события), которые по своей природе не могут подаваться (возникать) многократно. Например, болевые, обонятельные и вкусовые стимулы. В связи с этим, делались и делаются попытки выделять В П на одиноким стимулы (события). Одним из таких подходов является метод в заимной корреляции и оптимальной фильтрации. Недостаток этих методов состоит в том, что они для своего выделения требуют наличия некоторого шаблона — известного сигнала В П. Отношение сигнал/шум улучшается за счет нахождения областей с максимальной в заимной корреляцией и следующей Э Э Г с шаблоном, либо по шаблону строится оптимальный фильтр — фильтр с частотными характеристиками и сходного шаблонного сигнала В П, через который пропускается Э Э Г с ответами мозга для выделения ответа при однократной подаче стимула или единичного события. Эти методы не получили пока распространения и из-за необходимости знания шаблона, что еще в себе не представляет в возможным, особенно в случае патологии, из-за большой вариабельности ответов [1,3].

Другой способ выделения единичных ответов мозга состоит в переносе процесса усреднения из временной области в простран-

ственную, поскольку без усреднения выделить ответ крайне сложно. При этом выделяются ответы при подаче единичного стимула (или при возникновении единичного события) за счет усреднения по пространству электродов, где ответ может проявляться достаточно широко. [1,2].

Недостатком метода может быть то, что используемое число электродов окажется недостаточным для выделения ответа, и ответы по разным электродами не совсем идентичны. В этом случае может быть использована смешанная методика пространственно-временного усреднения, которая может уменьшить число подаваемых стимулов для достижения приемлемого от ношения уровня сигнал/шум [1,2].

При регистрации К С В П артефактами является любая активность, не связанная с откликом мозга на стимуляцию, регистрируемая под электродами К С В П. Помехой при регистрации сигналов К С В П является и сама спонтанная активность мозга (электроэнцефалограмма): при недостаточности числа усреднений она входит в достаточно высокий уровень шума, который не позволяет надежно оценить параметры К С В П [1].

Все артефакты и помехи при регистрации К С В П могут быть разделены на две большие группы:

- 1) аппаратные артефакты и внешние помехи, имеющие физическую природу;
- 2) физиологические артефакты (регистрируемые от больного).

Кроме этого, от носительно процесса синхронного усреднения в себя артефакты могут быть разделены на две категории: фазосвязанные в ременной зависимости со стимулом (событием) и независимые от подаваемого стимула или возникающего события. Первая категория артефактов представляет наибольшие сложности при выделении К С В П мозга [1-3].

В связи с этим возникает необходимость нахождения лучшей методики обработки К С В П, что позволило бы четко идентифицировать компоненты сигнала для точной постановки диагноза пациента.

В настоящее время вейвлет-анализ является одним из наиболее мощных и при этом гибких средств исследования данных: помимо возможностей сжатия и фильтрации данных, анализ в базисе вейвлет-функций позволяет решать задачи идентификации, моделирования, аппроксимации стационарных и нестационарных процессов, и следовать в опросы наличия разрывов в производных, осуществлять поиск точек склеивания данных, удалять в данных тренды, отыскивать признаки фрактальности информации. Отметим, в основе подобных возможностей, обеспечивающих вейвлет-анализу весьма пер-

спективное будущее, лежит природа его многомасштабности [4].

Вейвлет-функции обладают свойством частотно-временной локализации сигналов, обладают быстрыми вычислительными возможностями, обеспечивают значительное увеличение отношения сигнал/шум.

Таким образом, в условиях нестационарности сигналов, наличия в них вынужденного сейсмоакустического фона, а также естественного микросейсма упомянутые свойства делают вейвлет-функции наиболее предпочтительным базисом для решения поставленной задачи. Действительно, недостаточная способность анализа Фурье локализовать сингулярности сигналов, необходимость ведения во временной области окон данных и, как следствие, размывание спектра сигналов за счет появления ложных лепестков обуславливают естественное движение практики обработки сигналов к методам, обеспечивающим лучшее частотно-временное разрешение [4].

Решение задачи шумоподавления при регистрации КСВП не требует комплексных характеристик, поскольку подразумевает обращение к

целому ряду подзадач. Среди таких подзадач можно отметить, например, проверку достоверности гипотезы о гауссовости статистик и спектральном составе шумовой компоненты, выбор типа функции пороговой обработки, критерия расчета самого порога, выбор наиболее подходящего вейвлет-базиса, установление требуемой глубины разложения данных и т.п. [4].

Список литературы

1. Гнездицкий, В.В. Вызванные потенциалы мозга в клинической практике [Текст] / В.В. Гнездицкий. – Таганрог: Издательство ТРГУ, 1997. – 252 с.
2. Альтман, Я.А. Слуховые вызванные потенциалы человека и локализация источника звука [Текст] / Я.А. Альтман, С.Ф. Вайтулевич. – СПб: Наука, 1992. – 136 с.
3. Рутман, Э.М. Вызванные потенциалы в психологии и психофизиологии [Текст] / Э.М. Рутман. – М.: Наука, 1979. – 216 с.
4. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов в MatLab [Текст] / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ КАРДИОЛОГИИ

Боброва Ю. В., Малахова Е.С.

Научный руководитель: Чудинов И.Л., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: JuliaBob@tpu.ru, angel_of_dark@tpu.ru, chil@tpu.ru

Актуальность создания информационных систем в сфере кардиологии трудно переоценить: заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых болезней стоит на первом месте не только в России. Вместе с тем, уровень информатизации в сфере мониторинга состояния больных и поддержки функций анализа заболеваний в конкретном регионе оставляет желать лучшего. Такое же положение и в томской кардиологической сфере. Так, например, поликлиника Кардиологический центр осуществляет свою работу посредством DOS-приложения, разработанного с использованием FoxPro 2. В клиниках кардиологического центра начались работы по информатизации приемного отделения, но не в полной мере учитывающая возможности современных средств, обусловленных удаленным доступом врачей, работников исследовательских лабораторий и пациентов к единой БД кардиологической службы не только кардиоцентра.

В рамках настоящего доклада предлагается предварительные решения, обеспечивающие учет состояния пациентами и врачами поликлиники и клиник, формирование отчетов для анализа состояния дел в целом.

В составе предметной области «кардиоцентр» можно выделить такие подсистемы, как «прием врача», «назначение процедур и направление на анализы», «контроль над состоянием пациентов». Естественно, как и в любой системе, различных подсистем можно выделить великое множество, но вышеперечисленные являются основными.

Поэтому организация эффективного перемещения медицинских данных от пациентов через сеть интернет – одна из актуальных тем, как для изучения, так и для практической реализации. Тем более что сейчас у многих есть возможность регулярного выхода в интернет. В рамках статьи рассмотрены аспекты практической реализации доступа пациентов к схеме и результатам лечения. Пациент, находясь дома или на работе, получает в оз-

возможность вести так называемый виртуальный дневник здоровья, что включает в себя:

- внесение данных об измеренном в верхнем и нижнем артериальном давлении, пульсе в определенный момент времени;
- ведение дневника факторов (внешних и внутренних), влияющих на показатели давления. Например, бег или сон перед измерением давления – это, так называемые, внутренние факторы и ли с субъективные. А неблагоприятный астрологический прогноз и ли магические бури – это уже внешний фактор, не зависящий от пациента, или объективный;
- внесение сведений о принятых лекарствах;
- организация доступа ко всем измерениям (другими словами, просмотр отчетов) за интересующие пациента промежутки времени;
- получение наглядной картины и изменения давления за определенный промежуток времени в виде графического отображения измеряемых величин;
- расчет средних показателей давления за некоторый промежуток времени, который пользователь может задать сам.

Таким образом, необходимо предоставить пациенту приложение с удобным интерфейсом для регулярного доступа к индивидуальной схеме лечения и отображения всех измеренных показателей давления и пульса в удобном для анализа виде.

Для начала необходимо организовать возможность авторизации пациентов. На странице авторизации есть форма, содержащая поля для ввода логина, пароля и кнопка для отправки данных на сервер, где происходит проверка соответствия логина и пароля.

После успешного входа в систему пациент попадает на главную страницу, где содержится перечень всех доступных страниц. Перечень организован в виде гиперссылок на страницы, содержащиеся в приложении.

Для ведения пациентом различных сведений и используются соответствующие формы с полями для заполнения и кнопками (для отправки данных на сервер, отмены действия или удаления записи). Следует отметить, что стандартные кнопки и события, которые происходят после нажатия на кнопку: «Удалить», «Создать», «Применить», «Отменить» генерируются на странице автоматически. Требуется лишь указать, на какую страницу требуется перейти после нажатия на кнопку. Очевидно, что при проектировании сложных систем может не хватить процедур по умолчанию, но на данном этапе работы стандартных кнопок более чем достаточно.

Для просмотра информации об уже измеренных показателях необходимо сформировать отчеты, содержащие столбцы с требуе-

мыми атрибутами. При этом, в введение в сей информации бессмысленно, так как ее может быть много, что затруднит, или даже сделает невозможным анализ. Поэтому вводятся критерии отбора. Например, вывод показателей за определенный период времени.

Отчеты: о показателях давления, дневник, о принятых лекарствах.

Для более наглядного отображения изменений показателей давления, а следовательно, и для более эффективного анализа, строится график на странице отчета. По умолчанию график строится на период времени: от 1 числа текущего месяца до текущего дня. Пользователь может и изменить этот период, введя нужные даты в соответствующих полях.

В результате анализа с участвующей и информационной системы поликлиники кардиологического центра (ИС ПКЦ) было выявлено, что в результате работы кардиологического центра формируются нескольких типов отчетных документов. Их можно условно разделить на группы:

- Отчеты составленные на основе одной или двух таблиц, данные из которых отбираются по одному критерию: список пациентов поликлиники, заболеваемость по данным обращаемости/общая заболеваемость, выбрать с пометкой о в неплановой медицинской помощи.

- Отчеты составленные на основе одной или двух таблиц, данные из которых отбираются по нескольким критериям: заболеваемость по данным обращаемости/по врачу и диагнозу, списки по категориям пациентов.

- Отчеты предоставляющие сводную информацию о пациентах в целом: исходы лечения, отчет об объеме поликлинической помощи, количество посещений по данному врачу, отчет о диспансеризации (по нескольким видам заболеваний и несколькими типам пациентов), сводка по операторам.

Формирование данных отчетных документов могут вызывать некоторые затруднения при их формировании: пользователю постоянно необходимо указать и интересующие его данные, не всегда получается верно указать необходимые критерии отбора, в некоторых случаях критерии отбора приходится уточнять последовательно, во многих отчетах используются поля для ввода информации, что так же существенно затрудняет формирование документов.

В связи с изменившимися условиями и использованием компьютеров (новая операционная система и наличие корпоративной сети) целесообразно модернизировать информационную систему в направлении создания web-приложения, которое автоматически бы выполняло работу регистратуры поликлиники кардиологического центра. При этом необходи-

мо перенести существующие отчетные документы на новую платформу. В частности требуется разработать приложение, позволяющее быстро, удобно и правильно сформировать отчетный документ необходимой формы.

В результате анализа информационных потребностей, включая состав отчетных документов, были выявлены сущности, необходимые для их формирования была разработана концептуальная информационная модель предметной области (КИМПО) и созданы необходимые для составления отчетов таблицы в среде Oracle Application Express (APEX). Выбор этого средства обусловлен следующим - это средство быстрой разработки Веб-приложений на основе БД Oracle. Oracle APEX позволяет создавать приложения с использованием веб-браузера (среда разработки представляет собой веб-приложение). Со стороны конечного пользователя приложения требуется только браузер и доступ к БД Oracle, на которой запущен APEX.

Oracle APEX устанавливается в БД Oracle и представляет собой набор таблиц с данными и PL/SQL код. Запуск приложения, построенного с помощью APEX представляет собой следующий процесс: браузер посылает URL запрос, который транслируется в соответствующий PL/SQL-вызов APEX. После того, как БД выполнит PL/SQL код, результаты возвращаются обратно в браузер в виде HTML.[1]

Каждое приложение в APEX – это коллекция страниц (page), связанных друг с другом

при помощи вкладок (tabs), кнопок (buttons) или гипертекстовых ссылок (hypertext links). Страница – это основной строительный блок приложения.[2]

Среди достоинств APEX можно выделить следующее:

- Не требует высокой квалификации от разработчика (знания только PL/SQL). Место разработчика и пользователя – WEB-браузер.
- Независимость от платформы. Поддерживает AIX, Linux, SUN Solaris, HP-UX, Windows. Открытость кода.
- Поддерживает множество баз данных в одном приложении.
- Достаточно просто реализуются основные процедуры информационных систем - формы ввода (редактирования данных), отчеты (таблицы + графики), интерактивные отчеты, выгрузка в форматы PDF, Excel и т.д.,
- Oracle APEX бесплатен для всех релизов СУБД Oracle.

Список литературы

1. Oracle® Application Express Application Builder User's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://download.oracle.com/docs/cd/B25329_01/doc/appdev.102/b25108/toc.htm
2. Oracle® Database 2 Day + Application Express Developer's Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://download.oracle.com/docs/cd/B25329_01/doc/appdev.102/b25310/toc.htm

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТА ГИДРОКСИАПАТИТ/СОПОЛИМЕР ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ВИНИЛИДЕНФТОРИДОМ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Большасов Е.Н., Твердохлебов С.И.

Научный руководитель: Твердохлебов С.И. к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bolb@sibmail.com

Одним из основных и признанных способов иправления и лечения патологий опорно-двигательного аппарата является методика апаратного остеосинтеза по Г.А. Илизарову. Работы, проводимые в ФГУ "РНЦ ВТО" им. акад. Г.А. Илизарова по развитию данного метода, привели к созданию технологии напряженного и интрамедуллярного армирования [1], суть которой состоит во введении в полость костномозгового канала раличного вида имплантатов, в частности, спиц. В рабо-

те [2] ус тановлено, что наилучшие клинические результаты достигаются, когда по верхность интрамедуллярного имплантата покрыта кальций-фосфатной керамикой.

Кальций-фосфатные (КФ) покрытия для интрамедуллярных и мплантатов должны обладать с овокупностью физико-механических, химических и биомиметических свойств, что и определяет сложность задачи. Такие покрытия должны обладать трехмерной архитектурой, с тимулирующей процессы остеогене-

за, для чего необходима толщина покрытия более 150 мкм и высокая его пористость с размером пор более 100 мкм. В то же время, с учетом медико-технических требований покрытия должны обладать высокой эластичностью и достаточной адгезией к материалу основы.

Одним из способов решения задачи получения эластичных, пористых покрытий требующей толщины является применение полимерных композитов [3], состоящих, как минимум, из двух фаз: 1) органической фазы в виде биологически инертного полимерного связующего, обладающего эластичностью, адгезией, биологической инертностью и способностью к стерилизации; 2) неорганической фазы в виде биологически активного наполнителя, состоящего из мелкодисперсных порошков кальций-фосфатов различного химического состава, которые способствуют протеканию биологических процессов остеиндукции и остеокондукции [4].

Помимо этого применение биополимерных композитов в качестве покрытий имплантатов является перспективным [3], т.к. технология их изготовления и нанесения позволяет регулировать основные характеристики покрытия, обеспечивающие их биологическую совместимость, а именно: 1) регулировать механические характеристики и биологическую активность вплоть до биоинертности путем изменения массовой доли неорганического наполнителя; 2) контролировать элементный состав и скорость биологической деградации композита путем подбора соответствующих форм кальций-фосфатных соединений; 3) регулировать морфометрические характеристики композита путем изменения дисперсности наполнителя [8]. При многослойном нанесении биополимерных композитов получают покрытия толщиной до 150...200 мкм с развитой трехмерной архитектурой на макро- и микроуровне.

Основной задачей данной работы являлось исследование возможности получения композиционного материала на основе сополимера тетрафторэтилена с винилиденфторидом и наполненного гидроксиапатитом (ТФЭ/ВДВ-ГА), удовлетворяющего следующим требованиям:

- 1) толщина покрытия из композиционного материала не менее 150 мкм,
- 2) эластичность по ИСО 1519 не менее 3-4 мм,
- 3) адгезия к подложке не менее 4106 кг/м²,
- 4) пористостью не менее 30 %,
- 5) отсутствие токсичности.

Методы исследования

Полученные композиты ТФЭ/ВДВ-ГА были исследованы следующими методами:

- 1) толщину однослойных покрытий определяли с помощью прибора Константа К5,
- 2) эластичность пленок определяли на приборе "Изгиб" по ИСО 1519,
- 3) адгезию при нормальном отрыве определяли на приборе Адгезиометр ОР по ИСО 4624,
- 4) морфологию поверхности с целью определения размеров, периметра пор и поверхностной пористости исследовали методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) на установке Philips SEM 515,
- 5) цитотоксичность с терилизованных этиленоксидом композитов оценивали в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10993.

Результаты и обсуждение

Для исследований было изготовлено три типа композиционных материалов ТФЭ/ВДВ-ГА с различным массовым содержанием ГА 30, 50 и 70 мас. %, разделенных условно на группы I, II, III, соответственно.

Определено, что толщины (h) однослойных покрытий из композиционного материала, имеют тенденцию к увеличению с увеличением массовой доли гидроксиапатита в композиционном материале. Наименьшая толщина наблюдается у наименее наполненных композитов I группы $h = 122 \pm 2,4$ мкм (число измерений $n = 5$), а наибольшая толщина – у наиболее наполненных композитов III группы $h = 187 \pm 3,74$ мкм ($n = 5$), при этом толщина композитов II группы – $h = 146 \pm 2,92$ мкм ($n = 5$).

Результаты измерения гибкости ζ и адгезионной прочности при нормальном отрыве покрытий из композиционных материалов имеют тенденцию к уменьшению с увеличением количества ГА, вводимого в сополимер ТФЭ/ВДВ. Наибольшие значения ζ и ϕ у композита I группы: $\zeta = 2$ мм ($n = 3$) и $\phi = 12,14106$ кг/м² ($n = 5$), меньшие значения ζ и ϕ у композита II группы: $\zeta = 3$ мм ($n = 3$) и $\phi = 9,24106$ кг/м² ($n = 5$), наименьшие значения ζ и ϕ у композита III группы: $\zeta = 3,5$ мм ($n = 3$) и $\phi = 7,14106$ кг/м² ($n = 5$). Полученные результаты можно объяснить увеличением пористости композитных покрытий с увеличением количества гидроксиапатита, вводимого в полимер (рис. 1), приводящим к уменьшению гибкости и адгезионной прочности.

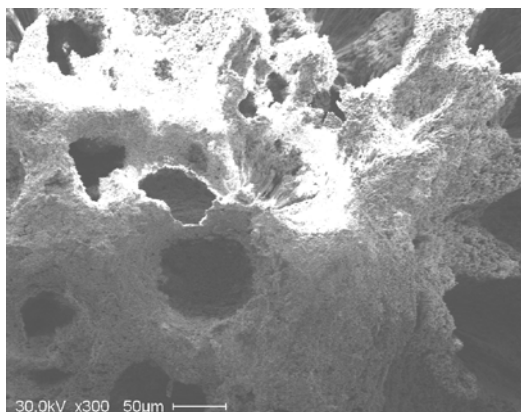


Рис. 1. РЭМ композиционного материала ТФЭ/ВДВ-ГА 30:70, увеличение 300

Результаты исследования основных морфометрических характеристик поверхности биокомпозита представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Основные морфометрические характеристики поверхности биокомпозита

Группа биокомпозита	Общая пористость, %	Площадь пор, мкм ²			Периметр пор, мкм		
		Мин.	Макс.	Средняя	Мин.	Макс.	Средний
I	9,63	1,4	5473,4	44,8	3,9	825,2	17,2
II	19,29	0,8	9464,0	34,5	4,2	1118,0	13,8
III	37,79	0,8	25379,6	90,0	5,2	3393,1	22,7

В таблице 2 приведены данные о токсичности, апирогенности и гемолитической активности биокомпозита ТФЭ/ВДВ-ГА с наименьшим содержанием ГА (I группа), полученные в соответствии с ГОСТ Р ИСО10993.

Токсикологические исследования композитного материала ТФЭ/ВДВ-ГА, проведенные на лабораторных животных, не приводили к их смерти, не выявили макроскопических изменений органов и тканей, и изменений в весовых коэффициентов в внутренних органов. Вытяжки из композитного материала ТФЭ/ВДВ-ГА не оказывали местного и общего раздражающего воздействия на кожу и слизистые оболочки лабораторных животных.

Показано, что для стерилизации композита может применяться газовый метод с термализации этиленоксидом.

Таблица 2.
Результаты исследования Гемолитической активности, апирогенности и индекса токсичности биокомпозита I группы

Наименование показателя	Допустимые значения	Результаты испытаний	Вывод о соответствии
Гемолитическая активность	Не более 2 %	0,7	Соотв.
Индекс токсичности	70...120 %	88,4 %	Соотв.
Пирогенность	Повышение температуры не более чем на 3°C	0,4 °C	Соотв.

Результаты исследований композитного материала ТФЭ/ВДВ-ГА свидетельствуют о возможности его применения в качестве покрытий для травматологических и ортопедических имплантатов.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Томского материаловедческого центра коллективного пользования ГОУ ВПО ТГУ и ТФ ФГУ «РНЦ ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова за помощь в проведении исследований.

Список литературы

- Бурлаков Э.В., Алатов Д.В., Попков Д.А., Шутов Р.Б. Расчет основных параметров спицы при интрамедуллярном армировании трубчатых костей // Медицинская техника. – 2008. – № 3. – С. 26–28.
- Шутов Р.Б. Оперативное удлинение врожденно укороченной голени автоматическим дистрактором с применением интрамедуллярного армирования спицами с гидроксиапатитным покрытием: дис. ... канд. мед. наук. – Курган, 2009. – 226 с.
- Хенч Л., Джонс Д. Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей. – М.: Техносфера, 2007. – 303 с.
- Карлов А.В., Шахов В.П. Системы внешней фиксации и регуляторные механизмы оптимальной биомеханики. – Томск: STT, 2001. – 477 с.
- Баринов С.М., Комлев В.С. Биокерамика на основе фосфатов кальция. – М.: Научка, 2005. – 203 с.

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИГИРОВАНИЯ СОСУДОВ

Гормаков А.Н., Брахнова Е.Ю., Пайгин Д.В.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

ЗАО «НПО «НИКОР», 634024, Россия, г. Томск, СПК 2-й поселок, д. 111

E-mail: tps@tpu.ru

Наиболее ответственной частью операционного вмешательства на сосудах является наложение лигатур. В медицинской практике для лигатур чаще всего используются нити, реже скобы. Преимущества традиционного наложения лигатур: надежность результатов, обширный хирургический опыт, материал всегда в наличии. Недостатки - отнимает много времени, стоимость зависит от количества нитей лигатур, чужеродный материал остаётся в ране.

В последнее время при проведении операций на сосудах хирурги стали пользоваться приборами для электролигирования ("заваривания" или "спаивания" сосудов). Преимущество данного метода заваривания в отказе во многих случаях от стандартной методики мобилизации внутренних органов, что повышает скорость проведения операции.

Особенность метода электролигирования (рис.1) сосудов [1]: внутренние слои сосудистых стенок заплавлены, измененный коллаген имеет консистенцию пластмассы, различимая прозрачная зона пломбирования, прочность не зависит от проксимального тромба, прочность более чем в три раза превосходит нормальное систолическое давление, данные свойства ткани остаются неизменными и в последующем.



Рис.1. Электролигированный сосуд

Преимущества метода: надежный результат - высокая прочность на сосудах до 7 мм; эффективность на больших прядях тканей без изоляции сосудов; минимальное распространение тепла; малое налипание и нагар; уменьшение времени операции. Однако существует опасность недостаточного "спаивания", тогда при рассечении сосуда может открыться кровотечение. Если площадь воздействия будет большой, то время заживления тканей увеличится, а также при данном методе всегда возникает опасность омертвления клеток и тканей в живом организме.

Ведущей фирмой по производству аппаратов для электролигирования является -

Valleylab, производящая аппарат LigaSure. У него много достоинств, но есть два основных недостатка: высокая стоимость, одноразовое использование инструмента. Основным блоком такого аппарата стоит около 15 тысяч долларов, а в расширенном комплекте с инструментами может превышать 30 тысяч.

На сегодня и другие зарубежные производители освоили выпуск оборудования для электролигирования (например Martin [2], Bowa [3] - ФРГ), однако по цене они не очень отличаются от LigaSure, и практически не доступны для большинства отечественных ЛПУ.

Перед отечественными производителями стоит задача снижения стоимости аппарата и создания инструмента для многократного использования. НПО «НИКОР» выпускает основные блоки, по стоимости значительно ниже, чем зарубежные. Что касается инструмента, то здесь требуется провести исследования и опытно-конструкторскую работу.

В процессе макетирования инструмента для электролигирования учитывались следующие факторы: инструмент необходимо выполнить из материалов обладающих коррозионной стойкостью, твердостью, износостойкостью, устойчивых к циклообразовкам, разрешенных в медицине; конструкция должна быть удобной при использовании, ход бранш (ветвей зажима) должен иметь нормированное замковое соединение, рабочие поверхности должны мыкаться. Разрабатываемый инструмент предназначен для многократного использования, поэтому необходимо учесть то, что он неоднократно будет помещаться в раствор для стерилизации.

В процессе конструирования инструмента (рис.2) необходимо решить следующие проблемы: выбор основы инструмента (1), выбор материала изоляции (2) электродов от основы, выбор материала электродов (3) и обеспечение надежного подвода (4) питания к ним.

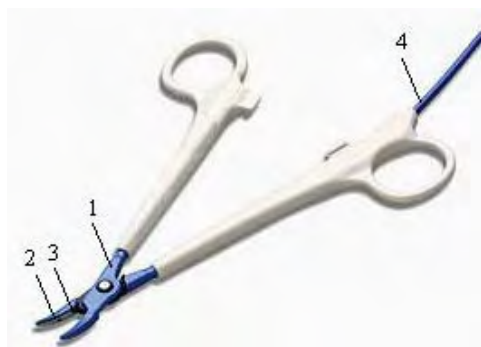


Рис.2. Общий вид инструмента

Была предпринята попытка и изготовления инструмента для электролигирования на базе серийно – выпускаемых общехирургических зажимов. В качестве основной части инструмента были опробованы зажимы различных форм и производителей.

Зажимы должны обладать достаточной прочностью и эластичностью, поэтому для их изготовления применяют чаще всего нержавеющей сталь марки 30Х13, а для винта – 20Х13.

Для достижения эффекта электролигирования необходимо учесть особенности прохождения высокочастотного тока через биологическую ткань [4]. Она заключается в том, что ток в биполярном режиме течет не только по кратчайшему пути между электродами, но и по “обходным” путям через ткань (рис.3). Это приводит: во-первых, к потере мощности в участке воздействия (часть тока проходит мимо него), а во-вторых, к нежелательному воздействию, подвергаемому зонам живых тканей, соседствующих с местом воздействия.

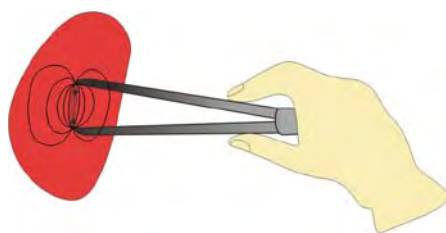


Рис.3. Линии прохождения тока в биполярном режиме работы обычного коагулятора

При проектировании размера и формы губок, токопроводящей (рабочей) поверхности электродов необходимо учитывать специфику применения инструмента так, чтобы потери мощности свелись к минимуму.

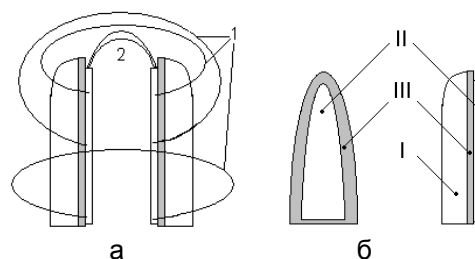
Стоит учитывать возможность токов утечек на металлическое основание (линии 1 на рис. 4а). Эти токи могут возникнуть как в следствии смачивания зажима физиологическими жидкостями в процессе операции, так и из-за непосредственного контакта с “сосед-

ними” органами. Проблему “смачиваемости” можно решить выбором соответствующего материала и изоляции, при этом площадь электрода должна быть меньше площади изоляции (рис. 4б).

Для минимизации потерь тока по пути 2 (рис. 4а) металл электрода должен минимально выступать из изоляции (или его толщина должна быть минимальной).

Ширина электродов с одной стороны должна быть достаточно большой, для обеспечения надежного гемостаза, а с другой стороны избыточная площадь воздействия может привести к некрозу, а кроме того мощность генератора может не хватать.

Электроды (рис.4б) представляют собой две токопроводящие пластины, которые могут выполняться из латунной нержавеющей стали, марки 12Х18 и толщиной 0,35мм.

Рис. 4. а) протекание паразитного тока
б) губка инструмента для электролигирования
(I - губки зажима; II - электрод;
III - изоляционный слой)

В качестве изоляции электродов были рассмотрены следующие материалы:

1. Этакрил – 02 (имеет горячее отверждение) и протакрил – М (имеет холодное отверждение). Трудоемки в процессе формообразования. Изоляционный слой из данных материалов хорошо подвергается механической обработке, но теряет свои механические свойства под воздействием рабочих температур.

2. Керамика М-7. (химический состав Al_2O_3 -94%, 6% - $(Fe_2O_3$ не более 0,08%, $CaCO_3$, SiO_2 , связка: парафин, воск)). Деталь изготавливается методом формовки, не подвергается механической обработке после изготовления. Изделие из данного материала стойкое к механическим воздействиям, но при небольшой толщине хрупкое и есть определенные трудности с креплением электродов.

Для повышения электричества к пластинам используется медицинский кабель ПГС – 2.

Были проведены ряд экспериментов с описанными материалами. В качестве генератора тока высокой частоты и использовался ЭХВЧ-400 с к – «НИКОР» [4]. Эксперименты подтвердили ж изне способность в выбранной

конструкции. Результаты и использования в выбранных материалах – удовлетворительные.

В процессе экспериментов было выявлено, что, к сожалению, серийные зажимы не обеспечивают нужного усилия сжатия тканей: или не хватает – процесса электролигирования не происходит, или передавливает (перерезает) ткань.

В настоящее время разработаны, изготовлены и испытываются экспериментальные образцы зажимов собственного изготовления.

Список литературы

1. <http://www.laparoscopy.ru>
2. <http://www.med-group.ru/>
3. <http://www.trumed.ru/bowa/bowa.php>
4. ЭЛЕКТРОСКАЛЬПЕЛЬ-КОАГУЛЯТОР ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ЭХВЧ-400 с к-«НИКОР». Руководство по эксплуатации НКГП.941612.002 РЭ – Томск: ЗАО «НПО «НИКОР».

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТА

Валекжанин П.С., Аристов А.А., Асадулина В.Х.

Научный руководитель: Аристов А.А., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: galatey@sibmail.com

Ранняя диагностика сахарного диабета является одной из наиболее актуальных проблем с современной медицины. Для миллионов больных диабетом жизненно важно получить информацию об уровне глюкозы альтернативными, неинвазивными методами.

Эти методы сложны тем, что на значение исходной величины значительно влияют окружающие ткани, дисперсионные свойства среды и другие параметры, которые уменьшают полезную составляющую, отвечающую за содержание глюкозы. Поэтому для оценки уровня глюкозы желательно использовать прозрачные среды, например исследование уровня глюкозы при освещении склеры глаза, определение глюкозы на основе исследования пота.

В частности на основе оценки анализа пота нами ведутся подобные исследования. Мы считаем этот метод достаточно перспективным для реализации его в приборах мониторинга.

Существует корреляционная зависимость между концентрацией глюкозы в крови и в поту (патент RU 2279250 С2 “Способ определения уровня гликемии”), данная зависимость была подтверждена нашими исследованиями. Однако нет экспрессных систем на основе анализа пота. Поэтому необходимо поиск удобного и инструментального метода оценки глюкозы в поту, который рассмотрен ниже.

Поскольку сахар, а в частности глюкоза это оптически активные вещества, которые влияют на оптические свойства жидкости (коэффициент преломления, поляризация), то целесообразнее для оценки глюкозы в биологических жидкостях применять оптические методы [1].

Для определения зависимости коэффициента преломления от концентрации глюкозы в растворе и использовался рефрактометрический метод.

Исследования проводили с помощью образцов: У пациента пототделение вызывали с помощью физической нагрузки. Затем пот собирался микропипеткой в области лба (20 мкл). И с помощью рефрактометра определяли коэффициент преломления.

Данный эксперимент показал, что изменение величины преломления в растворе слишком мало, для того чтобы данный метод использовался как прямой метод для оценки концентрации глюкозы в поту.

Чтобы “усилить” эффекты связанные с преломлением на границе сред необходимо применить эффект многократного отражения и преломления света, которое может быть реализовано на основе плосковолноводного датчика. Плоскостоволноводные оптические химические сенсоры (ПОХС) находят все более широкое применение, что связано с их высокой чувствительностью, быстрым действием, возможностями включения в интегрально-оптические электронные схемы. Повышенная чувствительность со временных конструкций ПОХС связана с использованием многократного полного внутреннего отражения (МПВО) на границе волновод/чувствительный слой [2].

Мы провели исследования по возможности использования данного датчика применительно к оценке глюкозы. Его конструкция показана на рисунке 1

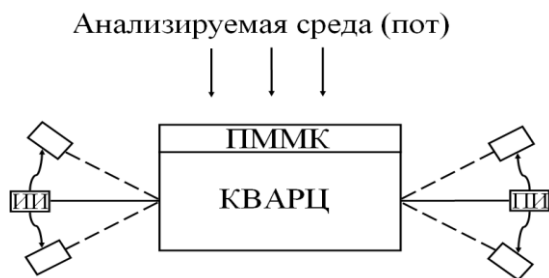


Рис.1 Конструкция волоконно-оптического датчика

Датчик представляет собой источник излучения (ИИ), приемник излучения (ПИ) и чувствительный элемент (ЧЭ). В качестве чувствительного элемента (ЧЭ) выступает плоско-волноводный оптический химический сенсор, представляющий собой кварцевую подложку размером 25x12x3 мм, на которую нанесена тонкая пленка, выступающая в роли плоского волновода. Материалом для волновода был выбран полиметилметакрилат (ПММА) имеющий коэффициент преломления $n=1,49$, который должен быть меньше коэффициента преломления кварцевой подложки, чтобы осуществлялось полное внутреннее отражение. Фото датчика приведено на рисунке 2.



Рис.2 Установка на основе волоконно-оптического датчика.

Волновод закреплялся на платформе (рис.2), и в толщу волновода вводилось излучение. Источник и приемник излучения имеют возможность перемещаться относительно торца волновода, поэтому можно ввести излучение под оптимальным углом для получения на выходе максимального излучения. Введенное излучение распространяется по волноводу, и затем регистрируется сенсорным фотоприемником (ПИ). В качестве источника излучения (ИИ) использовали инфракрасный диод АЛ-107 с длиной волны $\lambda=920$ нм. В качестве фотоприемника был использован кремниевый фотодиод ФД-256.

С помощью данной установки (рис.2) были проведены экспериментальные исследования, целью которых была оценка возможности применения метода на основе волоконно-оптического датчика и конструкцию на основе данного метода для оценки концентрации глюкозы в поту.

На поверхность волновода наносилась капля раствора глюкозы. Диапазон изменения концентрации глюкозы в исследуемых растворах составлял от 0 до 3 г/дл. Сигнал с фотоприемника регистрировался в вольтметре, по величине которого судили об изменении коэффициента передачи волновода.

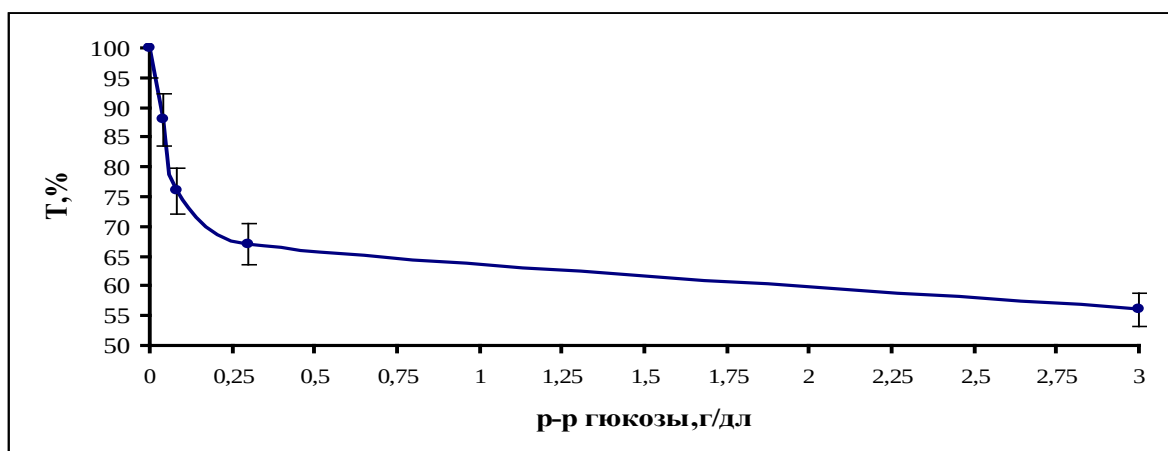


Рис.3 Характеристика изменения коэффициента передачи датчика с изменением концентрации глюкозы.

В результате исследований получили характеристику изменения коэффициента преломления датчика с изменением концентрации глюкозы (рис.3). Коэффициент преломления 100% соответствует чистому растворителю (вода).

Из характеристики видно, что датчик чувствителен к изменению концентрации глюкозы в области малых концентраций. Этого достаточно для оценки глюкозы, так как диапазон изменения концентрации глюкозы лежит в пределах 0,3 г/дл.

Заключение

Исследования показали, что данным методом можно использовать для оценки содержания глюкозы в прозрачных жидкостях.

Однако, повлиять на результат при исследовании могут и другие вещества, содержащиеся в нем. Поэтому надо получить

более специфичную зависимость датчика от исследуемой жидкости.

Для решения данной проблемы можно использовать поляризованный свет, так как глюкоза является оптически активным веществом и может вращать плоскость поляризации луча.

В дальнейшем планируется проведение испытаний с поляризованным светом.

Список литературы

1. Индукаева А.К. Диффузионное рассеяние сверхкоротких лазерных и импульсов от сильно рассеивающих сред. Дипломная работа, Москва, МГУ, 2008.

Высокоэффективная конструкция плосковолноводного оптического химического сенсора/ Э.И. Соборов, И.Л. Зубков// Датчики и системы: научный журнал/ Российская Академия наук. — М., 2003. — № 4. — С.2-8.

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ДЛЯ ВРАЧЕЙ- ПЕДИАТРОВ «ПНЕВМОНИИ У ДЕТЕЙ»

Губайдуллина Р.Р., Сизов Е.Е.

Научный руководитель: Деев И.А., к.м.н., ассистент
Сибирский государственный медицинский университет, 634050,
Россия, г. Томск, Московский тракт, 2
E-mail: LLInu@mail2000.ru

Актуальность. Пневмония является в настоящее время одной из ведущих причин смертности детей во всем мире. Ежегодно она уносит жизни примерно 1,8 миллионов детей в возрасте до пяти лет. На ее долю приходится 20% всех случаев смерти детей в возрасте до пяти лет во всем мире. Ежегодно в мире регистрируется около 155 миллионов случаев заболевания пневмонией у детей. [1] Показатель заболеваемости детей пневмонией в России (при должных ренгенологических критериях) колеблется в пределах 4 — 12 на 1000 детей в возрасте от 1 месяца до 15 лет. [2] Организм детей имеет целый ряд особенностей, которые облегчают возникновение заболевания и способствуют хроническому течению воспаления легких. Чем меньше возраст ребенка, тем более выражены эти особенности, тем больше риск заболеть пневмонией, и тем тяжелее будет ее течение. Проявления заболевания зависят от возраста ребенка и от формы пневмонии. Необходимо заметить, что лечение в это время начинается с момента появления первых признаков болезни. Ребенка тревожат насморк, чихание, сухой кашель. Температура тела, как правило, повышается до 37, 5-38,5 градусов, реже достигает 39, 0-

40,0 градусов. У самых маленьких появляются частые срыгивания, рвота, и иногда в углах рта заметны пенистые выделения воспалительного секрета. Это наблюдается по тому, что такие дети еще не умеют откашливать, и жидкость выходит самостоятельно, образуя вместе с воздухом пенистую массу. Кроме этого, грудных детей беспокоит вздутие живота и даже может появиться жидкий стул. Именно по причине разнообразия проявлений пневмонии, особенно в раннем возрасте детей, ее достаточно сложно диагностировать.

Широкое распространение и особенности заболевания у детей требуют большого количества сбора и обработки информации для адекватной и своевременной постановки диагноза, а так же выбора терапии и способов профилактики. Перед врачами встает необходимость в накоплении, систематизации, периодическом обновлении, хранении и дальнейшем воспроизведении большого объема данных по пневмониям в одном и информационном источнике, а так же возможности обучения с последующей сертификацией в этой области. Более того, в последние годы некоторыми ВУЗами и профессиональ-

ными сообществами используется система образовательных кредитов для дистанционного обучения специалистов в рамках обязательного повышения квалификации по специальности. Так, например, данный механизм реализуется в Московской медицинской академии (ММА) им. Сеченова, Научном центре здоровья детей (НЦЗД) РАМН при поддержке Союза педиатров России. В настоящее время более 7000 врачей – специалистов получили сертификаты о прохождении теоретической подготовки по профильным дисциплинам (детская хирургия, имунология, алергология, неврология и др.). Однако применение существующей системы образовательных кредитов для повышения квалификации специалистов предполагает очное участие врачей в конференциях, семинарах, школах, которые проводятся в ведущих учебных ММА им. Сеченова и НЦЗД РАМН. Учитывая отсутствие возможности непосредственного участия докторов в таком образовательном процессе, актуальным является разработка информационной системы обеспечивающей дистанционное обучение, способной представлять весь спектр медицинских данных по определённому разделу, какой – либо специальности при выполнении функции тренинга и контроля. Такая система может быть включена в программу образовательных кредитов в рамках повышения квалификации врачей, что увеличит доступность дополнительного профессионального образования в здравоохранении.

В настоящее время компьютерные технологии позволяют ставить и решать такие задачи с помощью учебников нового типа – электронных учебно-методических пособий. Учебно-методическим пособием называется новое средство обучения на компьютерном диске, хранящее и представляющее аудио-, видео-, текстовую и графическую информацию. Пособие рассчитано на самостоятельную работу врача с компьютером в интерактивном режиме, т.е. с помощью различного рода системных меню, функциональных клавиш, многооконного интерфейса врач может ознакомиться с учебной аудиовизуальной информацией в той форме, последовательности, темпе и с той глубиной, которая ему подходит.

Цель. Разработать учебно-методическое пособие для врачей-педиатров по пневмониям у детей с возможностью повышения квалификации в области пульмонологии.

Методы. Принципы создания электронного пособия:

1. Принцип квантования.
2. Принцип полноты.
3. Принцип наглядности.
4. Принцип ветвления.

5. Принцип регулирования.
6. Принцип адаптивности.
7. Принцип компьютерной поддержки.
8. Принцип собираемости

Пособие проектируется с помощью стандартного языка разметки документов HTML (от англ. HyperText Markup Language – «язык разметки гипертекста»), для организации и ведения базы данных MySQL, для программного доступа к объектам приложений JavaScript.

Планируемый результат. В существующей системе обучения есть недостатки, которые могут быть компенсированы использованием технологий электронного пособия:

Первое – это «запаздывание знаний». Известно, насколько часто по являются новые заболевания, разрабатываются новые методы лечения и лекарственные препараты. Поэтому врач, знания которого пять лет не обновлялись, не только не сможет оказать помощь больному на современном уровне знаний, но в ряде случаев не исключается и причинение вреда. Использование дистанционных образовательных технологий позволит практикующему специалисту непрерывно учиться на месте своей работы.

Второе – это нерациональное использование времени. В России порядка 620 тыс. врачей. Если принять, что каждый из них повышает квалификацию раз в пять лет и курс обучения длится один месяц, то получается, что в любой момент порядка 10 тыс. врачей оторваны от работы для учебы. Дистанционное обучение позволит решать и эту проблему.

Третье – это большая затратность очного обучения (транспорт, проживание и т.п.). Дистанционное обучение позволит значительно сократить эти расходы.

Естественно, обучение врача практическим навыкам требует традиционного очного контакта с преподавателями, но вся теоретическая подготовка и упражнения в принятии решений могут проходить в дистанционной форме.

Разработка информационного источника для врачей педиатров, в котором представлены современные взгляды на классификацию, особенности патогенеза, клиники и лечения пневмоний у детей также рассматриваются основные возбудители пневмоний, их роль в развитии заболевания у детей разного возраста, атипичные и нетипичные пневмонии. Особое место отводится вопросам современной антибактериальной терапии заболевания. [3]

Обучающее воздействие осуществляется за счет синтеза результатов параклинических исследований (рентгенографии, ультразвуковой диагностики, ЭКГ и т.д.), физиологических

данных (стетоакустические патологические и физиологические шумы), примеров и разбора клинических случаев. Задачу контроля качества обучения выполняет система тестовых заданий. Процесс компьютерного тестирования разделен на два последовательных этапа: промежуточный и контрольный.

Промежуточный этап (или самотестирование) необходим для самоконтроля обучающегося и проверки усвоения полученных знаний, а так же для подготовки обучающегося к прохождению контрольного тестирования по курсу (экзамена). Контрольный этап представляет собой получение уникального ключа для однократного экзаменационного тестирования, по результатам которого принимается решение о выдаче сертификата на определенное количество зачетных единиц – часов (система образовательных кредитов). Основным условием получения сертификата является успешная сдача контрольного тестирования.

Заключение. Реализация пособия в рамках обязательного повышения квалификации врачей увеличивает доступность дополнительного профессионального образования в здравоохранении, оперативно знакомит обучающихся с новыми знаниями, что безусловно, является важным фактором повышения качества управления здравоохранением.

Использование электронных учебных пособий позволяет:

- снизить затраты на проведение обучения (не требуется затрат на аренду помещений, поездок к месту учебы, как учащихся, так и преподавателей и т. п.);
- выбирать самостоятельно время для изучения материала;
- проводить обучение большого количества человек;
- повысить качество обучения за счет применения современных средств, объемных электронных библиотек и т.д.

Внедрение новых методических и организационных решений в практику работы медицинских учреждений естественно отразится на повышении результативности деятельности учреждений и органов здравоохранения в целом.

Список литературы

1. Пневмония [Электронный ресурс] / Информационный бюллетень ВОЗ № 331-Август 2009 г. – Режим доступа: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs331/ru/index.html>.
2. Таточенко В.К., Федоров А.М., Краснов М.В. Острые пневмонии у детей. – Чебоксары, 1994. – 323 с.
3. Пневмонии у детей: учебное пособие / Е.М. Камалтынова, Е.Л. Тимошина, Т.А. Евдокимова, И.А. Журавлева. – Томск, 2006. – 82 с.

ИЗУЧЕНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА

Денек О.И., Жданова О.С., Семичев Е.В.

Научные руководители: Алейник А.Н., к.ф.-м.н.; Байков А.Н., д.м.н., профессор.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Сибирский государственный медицинский университет, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2

E-mail: izum4ik@inbox.ru

В настоящее время стерилизацию осуществляют различными способами, однако из имеющихся в медицинской практике методов нет наиболее оптимального. Так, высокотемпературные технологии отличаются большой инерционностью процессов нагрева и охлаждения, длительностью времени стерилизации и энергос затратами. При этом они не позволяют провести стерилизацию термочувствительных материалов, т.к. температура стерилизационной среды может достигать 150 – 200° С. Сухожаровые шкафы пожароопасны, а автоклавы не исключают возможности случайного выброса перегретого пара. Несмотря на потенциальную опасность этих технологий для человека, для некоторых

микроорганизмов они могут оказаться совершенно безвредными.

До настоящего времени использование неравновесной плазмы в медицине было ограниченным, однако, в последнее время ситуация, меняющаяся и особое внимание уделяется методам ее воздействия на живые ткани. Влияние холодной плазмы исследуется в гематологии с целью коагуляции, в микробиологии с целью антимикробного воздействия и в онкологии с целью противоопухолевого эффекта [1, 2, 3].

В неравновесной плазме ионы и нейтральные частицы имеют очень малую энергию, поэтому температура ее менее 45° С. Описываемый вид плазмы имеет несомнен-

ные преимущества, а именно она может действовать на определенный участок ткани, не влияя на соседние. Плазма образуется на расстоянии 1 – 2 мм от обрабатываемой поверхности. В этом случае в области взаимодействия присутствуют активные заряженные и незаряженные частицы, ультрафиолетовое излучение и короткоживущие элементы. Такой комплекс составляющих делает данный вид воздействия на ткань более гибким, позволяя снижать степень отрицательного воздействия на организм.

В Томском Политехническом университете, на кафедре Прикладной Физики разработан макет и сточника холодной плазмы (температура < 45°С) для исследования ее взаимодействия с живыми организмами.

Плазма образуется с помощью барьерного разряда и поэтому является универсальной, так как содержит большое количество активных составляющих, таких как O_3 , NO , H_2O_2 и других [5]. Исследование антимикробных свойств разработанного прибора проводилось на кафедре микробиологии и вирусологии Сибирского Государственного Медицинского университета.



Рис. 1. Обработка источником холодной плазмы агара засеянного микроорганизмами.

Изучено влияние плазмы на инактивацию микроорганизмов (*Staphylococcus aureus* 6538-P, *Pseudomonas aeruginosa* штамм от больного, *Escherichia coli* 501, *Proteus vulgaris* 4175, *Klebsiella pneumoniae* 2482)- возбудителей гнойно-воспалительных процессов. Из суточных культур микроорганизмов были приготовлены разведения на физиологическом растворе в концентрации 10^8 КОЕ/мл и засеяны на мясопептонный агар в объеме 0,1 мл. Инаktivация проводилась в воздушной среде при атмосферном давлении и температуре 24°С. Время обработки составляло 5, 10 и 15 сек.

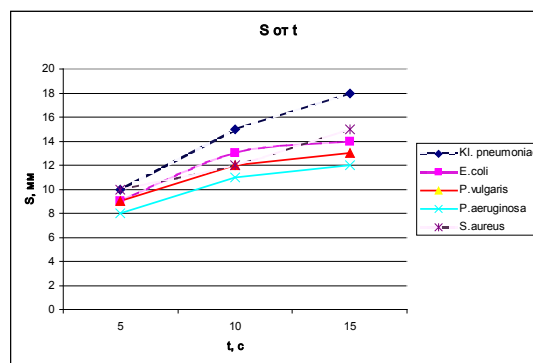


Рис. 2. Зависимости диаметра инаktivированной поверхности агара от времени обработки источником неравновесной плазмы.

В чашке Петри, где исследовалось влияние холодной плазмы на инаktivацию микроорганизмов *Kl.pneumoniae* была выявлена следующая закономерность, а именно после 5 сек обработки диаметр инаktivированной поверхности составил 10 мм при диаметре рабочего электрода 5 мм. В дальнейшем отмечалось увеличение диаметра инаktivированной поверхности до 18 мм с увеличением времени обработки до 15 сек.

В группе с обработкой посева *E.coli*, так же наблюдалась отрицательная динамика роста бактерий, однако, по сравнению с предыдущей, динамика была менее выражена (9, 13, 14 мм соответственно).

При обработке агара засеянного *P.vulgaris* было установлено полное уничтожение микроорганизмов в обработанной поверхности и рост диаметра инаktivированной поверхности до 13 мм.

В четвертой группе, где агар был засеян *S.aureus*, так же имела место картина отрицательного роста микроорганизмов. При времени обработки равном 5 сек, диаметр инаktivированной поверхности составил 10 мм, как и в первой экспериментальной группе. С увеличением времени обработки отмечалось увеличение диаметра чистой поверхности (12 и 15 мм, соответственно времени).

Исследование *P.aeruginosa* показало его повышенную резистентность по сравнению со всеми исследованными культурами.

При сравнительном анализе влияния неравновесной плазмы на вышеперечисленные микроорганизмы выявляется четкая зависимость увеличения диаметра инаktivированной поверхности от времени обработки. Это связано с распространением активных составляющих плазмы в результате разности давлений между центром плазмы и периферией. Также прослеживается зависимость устойчивости и патогенности микроорганизмов к воздействию неравновесной плазмы.

В результате проведенного исследования *in vitro* было доказано эффективное антибактериальное воздействие неравновесной плазмы на *St.aureus*, *P.aeruginosa*, *E.coli*, *P.vulgaris*, *K.pneumoniae* - возбудителей гнойно-воспалительных процессов.

Рис. 3 подтверждает высокую эффективность инактивации микроорганизмов с помощью источника неравновесной плазмы по сравнению с существующими методами стерилизации.



Рис. 3. Вид поверхности агара, засеянного микроорганизмами, спустя сутки после обработки неравновесной плазмы.

Проведенные исследования показывают, что источник холодной плазмы при атмосферном давлении может найти широкое применение в медицине, а именно в хирургии паренхиматозных органов, в стоматологии, онкологии, гинекологии, педиатрии, гематологии и бактериологии; в сфере защиты промышленных материалов от биоповреждений и биокоррозии, дезинфекции пищевых продуктов и продовольственного сырья, очистке систем водоподачи от патогенов и токсикантов, обработке тканей, полимерных плёнок, почтовых конвертов, пластиковых карточек (как часть антитеррористических программ) и в других областях.

Список литературы

1. Roth J., Nourgostar S., Bonds A. The One Atmospheric Uniform Glow Discharge Plasma. – A Platform Technology for the 21st Century // IEEE Transactions on Plasma Science. - 2007. - Vol.35. №2. - P.233-250.
2. Kelly-Winterberg K., Montie T.C., Brikman C., Roth J.R., Room temperature Sterilization of Surfaces and Fabrics with a One Atmosphere Uniform Glow Discharge plasma.//J. IND. Microbiol.- 1998.-Vol.20. p. 69-74.
3. Larousi M., Alexeff I., Kang W. Biological Decontamination by Nonthermal Plasmas.// IEEE Transactions on Plasma Science. - 2000. - Vol.28. №1. P.184-188.
4. Namihira T., Tsukamoto S., Wang D., Katsuki S., Hackam R., Okamoto K., Akiyama H. Production of Nitric Monoxide Using Pulsed Discharges for a medical Application.// IEEE Transactions on Plasma Science. - 2000. -Vol.28. №1. P.109-114.
5. M.Laroussi. Nonthermal decontamination of biological media by atmospheric-pressure plasmas: review, analysis and prospects. IEEE Transactions on plasma science. V.30, N.4, 2002, p.1409-1415
6. Виноградова О.И. Разработка и исследование источника холодной плазмы для биологических и медицинских целей. «Россия молодая: передовые технологии в промышленности!» 2008. Россия, Омск, Ноябрь 12-13, 2008.
7. Виноградова О.И., Телицкий С.Ю., Великая В.В. Исследование источника холодной плазмы для применения в медицине. XV Международная конференция «Современные техника и технологии» СТТ 2009, Россия, Томск, Май 4-8, 2009.
8. Vinogradova O.I., Chelnov V.G. Blood Coagulation by Atmospheric Pressure Plasma. «XIV Modern Technique and Technologies». MTT' 2008. Russia, Tomsk, March 24-28, 2008, p.115-117.»
9. Виноградова О.И., Телицкий С.Ю., Щукина Е.В, Алейник А.Н. Применение неравновесной плазмы в медицине и биологии// Научная сессия МИФИ-2009.

МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ БИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА

Денисова А.А.

Научный руководитель: Гормаков А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: tps@tpu.ru

Среди важнейших методов электрических измерений механических величин, используемых для рациональной организации и автоматизации производства, особое место занимает силоизмерительная техника. Измерение силы и используется с целью повышения эффективности производства и качества продукции.

Силоизмерительные платформы широко применяются для исследования и анализа макро и микродвижений человека с целью диагностики двигательной патологии. Клинический анализ движений в его инструментарном исполнении является тем недостающим звеном, которое позволяет врачу получить функциональные данные о той функции, которая практически не поддается чув-

ству, для обеспечения техники безопасности и защиты дорогостоящих агрегатов, однако в большинстве случаев заслуживает ее применение для решения задач лабораторных измерений в науке и технике.

Особого внимания в этой области заслуживают силоизмерительные платформы. Именно в оприятие или оценке проростыми клиническими способами.

Типичное применение силоизмерительные платформы находят в научных и клинических исследованиях, таких как анализ походки в ортопедии и анализ равновесия в неврологии и психологии, а также в спорте, для увеличения результативности и анализа мышечной нагрузки (рис.1).

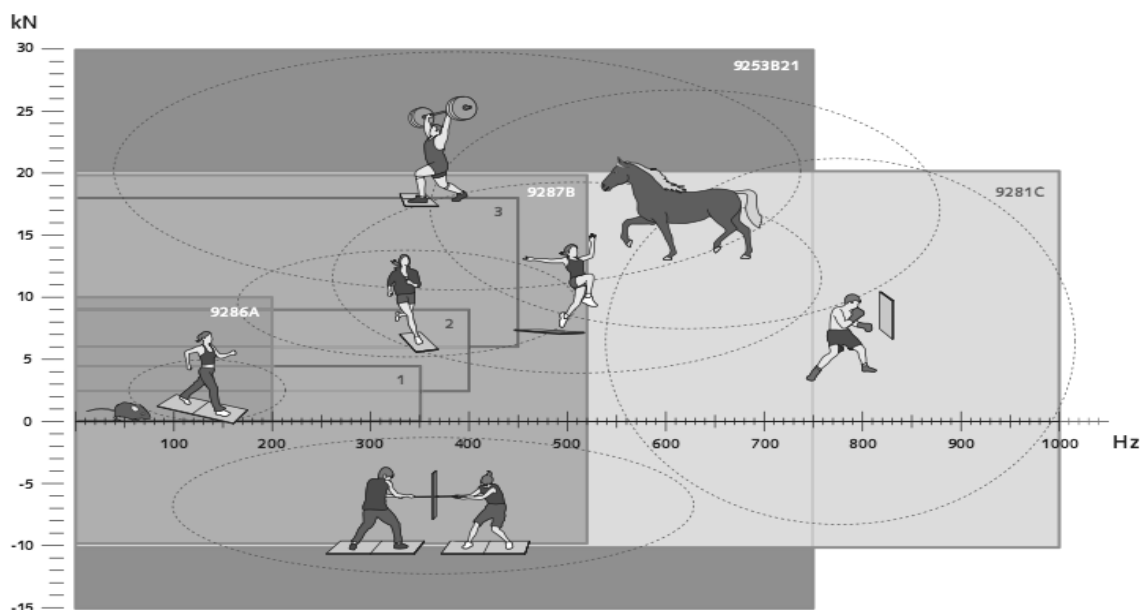


Рис.1. Область применения силоизмерительных платформ в спорте

В зависимости от диапазона значений действующей силы и её частоты для каждого вида спорта можно подобрать определенный тип платформы.

Основными компонентами силоизмерительной платформы (рис.2) являются датчики силы 1, именно они определяют измерительный диапазон платформы 2, ее массогабаритные свойства, а также ее срок службы, стойкость к перегрузкам и помеховосприимчивость.

Обычно в силоизмерительных платформах устанавливают по три или четыре датчи-

ка одинаковой чувствительности. Сигналы с датчиков силы по соединительным кабелям поступают на усилитель 3, преобразующий сигнал с выхода датчиков в пропорциональное напряжение, которое служит входной величиной для аналитических и управляющих систем.

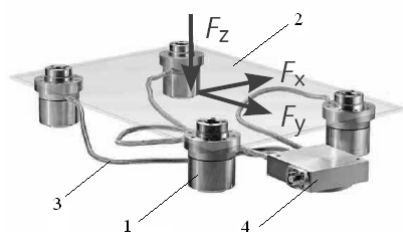


Рис.2. Принципиальная схема силоизмерительной платформы

Современные силоизмерительные платформы позволяют измерить три ортогональные компоненты динамических или квазистатических сил, действующих в произвольном направлении, а так же моменты этих сил, они отличаются малыми габаритами и небольшой массой, что делает их универсальными и мобильными.

Для анализа полученных сигналов с учетом требований биомеханики компании-производители специально разрабатывают программное обеспечение, с помощью которого можно получить полную информацию о силах и их направлениях, результирующих точках, точках приложения, моментах, результативности и энергии.

Принцип действия датчиков силы может быть основан на использовании различных эффектов, связывающих силу с другими физическими величинами. В качестве таких эффектов может применяться пьезоэффект, тензоэффект, магнитоупругость и др. однако наиболее широкое применение находит пьезоэффект.

Пьезоэлектрические датчики силы, момента и деформации очень компактны, и имеют шестизначный диапазон измерения, высокую собственную частоту и низкую перекрёстную чувствительность. Очень малые силы могут быть измерены и при больших значениях предварительной нагрузки. Они имеют широкий диапазон рабочих температур и высокую долговременную стабильность.

Пьезоэлектрические материалы для чувствительных элементов датчиков должны в первую очередь иметь очень высокую механическую прочность и жесткость. Наиболее широкое применение в производстве таких датчиков нашел кварц.

Пьезоэлектрический датчик силы (рис.3) содержит три пары кварцевых колец, которые установлены между двумя стальными пластинами в корпусе датчика. Две пары колец, вырезанных из слоя эффекта сдвига, измеряют соответственно компоненты F_x и F_y , в то время как одна пара, вырезанная из слоя продольного эффекта, измеряет компоненту F_z .

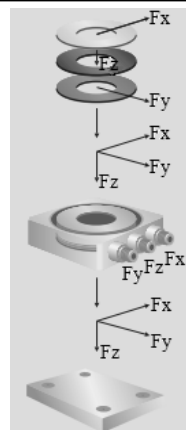


Рис.3. Пьезоэлектрический датчик силы

Пьезоэлектрические датчики идеальны для измерения высокочувствительных и динамических процессов, встречающихся в биомеханике. Благодаря их жесткости, пьезоэлектрические силоизмерительные платформы очень прочные и имеют высокую степень защиты от перегрузок. Даже спустя миллионы циклов нагрузки не наблюдается их усталости, также как после частых циклов перемены температур их чувствительность остается на прежнем уровне. При соблюдении правил эксплуатации их жизненный цикл практически не ограничен.

В настоящее время существуют несколько компаний, специализирующихся на силовых измерительных техниках. Среди них американские компании AMTI и Bertec, являющиеся лидерами в производстве промышленно-медицинской техники, специализируются на выпуске силоизмерительных платформ, а также оборудования для анализа походки и диагностики нарушений равновесия. Японская компания Kuowa-dengyo, выпускающая тензодатчики силы и давления, занимает лидирующее место в Японии в области измерительной техники, зарекомендовала себя как компания с высокой репутацией и надежностью не только в Японии, но и во всем мире. Швейцарская фирма Kistler, которая уже более 40 лет производит датчики с кварцевыми рецепторами, является мировым лидером в области пьезоэлектрической измерительной техники. Основной сферой деятельности Kistler является разработка и производство датчиков для измерения давления, силы, момента и ускорения, а также пьезоэлектрических силоизмерительных платформ. Благодаря высокой разрешающей способности, высокой чувствительности и очень высокой точности, силоизмерительные платформы Kistler идеальны для анализа равновесия и других квазистатических измерений, протекающих в пределах нескольких минут, и именно поэтому последние 25 лет силоизмерительные платформы Kistler являются установившимся

стандартом в областях биомеханики и в высших спортивных достижениях.

С момента начала выпуска в 1969 году, силоизмерительные платформы постоянно доказывают свою надежность и точность в качестве средств измерения, что позволяет говорить о высокой степени их надежности средств, затраченных на их приобретение. Они являются незаменимым инструментом в

ведущих биомеханических лабораториях мира.

Список литературы

1. www.kistler.com
2. www.kyowa-ei.co.jp
3. www.bertec.com

ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КЛЮЧЕВЫХ МОЛЕКУЛ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ МАКРОФАГОВ С МАЖОРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ТАБАЧНОГО ДЫМА IN SILICO

Дугаров Ж.Б.-Д.

Научный руководитель: Шилов Б.В., к.м.н., доцент
Сибирский государственный медицинский университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 38
E-mail: kiber-netw@mail.ru

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) – заболевание, характеризующееся с высокой смертностью и ранней потерей трудоспособности. В соответствии с прогнозом экспертов ВОЗ, к 2020 г. ХОБЛ станет третьей среди ведущих причин заболеваемости и смертности в мире [3].

По данным проведенных международных исследований, средняя распространенность ХОБЛ в общей популяции регистрируется на уровне 7,6%. ХОБЛ наносит существенный экономический ущерб. Так, в США прямые медицинские расходы в 2000 году в аръировали от 1681 долларов в год на одного больного с легким течением ХОБЛ до 10812 долларов в год на одного больного с тяжелым течением заболевания. Во многих странах Западной Европы годовая расход на одного пациента с ХОБЛ почти в три раза превышает таковой на больного астмой [3].

В 90% случаев ХОБЛ вызывается курением. В связи с этим, исследователи акцентируют свое внимание на механизмах развития ХОБЛ под действием табачного дыма [2], [3], [4], [5].

Глубокое понимание механизма развития и поддержания хронического воспалительного процесса при ХОБЛ под действием компонентов табачного дыма позволит определить новые цели терапевтического воздействия, первичной и вторичной профилактики. Кроме того, выяснение роли компонентов табачного дыма при индукцию воспалительного процесса в бронхоальвеолярном пространстве легкого позволит устранить эти компоненты уже на этапе производства сигарет и ли же применять новые фильтры с более селективным действием.

В настоящее время наиболее распространенной является точка зрения, согласно которой длительный воспалительный процесс при ХОБЛ поддерживается постоянным действием компонентов табачного дыма на легочную систему человека и ответной продукцией активированными макрофагами легких провоспалительных цитокинов (IL-1, IL-8 и ФНО-α). Повышенная концентрация провоспалительных цитокинов в тканях легких приводит к активации и хемотаксису главных клеток воспаления – нейтрофилов.

Одной из ключевых сигнальных молекул, активация которой вызывает секрецию макрофагами провоспалительных цитокинов, является toll-подобный рецептор (toll-like receptor, TLR-4) [4]. Согласно данным последних исследований, компоненты табачного дыма ингибируют внутриклеточную макрофагальную киназу I κ B β , ответственную за интернализацию TLR-4. С другой стороны, известно, что при действии компонентов табачного дыма на легочную систему отмечается повышенное содержание белка теплового шока hsp70, и известного агониста TLR-4, что также усиливает опосредованную TLR-4 продукцию провоспалительных цитокинов и, следовательно, развитие и поддержание хронического воспаления при ХОБЛ [5].

В табачном дыме содержится около 5000 различных веществ, но многие из этих соединений находятся в табачном дыме лишь в остаточных количествах. Таким образом, количество основных веществ, содержащихся в табачном дыме и имеющих потенциальную опасность для здоровья человека насчитывается около 60 соединений, называемых мажорными. Эти вещества в первую очередь вызывают морфофункциональные изменения

в легочной системе человека [2]. По этой причине именно они являются главными объектами исследований.

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).

В связи с вышеперечисленным, целью настоящего исследования является изучение взаимодействия ключевых молекул с сигнальными путями макрофагов с мажорными компонентами табачного дыма *in silico*.

Для достижения заданной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Построить трехмерные компьютерные модели низкомолекулярных веществ – мажорных компонентов табачного дыма.

2. Построить трехмерную компьютерную модель киназы *fes/fer*.

3. Оценить возможность проникновения мажорных компонентов табачного дыма через клеточную мембрану.

4. Провести докинг лигандов – мажорных компонентов табачного дыма, способных проникать через клеточную мембрану, в сайты связывания внутриклеточной киназы *fes/fer* при помощи программы AutoDock.

5. Сопоставить полученные результаты исследования *in silico* с данными о состоянии респираторного тракта у лиц, давших согласие на участие в исследовании на базе специализированного пульмонологического центра городской больницы №3 г. Томска.

Материалы

Аминокислотная последовательность киназы *fes/fer* в банке данных NCBI, данные о состоянии респираторного тракта у лиц, давших согласие на участие в исследовании на базе специализированного пульмонологического центра городской больницы №3 г. Томска.

Методы

Моделирование рецепторов по гомологии при помощи программного пакета MODELLER. Процесс моделирования по гомологии включал несколько шагов, главными из которых являлись поиск структурного шаблона с высокой степенью гомологии (или идентичности) и выравнивание последовательностей. Участки, не имеющие гомологии с шаблоном, достраивались независимо. Положение боковых цепей оптимизировалось с помощью эмпирических методов силовых полей [1]. Основной недостаток сравнительного моделирования состоит в том, что в структуре шаблона не содержится отличительных

черт моделируемого белка. Из-за этого структура моделей, созданных по гомологии, может оказаться ближе к шаблону, на котором она базировалась, чем к исследуемому белку.

Построение и оптимизация трехмерных компьютерных моделей низкомолекулярных веществ в программном обеспечении ACD/ChemSketch. Процесс построения молекулы базировался на стандартных шаблоны химических молекул. Последующая 3D оптимизация преобразовывает плоскую (2D) структуру, созданную в программе ACD / ChemSketch, в реалистичную 3D модель. Оптимизация основана на применении нескольких измененных методов молекулярной механики, которые принимают во внимание длину химических связей, величину углов между атомами, внутреннее вращение и невалентные взаимодействия.

Методология QSAR для оценки возможности проникновения низкомолекулярных веществ через клеточную мембрану. Методология QSAR позволяет рассчитать такие характеристики веществ, как липофильность, которая является главным критерием возможности проникновения веществ через клеточную мембрану. Основой метода является принцип: «структура - активность», т.е. зная химическую формулу, пространственную конфигурацию соединения можно оценить его физико-химические свойства.

Моделирование межмолекулярных взаимодействий при помощи программы AutoDock 4.0 в составе программного комплекса MGL Tools 1.4.5. В программе AutoDock заложен метод молекулярной механики, который заключается в расчете ионных, водородных, ковалентных, ван-дер-ваальсовых взаимодействий между неподвижными молекулами лиганда и рецептора. Такой расчет поочередно производится для нескольких миллионов различных положений лиганда относительно рецептора, затем найденные положения – конформации – лиганда сравниваются между собой программой по свободной энергии связывания и с реднеквадратичным отклонением расположения атомов от носителя друг друга. На основе полученных значений делается вывод о взаимодействиях между лигандом и рецептором.

Статистическая обработка данных при помощи программы SPSS 11.5.

Результаты

При выполнении данной работы, с одной стороны, были созданы и оптимизированы трехмерные компьютерные модели мажорных компонентов табачного дыма, с другой – трехмерная модель внутриклеточной киназы *fes/fer*. Расчет взаимодействий между выше-

указанными мажорными компонентами табачного дыма и киназой *fos/fer* позволил оценить, какие из компонентов способны ингибировать данную киназу и, следовательно, приводить к нарушению интернализации рецептора TLR-4, повышению продукции провоспалительных цитокинов. Таким образом, выбраны мажорные компоненты табачного дыма для проверки их действия на *fos/fer* киназу *in vitro*. Такой проверкой будет дополнен и расширен механизм действия табачного дыма на развитие ХОБЛ вследствие курения.

Список литературы

1. Моделирование субстратного и ингибиторного комплексов гистидин-аспартатной протеиназы / Попов М. Е., Стеньгач М. А., Андреева Н. С. // Биоорганическая химия. 2008. Т. 34, № 3. С. 422–429.

2. Табак и здоровье / под ред. Т. И. Андреева, К. С. Красовский – Киев, 2004 – 224 с.

3. Хроническая obstructивная болезнь легких: эпидемиология и экономический ущерб / В. А. Игнатьев, О. Н. Титова, О. И. Гуляева // Вестник Санкт – Петербургского университета – 2007. – Сер. 11 – Вып. 4 – С. 37-39.

4. Cigarette smoke-induced pulmonary inflammation is TLR4/MyD88 and IL-1R1/MyD88 signaling dependent / E. D. Oz, N. N. Oulin, E. Boichot, I. Guignon, L. Fick, M. Lebert, V. Lagente, B. Ruyffel, B. Schnyder, V. F. Quesniaux, I. Couillin // J Immunol. - 2008

5. The Fps / Fes kinase regulates the inflammatory response to endotoxin through down-regulation of TLR4, NF-kappaB activation, and TNF-alpha secretion in macrophages / S. A. Parsons, P. A. Greer // J Leukoc Biol. – 2006.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ФАРМАКОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСТРЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЕ

Н.Л.Дутова

Научный руководитель: Каверина И.С., ассистент
Сибирский государственный медицинский университет,
634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2
E-mail: natali68-08@mail.ru

Фармакоэкономика - наука, изучающая соотношение между затратами и эффективностью, качеством лекарственных средств, при лечении какого-либо заболевания. Главным является не поиск наиболее дешевых лекарственных средств, а расчет затрат, необходимых для достижения желаемой эффективности, и соотношение этих затрат с возможностями, что позволяет выбрать оптимальную фармакологическую стратегию с позиции стоимости и эффективности лечения. Эта наука сравнительно недавно появилась в нашей стране и требует большого внимания для реализации точного расчета оптимальных затрат в здравоохранении, а так же для исключения не рационального вложения денег в те методы лечения, которые не приносят желаемого результата [3].

Современная медицина немыслима без эффективных и безопасных лекарственных средств, применение которых требует соответствующего финансового сопровождения. Рациональное использование выделяемых на эти цели ресурсов всегда являлось одним из важнейших условий обеспечения доступности лекарственных средств. В связи с влиянием кризисных факторов на экономиче-

скую ситуацию роль фармакоэкономики как инструмента оценки и выработки оптимальных управленческих решений становится все более актуальной [2].

Во всем мире проводятся анализы эффективности применения того или иного лекарственного препарата. При этом необходимо учитывать стандарты диагностики и терапии, без которых практически невозможно корректно провести фармакоэкономическую оценку и рекомендуемой терапии. К сожалению, стандартизация в системе здравоохранения РФ и ее субъектов находится в стадии начальной разработки, и должно пройти достаточно много времени, чтобы сформировалась полная система. В данном случае, информационная система фармакоэкономического анализа окажет большую помощь здравоохранению в поиске качественной терапии. Под качественной терапией понимается совокупность характеристик, подтверждающих соответствие оказанной медицинской помощи имеющимся потребностям пациента и современному уровню медицинских технологий. Качественно проведенная терапия – это социально значимая задача государства, направленная на охрану здоровья населения и

рациональную медицинскую помощь. Проводя фармакоэкономический анализ, можно найти такую терапию, в которой цена и качество и экономят медицинскую от нерациональных затрат.

Основные проблемы в сфере оказания медицинской помощи с точки зрения пациентов: высокая стоимость лекарств; увеличение объемов платной медицинской помощи; низкая осведомленность медицинских учреждений; ухудшение медицинского обслуживания; неинформативное и небезопасное отхождение медицинской персонала; отсутствие правовой защиты пациента; недостаточная квалификация врачей. Проблемы, касающиеся экономики в медицине будут решены, когда будет найден правильный подход к распределению бюджета в здравоохранении, чем и занимается фармакоэкономика [1].

Цель работы разработать медицинскую информационную систему, позволяющую проводить фармакоэкономический анализ экстренной медицинской помощи при бронхиальной астме.

Задачи:

1. Проектирование и программная реализация базы данных.
2. На основе фармакоэкономических методов разработать инструмент расчета для проведения анализа экстренной медицинской помощи при бронхиальной астме.
3. Представление полученных результатов с целью наиболее эффективного управления в фармации.

Методы сравнения в фармакоэкономическом анализе и используются как для оценки наблюдаемых в ходе проспективных или ретроспективных исследований результатов, так и для оценки результатов, получаемых в процессе моделирования. На начальном этапе исследования проводится анализ исходов, клинических и экономических параметров, их описывающих, параметров эффективности и структуры затрат исследуемого процесса, в совокупности определяющих выбор одного из методов сравнения. Наиболее широко используются следующие методы фармакоэкономического анализа:

- Анализ стоимости - эффективность (Cost-Effectiveness Analysis);
- Анализ минимизации затрат (Cost-Minimization Analysis);
- Анализ стоимость-выгода (Cost-Benefit Analysis);
- Анализ стоимость-полезность (Cost-Utility Analysis).

Фармакоэкономический анализ проведен с помощью метода стоимость-эффективность (Cost-Effectiveness Analysis). Метод основан

на выборе варианта с наименьшим коэффициентом затратной эффективности (Cost-Effectiveness Coefficient) – удельной стоимости в расчете на единицу эффекта. Можно использовать два подхода к реализации этого метода.

I. Рассматривается собственно коэффициент затратной эффективности (отношение стоимости к эффективности):

$$K_{eff} = \text{Cost} / \text{Eff} \quad (1)$$

где Cost – суммарные затраты, Eff – эффективность.

Коэффициент затратной эффективности K_{eff} рассчитывается для всех альтернативных вмешательств (отсутствие вмешательства также может считаться вмешательством). Если значение эффективности считается равным нулю ($\text{Eff} = 0$), то K_{eff} не определен. Следует отметить, что при отсутствии вмешательства эффективность, так же как и затраты, часто бывает отлична от нуля. Наиболее эффективным является вмешательство с наименьшим коэффициентом затратной эффективности. Если значения коэффициента K_{eff} совпадают для двух или более медицинских вмешательств, то для выбора необходимо проведение дополнительного анализа значений стоимости и эффективности. Например, часто в основу выбора может быть положен поиск вмешательства с наименьшей стоимостью или с наибольшей эффективностью.

II. Рассматривается K_{efi} – коэффициент отношения приращений – отношение приращения (Incremental) стоимости к приращению эффективности

$$K_{eff} = (\text{Cost1} - \text{Cost2}) / (\text{Eff1} - \text{Eff2}) \quad (2)$$

где Cost1, Cost2 – суммарные затраты, а Eff1, Eff2 – эффективность для медицинских вмешательств 1, 2, соответственно.

Если сравнивается более двух терапевтических вмешательств, то выбирается референтное вмешательство. Рассчитываются коэффициенты приращения отношений K_{efi} для всех остальных вмешательств относительно референтного. Наиболее эффективным является вмешательство с наименьшим коэффициентом отношения приращений. Равенство коэффициентов K_{efi} указывает на одинаковую удельную эффективность сравниваемых вмешательств. В случае равенства эффектов разность $\text{Eff1} - \text{Eff2}$ равна 0, отношение K_{efi} неопределено и в этом случае для сравнения следует использовать анализ минимизации затрат [4].

Система с проектирована с использованием с тандартов моделирования UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) IDEF (ICAM DEfinition – Integrated Computer Aided Manufacturing Definition). Информационная система реализована с помощью структурного программи-

рования, клиент-серверных технологий, SQL (Structured Query Language – язык структурированных запросов).

Результаты. На базе кафедры факультетской педиатрии с курсом детских болезней лечебного факультета ГОУ ВПО СибГМУ, в ходе исследования «Звезда 1», был проведен анализ эффективности и фармакоэкономических преимуществ небулайзерной терапии в сравнении с рутинной практикой оказания экстренной медицинской помощи. Спроектирована и реализована база данных, в которую были внедрены данные этого исследования. На основе этой базы данных и реализованного инструмента расчета с помощью метода с тоимость-эффективность проводится фармакоэкономический анализ лекарственных средств и наиболее точная оценка финансовых затрат на лечение бронхиальной астмы. В конечном итоге и информационная система фармакоэкономического анализа, разработанная с учетом стереотипа трат ресурсов здравоохранения пациентом в зависимости от получаемой фармакотерапии имея константные и изменяющиеся параметры, позволит рассчитывать стоимость лечения БА за год в любом регионе РФ при введении параметров, характеризующих пациентов конкретного региона (количество жителей в регионе, количество больных, структура по тяжести заболевания, стоимость медицинских услуг и т.д.). С учетом эффективности

конкретной терапии на выходе имеются данные о предполагаемых затратах за год лечения, что делает возможным и более рациональное распределение финансирования лечения бронхиальной астмы в заданном регионе. Данный программный продукт позволит подобрать эффективное, сбалансированное финансирование медицинской помощи.

Заключение. Реализована информационная система, для проведения наиболее точного и быстрого фармакоэкономического анализа затрат на лечение бронхиальной астмы в определенном регионе страны.

Список литературы

1. Прогноз развития фармацевтического рынка России на – 2010гг. [текст] / Д.В. Мелик – Гусейнов // Фармакоэкономика - 2009. – Т.2, №2. С.50-50.
2. Развитие фармакоэкономики и фармакоэпидемиологии в России [текст] / Р.И. Ягудина // Вестник Росздравнадзора - 2009. -№2. – С.52-59.
3. Фармакоэкономика: общие сведения, методы исследования / Р.И. Ягудина, А.Ю. Куликов // Новая аптека. – 2007. - №9. – С.73-78.
4. Фармакоэкономика [Электронный ресурс] / Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://www.pharmaec.ru/methods/shorttext.html>.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНОЙ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ И ИММУННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА

Е.В. Жогло, А.А. Аристов, А.С. Рафальский

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Zhoglo@sibmail.com

На сегодняшний день для лабораторной диагностики большинства инфекционных и паразитарных болезней, определения групп крови, тканевых и опухолевых антигенов, видовой принадлежности белка, распознавания аллергий и аутоиммунных болезней, беременности, а также гормональных нарушений применяются так называемые иммунологические методы и исследования. Они включают серологические исследования, или серологические реакции, к которым относятся реакции прямого воздействия антигенов и антител сыворотки крови *in vitro*.

В зависимости от типа механизма и учета результатов иммунологические реакции можно подразделить на реакции, основанные на феномене агглютинации; реакции, основанные на феномене преципитации; реакции с

участием комплемента; реакции нейтрализации; реакции с использованием химических и физических методов. Данные методы исследования отличаются высокой чувствительностью, которая превосходит чувствительность всех других методов исследования антигенов и антител. В частности и иммуноферментный анализ позволяет улавливать присутствие белка в количествах, измеряемых в нанограммах и даже в пикограммах. Однако, несмотря на то, что на современном этапе развития лабораторной диагностики и иммунологические методы являются наиболее часто применяемыми, существует ряд нерешенных проблем. Во-первых, это трудоемкость и изготовления и внесения в лунки планшетов и в пробирки различных реактивов используемых при остановке реакций реагентов. Во-

вторых, это использование достаточно большого количества биологического материала. Чаще всего в качестве биологического материала используется кровь, которую при этом приходится брать из вены, что является неудобным при проведении исследований в педиатрии. В-третьих, проведение данных реакций предполагает использование реактивов, рассчитанных на большое число анализов. Поэтому за частую применение указанных иммунологических методов является нерентабельным, особенно в небольших отдаленных больницах с малым числом ежедневно обследуемых пациентов.

Учитывая вышеуказанные факты необходимо признать существование потребности в создании совершенно новой методики постановки и иммунологических реакций. При этом данная методика должна быть простой и недорогой, удобной для проведения одиночных исследований и использовать при этом малые объемы биологических проб. Кроме того, целесообразно максимальное сокращение времени проведения данных иммунологических реакций, а также создание автоматизированных систем их постановки и инструментального учета.

В связи с этим на кафедре ПМЭ ТПУ для оценки гематологических и иммунных процессов был предложен и апробирован метод фотометрирования капельных образцов крови, расположенных на прозрачной гидрофобной подложке [1]. Схема реализации метода представлена на рис.1

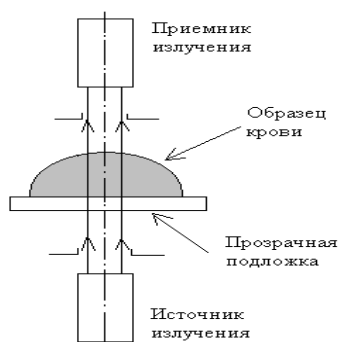


Рис.1 Схема реализации метода фотометрирования капельной пробы, расположенной на прозрачной гидрофобной поверхности

Исходя из предложенной схемы и исследования, можно предположить 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. Упомянутые процессы представляют собой специфическое взаимодействие антигенов и антител.

Данная методика является дифференциальной, поскольку подразумевает параллельное исследование двух капельных образцов крови пациента, один из которых является контрольным. То есть в данном случае и используется регистрация разности величин токов фотометрических каналов, которая определяется оптическими свойствами соответствующих проб.

Изначально предполагалось существование определенной зависимости между процессами взаимодействия антигенов и соответствующих им антител и скоростью оседания эритроцитов. Причем эти процессы можно достаточно четко отслеживать и именно в капельном образце крови, поскольку существует устойчивая зависимость между оптическими свойствами капли и скоростью оседания эритроцитов [2].

Предположение о наличии зависимости между величиной СОЭ и процессами взаимодействия антител и антигенов по вышло в связи с тем, что при упомянутом выше взаимодействии протекает специфическая реакция геммагглютинации, которая представляет собой склеивание и выпадение в осадок эритроцитов с адсорбированными на них антигенами и антителами. То есть геммагглютинация усиливает агрегацию эритроцитов, которые теоретически под действием силы тяжести должны выпадать в осадок.

Однако наличие данной зависимости не подтвердилось, о чем свидетельствовали результаты исследований СОЭ при протекании реакции геммагглютинации в капиллярах по Панчикову. Результаты исследований показали, что агрегация эритроцитов, наблюдаемая при геммагглютинации, приводит не к увеличению скорости их оседания, а к образованию из них плотной седи, которая довольно медленно оседает в капиллярах.

При проведении исследований ставилась реакция геммагглютинации для определения группы крови по системе АВ0 (использовались кровь третьей (В) и сыворотка в титре (А) групп). Выбор в пользу указанной реакции был сделан в связи с простотой постановки, а также безопасностью и доступностью реагентов.

Исследования, проводимые в капельном образце с использованием сывороток титров различных разведений (1:128, 1:256 и 1:512), показали наличие зависимости между начальной величиной тока фотометрического канала и процессами агрегации эритроцитов, протекающими в капле (рис.2).

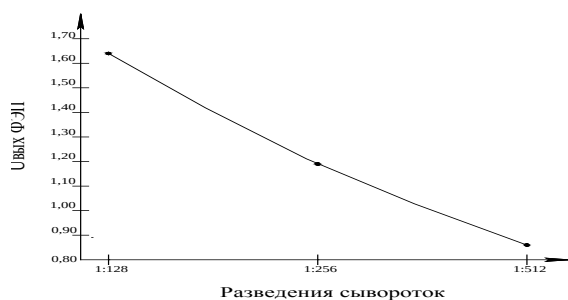


Рис. 2. Зависимость величины $U_{\text{вых}}$ ФЭП от различных разведений сывороток

Как видно из представленной диаграммы, при увеличении разведения сыворотки наблюдается уменьшение величины напряжения фотозлектрического преобразователя, используемого в исследовательской установке. Действительно, чем меньше разведение сыворотки, тем активнее протекает реакция гемогглютинации и соответственно быстрее происходит агрегация эритроцитов. Количество рассеивающих частиц быстро уменьшается, а значит, уменьшается дисперсность среды, что приводит к увеличению светопропускания.

Таким образом, существует возможность оценки иммунологических реакций, основанных на феномене агглютинации, в капельных образцах крови путем их фотометрирования. Предложенная методика обладает рядом существенных достоинств. В-первых, это вы-

сокая чувствительность, что позволяет использовать при постановке реакции сыворотки в высоких разведениях. Отсюда второе достоинство — сокращение количества используемых реактивов, а значит и цены анализа. И, в-третьих, это использование малого количества биологического материала (25 мкл крови).

Необходимо отметить, что описанный метод требует накопления достаточно большого и более полного клинического материала, а также дальнейших исследований. Однако существуют достаточно серьезные предпосылки использования данного метода для дифференциальной диагностики многих серьезных заболеваний.

Список литературы

1. 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
2. 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.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧИ У БОЛЬНЫХ СЕНСОРНОЙ АФАЗИЕЙ

Белик К. Д., Журбей Д. С.

Научный руководитель: Белик Д. В., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: dina10_87@mail.ru

На сегодняшний день и нсульт представляет собой важную социально-экономическую проблему. Заболеваемость инсультом в Сибири является самой высокой не только в стране, но и одной из самых высоких в мире. Каждый год в Новосибирске случается порядка 8 000 тяжелых инсультов. Примерно в половине случаев и нсульт сопровождается нарушением речевой функции — афазией. Кроме того причинами афазии являются нарушения мозгового кровообращения, травмы, опухоли, и инфекционные заболевания головного мозга. В следствие чего, количество людей, страдающих афазией, достигает значительного числа.

Афазия — нарушение уже сформировавшейся речи, возникающее при локальных поражениях головного мозга.

Наиболее трудным в лечении является сенсорный тип афазии.

При сенсорной афазии поражается область головного мозга, отвечающая за понимание речи. При этом у человека не страдает острота слуха, но он не осознает значения произнесенных понятий, у пациента нарушена ассоциативная функция речи. При сенсорной афазии у больного нарушена фонетико-логическая связь, т.е. нет связи между звуковым составом слова и его значением (образом).

Нарушение ассоциативной функции речи приводит к ухудшению качества жизни, инвалидности, невозможности вести профессиональную деятельность, затруднению повседневной бытовой жизни, поэтому важным является скорейшее восстановление нарушенной функции речи.

Проанализировав существующие на сегодняшний день методы можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день единственным методом лечения больных сенсорной афазией является занятия с логопедом. Общая продолжительность логопедических занятий составляет 2 – 3 года. Такой период времени лечения является очень длительным, поэтому актуальна разработка нового метода, позволяющего сократить время восстановления нарушенной ассоциативной функции. Ассоциативные в настоящее время программно-аппаратные комплексы позволяют осуществлять восстановление моторной функции речи и не позволяют помогать больным с сенсорной афазией. Поэтому предлагается разработать систему, позволяющую вести работу с больными сенсорной формой афазии, работа которой основана на предлагаемом методе.

Целью разрабатываемой системы является сокращение времени восстановления ассоциативной функции речи, которая нарушена у больных сенсорной афазией. Далее будет предложено средство восстановления ассоциативной функции у больных сенсорной афазией и предложена концепция разрабатываемой системы.

Предлагаемый метод восстановления ассоциативной функции у больных с сенсорной афазией основывается на использовании сохранившихся механизмов ассоциаций для формирования навыка фонетико-смысловой ассоциации. Для этого предлагается в одностороннее зрительные, слуховые и тактильные анализаторы, работа которых у страдающих сенсорной афазией, не нарушена.

Перед началом занятий с пациентом врачу необходимо выяснить следующие вопросы: какими постинсультными нарушениями сопровождается нарушение ассоциативной функции речи и в какой степени нарушена ассоциативная функция речи.

Далее будут рассмотрены этапы работы системы.

На первом этапе необходимо определить перечень фонетически неосознанных понятий, т.е. степень нарушения навыка фонетико-смысловой ассоциации. В случае грубого нарушения ассоциативной функции у пациента предлагается начать работу с использованием понятий из списка Сводеша. Список Сводеша представляет собой минимальный набор важнейшей («ядерной») лексики русского языка, приблизительно упорядоченный по

убыванию их «базовости». Если же нарушение ассоциативной функции не является грубым, следует переходить к более широкому набору понятий, а затем и к высказываниям.

На втором этапе происходит формирование навыка фонетической систематизации. Данный этап можно разбить на три оставшиеся.

1) Выверка навыка систематизации по распознаваемым критериям (визуальный образ и звуковой ряд). Пациенту демонстрируются понятия (изображения) и одновременно произносятся. Таким образом, пациент осознает, что различным понятиям соответствуют различные звуковые ряды.

2) Формирование навыка фонетической ассоциации на основе группировки понятий по смыслу. Предлагается группировка понятий в смысловые группы. К понятиям близким по смыслу и происхождению можно отнести однокоренные слова. Набор однокоренных слов упорядочивается по степени близости спектров фонем первого слога в корне. Переход между наборами понятий осуществляется по критерию близости спектров фонем первого слога в корне.

Для воспроизведения звукового сигнала предлагается использовать синтезатор речи. В настоящий момент логопед сам проговаривает понятия. Речь логопеда не является нормированной по амплитудно-частотным характеристикам, поэтому предлагается использовать синтезатор речи, который позволяет нормировать амплитудно-частотные характеристики речи.

3) Формирование навыка фонетической ассоциации на основе группировки понятий для температурно-механической ассоциации. Предлагается формирование у пациента дополнительных тактильных (термомеханических) ассоциаций при помощи термомеханического модуля.

Термо-механический модуль – это дополнительный модуль, предназначенный для моделирования температурного и механического (изменение плотности) состояния и звукового объекта.

Значения параметров:

- формирование температурного эффекта с температурой 5 - 40 °С
- формирование плотности 1,00 – 7,8 [г/см³]

Термо-механический модуль представляет собой емкость, заполненную порошком магнитного вещества, растворенным в жидкости. Жидкость необходима для компенсации упругого взаимодействия между частицами магнитного порошка. На дне емкости расположена группа электромагнитов, один полюс которых разноименный с рядом частиц окружающего вещества. Электромагниты управляются постоянным током различной

интенсивности. Если рассматривать величину частиц, с тремя кинематическими параметрами, то и изменение напряженности магнитного поля будет пропорционально и изменению плотности с увеличением.

Емкость покрыта эластичным материалом, с включенными в него термоэлементами. Для формирования теплового эффекта предлагается использовать элементы Пельтье, позволяющие реализовать изгиб температуры и достигать разности температур в 70°C .

Взаимодействие с модулем пациента происходит следующим образом: пациент помещает кисть руки на верхнюю часть модуля, покрытую эластичным материалом, и происходит воздействие на термо- и механорецепторы.

Очень важен контроль качества лечения пациента. Контроль качества лечения может быть осуществлен следующим способом: имеется набор визуальных объектов и больной указывает на объект в ответ на понятие, произнесенное синтезатором.

На рис.1 приведена структура и основные элементы разрабатываемой системы.

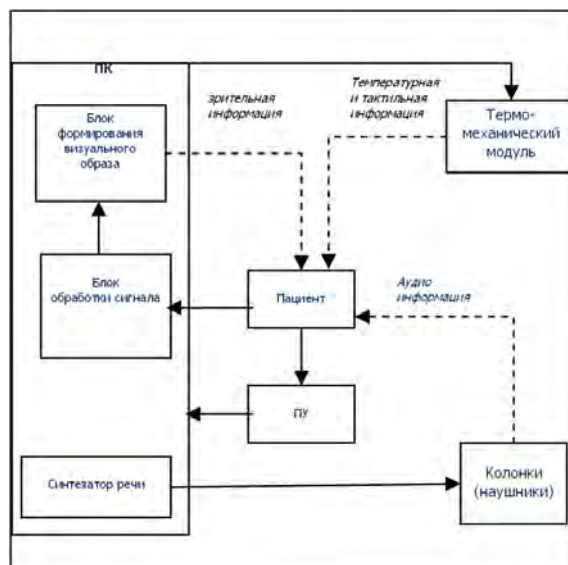


Рис. 1. Структура и основные элементы разрабатываемой системы

В заключение остановимся на научной новизне разработки.

Научная новизна разработки заключается в следующем:

1. Разработка нового метода, позволяющего формировать у пациента навык фонетической систематизации понятий, основанного на использовании сохранившихся механизмов ассоциации.

2. Формирование у пациента навыка фонетической систематизации понятий, группирующихся сначала по смыслу и упорядоченных затем в смысловых группах по критерию близости спектров фонем первого слога в корне слова.

3. Использование синтезатора речи для получения нормированных спектров речи.

Использование термо-механического модуля, предназначенного для моделирования температурного и механического состояния изучаемого объекта, способствующего возникновению дополнительных термо-механических ассоциаций.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХОЛОДОВЫХ ТРАВМ

Камартинова А. Р.

Научный руководитель: Солдатов А. И., доцент, к. т. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kalina@sibmail.com

На сегодняшний день, несмотря на развитие современных методов инвазивной и функциональной диагностики до сих пор остаются спорными вопросы о предельных степени и прогнозирования исхода отморожения в ранние периоды травмы. Решение этой задачи при холодовой травме позволит проводить лечение в достаточном объеме в самые ранние сроки после получения травмы, что очень важно, если учитывать от носительно высокую обратимость патологического процесса при отморожениях.

Для ранней диагностики глубины отморожения и используют несколько инструментальных методов, позволяющих уточнить максимальную степень отморожения. Известен радионуклидный метод - гаммасцинтиграфия, заключающийся во внутрисосудистом введении остеотропного препарата - пирофосфата, меченного ^{99}Tc . Оценка степени отморожения осуществляется по степени накопления препарата в мягких тканях и в костях. Отрицательными моментами метода являются использование радиоактивного препарата, значительная продолжительность однократного исследования (до 3,5 ч), необходимость наличия дорогостоящей аппаратуры и недостаточные ранние сроки определения глубины поражения тканей (на 2-е - 3-и сутки после травмы). Другим методом ранней диагностики степени отморожения является ангиография, которая основана на внутриаартериальном введении контрастного вещества с последующей рентгенографией артериального русла ткани. Негативной стороной метода является отсутствие четко разработанной ангиографической семиотики различных степеней отморожения и опасность возникновения манипуляционных и послеоперационных осложнений (кровотечение, инфекция), которые обусловлены значительной инвазивностью метода. Третьим методом, помогающим в диагностике степени отморожения, является метод инфракрасной дистанционной термографии, который регистрирует инфракрасное излучение тканей и по интенсивности этого излучения позволяет судить о степени сосудистых нарушений, происходящих в тканях. Метод обладает наглядностью, неинвазивен и оценивает степень сосудистых нарушений в цифровых характеристиках в виде разности температур между исследуемой зоной и любым (контрольным) участком ткани. Однако этот способ диагностики степени отморожения по

мнению многих клипатоологов с траны мало пригоден для цели раннего прогноза глубины повреждения тканей, особенно в дореактивном и в раннем реактивном периодах отморожения, т.к. высокое значение градиента температуры у охлажденных живых тканей не позволяет убедительно высказаться за ожидаемую в будущем степень отморожения. Метод относится к дорогостоящим приемам диагностики [1].

Известен способ диагностики отморожения в остром периоде путем укола пораженной поверхности. Диагностика осуществляется по характеру отделяемого и в ремени образования сгустка. Однако данный способ является инвазивным и сохраняет опасность развития инфекционных осложнений.

Устройство [2] для измерения в нутритканевого давления, с одержащее и змерительный элемент, выполненный в виде закрытого цилиндра определенной объема с расположенным внутри поршнем и снабжен ограничительным выступом. Недостатки данного устройства это инвазивность, наличие болевых ощущений при его использовании.

Существует способ раннего прогноза глубины отморожения тканей путем кожной электротермометрии, заключающийся в трехкратном измерении температуры ткани, производимом через 5, 10 и 15 мин после внутриаартериального введения комплекса осудорасширяющих препаратов. Если кожная температура не изменяется, это свидетельствует о глубоком поражении, если же температура повышается, то это говорит о наличии кровообращения в сегменте [3]. Однако сущестующий способ прогноза является достаточно сложным и инвазивным приемом, не доступным тем хирургам, которые не владеют техникой внутриаартериальных пункций, требует многократного измерения температуры в одной точке, достаточно продолжителен и не имеет четких критериев для прогноза конкретных степеней отморожения.

Поэтому перед нами встала задача создания устройства для оперативной диагностики степени отморожения, которую мы попытались решить, используя метод, основанный на регистрации изменения скорости распространения ультразвуковых колебаний, вызванных изменением физических свойств исследуемого объекта при наличии патологии.

Устройство состоит из двух одинаковых каналов: первый канал измеряет скорость

распространения ультразвука в ткани, подвергшейся обморожению, а в другой канал – в ткани, не подвергшейся обморожению, и определяется разность скоростей. Устройство содержит два генератора ультразвуковых импульсов, два ультразвуковых приемника, два ультразвуковых излучателя, два усилителя, два пороговых устройства, два источника опорного напряжения, два блока формирования параметров скорости, блок управления и индикации.

Работа ультразвукового прибора для диагностики холодовых травм происходит следующим образом (рис. 1):

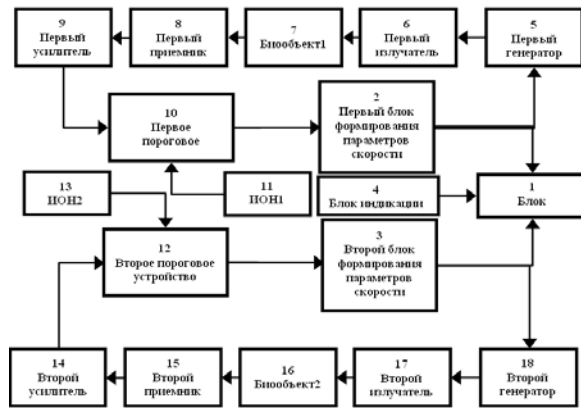


Рис. 1. Функциональная схема ультразвукового прибора для диагностики холодовых травм

Биообъект располагается между ультразвуковым излучателем и приемником, к которым устанавливаются на кожу. Одновременно первый и второй блок формирования параметров скорости вырабатывают импульсы запуска для генераторов для излучения ультразвуковых волн 5 и 18. Генераторы для излучения ультразвуковых волн 5, 18 возбуждают излучатели ультразвуковых волн 6, 17. Излученные ультразвуковые импульсы распространяются через биообъекты 7, 16 и принимаются приемниками ультразвуковых волн 8, 15, усиливаются усилителями 9, 14 и поступают на входы первого 10 и второго 12 пороговых устройств. На второй вход первого порогового устройства 10 подается напряжение с первого источника опорного напряжения 11 (ИОН1) U_1 . На второй вход второго порогового устройства 12 подается напряжение со второго источника опорного напряжения 13 (ИОН2) U_2 . Как только напряжение на выходе первого усилителя 9 превысит напряжение U_1 , выход первого порогового устройства 10 переключится в состояние логической 1 и поэтому с сигнала первого блока формирования параметров скорости 2 фиксируется время распространения ультразвукового импульса через биообъект 7 и производится вычисление скорости распространения

ультразвука в биообъекте 7. Одновременно сигнал с выхода второго усилителя 14 поступает на вход второго порогового устройства 12, на другой вход которого подается напряжение U_2 со второго источника опорного напряжения 13 (ИОН2). Переключение второго порогового устройства 12 в состояние логической единицы произойдет, если входное напряжение превысит напряжение U_2 . Логическая единица на выходе второго порогового устройства 12 (также как и первый) дает сигнал в тот же блок формирования параметров скорости 3, который фиксирует время распространения ультразвукового импульса через биообъект 16 и производит вычисление скорости распространения ультразвука в биообъекте 16. Блок управления 1 осуществляет сравнение значений двух скоростей полученных с первого 2 и второго 3 блоков формирования параметров скорости и выводит на блок индикации значение степени обморожения.

Испытания прибора проводились в хирургическом отделении областной клинической больницы. Были обследованы 29 пациентов с различной степенью обморожения, у которых измерялось внутритканевое давление и разность скоростей распространения ультразвука в тканях с наличием патологии и без патологии. Результаты испытаний представлены на рисунке 2, на котором показана зависимость ВТД от скорости распространения ультразвука в мягких тканях.

В результате испытаний получена практически линейная зависимость и изменения разности скоростей распространения ультразвука в тканях с наличием патологии и без патологии от ВТД, что позволяет сделать вывод о возможности использования предлагаемого метода для диагностики холодовых травм.

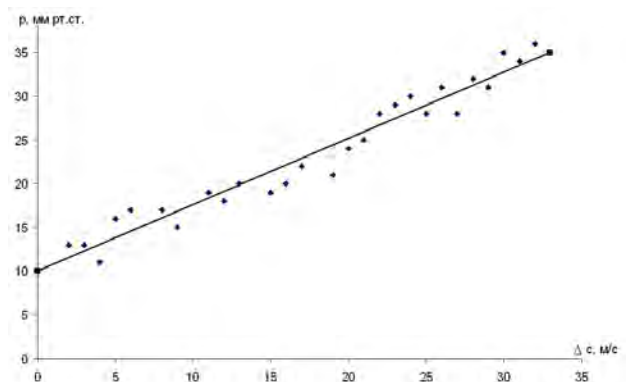


Рис. 2. График зависимости ВТД (ρ) от разности скоростей распространения ультразвука в тканях с наличием патологии и без патологии (Δc)

Заключение

Ультразвуковой прибор для диагностики холодовых травм, где информативным показателем является скорость распространения ультразвуковых колебаний, обладает следующими преимуществами: возможность оперативно диагностировать степень обморожения, неинвазивность, отсутствие противопоказаний к использованию, не требуется дополнительных технических приспособлений, простота в обращении, для работы с ним не требуется специальной подготовки медицинского персонала.

Механизм, протекающий в тканях при холодовой травме аналогичен механизму - при синдроме позиционного сдавливания. Поэтому

данное устройство можно будет применять для определения СПС в медицине катастроф.

Список литературы

1. Местная холодовая травма. Классификация, диагностика, принципы лечения. Сб. научных трудов./Благовещенск, 1994, вып.5, р.131.
2. Чирьев А.И.; Крауиньш П.Я.; Соколов Г.Е.; Чирьев А.А. Устройство для измерения внутритканевого давления Патент РФ № 2161439, МПК А61В5/02, опубл. 10.01.2001, с. 108
3. Воинов А.И. Отморожения конечностей. - Минск: ГИЗАО "Маладняк", 1995, с. 64

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВРАЧА-ПЕДИАТРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Клышников К.Ю.

Научный руководитель: Е.Е. Сизов, зав. лабораторией
Сибирский государственный медицинский университет,
634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2
E-mail: KlyshnikovK@mail.ru

Одним из важнейших мероприятий на сегодняшний день является диспансеризация детей, т.е. активное динамическое наблюдение за состоянием здоровья детского населения, включающее комплекс профилактических, диагностических и лечебно-оздоровительных мероприятий.[1]. Первоначально принципы и методы диспансеризации использовались для борьбы с социально опасными болезнями — туберкулезом, сифилисом и др. В последующем диспансерный метод нашел применение для наблюдения за беременными, детьми, трудящимися ведущих отраслей промышленности и с.-х. производства, больными, страдающими хроническими заболеваниями.

В общем, целью диспансеризации является формирование, сохранение и укрепление здоровья населения, профилактика заболеваний, снижение заболеваемости, инвалидности, смертности, достижение активного долголетия. Диспансеризация включает: ежегодный медицинский осмотр с проведением лабораторно-инструментальных исследований для выявления заболеваний в ранних стадиях, а также обследование лиц, имеющих факторы риска развития заболеваний; дообследование нуждающихся с использованием современных методов диагностики; определение состояния здоровья каждого человека; осуществление комплекса лечебно-

оздоровительных мероприятий больными и лицам с факторами риска и последующее систематическое наблюдение за состоянием их здоровья.

Диспансеризация входит в качестве составной части в широкую систему мер по профилактике заболеваний, осуществляемых государством, обществом, здравоохранением. Общегосударственные усилия направлены на улучшение условий труда, быта и отдыха, обеспечение рационального сбалансированного питания, борьбу с гиподинамией, курением, употреблением алкоголя, т.е. на формирование здорового образа жизни. В этом комплексе мер важная роль отводится системе здравоохранения, которая использует диспансерный метод, интегрирующий профилактику и лечение, направленный на выявление заболеваний в наиболее ранних стадиях и их предупреждение путем систематического медицинского наблюдения за здоровьем населения. Диспансеризация детского населения является существенной частью этой программы, ведь проведение регулярных осмотров детей позволяет выявлять заболевания на ранних стадиях и своевременно оказывать медицинскую помощь. Таким образом, диспансеризация детей направлена на укрепление и сохранение здоровья детей, снижение детской заболеваемости, инвалидности и смертности.[2].

Участковый педиатр выполняет самую ответственную функцию по диспансерному наблюдению за здоровым ребенком, начиная с антенатального периода (дородовый патронаж) и включая активное наблюдение за ребенком первого года жизни, во время которого обязательно учитывается микросоциальная среда. Врач-педиатр проводит контроль за правильным вскармливанием, нервно-психическим и физическим развитием ребенка, осуществляются ранняя диагностика и лечение таких заболеваний, как рахит, дистрофия, анемия, врожденная патология (аномалии развития, наследственно обусловленная метаболическая и иммунологическая патология). Проводя активную диспансеризацию на основании правильной оценки данных анамнеза и объективного обследования, выделяют детей из группы повышенного риска, нуждающихся в консультации педиатра-специалиста; при этом составляется и совместный план индивидуального ведения такого ребенка, который реализуется участковым педиатром.

По отношению к детям и спользуются принципы 100 % диспансеризации, а, следовательно, процесс диспансеризации предполагает накопление данных об осмотрах всех детей, прикрепленных к данному ЛПУ. Из-за больших объемов такой информации, эти данные трудно хранить и обрабатывать в бумажном виде. В связи с этим, остро встает вопрос об информатизации процесса диспансеризации, т.е. в ведении с специализированных и информационных систем.[3]. В связи с нарастающей информатизацией и введением медицинских информационных систем в здравоохранении, встает вопрос о наличии таких систем в области диспансеризации детей. По многочисленным заявлениям и следователей, параметры состояния здоровья детей существенно отличаются от таковых у взрослых. Соответственно, нельзя применять в педиатрии МИС, в которых реализована система анализа (обработки) медицинских параметров, разработанные для обычных медицинских учреждений.

Сегодня на территории Томской области существуют информационные системы для сбора и обработки данных, полученных в результате диспансеризации детей, но с использованием локальных баз данных. Фактически, эти информационные системы представляют собой автоматизированные рабочие места. Это практически полностью и включает возможность взаимодействия пользователей таких систем, т.к. врачи не могут обмениваться друг с другом своими базами данных. Для получения статистической информации об эпидемиологии заболеваний, о деятельности лечебно-профилактических

учреждений на территории Томской области эти «локальные» базы данных объединяются в единую. Данный процесс трудоемок и увеличивает вероятность возникновения ошибок и потерь при объединении большого количества баз данных. Помимо этого, такие системы трудно администрировать, а, иногда, эту функцию выполняет сам врач-педиатр. Это обстоятельство, может привести к потере данных за некий период, к разглашению информации о пациенте и т.д.

В современных информационных системах достаточно давно применяются централизованные базы данных. Это позволяет пользователям таких систем взаимодействовать друг с другом, соответственно, получать актуальную на текущий момент информацию, что сказывается на качестве и оперативности принятия различных решений.

Ведущая роль в осуществлении диспансеризации отводится участковому врачу-педиатру, который координирует работу всех других специалистов, проводит и контролирует выполнение намеченных лечебно-оздоровительных мероприятий, осуществляет пропаганду здорового образа жизни. Врачам-педиатрам приходится выполнять большое количество рутинной работы, связанной не только с заполнением историй болезни, но и с оценкой некоторых параметров (физическое, биологическое, нервно-психическое развитие). Ручная оценка данных параметров занимает достаточно большое количество времени, т.к. происходит с использованием специальных таблиц. Автоматизация данного процесса позволит снизить время, необходимое для заполнения карточки диспансерного наблюдения в рабочем педиатром, следовательно, увеличить эффективность его работы.

Для достижения заданной цели, необходимо решить следующие задачи:

1. Структурно-функциональное моделирование и анализ информационных потоков процесса диспансерного наблюдения.
2. Создание базы данных, которая позволит не только хранить данные, полученные в результате диспансеризации, но и обеспечит возможность оценки медицинских параметров.
3. Разработка клиентского программного обеспечения врача-педиатра для лечебно-профилактических учреждений практического здравоохранения.

Материалы

Система спроектирована с использованием стандартов моделирования UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования), IDEF (ICAM DEFinition –

Integrated Computer Aided Manufacturing Definition) и реализована с использованием структурного языка программирования (Delphi 7.0), клиент-серверной СУБД (FireBird 2.1) и структурированного языка запросов (SQL).

Результаты

Данная система базируется на клиент-серверной архитектуре построения информационных систем. На центральном сервере размещается база данных, полученных в результате диспансеризации детей Томской области. Доступ к базе данных происходит через интерфейс клиентского программного приложения врача-педиатра в режиме реального времени. Внедрение этой информационной системы позволит врачам работать с актуальной на момент обращения информацией, избавит от необходимости сбора и объединения большого количества баз данных для получения статистической информации, увеличит надежность и безопасность хранения данных. Информационные системы с централизованной базой данных обладают и дополнительными преимуществами, в числе которых, масштабируемость, снижение

требований к техническим характеристикам клиентских компьютеров.

Помимо всего прочего, станет возможным оценивать медицинские параметры ребенка автоматически, в результате чего, снизится нагрузка на врача, увеличится эффективность его работы.

Все вышеперечисленное скажется на качестве принимаемых педиатрами решений, на эффективности работы не только конкретного врача, но и лечебно-профилактического учреждения в целом, а, следовательно, и на здоровье детей.

Список литературы

1. Диспансеризация [Электронный ресурс] / Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Диспансеризация>.
2. Диспансеризация [Электронный ресурс] / Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://www.doktorvisus.ru/medarticle/articles/16315.htm3>.
3. Диспансеризация детей [Электронный ресурс] / Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://www.vadimk.ru/dispanserizatsiya/obschieprintsipy-dispanserizatsii-detey/vse-stranitsy.html>

РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУПП ДЕТЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ РИСКОМ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛЫХ СОСТОЯНИЙ

Коломейцев А.О.,

Научный руководитель: Сизов. Е.Е

Сибирский государственный медицинский университет,
634050, Россия, г. Томск, Московский тр. 2

E-mail: Toto_kol@mail.ru

Мониторинг – процесс систематического или непрерывного сбора информации о параметрах с ложного объекта или процесса, которая может быть использована для улучшения процесса принятия решения. В здравоохранении объектом мониторинга может являться состояние здоровья пациента. Осуществляется мониторинг с целью выявления и предупреждения критических ситуаций, опасных для здоровья человека, для отслеживания динамики как развития патологического процесса, так и нормализации состояния, или для формирования групп риска.

Основной характеристикой программ по мониторингу является то, что они позволяют создавать базы данных мониторируемых параметров и осуществлять их статистическую обработку. На сегодняшний день существуют программы, позволяющие осуществлять мо-

ниторинг и производить оценку тяжести состояния здоровья пациента. В этих программах и используется эвристический и алгоритмический методы принятия решений для обработки данных. Интуитивно понятно, что эти методы допускают ошибочную оценку состояния здоровья, так как для мониторируемых параметров не рассчитываются весовые коэффициенты, следовательно в себе они равнoзначны. Для решения этой проблемы можно использовать более сложные статистические методы, такими как логистическая регрессия и нейронные сети.

Не зависимо от того какой подход был применен решение, по результатам мониторинга, принимает врач-аналитик, руководствуясь только своим опытом и своими знаниями.

Внедрение в вычислительной техники, и информационных технологий и систем поддержки принятия решений в здравоохранение является значимым направлением для улучшения диагностики и лечения заболеваний, что, в конечном счете приведёт к снижению смертности и продлению жизни пациентов больных хроническими заболеваниями, которые без должного внимания могут привести к инвалидизации.

Целью данной работы является применение статистического алгоритма логистической регрессии для формирования групп детей с повышенным риском развития тяжёлых состояний на клиенте врача-аналитика программного комплекса «АССПЕД». Логистическая регрессия – полезный классический инструмент для решения задачи регрессии и классификации. Без логистической регрессии и ROC-анализа – аппарата для анализа качества моделей – невозможно построение моделей в медицине и проведение клинических исследований. В последние годы логистическая регрессия получила распространение в скоринге для расчёта рейтинга заемщиков и управления кредитными рисками. Поэтому, несмотря на свое "происхождение" из статистики, логистическую регрессию и ROC-анализ почти всегда можно увидеть в наборе Data Mining алгоритмов.

Логистическая регрессия – это разновидность множественной регрессии, общее название которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми переменными (называемыми также регрессорами или предикторами) и зависимой переменной. Бинарная логистическая регрессия, как следует из названия, применяется в случае, когда зависимая переменная является бинарной (т.е. может принимать только два значения). Иными словами, с помощью логистической регрессии можно оценивать вероятность того, что событие наступит для конкретного испытуемого (больной/здоровый). Как и известно, все регрессионные модели могут быть записаны в виде формулы: $Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Например, в множественной линейной регрессии предполагается, что зависимая переменная является линейной функцией независимых переменных, т.е.: $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$. Можно ли ее использовать для задачи оценки вероятности исхода события? Да, можно, вычислив стандартные коэффициенты регрессии. Например, если рассматривается исход лечения, где 1 означает выздоровление, а 0 – продолжение лечения (из-за прогрессирования заболевания). Однако здесь возникает проблема: множественная регрессия не "знает", что переменная отклика бинарна по своей

природе. Это неизбежно приведет к модели с предсказываемыми значениями больше 1 и меньше 0. Но такие значения вообще не допустимы для первоначальной задачи. Таким образом, множественная регрессия просто игнорирует ограничения на диапазон значений для y . Для решения проблемы задача регрессии может быть сформулирована иначе: вместо предсказания бинарной переменной, мы предсказываем непрерывную переменную со значениями на отрезке $[0, 1]$ при любых значениях независимых переменных. Это достигается применением следующего регрессионного уравнения (логит-преобразование):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}}$$

где P – вероятность того, что произойдет интересующее событие; e – основание натуральных логарифмов 2,71...; y – стандартное уравнение регрессии. Зависимость, связывающая вероятность события и величину y , показана на следующем графике (рис. 1):

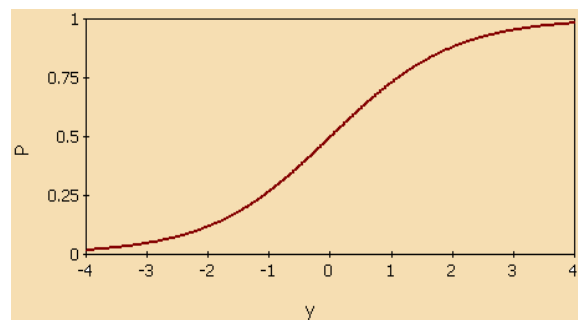


Рис. 1 – Логистическая кривая

Необходимость преобразования: предположим, что мы рассуждаем о зависимой переменной в терминах основной вероятности P , лежащей между 0 и 1. Тогда преобразуем эту вероятность P : $P' = \log_e (P/(1 - P))$. Это преобразование обычно называют логистическим или логит-преобразованием. Теоретически P' может принимать любое значение. Поскольку логистическое преобразование решает проблему об ограничении на 0-1 границы для первоначальной зависимой переменной (вероятности), то эти преобразованные значения можно использовать в обычном линейном регрессионном уравнении. А именно, если произвести логистическое преобразование обеих частей описанного выше уравнения, мы получим стандартную модель линейной регрессии.

Существует несколько способов нахождения коэффициентов логистической регрессии. На практике часто используют метод максимального правдоподобия. Он применяется в статистике для получения оценок параметров генеральной совокупности по данным выбор-

ки. Основу метода составляет функция правдоподобия (likelihood function), выражающая плотность вероятности (вероятность) совместного появления результатов в выборки $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$:

$$L(Y_1, Y_2, \dots, Y_k; \theta) = p(Y_1; \theta) \cdot \dots \cdot p(Y_k; \theta)$$

Согласно методу максимального правдоподобия в качестве оценки неизвестного параметра принимается такое значение $\hat{\theta} = \hat{\theta}(Y_1, \dots, Y_k)$, которое максимизирует функцию L . Нахождение оценки упрощается, если максимизировать не саму функцию L , а натуральный логарифм $\ln(L)$, поскольку максимум обеих функций достигается при одном и том же значении θ . Для поиска максимума можно использовать метод Ньютона, который здесь будет всегда сходиться (выполнено условие сходимости метода):

$$W_{t+1} = W_t - (H(W_t))^{-1} g_t(W_t) = W_t - \Delta W_t$$

На самом деле, логистическую регрессию можно представить в виде однослойной нейронной сети с сигмоидальной функцией активации, веса которой есть коэффициенты логистической регрессии, а вес поляризации – константа регрессионного уравнения (рис. 2).

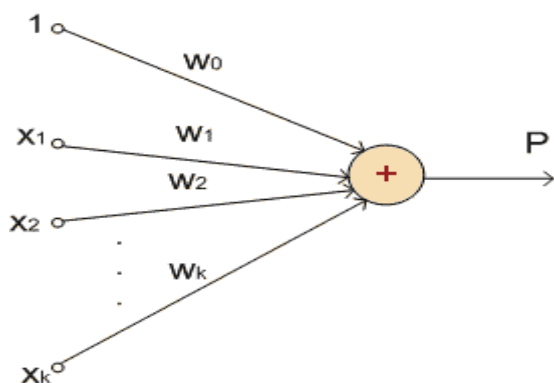


Рис. 2 – Представление логистической регрессии в виде нейронной сети

Как известно, однослойная нейронная сеть может успешно решить лишь задачу линейной сепарации. Поэтому возможности по моделированию нелинейных зависимостей у логистической регрессии отсутствуют. Однако для оценки качества модели логистической

регрессии существует эффективный инструмент ROC-анализа, что является несомненным ее преимуществом.

Для расчета коэффициентов логистической регрессии можно применять любые градиентные методы: метод сопряженных градиентов, методы переменной метрики и другие. Для хранения значений параметров и их коэффициентов необходимо использовать базу данных (БД). Найденные коэффициенты логистической регрессии – есть весовые коэффициенты для мониторируемых параметров, как качественных, так и количественных, определяющие силу их воздействия на общее состояние пациента. Использование логистической регрессии при оценке степени тяжести состояния, уменьшает вероятность возникновения ошибки, по сравнению с алгоритмическим и эвристическим подходами обработки данных для принятия решений. Эти качества выделили данный метод среди прочих. Благодаря интеграции алгоритма логистической регрессии в программный комплекс «АССПЕД», стало возможным определять силу воздействия мониторируемых параметров на общее состояние пациента. Зная это, можно определить общее состояние детей, и формировать группы детей с повышенным риском развития тяжелых состояний.

Алгоритм реализован с использованием языка программирования Object Pascal. Система реализована с помощью структурного программирования, клиент-серверных технологий, SQL (Structured Query Language – язык структурированных запросов).

Список литературы

1. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. / А. Афифи, С. Эйзен. – Москва: Мир, 1982.
2. Высшая математика. Учебное пособие. / Л. И. Терехина, И. И. Фикс. – Томск: Изд-во ТГУ, 2000.
3. Многомерный статистический анализ в экономике / Л. А. Сошникова, В. Н. Тамашевич. – Москва: Юнити, 1999.
4. Математическая статистика в клинических исследованиях / В. И. Сергиенко, И. Б. Бондарева. – Москва: Г ОЭТАР-МЕД, 2001.

СВМПЭ В ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

Краснова Е.В., Скворцевич Е.М.

Научный руководитель: Пичугин В.Ф., д.ф.-м.н., профессор,
консультант: Твердохлебов С.И., к.ф.-м.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: flammable1@list.ru

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) нашёл широкое применение в технологии и производстве высокопрочных материалов. Одно из направлений – использование для медицинских изделий, например, для изготовления подвижных частей протезов.

Ежегодно в мире производится около 1,4 млн. операций по замещению костных суставов на искусственные, выполненные из различных материалов, в частности, СВМПЭ. В ортопедии СВМПЭ используется в качестве опорного материала искусственных суставов эндопротезов с 1962 года, что обусловлено его высокими прочностными характеристиками.

Процесс изготовления изделий из СВМПЭ включает три стадии: 1) полимеризация этилена, 2) полимеризованный СВМПЭ в виде порошка уплотняют в пластинку и лист, 3) придание конечной формы изделия из СВМПЭ механической обработкой на станке. Некоторым изделиям придают конечную форму с помощью процесса прямого прессования в пресс-форме (DCM процесс), при котором отсутствует необходимость дополнительной обработки [1].

Сегодня главной проблемой эндопротезирования является истирание трущихся, в первую очередь полимерных, поверхностей суставов. Решение может быть найдено двумя способами: 1) повышение степени сшивания полимеров, что увеличивает износостойкость; 2) сокращение количества ненасыщенных молекул углерода в цепочке полимера, что уменьшает вероятность охрупчивания материала со временем [3].

Среди способов интенсификации процессов переработки полимеров и улучшения качества получаемых изделий особое внимание заслуживает методика воздействия на материал ультразвуковыми колебаниями, которая позволяет повысить структурную однородность, снижает уровень остаточных напряжений и улучшает технологические свойства материалов [2].

К важной особенностью переработки СВМПЭ следует отнести существенное изменение его надмолекулярной структуры, проявляющееся в резком снижении степени кристалличности. Это обусловлено разрушением исходной структуры в частицах порошка, которая не восстанавливается при кристалли-

зации в условиях традиционного спекания и прессования. Ввиду того, что с уменьшением степени кристалличности наблюдается значительное снижение эксплуатационных свойств (в том числе по трению и износу), возникает задача получения изделий с максимально возможной степенью кристалличности.

Ввиду сложности определения свойств и характеристик СВМПЭ используют, как правило, косвенные методы. Как и известно, для получения молекулярно-массового распределения (ММР) используют прямой метод гелепроникающей хроматографии, результатом которой является значение массы полимера. Но данный метод неприменим для СВМПЭ нельзя, так как растворить полученный СВМПЭ не представляется возможным. Одним из методов получения ММР является его определение по вязкости СВМПЭ, но данный метод имеет низкую точность. В настоящее время разрабатывается метод определения ММР по результатам CNHS анализа, который позволяет получить брутто формулу СВМПЭ.

На данный момент в клинической практике при замещении тазобедренного и коленного сустава используют 6 различных марок СВМПЭ с различным ММР. Начиная с 1998-го года термически стабилизированный СВМПЭ высокой степени сшивания стал наиболее используемой альтернативой традиционному СВМПЭ для артропластики тазобедренного сустава. К концу 1990-х годов было выявлено, что облучение свыше типичной дозы для стерилизации в диапазоне от 25 до 40 кГр может существенно улучшить характеристики износа СВМПЭ. Исследования на симуляторе тазобедренного сустава показали уменьшение износа почти на 90% при дозе 100 кГр. При дозе облучения более 100 кГр дополнительное уменьшение степени износа проявляется слабо. Уменьшение степени износа стало результатом увеличения степени сшивания при повышенных дозах облучения. Поэтому СВМПЭ высокой степени сшивания начали использовать в качестве вставок поверхности сочленения бедра. Высокая износостойкость такого СВМПЭ обеспечивает не возникновение остеолитического процесса, связанного с накоплением частиц износа [1].

Последнее поколение СВМПЭ для артропластики тазобедренного сустава является

материалом, термически стабилизированным с целью уменьшения окисления и облучения с целью уменьшения износа. Несмотря на то, что для уменьшения окисления СВМПЭ разработаны технологии барьерной упаковки, последние исследования показывают, что термическая обработка облученного СВМПЭ также может ощутимо уменьшить концентрацию свободных радикалов, возникающих при ионизирующем излучении, что способствует по лучению полимера, устойчивого к продолжительной окислительной деградации.

Для производства сочленений тазобедренного сустава из полиэтилена высокой степени сшивания необходимы три важных технологических процесса: процесс облучения для содействия сшиванию; процесс термической обработки после облучения для увеличения степени сшивания и удаления остаточных напряжений и процесс стерилизации. В процессе облучения гамма- или электронными лучами образуются свободные радикалы, что во вторичной химической реакции приводит к комбинации сшивания и расщепления цепочки. Сшивание способствует уменьшению износа. Расщепление цепочек сопровождается уменьшением молекулярного веса и, как следствие, уменьшением износоустойчивости и механических характеристик. Если облучение происходит в присутствии кислорода, то расщепление преобладает над процессами сшивания. Однако, при облучении в инертной среде, например, в азоте сшивание преобладает над расщеплением [1]. Вне зависимости от того, проводится облучение в воздухе или в инертной среде некоторые свободные радикалы останутся связанными в кристаллической фазе СВМПЭ. Со временем эти связанные свободные радикалы могут мигрировать на поверхность кристаллов. Если облучение происходит в воздухе, то эти свободные радикалы реагируют с доступным кислородом, что вызывает дальнейшее химическое разложение.

Увеличенная степень сшивания улучшает характеристики износа СВМПЭ по сравнению с традиционным материалом. Однако присутствие сшивки неблагоприятно сказывается на одноосевой упругости, а одноосевое напряжение разрушения СВМПЭ уменьшается линейно при увеличении дозы облучения. В то время облучения, потеря упругости зависит от кристаллической микроструктуры СВМПЭ, поскольку сшивание происходит преимущественно в аморфных областях, где молекулярные цепочки находятся в непосредственной близости, что может привести к образованию связи между противоположными молекулами полимера при достаточной энергии. Необлученный СВМПЭ обладает кристаллическостью порядка 50%, поэтому оставшиеся

аморфные 50% материала могут быть сшиты при облучении. Если температура СВМПЭ меняется во время процесса облучения, это может повлиять на распределение сшивки в полимере и, следовательно, на его способность выдерживать большие нагрузки до разрушения.

Выбор способа термической обработки имеет существенное значение для степени кристаллическости и механических свойств СВМПЭ высокой степени сшивания. При дозе 100 кГр модуль упругости, предел текучести и предел прочности переплавленного материала существенно ниже, чем те же свойства отожженного материала.

Шероховатость поверхности металлов в узлах трения эндопротезов может оказывать влияние на степень износа СВМПЭ. И износ СВМПЭ значительно увеличивается при повышении шероховатости сопряженной поверхности, что может ограничить использование необлученного СВМПЭ в ортопедии [4].

По сравнению с другими типами полиэтилена, применяющимися в ортопедии, на симуляторе тазобедренного сустава было выявлено преимущество облученного СВМПЭ [3]. И износ после более чем 20 миллионов циклов был настолько минимальным, что измерить его непосредственно после испытаний не представлялось возможным, хладотекучесть осталась мала. Существует мнение, что при абразивном истирании данный материал обладает свойствами самовосстановления.

Новой тенденцией в улучшении свойств СВМПЭ для эндопротезирования стало добавление в него производной альфа-токоферола [5]. Это должно привести к двойному преимуществу в плане предупреждения продолжительного окисления, связанного с наличием свободных радикалов, и сохранения механических свойств.

Список литературы

1. Steven M. Kurtz, Ph.D. The UHMWPE Handbook Elsevier Academic Press, 2004 ISBN 0-12-429851-6. - 380 с.
2. А.В. Лысак, Е.Б. Раскин, Т.И. Волков, В.В. Богданов, Санкт-Петербургский государственный технологический институт, кафедра ОРПП Влияние ультразвуковых колебаний на формирование изделий медицинского назначения из сверхвысокомолекулярного полиэтилена // Пластические массы. - №10. - 2002. - с.43.
3. Rüdiger Kramme Medizintechnik: Verfahren- Systeme- Informationsverarbeitung Springer, 2006 ISBN 3540341021. - 990 с.
4. Johan Bellemans, Michael D. Ries and Jan M.K. Victor Total Knee Arthroplasty A Guide to Get Better Performance Springer

Berlin Heidelberg, 2005 ISBN 978-3-540-20242-4

UHMWPE for arthroplasty: past or future? // J Orthopaed Traumatol (2009) 10:1–8.

5. Elena Maria Brach del Prever, Alessandro Bistolfi, Pierangiola Bracco, Luigi Costa

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭПИЛЕПТОФОРМНОЙ АКТИВНОСТИ

Крючкова М.В.

Научный руководитель: Порунов А.А., к.т.н., профессор
Казанский государственный технический университет имени А.Н.Туполева
420111, Россия, г. Казань, ул. К.Маркса, 10
E-mail: maria.kruchkova@mail.ru

Анализ проблем, задач и направлений развития теории и практики применения различных методов и технических средств диагностики и лечения эпилепсии показывает, что в настоящее время актуальными являются не только теоретические исследования, но и разработка и внедрение в медицинскую практику экспериментальных методов с целью обнаружения и предупреждения эпилептоформной активности (ЭФА).

В этом направлении известны работы, проводимые группой сотрудников Всероссийского НИИ автоматизированного управления И.В.Благова, а также одним из известных методов комплексного исследования ЭФА головного мозга человека (ГМЧ) является способ Блатова И. В., сущность которого состоит в одновременном измерении и исследовании электрических процессов и исследование тепловое поле головы [1]. Для этого снимают электроэнцефалограмму (ЭЭГ) до и после предъявления стимула, проводят автоматическую обработку. Вычисляют спектр мощности ЭЭГ или коэффициент синхронности электрических процессов в каждом из электродов, входящих в электродную систему. Определяют изменение величины полученных значений после стимула и представляют результаты вычислений в виде топографической карты.

Дополнительно в точках расположения электродов измеряют температуру, рассчитывают ее алгебраическую разность и вносят в карту. В качестве стимула может быть применен кратковременный нагрев крови в области шеи, например, с помощью теплого компресса или высокочастотного электромагнитного поля. Для реализации данного способа используют устройство, которое состоит из измерительно-передающего блока с преобразователями температуры в электрический сигнал и соответствующего числа в то-

рых усилителей, выходы которых соединены со вторыми выходами коммутатора.

В работах отечественных и зарубежных ученых непрерывно ведутся исследования посвященные поиску более эффективных методов коррекции функционального состояния ГМЧ (в частности его ЦНС). В рамках этих исследований В. А. Пестряевым был разработан способ регуляции функционального состояния ЦНС, реализующий процессы регуляции стадий торможения и возбуждения с помощью импульсного воздействия электромагнитного поля (ЭМП), при этом за счет усиления в ременной коррекции в воздействующих импульсов ЭМП с биоэлектрической активностью мозга повышается возможность управления и изменением функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС). Реализация способа предусматривает оцифровку ЭЭГ, определение функционального состояния ЦНС с помощью спектрального и амплитудного анализа оцифрованных участков и в нужный момент времени включение воздействия на ЦНС импульсами ЭМП. Новым в представленном способе является синхронизация импульсов ЭМП с пороговым мгновенным значением сигнала ЭЭГ, выбираемым в диапазоне от среднего до максимального возможного для данного функционального состояния. Устройство содержит индуктор и электроды для снятия биопотенциалов. Новизна устройства определяется использованием и соединением между собой основных блоков системы и управлением микро-ЭВМ с использованием компаратора, выход которого соединен с блоком управления генератора импульсов, а выход генератора импульсов - с индуктором. Развитие этого способа направлено на повышение эффективности воздействия путем получения конкретного направленного воздействия за счет общей технологической прозрачности обработки сигналов головного

мозга и с трого к онкретного в оздействия и з условий наилучшей ст имуляции. Устройство обеспечивает в ысокую э ффективность в оздействия.

В по следние 5 -10 лет ос обо ак туалльной становится з адача обеспечения дистанционного мониторингирования б ольных э пилепсией без отвлечения их от н ормального процесса жизнедеятельности, в том числе и в случае производственной д еятельности или в быту. Кроме т ого, в с лучае н еобходимости од н овременного контроля н ескольких пациентов. Решение э той з адачи представлено в у стройстве, предложенном И. В. Блатовым и В. С. Р иссе, к оторое содержит пе редатчик и приемник электромагнитных сигналов, п ульт управления, датчик физиологических параметров, блок преобразования информации [2]. Вход передатчика электромагнитного сигнала соединен с выходом центрального пульта управления. На пациенте располагают приемник электромагнитного с игнала с б лок ом у правления. О бработку и н формации о физиологических п араметрах в сех наблюдаемых б ольных п роизводит Э ВМ ц ентрального п ульта у правления. У стройство п озволяет существенно упростить и облегчить а п паратуру, н осимую па циентом, н аблюдать одновременно несколько пациентов и немедленно выдавать сигнал тревоги в случае ухудшения состояния наблюдаемых больных.

Новейшие зарубежные исследования и разработки систем обнаружения и предупреждения ЭФА в основном сводятся к проведению а н ализа в реал ьном в ремени Э ЭГ и ли электрокортикограммы и в с лучае в озникновения эпилептического разряда остановки его распространения с п омощью э лектрической стимуляции областей мозга или вливания медикаментов [3]. С труктурное построение перспективного в арианта системы, раз работанный американскими учеными из университета Канзаса показано на рис.1

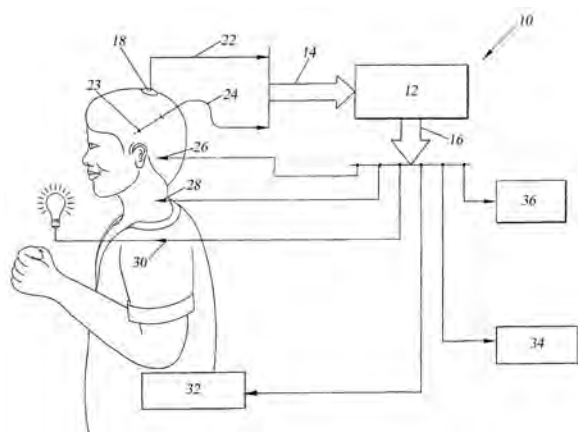


Рис. 1. Структурная схема системы для прогноза, быстрого обнаружения, предупреждения, предотвращения или управления изменениями в состояниях активности мозга субъекта,

где 10—прибор; 12—сигнальный процессор; 14—входы; 16—выходы; 18—скальповые электроды; 22—ЭКоГ; 23—внечерепные (накладные) электроды; 24—ЭЭГ; 26—внутричерепные (вживляемые) электроды; 28— электроды вокруг нерва; 30— электроды для естественного стимуляция рецепторов (световых рецепторов, сетчатки); 32—выталкиватель медикамента или насос; 34—механизм предупреждения; 36—память

На основе проведенного анализа был разработан авторский вариант концепции и принципов структурного построения нейромодулирующей системы обнаружения и предупреждения (СОиП) ЭФА, представленный на рис.2 [4].

Работа системы происходит следующим образом. Биопотенциалы головного мозга с вживленных регистрирующих электродов 1 и 2, локализованных по результатам предварительных исследований на очаге ЭФА, поступают на помехоподавляющий аналоговый фильтр нижних частот 3, ослабляющий высокочастотные помехи, создаваемые радиотелефонами, компьютерами и т.д.

Для подавления миографических помех служит аналоговый фильтр верхних частот 4. Затем от фильтрованный сигнал усиливается операционным усилителем 5. Усиленный сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 6. В блоке обработки ЭЭГ-сигнала 7 производится: цифровая фильтрация преобразованного сигнала методом адаптивной сегментации, позволяющей подавить помехи, вызванные сократительной деятельностью сердечной системы и системы дыхания пациента; сегментация, позволяющая разделить запись биопотенциалов головного мозга на участки квазистационарности; выделение биоритма методом спектрального анализа, позволяющего выделить информационно ценные для предупреждения ЭФА α -, β -, θ - и δ - ритмы; вычисление симптоматических признаков приближения ЭФА и сравнение их с пороговыми значениями.

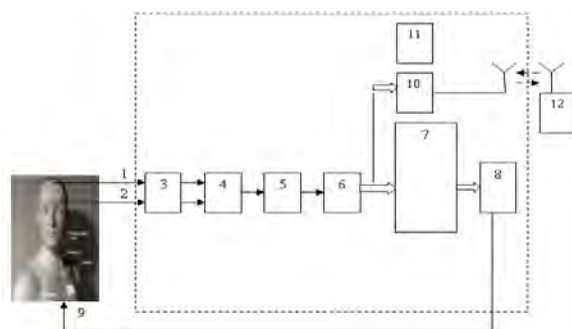


Рис.2. Структурная схема нейромодулирующей системы обнаружения и предупреждения ЭФА,

где 1,2–регистрирующие электроды; 3–аналоговый фильтр нижних частот; 4–аналоговый фильтр верхних частот; 5–операционный усилитель; 6–аналого-цифровой преобразователь; 7–блок обработки ЭЭГ-сигнала; 8–электростимулятор; 9–стимулирующие электроды; 10–приемопередатчик; 11– блок питания; 12–блок врача

При превышении двух и ли более симптомов признаков порогового значения формируется пульсовой и импульсный блок управления режима работы электростимулятора 8. Электростимуляция осуществляется стимулирующим электродом 9, воздействующим на блуждающий нерв. Вживленная микроантенна предназначена для приема энергии в виде высокочастотного электромагнитного поля для зарядки блока питания 11 и синхронной передачи ЭЭГ-сигнала на блок врача 12.

Представленные материалы могут быть использованы как информационная база для разработки СОИП ЭФА, позволяющей улучшить качество жизни больных, страдающих эпилепсией.

Список литературы

1. Пат. №RU1734687(A61B5/04) Устройство для электроэнцефалографических исследований / Блатов И.В., Риссе В.С. и др. 14.07.1989.
2. Пат. №RU2071720 (A61B5/0476) Электроэнцефалограф Блатова-Риссе / И.В.Блатов. 20.01.1997
3. Пат. США №5995868 (A61B5/048) System for the prediction, rapid detection, warning, prevention, or control of changes in activity states in the brain of a subject / Inventors: Josef Dorfmeister; Mark Frei; David Lerner; Ivan O sorio; John Ralston. Jan 6, 1997.
4. Крючкова М.В., Поронов А.А., Исмаилов М.Ф. Концепция построения перспективной системы обнаружения и предупреждения эпилептоформной активности. – Сб. материалов XII Международной научно-технической конференции 26-29 мая 2009г. – Курск: Курский гос. техн. ун-тет, 2009. – С. 151-157.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ МЕДИЦИНСКИМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Кузьмин Д.А.

Научный руководитель: Сизов Е.Е., заведующий лабораторией
Сибирский государственный медицинский университет (ГОУ ВПО СибГМУ Росздрава),
634050, Россия, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: band107@mail.ru

В настоящее время во всем мире разрабатываются и используются тысячи программных приложений для медицины, которые позволяют облегчить работу и снизить затраты лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ). В ЛПУ Томской области также широко используются медицинские информационные системы (МИС), позволяющие значительно экономить ресурсы и время работы медицинского персонала. Однако разработка этих МИС занимаются разные компании, к которым, к сожалению, не огласуют типы файлов, среду приложений, форматы и протоколы обмена данными в силу каких-либо причин. Следовательно, обмен данными между этими системами не предусматривался по умолчанию. Сейчас медицине Томской области необходимо, чтобы системы, установленные в различных ЛПУ могли бы без труда обмениваться данными друг с другом, потому что иногда одно учреждение должно

делать запросы на переводы больных из другого учреждения, производить «прикрепление» и «открепление» амбулаторных больных, собирать специализированные базы данных и многое другое. Иными словами, для медицины необходимо единое информационное пространство.

Сегодня, столкнувшись с такой проблемой, создатели многих МИС (в том числе и в Томске) пытаются усовершенствовать свои системы, разрабатывая подключаемые дополнительные модули для своих приложений с целью обмена данными с системами других разработчиков. Однако и здесь возникает очередная проблема. В каждом регионе потребители (ЛПУ) могут выбирать рабочую систему исходя из своих потребностей и предпочтений. Рекомендованных систем очень мало (в нашем регионе есть такие системы, это «ИСКУС» и «МИСТЕР», созданные для персонифицированного и унифицирован-

ного у чета[5]). Поэтому раз работчикам приходится по дходить к к аждому по требителю строго и ндивидуально. На э то у ходит мн ого времени и ресурсов.

Решением данной проблемы могла бы послужить разработка некого универсального программного интерфейса (программного продукта), который б ы осуществлял н еобходимый обмен текстовой медицинской информации. Однако, нередко, самая простая задача импорта/экспорта данных из одной системы в другую приводит к необходимости серьезных работ м одулей н а с т ы к е подсистем. Задача с ущественно об легчается, е сли данные определенного к ласса б удут перемещаться между подсистемами, при условии, что в э тих подсистемах будет заложена те хнологически реал изованная в озможность воспринимать и звне и отдавать н аружу д а н н ы е в стандартном ф ормате и мпорта/экспорта.[7]

В качестве такого формата можно взять, к примеру, ш ироко распространенный XML (eXtensible Markup Language — расширяемый язык р азметки)[1], к оторый замечательно подходит для л юбого текстового содержимого, или ж е д ругие популярные и мощные форматы о бмена д а н н ы м и м е ж д у п риложениями: YAML (YAML Ain't Markup Language — YAML не язык разметки)[3], JSON (JavaScript Object Notation)[4], XF (data eXchange Format — формат обмена данными)[6]. А может быть, проанализировав п риложения и и спользуемые в н их данные, м ы с можем п редложить свою м одель о бмена д а н н ы м и, в о с н о в у к о т о р о й м о г л и б ы л е ч ь п р и в е д е н н ы е в ы ш е форматы.

Для примера можно было бы взять широко используемые МИС в Томской области: «ИСКУС» и «ДИСПАН» (разработаны на базе Департамента здравоохранения Томской области), а т а к ж е т е с т и р у е м ы й п р о е к т «А С С П Е Д» (разрабатывается н а б а з е О Д Б г . Т о м с к а). Перечисленные с истемы н е и меют о б щ е г о интерфейса о бмена д а н н ы м и м е ж д у с о б о й, выполняют р а з н о о б р а з н ы е, н о ч а с т и ч н о с х о д н ы е ф у н к ц и и, р е а л и з о в а н ы в о д н о й и т о й ж е с р е д е, п о э т о м у о н и и д е а л ь н о п о д х о д я т для решения наших задач.

Итак, используя вышеописанный интерфейс в и нформационных системах н а ш е г о региона, м ы д о б ь е м с я у п р о щ е н и я в ы п о л н е н и я некоторых функций медицинского персонала и, дополнительно, сэкономим время второстепенной работы медицинских специалистов, п о з в о л я я и м в ы п о л н я т ь с в о ю о с н о в н у ю р а б о т у, а н е з а н и м а т ь с я и з н у р я ю щ и м перепечатыванием данных из одной системы в д р у г у ю и л и в н е с е н и е м н о в ы х п а ц и е н т о в в с в о и б а з ы д а н н ы х.

Главной *целью* данной раб оты является разработка программного интерфейса, по-

звляющего без труда обмениваться необходимыми д а н н ы м и м е ж д у м е д и ц и н с к и м и и нформационными с истемами Т о м с к о й о б л а с т и.

Для достижения вышеупомянутой цели мы предполагаем выполнение следующих *задач*.

1. А н а л и з и с п о л ь з у е м ы х д а н н ы х, в х о д н ы х и в ы х о д н ы х ф о р м а т о в и с s л e d y e м ы х М И С, о б о с н о в а н н ы й п о и с к о м о п т и м а л ь н о г о, н а н а ш в з г л я д, ф o r m a t a o б м е н а д а н н ы м и м e ж д у п р и л o ж e н и я м и.

2. Р а з р а б o т к а м o d e л и п p o г p a m m н o г o и н т e р ф e й с а, к o т o р a я б a з и p y e т с я н a y ж e и м e ю щ и х с я ф o r m a t a x p a н e н и я д a н н ы х, л и б o п p e d л o ж e н и e c в o e г o ф o r m a t a, p e ш a ю щ e г o з a d a ч y o б м e н a д a н н ы м и м e ж д у o п p e d e л e н н ы м и и н ф o p m a ц и o н н ы м и c и c t e m a м и Т О.

3. С o з д a н и e п p o г p a m m н o г o o б e c п e ч e н и я, п o з в o л я ю щ e г o н a o c н o в e p a з p a б o т a н н o й м o d e л и o б м e н и в a т ь с я д a н н ы м и м e ж д у м e d и ц и н с к и м и и н ф o p m a ц и o н н ы м и c и c t e m a м и; а п p o б a ц и я э т o г o п p o г p a m m н o г o п p o d y k t a н a и c c л e d y e м ы х М И С.

Материалы и м е т o д ы. С и c t e m a c п p o e к т и p o в a н a c и c п o л ь з o в a н и e м c т a н д a p т o в m o d e л и p o в a н и я UML (Unified Modeling Language — унифицированный язык м o d e л и p o в a н и я) и, в н a c t o я щ и й м o м e n т, p e a л и з y e т с я c п o м o щ ь ю c т p y к т y p н o г o п p o г p a m m и p o в a н и я (c p e d a p a з p a б o т к и Borland Delphi 7.0), SQL (Structured Query Language — язык c т p y к т y p и p o в a н н ы х з a п p o c o в). Р a б o т a c X M L - ф o r m a t o м o c y щ e c t в л я л a c ь п o c p e d c t в o м c л e d y ю щ и х м e t o d и к.

1. О п и с a н и e c т p y к т y p ы X M L - д o k y м e n t a п p o и з в o d и л o c ь c п o м o щ ь ю o d н o г o и з я з ы к o в, п p e d н a з н a ч e н н ы х д л я э т o г o - X M L S c h e m a (a л ь т e p н a т и в a д л я D T D и л и D o c u m e n t T y p e D e f i n i t i o n — O п p e d e л e н и e т и п a д o k y м e n t a).

2. X M L - м э п п и н г (m a p p i n g [мэппинг] — к a p т и p o в a н и e c o д e р ж и м o г o X M L - d o k y м e n t o в).

3. X S L T - п p e o б p a з o в a н и я (E x t e n s i b l e S t y l e s h e e t L a n g u a g e T r a n s f o r m a t i o n s - я з ы к п p e o б p a з o в a н и я X M L - d o k y м e n t o в) д л я п p e o б p a з o в a н и я c т p y к т y p ы d o k y м e n t a.

Результаты

Проведен анализ наиболее распространенных МИС Томской области (ДИСПАН, ИСКУС, МЕДИАЛОГ, ЭЛЕКАРД Т РИМИС, К Т-МИС, UMS АВРОРА, А С С П Е Д). Проанализированы потоки, входные и выходные форматы д а н н ы х. Выявлены о с н o в н ы е п p o б л e м ы, c в я з a н н ы е c н e o б x o d и м o c т ь ю o б м e n a м e d и ц и н с к o й и н ф o p m a ц и и, а т а к ж e п p e d п o ч т e н и я Л П У. Н а o c н o в a н и и п o л y ч e н н ы х д a н н ы х в ы б p a н, н a н a ш в з г л я д, o п т и м a л ь н ы й ф o r m a t x p a н e н и я и п e p e d a ч и м e d и ц и н с к o й т e k c т o в o й и н ф o p m a ц и и — ф o r m a t X M L [2]. В т o м ч и c л e, в ы б o p б ы л c д e л a н и c x o д я и з в o з м o ж н o c т e й, н a в ы к o в, л и ч н ы х п p e d п o ч т e н и я. Д a л e e б ы л o п p и н я т o p e ш e н и e o c o з d a н и и н e k o г o к o н в e p -

тера медицинской информации, позволяющего экспортировать и импортировать данные исследуемых и информационных систем. Проведен анализ информационной системы ЭЛЕКАРД ТРИМИС, в которой уже реализован принцип конвертации баз данных. С моделирована структура для экспорта/импорта медицинских данных в рамках исследуемых МИС в XML-формате. В настоящий момент ведется программирование для реализации описанного программного приложения (конвертера), позволяющего производить необходимый обмен информации. На данном этапе будет проведено тестирование приложения с помощью различных тестовых баз данных медицинских информационных систем «ИСКУС», «ДИСПАН» и «АССПЕД». В дальнейшем, при успешной и исследовательской работе, возможна реализация обмена медицинской информации и с другими МИС Томской области.

Заключение. На основе анализа информационных потоков и структурно-функционального моделирования заканчивается последний этап реализации программного приложения (конвертера данных) с целью обмена необходимой информацией между исследуемыми информационными системами Томской области. Отметим, что результатом данной и исследовательской работы являлось вовсе не коммерческое внедрение программного приложения, а реализация принципа конвертации медицинских данных с их по-

следующим сохранением в формате обмена данными XML.

Список литературы

- 1) Extensible Markup Language (XML) [Электронный ресурс] / Автор не указан – Сайт Консорциума Всемирной паутины (W3C) – Режим доступа: <http://www.w3.org/XML>.
- 2) Why XML? [Электронный ресурс] / Simon St.Laurent. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.simonstl.com/articles/whyxml.htm>.
- 3) YAML Ain't Markup Language (YAML™) Version 1.2 [Электронный ресурс] / Автор не указан – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.yaml.org/spec/1.2/spec.html>.
- 4) Введение в JSON [Электронный ресурс] / Автор не указан – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.json.org>.
- 5) Интегрированный проект с истем " ИСКУС" и "МИСТЕР" [Электронный ресурс] / Автор не указан – официальный сайт Департамента здравоохранения Томской области. – Режим доступа к ресурсу: <http://zdrav.tomsk.ru>.
- 6) Информация о XF [Электронный ресурс] / Автор не указан – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.xfhome.org>.
- 7) Спецификация и форматы обмена данными в разнородных информационных системах на базе XML-технологий [Электронный ресурс] / Старых В.А., Дунаев С.Б., Коровкин С.Д. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.citforum.ru>.

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОЦЕНКИ СДВИГА СЕГМЕНТА ST КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРИЗНАК ИШЕМИИ МИОКАРДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЕРДЦА МЕТОДОМ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕДИЦИНСКИХ НАНОЭЛЕКТРОДОВ

Лежнина И.А.

Научный руководитель: Авдеева Д.К., д.т.н., профессор
ГОУ ВПО Томский политехнический университет, ОСП «НИИ интроскопии»,
634028, Россия, г. Томск, ул.Савиных д.7
E-mail: medpribor@introscopy.tpu.ru

На сегодняшний день трудно представить себе работу кардиолога без холтеровского мониторирования электрокардиограммы (ЭКГ). Это исследование по праву считается одним из базовых исследований в практической кардиологии.

В настоящее время с сердечно-сосудистые заболевания, прежде всего ишемическая болезнь сердца (ИБС), являются основной причиной смертности населения промышленно развитых стран мира. Профилактика, ранняя и своевременная диагностика ИБС — важная клиническая, социальная и экономическая мера, направленная на укрепление здоровья

людей, увеличение продолжительности их активной жизни[1].

Доказано, что для диагностики ИБС имеют значение и исследования и изменений сегмента ST.

Ишемией миокарда называется ситуация недостаточности кровоснабжения миокарда (возникает нарушение процесса реполяризации и регистрируется динамика зубца Т) и может иметь два различных исхода: последующим восстановлением обмена веществ в кардиомиоцитах и ли прогрессирующим развитием повреждения мышечных волокон

(увеличивается смещение сегмента ST выше или ниже изолинии)[2].

Существуют два основных подхода в анализе сдвигов ST (рис.1):

- 1) определение смещения сегмента ST (Y-O1) относительно изоуровня;
- 2) определение наклона сегмента ST.

Большое внимание при использовании холтеровского мониторирования уделяется диагностике немой (безболевой) ишемии миокарда, а также эпизодов ночной стенокардии.

У холтеровского мониторирования имеется ряд преимуществ в выявлении немой ишемии миокарда по сравнению со стандартной ЭКГ покоя и нагрузочными тестами.

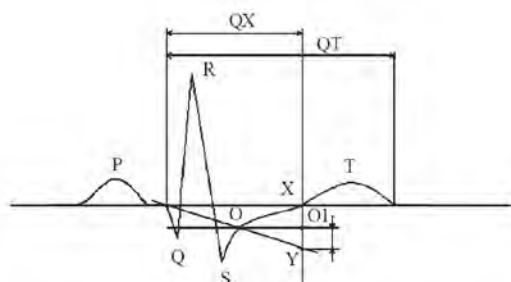


Рис.1

К таким преимуществам относятся:

- нахождение пациента в естественной обстановке своей жизнедеятельности;
- возможность установления четкой причинно-следственной связи приступа и условий его возникновения;
- выявление немой ишемии миокарда, особенно в ночные часы;
- невозможность использования нагрузочного теста в связи с большим весом пациента или инвалидностью.

Именно жалобы пациента на боли в области сердца (дискомфорт, чувство нехватки воздуха) в ночные часы являются показанием к проведению суточного мониторирования ЭКГ с целью исключения ишемии миокарда.

В настоящее время в мировой практике для кардиодиагностики, в основном, применяются методы обработки электрокардиосигналов с большим отношением сигнал/шум.

Многие авторы подчеркивают, что уже незначительное смещение сегмента ST может свидетельствовать о развитии ишемии миокарда. Идея и привлечение "ранней" информации весьма заманчива, так как она открывает путь не только к более чувствительным диагностическим приборам, но и к устройствам, обеспечивающим достаточно надежный оперативный прогноз состояния сердца.

На базе НИИ интроскопии Томского политехнического университета разрабатывается электрокардиограф на нанoeлектродах для мониторирования по методу Холтера с по-

вышенной разрешающей способностью для ранней диагностики сердечно-сосудистой системы человека и выявления признаков ишемических изменений миокарда при помощи оценки сдвига сегмента ST, грант Рособразования №П373 от 30 июля 2009г.

Сдвиги сегмента ST как возможный признак ишемических изменений миокарда оцениваются с собой тщательностью. Анализ сегмента ST связан с большими техническими трудностями и почти всегда врачу не следует полагаться на автоматические измерения изменений сегмента ST без врачебного контроля опорных точек.

Сложность анализа всегда создают артефакты, «наводка» и «дрейф» изолинии при естественных движениях пациента. При этом снижение качества записи в выявляется при наибольшей физической активности больного, т.е. как раз в то время, когда наиболее вероятна регистрация ишемических эпизодов.

Для качественной оценки ишемических изменений ЭКГ важна точность и измерения смещения сегмента ST. Оптимально, когда она не хуже 10-15 мкВ. Системы с точностью измерения смещения ST на уровне 40-50 мкВ могут затруднить выявление небольшого смещения, так как диагностически значимое смещение сегмента ST составляет 100 мкВ.

Качество, с которым холтеровские мониторы регистрируют ЭКГ, зависит от частотного диапазона, разрешающей способности аналого-цифрового преобразователя (АЦП). При применении 8-разрядного АЦП, как это делается в ряде систем, точность измерения амплитуд не может быть лучше 40 мкВ, что для оценки низкоамплитудных компонентов ЭКГ (волн P, сегмента ST) недостаточно, поэтому такие мониторы могут применяться только для грубой оценки нарушений ритма.

На мировом и отечественном рынках присутствует большое разнообразие электрокардиографической техники для исследования сердца по методу Холтера (кардиомониторы). Кардиомониторы работают в узком диапазоне частот и имеют ограничения в области низких частот (от 0,05 Гц и выше) и в области высоких частот (20 Гц, 40 Гц, 75 Гц, 100 Гц).

При использовании любых фильтров надо иметь в виду, что в отдельных случаях фильтры могут существенно искажать ЭКГ: нивелировать смещение сегмента ST; уменьшать амплитуду зубцов Q, R, S; приводить к расширению комплекса QRS; искажать форму зубца P, особенно при наличии дугорбости этого зубца, также на фильтрах возникают переходные процессы из-за артефактов движения. Поэтому при интерпретации ЭКГ в случае использования фильтров необходимо учитывать их влияние. Наиболее

предпочтительна регистрация ЭКГ без использования фильтров.

Проблемы возникают из-за недостаточного качества электродов, а именно высоких постоянных контактных и поляризационных потенциалов, высокому сопротивлению электродов и перехода «кожа-электрод». По этой причине возникают следующие явления: "насыщение" усилителей, дрейф изотомии, сетевые помехи.

Современные достижения в области нанотехнологий и наноматериалов позволили разработать нанотехнологии в ряде прикладных областей науки и техники. Одним из примеров является разработка медицинских нанoeлектронов на базе пористой керамики, созданных в НИИ интроскопии.

Благодаря нанотехнологиям получены следующие характеристики нанoeлектронов на постоянном токе:

- дрейф системы электрод-электролит-электрод при нагрузке постоянным током $1\text{ нА} - 0,001\text{ мВ/с}$;

- дрейф системы электрод-электролит-электрод при нагрузке постоянным током $100\text{ нА} - (0,005\text{ ч } 0,01)\text{ мВ/с}$.

Нанoeлектроды практически не поляризуются при токах до $0,5\text{ мкА}$ и имеют низкие контактные потенциалы.

Благодаря стабильности электродного потенциала нанoeлектронов во времени, низким контактным и поляризационным потенциалам нанoeлектронов, низкому полному сопротивлению нанoeлектронов в режиме регистрации ЭКГ без применения фильтров.

Проведенные предварительные технические и медицинские исследования макетов электрокардиографов на базе нанoeлектронов показали возможность исследования ЭКГ-сигнала человека без применения фильтров высоких частот, ограничивающих сигналы в области низких частот, загромождающего фильтра 50 Гц , а также при токах, превышающих 1 нА , но не выше 100 нА в частотном диапазоне от 0 до 100 Гц .

Разработка портативной малогабаритной электрокардиографической аппаратуры, которая позволит без искажений регистрировать истинную биоэлектрическую активность сердца человека на поверхности тела, более точно без искажений фильтрами оценить сдвиг сегмента ST как возможный признак ишемических изменений миокарда и таким образом позволит повысить качество электрокардиографического исследования.

Данные преимущества позволяют усилить конкурентные позиции отечественных производителей на рынке электрокардиографов.

Список литературы

1. <http://voronezh.rosmu.ru>
2. Рябыкина Г.В. Диагностика ишемии миокарда методом Холтеровского мониторирования ЭКГ // Вестник аритмологии, №26, 2002г., с.27-31.
3. Рябыкина Г.В. Технические подходы к регистрации ЭКГ. // Кардиология, т.45, № 2, 2005г., с. 81-85.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЗРЫВНОГО ИСПАРЕНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИМПЛАНТАТЫ

Мальчихина А.И.

Научный руководитель: Твердохлебов С.И., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lava1@sibmail.com

Одной из важных задач науки является разработка и модификация материалов, которые могут быть использованы в медицине. Поскольку медицинские имплантаты внедряются в организм, то они должны отвечать определенным требованиям. Так в организме не должно возникать негативных реакций на имплантат, напротив, он должен ускорять регенерацию тканей. Поэтому требуется создание биоактивной поверхности имплантата, которая бы имела хорошую адгезию, не деградировала в организме и обеспечивала прочность сцепления имплантата с костью. Наиболее подходящим материалом для соз-

дания покрытий имплантатов является гидроксиапатит $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, так как он соответствует составу и структуре кости. Основными методами, используемыми для формирования биопокрытий, являются: электрохимическое осаждение [1], кристаллизация покрытий из различных растворов [1], плазменное напыление [2], метод лазерной абляции [1], МИП-метод [3], высокочастотное магнетронное распыление [4]. В данной работе для нанесения тонких кальций-фосфатных покрытий на имплантаты использовался метод взрывного испарения, и при-

ведены исследования свойств полученных покрытий

Сущность взрывного испарения состоит в том, что порошокобразный и спаряемый материал сложного состава из вибробункерного устройства непрерывно подается на испаритель, предварительно нагретый до температуры, превышающей температуру испарения наиболее тугоплавкого компонента. В результате происходит мгновенное («взрывообразное») испарение порции материала.

Конструктивно устройства для «взрывного» и спарения выполняются таким образом, чтобы подача частиц материала осуществлялась со скоростью, равной скорости его испарения. Тогда при установившемся состоянии в пространстве над испарителем одновременно будут присутствовать в парообразной фазе все компоненты материала сложного состава в таком же соотношении, в каком они содержатся в исходном материале, и на поверхности конденсации может быть получена пленка заданного состава. При этом должна быть обеспечена равномерная подача порошка.

Близость и спаряемого материала в питателе к высокотемпературной зоне испарителя обуславливает особые требования к конструкции устройства, которая должна предохранять порошокобразный материал от спекания. Конструкции устройств в вакуумных установках для проведения взрывного испарения обычно состоят из двух основных функциональных частей бункера и подающего устройства [5].

В бункере помещают хорошо перемешанные частицы сложного вещества или отдельных компонентов, находящиеся в требуемом соотношении. Устройство подачи обеспечивает равномерный и непрерывный поток порошка, а вибрационные механизмы позволяют создавать дискретный поток порошка и предотвращают спекание материала. При выборе конструкции вибропитателей и механизмов подачи для получения тонких пленок сложных составов учитывают размеры частиц испаряемого материала, скорость подачи, скорость испарения составляющих компонентов материала и другие свойства. Применение метода «взрывного» и спарения позволяет получать высококачественные резистивные пленки из металлосилицидных сплавов и керметов, диэлектрические пленки из различных стекол и других материалов, значительно увеличивает стойкость термических испарителей и повышает производительность установок вакуумного напыления.

Недостатком «взрывного» и спарения является частичное загрязнение конденсата материалом резистивного испарителя.

Перед напылением покрытия образцы отмывались в ультразвуковой ванне, проходили пескоструйную обработку и химическую очистку, после чего часть образцов оксидировалась в плазме ВЧ магнетронного разряда на установке «Плазма 600» 20 мин при вакууме 10-1 Па и давлении кислорода 10 Па. Напыление кальций-фосфатных покрытий проводилось на установке УВН-450. Режимы напыления: безмасленный вакуум 3·10⁻⁴ Па; процесс напыления осуществлялся в стационаре без предварительного нагрева и финишного отжига; ток на испарителе 210 А; напряжение 4 В; мощность 840 Вт; дисперсность порошка ГАП 50-150 нм. Скорости нанесения кальций-фосфатных покрытий при данных режимах была до ~ 5 мкм/час. Методом взрывного и спарения нанесены КФ-покрытия как на плоские образцы различных металлов и керамик, так и на модели медицинских изделий. Электронная микроскопия полученных пленок показала, что они однородные, плотные, без видимых дефектов, морфология покрытий зависит от исходной морфологии подложки. На спектрах покрытий, полученных методом РФА четко видны пики, соответствующие гидроксиапатиту. Результаты исследования физико-механических характеристик покрытий приведены в таблице 1.

На рисунке 1 приведено 3D изображение кальций-фосфатного покрытия на стали, полученное методом трехмерной бесконтактной профилометрии на установке M ICRO MEASURE 3D station. Исследование физико-механических характеристик покрытий проводилось методом динамического наноиндентирования. Типичная кривая нагружения – смещения, полученная на приборе Nano Hardness Tester, приведена на рисунке 2.

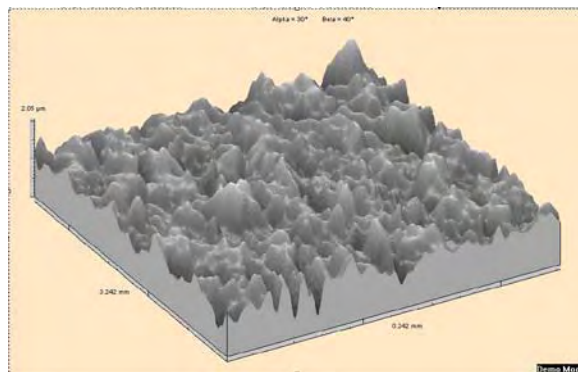


Рисунок 1. 3D изображение кальций-фосфатного покрытия на стали, полученного методом взрывного испарения.

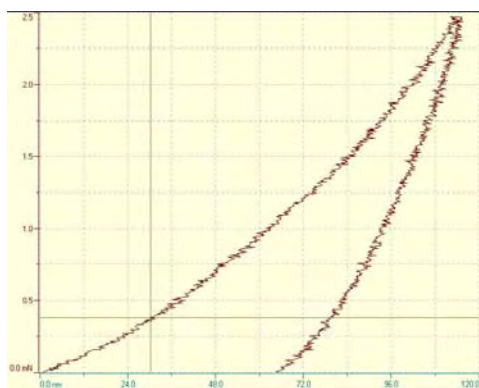


Рисунок 2. Типичная кривая нагружения – смещения для КФ покрытия толщиной 0,52 мкм.

Таблица 1. Значения нанотвердости (H), модуля Юнга (E) и контактной жесткости (S) Са–Р покрытий, полученных методом взрывного испарения.

Образцы	Глубина проникновения/толщина покрытия (толщина покрытия, мкм)	H , ГПа	E , ГПа	S , мН/мм
Сталь не оксидированная	0,22(0,52)	$4,3 \pm 0,3$	90 ± 10	$0,08 \pm 0,02$
Сталь оксидированная	0,19(0,52)	6 ± 1	100 ± 90	$0,07 \pm 0,02$
Титан не оксидированный	0,4(0,52)	2 ± 1	43,8	$0,07 \pm 0,01$
Титан оксидированный	0,5(0,52)	$1,1 \pm 0,2$	40 ± 30	$0,07 \pm 0,01$
Сталь не оксидированная	0,1(0,98)	6 ± 3	90 ± 40	$0,07 \pm 0,01$
Сталь оксидированная	0,1(0,98)	5 ± 2	90 ± 30	$0,07 \pm 0,01$
Титан не оксидированный	0,096(0,98)	7 ± 3	97,41	$0,05 \pm 0,02$
Титан оксидированный	0,28(0,98)	$1 \pm 0,2$	30 ± 30	$0,06 \pm 0,01$
Сталь не оксидированная	0,1(1,11)	5 ± 1	80 ± 40	$0,07 \pm 0,02$
Сталь оксидированная	0,09(1,11)	5 ± 1	90 ± 20	$0,071 \pm 0,003$
Титан не оксидированный	0,38(1,11)	4 ± 1	60 ± 30	$0,06 \pm 0,01$
Титан оксидированный	0,2(1,11)	$1,4 \pm 0,5$	57,6	$0,11 \pm 0,06$

По данным таблицы 1 можно сделать выводы: значения нанотвердости (H) и модуля Юнга (E) кальций-фосфатных покрытий на стали превышают значения этих параметров для покрытий на титане; значения H и E кальций-фосфатных покрытий на оксидированной и не оксидированной стали совпадают в пределах погрешности измерений.

Список литературы

1. V. Nelea, C. Morosanu, M. Iliescu, I. Mihai-lescu. Hydroxyapatite thin films grown by pulsed laser deposition and radio-frequency magnetron sputtering: comparative study, Applied Surface Science, 2004, pp. 346–356.
2. L. Sun, C. C. Berndt, K.A. Gross, A. Kucuk. Material Fundamentals and Clinical Perfor-

mance of plasma sprayed hydroxyapatite coatings: A review, J. Biomater. Res., 58, pp. 570–592, 2001.

3. E. van der Wahl, J.G.C. Wolke, J.A. Jansen, A.M. Vredenberg. Initial reactivity of rf magnetron sputtered calcium phosphate thin films in simulated body fluids, J. Applied Surface Science, 246, 2005, pp. 183–192.

4. G. Xu, I. Aksay and J. Groves. Continuous Crystalline Carbonate Apatite Thin films. A biomimetic Approach, J. Amer. Chem. Soc., p. 2196–2203, 2001.

5. Готра З.Ю., Мушкарден Э.М., Смеркло Л.М. Технологические основы гибридных интегральных схем / Под ред. Готры З.Ю. – Львов: Высшая школа, 1977. – 168 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕМОДИНАМИКИ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ

Маркелова Е.П., Самбуева Е.Д.

Научный руководитель: Пеккер Я.С., к.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: janesun87@mail.ru

Изучение гемодинамики беременных очень важно для медицинских исследований. Это дает возможность неинвазивно, по параметрам матери оценивать состояние плода и плацентарной жидкости. К сожалению, до настоящего времени не существует корректной модели гемодинамики беременных.

Цель данной работы - моделирование сегмента сердечно-сосудистой системы, отвечающего за развитие плода, на основе существующих моделей гемодинамики для численного эксперимента.

Сосуды будем считать достаточно протяженными по сравнению со своими поперечными размерами (диаметром), что позволяет использовать для их математического описания приближение [1].

Закон сохранения массы для сосуда в приближении описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial uS}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

Закон сохранения импульса (количества движения) приводит к дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial uS}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(u^2 S) + \frac{S}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = SF_T + SF_{TP} \quad (2)$$

Упруго-механические свойства сосудов будут учитываться в приближении пружинистой модели изотропной тонкой оболочки. Пусть в равновесном состоянии для данного сосуда при некотором давлении p_0 соответствует определенное известное сечение S_0 . При отклонении давления от p_0 сечение S также изменяется в зависимости от $(p-p_0)$ по закону, вообще говоря, нелинейному: $S = S_0 + f(p-p_0)$.

При малых отклонениях $(p-p_0)$ функция $f(\xi)$ близка к линейной, т.е.

$$S = S_0 + \frac{p - p_0}{k}, \quad |p - p_0| \ll k \cdot S_0 = \text{const}$$

где k - коэффициент жесткости сосуда. По мере выхода давления из диапазона $p - \Delta p < p < p + \Delta p$ сечение практически не остается и меняется, асимптотически приближаясь к определенным сечениям $S_{\min}$ и $S_{\max}$ соответственно. Обычно, конкретный вид зависимости берется из данных физиологических экспериментов. Характерный график качественно в произведен на рис.1.

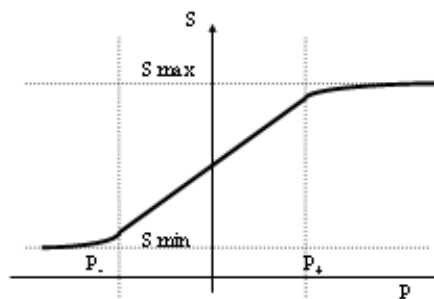


Рис. 1. Зависимость сечения от давления

Значения функций $s(x,t)$, $p(x,t)$, $u(x,t)$ в граничных точках всех сосудов связаны между собой дополнительными соотношениями, отнесенными к конкретным вершинам графа.

В вершинах графа, соответствующих участкам ветвления кровеносных сосудов, предполагаются выполненными равенства, выражающие закон сохранения массы и постоянства интеграла Бернулли

$$\sum_i s_i u_i = 0, \quad \frac{u_i^2}{2} + \frac{p_i}{\rho} = \frac{u_j^2}{2} + \frac{p_j}{\rho}, \quad i \neq j, \quad (3)$$

где индексы i и j пробегают номера всех ребер графа, связанных с рассматриваемой вершиной.

В вершинах графа, соответствующих участкам фильтрации крови через мышечную ткань или отдельные органы, предполагаются выполненными алгебраические соотношения, выражающие закон сохранения массы и закон фильтрации Дарси:

$$s_i u_i + s_j u_j = 0, \quad s_i u_i = k_d (p_i - p_j), \quad (4)$$

k_d - коэффициент фильтрации.

В вершине, функционально соответствующей сочленению аорты с сердцем, задается зависимость от времени либо потока крови

$$su = q_a(t), \quad (5)$$

согласованная с величиной сердечного выброса, либо артериального давления

$$p = p_a(t), \quad (6)$$

в вершине, соответствующей сочленению сердца с венозной частью сосудистой системы задается зависимость от времени давления $p = p_v(t)$. Будем считать, что при нормальной работе сердца, приближенно, $p_v(t) = 7$ мм. рт. ст. [1].

Рассматривая неоднородные уравнения гемодинамики для одного сосуда вида:

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right) = \frac{1}{\rho} q_f,$$

$$s = s(p). \quad (7),$$

получаем, что общим решением уравнений являются две бегущие волны произвольной формы [2]:

$$r^+(x - \bar{\lambda}^+ t), \quad r^-(x - \bar{\lambda}^- t). \quad (8)$$

С учётом этого следует, что

$$p(x, t) = \frac{\rho c}{2} (r^+(x - \bar{\lambda}^+ t) + r^-(x - \bar{\lambda}^- t)), \quad (9)$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2} (r^+(x - \bar{\lambda}^+ t) - r^-(x - \bar{\lambda}^- t)).$$

Для реализации математической модели беременной женщины и использовалась упрощенная приближенная модель. В основе точное решение краевой задачи для одного сосуда. Модель представляет собой граф, включающий в себя 19 модельных элементов сосудов, а так же плаценту (рис.2)[3].

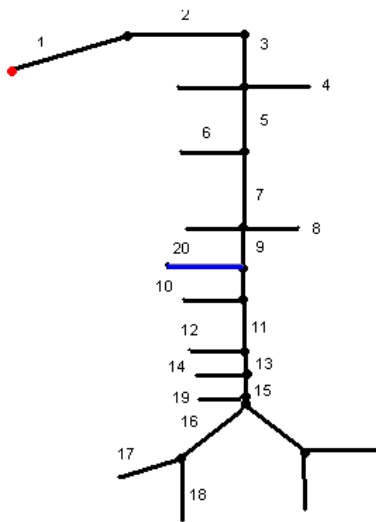


Рис. 2. Граф сосудов

1. Восходящая часть Аорты.
2. Дуга Аорты.
3. Аорта.
4. Артерии верхних конечностей.
5. Аорта.
6. Позвоночная артерия.
7. Грудная Аорта.
8. Грудные и плечевые артерии.
9. Брюшная Аорта.
10. Верхняя брыжеечная артерия.
11. Брюшная Аорта.
12. Почечная артерия.
13. Брюшная Аорта.
14. Нижняя брыжеечная артерия.
15. Брюшная Аорта.
16. Общая подвздошная артерия.
17. Внешняя подвздошная артерия.

18. Бедренная артерия.

19. Артерии малого таза.

20. Плацента.

Данные элементы содержат константы, обозначающие длины, диаметры, объемные скорости кровотока и другие параметры, необходимые для расчета. Эти сведения частично содержатся в медицинской литературе.

При задании начальных объемных скоростей кровотока на каждом ребре необходимо обеспечивать выполнение закона Кирхгофа.

Общий вид функций $p(x, t)$, $u(x, t)$ для каждого модельного элемента имеет вид:

$$p(x, t) = \frac{\rho c}{2} \left(\frac{2}{\alpha 1 \rho c + \beta 1} (K \int \mu 1(t - t^* - \frac{x}{\lambda^+}) + (K 1 (K \int \mu 1(t - t^* - \frac{x}{\lambda^-})) - \right. \\ \left. - (\frac{2}{\alpha 2 \rho c + \beta 2} (K 1 K \int \mu 2(t - t^* - \frac{x}{\lambda^+}) + \frac{1}{\lambda^+}) + (K \int \mu 2(t - t^* - \frac{x}{\lambda^-}) + \frac{1}{\lambda^-})) \right) \\ u(x, t) = \frac{1}{2} \left(\frac{2}{\alpha 1 \rho c + \beta 1} (K \int \mu 1(t - t^* - \frac{x}{\lambda^+}) - (K 1 (K \int \mu 1(t - t^* - \frac{x}{\lambda^-})) - \right. \\ \left. - (\frac{2}{\alpha 2 \rho c + \beta 2} (K 1 K \int \mu 2(t - t^* - \frac{x}{\lambda^+}) + \frac{1}{\lambda^+}) - (K \int \mu 2(t - t^* - \frac{x}{\lambda^-}) + \frac{1}{\lambda^-})) \right) \\ K 1 = \frac{\beta 1 - \alpha 1 \rho c}{\beta 1 + \alpha 1 \rho c}, K 2 = \frac{\beta 2 + \alpha 2 \rho c}{\beta 2 - \alpha 2 \rho c}, K \int = k 1 k 2$$

Также для каждого элемента записано собственное уравнение состояния общего вида:

$$S = S_0 + \frac{p - p_0}{k}, \quad |p - p_0| \ll k \cdot S_0 = \text{const}.$$

Реализация модели проводится в программном пакете Matlab 6.5 при использовании библиотеки Simulink (рис. 3) [3].



Рис. 3. Кривая давления и скорости в брюшной аорте.

Список литературы

1. М.В. Абакумов, В.Ф. Тишкин, А.П. Фаворский. Математическая модель гемодинамики сердечно-сосудистой системы, М, 1997, с.194-201.
2. М.В.Абакумов, К.В.Гаврилюк, Н.Б. Есикова Математическая модель гемодинамики сердечно-сосудистой системы // Дифф. Уравнения, 1997, 33(7), с. 892-898.
3. И.В.Толмачев Разработка математической модели гемодинамики беременной женщины, X Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии», Томск, Изд-во ТПУ, 2004. с. 57-58.

СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭПИЛЕПТОФОРМНОЙ АКТИВНОСТИ В ПЕРИОД БЕРЕМЕННОСТИ И РОДОВ У ЖЕНЩИН, СТРАДАЮЩИХ ЭПИЛЕПСИЕЙ

Маркелова Е.М., Бусыгина Т.В.

Научный руководитель: Порунов А.А., к.т.н., профессор
Казанский государственный технический университет им. А.Н.Туполева,
420111, Казань, ул. К.Маркса, 10.
E-mail: ek.markelova@mail.ru

Эпилепсия является одним из самых распространенных заболеваний в мире с древних времен. В течение многих веков эпилепсия была окружена страхом, непониманием, дискриминацией и социальной стигматизацией.

ВОЗ и партнеры признают тот факт, что эпилепсия является важной проблемой общественного здравоохранения. ВОЗ и Международная лига против эпилепсии проводят глобальную кампанию в целях обеспечения лучшей информированности и повышения осведомленности в отношении эпилепсии, а также активизации общественных и частных усилий, направленных на улучшение помощи и смягчение воздействия этой болезни.

В настоящее время актуальным является вопрос своевременного выявления и предупреждения эпилептического приступа у больных, страдающих этим тяжелым недугом, особенно у беременных женщин.

Анализ зарубежной литературы и медицинской практики показывает, что вопросу ведения беременности и родов у женщин, страдающих эпилепсией, в литературе уделяется достаточно мало внимания.

Беременность у данного контингента больных, как правило, чаще осложняется ранними и поздними токсикозами. Во время эпилептических приступов сердцебиение плода в большинстве случаев становится аритмичным и учащенным, что может быть оставлено в связи с наблюдаемой гипоксией в организме матери [1].

Продолжительность родов у женщин, больных эпилепсией, отличается от обычной, в большинстве случаев в сторону значительного укорочения, реже — в сторону удлинения родового акта. Чаще обычного наблюдается асфиксия плода, которая приводит к более широкому применению акушерских пособий. Дети, рожденные от матерей, страдающих эпилепсией, развиваются в основном нормально. Вместе с тем в данной группе наблюдений чаще обычного имеют место асфиксии, мертворождения, гипотрофии.

Возможность сохранения и благополучного доношивания беременности, а также нормального антенатального и постнатального развития плода у женщин, страдающих эпилепсией,

эпилептическими припадками, в значительной степени определяется своевременным и правильным применением комплекса мер по своевременному выявлению и подавлению эпилептоформной активности (ЭФА).

Современный этап развития методов прогнозирования состояния головного мозга с целью выявления ЭФА характеризуется тем, что оценка его состояния базируется на одновременном определении комплекса параметров и характеристик биофизических проявлений жизнедеятельности головного мозга, имеющих принципиально различную природу [2]. Среди таких проявлений доминирующее значение имеют биоэлектрические явления (чаще всего биопотенциалы), а также явления биомагнетизма, тепловые процессы (в частности деформации тепловое поле) и т.п. Аналогичное направление развивается в области совершенствования методов физиотерапии больных эпилепсией. Известны работы В. В. Бутуханова и В. А. Сорокикова, в которых предложено воздействие инфракрасным лазерным излучением на сонные и позвоночные артерии, магнитным полем и микроволновым излучением на области проекции лобных, височных и затылочных долей головного мозга и инфракрасными волнами на зрительный анализатор. Это подтверждает возможность использования указанных выше воздействий на головной мозг для подавления ЭФА (например, предупредить усиление судорожной активности, подавить эпилептогенные зоны, улучшить метаболические и энергетические процессы в мозге, нормализовать регуляцию мозгового кровотока, восстановить нарушенные корковые нейродинамические процессы) в рамках предлагаемой в данном проекте нейростимулирующей системы прогнозирования и подавления ЭФА.

В связи с этим, как показали исследования авторов, наиболее перспективным является применение не только непрерывного мониторинга параметров биоэлектрической активности мозга беременной женщины, с последующей регистрацией биоритмов предвестников развития ЭФА и формирования информационных сигналов предупреждающих врача или больного, но и своевременное

и адекватное принятие мер по парированию процесса развития ЭФА и информированию лечащего врача о характере ее протекания.

В отечественном и зарубежном приборостроении существуют два направления таких разработок: создание систем прогнозирования ЭФА (в клинических условиях на основе применения электроэнцефалографов, а также создание систем предупреждения ЭФА (на основе электростимуляторов). Однако до настоящего времени не известны разработки систем, объединяющих два этих направления, а, следовательно, не поставлена и не решена задача их системотехнического проектирования [2].

На рис.1 представлена разработанная авторами структурная схема нейромодулирующей системы идентификации ЭФА. На рис.2 показан блок обработки электроэнцефалографического (ЭЭГ) сигнала, входящий в эту систему.

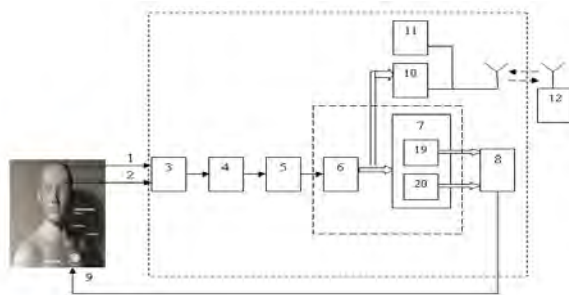


Рис.1. Структурно-функциональная схема системы идентификации ЭФА

Обозначено: 1, 2 – регистрирующие электроды; 3 – аналоговый фильтр нижних частот; 4 – аналоговый фильтр верхних частот; 5 – операционный усилитель; 6 – аналого-цифровой преобразователь; 7 – блок обработки ЭЭГ-сигнала; 8 – электростимулятор; 9 – стимулирующие электроды; 10 – приемопередатчик; 11 – блок питания; 12 – блок врача.

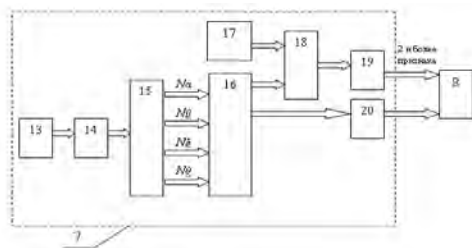


Рис.2. Блок обработки ЭЭГ сигнала

Обозначено: 13 – цифровой фильтр; 14 – блок сегментации ЭЭГ сигнала; 15 – блок выделения биоритма; 16 – блок оценки симптоматических признаков; 17 – блок задания констант; 18 – блок сравнения; 19 – кварц; 20 – блок формирования импульса; 21 – блок управления режимом работы электростимулятора; 22 – идентификатор; 23 – блок формирования импульса; 24 – блок формирования импульса; 25 – блок формирования импульса; 26 – блок формирования импульса; 27 – блок формирования импульса; 28 – блок формирования импульса; 29 – блок формирования импульса; 30 – блок формирования импульса; 31 – блок формирования импульса; 32 – блок формирования импульса; 33 – блок формирования импульса; 34 – блок формирования импульса; 35 – блок формирования импульса; 36 – блок формирования импульса; 37 – блок формирования импульса; 38 – блок формирования импульса; 39 – блок формирования импульса; 40 – блок формирования импульса; 41 – блок формирования импульса; 42 – блок формирования импульса; 43 – блок формирования импульса; 44 – блок формирования импульса; 45 – блок формирования импульса; 46 – блок формирования импульса; 47 – блок формирования импульса; 48 – блок формирования импульса; 49 – блок формирования импульса; 50 – блок формирования импульса; 51 – блок формирования импульса; 52 – блок формирования импульса; 53 – блок формирования импульса; 54 – блок формирования импульса; 55 – блок формирования импульса; 56 – блок формирования импульса; 57 – блок формирования импульса; 58 – блок формирования импульса; 59 – блок формирования импульса; 60 – блок формирования импульса; 61 – блок формирования импульса; 62 – блок формирования импульса; 63 – блок формирования импульса; 64 – блок формирования импульса; 65 – блок формирования импульса; 66 – блок формирования импульса; 67 – блок формирования импульса; 68 – блок формирования импульса; 69 – блок формирования импульса; 70 – блок формирования импульса; 71 – блок формирования импульса; 72 – блок формирования импульса; 73 – блок формирования импульса; 74 – блок формирования импульса; 75 – блок формирования импульса; 76 – блок формирования импульса; 77 – блок формирования импульса; 78 – блок формирования импульса; 79 – блок формирования импульса; 80 – блок формирования импульса; 81 – блок формирования импульса; 82 – блок формирования импульса; 83 – блок формирования импульса; 84 – блок формирования импульса; 85 – блок формирования импульса; 86 – блок формирования импульса; 87 – блок формирования импульса; 88 – блок формирования импульса; 89 – блок формирования импульса; 90 – блок формирования импульса; 91 – блок формирования импульса; 92 – блок формирования импульса; 93 – блок формирования импульса; 94 – блок формирования импульса; 95 – блок формирования импульса; 96 – блок формирования импульса; 97 – блок формирования импульса; 98 – блок формирования импульса; 99 – блок формирования импульса; 100 – блок формирования импульса.

элемент; 20 – идентификатор; 8 – электростимулятор.

Работа системы происходит следующим образом: биопотенциалы головного мозга с введенных регистрирующих электродов 1 и 2, локализованных по результатам предварительных исследований на очаге ЭФА, поступают на пассивный аналоговый фильтр нижних частот 3, ослабляющий высокочастотные помехи, создаваемые радиотелефонами, компьютерами и т.д. Для подавления помех сужается аналоговый фильтр верхних частот 4. Затем отфильтрованный сигнал усиливается операционным усилителем 5. Усиленный сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя 6. Затем производится цифровая фильтрация 13 преобразованного сигнала методом адаптивной сегментации, позволяющая подавить помехи, вызванные сократительной деятельностью сердечной системы и системы дыхания пациента.

Для упрощения обработки ЭЭГ сигнала проводится его сегментация в блоке 14, позволяющая разделить запись биопотенциалов головного мозга на участки квазистационарности. Сигнал с блока сегментации ЭЭГ сигнала 14 поступает на систему выделения биоритма 15, в которой осуществляется спектральный анализ, позволяющий выделить информационно ценные для предупреждения эпилептоформной активности α -, β -, θ - и δ - ритмы. Затем осуществляется вычисление оценок симптоматических признаков приближения ЭФА в блоке 16, задание пороговых значений в блоке 17 и сравнение вычисленных значений оценок с пороговыми значениями в блоке 18. Анализ ЭФА осуществляется на основе оценок совокупности следующих симптоматических признаков: 1 – число превышений пиками пульсаций в огибающей α -, β -, θ -, δ - ритмов заданного для каждого из них порогового значения за фиксированный интервал времени; 2 – оценка отклонения пиков

спектров мощности $\overline{S_\alpha}/\overline{S_\theta}$ и $\overline{S_\alpha}/\overline{S_\delta}$ для соответствующих диапазонов частот с предельным значением этих отклонений, определяемых на основе обработки данных клинических исследований здоровых людей; 3 – оценка наличия корреляционных взаимосвязей θ - и δ - ритмов. При превышении значений оценок двух или более симптоматических признаков с соответствующих пороговых значений, кварц-элемент 19 формирует запускающий импульс на блок управления режимом работы электростимулятора 8. Идентификатор 20 в зависимости от сочетания выявленных симптоматических признаков решает задачу

выбора вида и параметров нейроростимуляции. Так, при доминировании в спектре регистрируемого сигнала, отражающего биоэлектрическую активность мозга, в высокочастотных и импульсов запускается программа подавления ЭФА, а при преобладании низкочастотных – программа возбуждения более быстрой активности. Нейростимуляция осуществляется с стимулирующим электродом 9, воздействующим на блуждающий нерв. Вживленная микроантенна предназначена для приема энергии в виде высокочастотного электромагнитного поля для зарядки блока питания 11 и синхронной передачи ЭЭГ сигнала на блок врача 12.

Представленная концепция построения перспективной нейромодулирующей системы позволит существенно повысить достоверность прогнозирования факта об нарушениях ЭФА у беременных женщин в краткосрочной перспективе, что сможет улучшить диагностику, лечение, а также течение беременности и родов у женщин, страдающих эпилепсией.

стику, лечение, а также течение беременности и родов у женщин, страдающих эпилепсией.

Список литературы

1. Симакина А.О., Бусыгина Т.В. Задачи информационной разработки и коммерциализации многоканального фетального монитора. XVII Международная студенческая школа-семинар «Новые информационные технологии», Москва, 2009. (В печати).

2. Маркелова Е.М. Основные тенденции в разработке принципов построения системы прогнозирования и подавления эпилептоформной активности. Международной конференции с элементами научной школы для молодежи "Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы" Рязань, 2009. с. 301-306.

ПОИСК ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТОЛОГИИ ГОЛОСОВЕДЕНИЯ

Марков А. В., Дериглазов С. С.

Научные руководители: Макуха В. К., д. т. н., профессор, Фетисова О. Г., логофонепад
Новосибирский государственный технический университет,
30092, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: markovav@epu.ref.nstu.ru

По статистике, распространенность нарушений функции голосоведения у детей в России за последние три десятилетия увеличилась в 5 раз. До 40–50% детей имеют патологические изменения тембра, высоты и силы голоса [1].

Учеными доказано, что нарушение голоса у детей не просто приводит к проблемам в общении с сверстниками или в зрелыми – дети не могут эффективно воспринимать информацию на слух, читать и грамотно писать. В результате это приводит к замедлению развития. Так до 55% детей 6–7 лет имеют предпосылки к появлению дисграфии и дислексии [2], т.е. нарушений письма и чтения. Ещё тридцать лет назад такая цифра не превышала 6%.

В настоящее время распознать патологию голосоведения, особенно, на ранней стадии способны только опытные логопеды или фонисты, однако количество таких специалистов не позволяет проводить массовых обследований. Использование же технических средств диагностики на основе голосоанализа лишь частично используется в фониатрической практике и не позволяет организовать массовых обследований с детьми менее к ва-

лифицированных медицинских специалистов [3].

Сегодня большинство работ по машинному распознаванию патологий голоса основано на оценке различных параметров гласного звука /А/. Например, по различным видам энтропии («approximate entropy» [4], марковская энтропия [5] и др.) из нелинейного анализа в теории динамических систем. Также с традиционным подходом решения задачи детектирования патологий голоса, является применение нейронных сетей [6] и машин на опорных векторах [7], которые оперируют совокупностью параметров голосового сигнала. Основным принципом выбора параметров, которые информативны при оценке качества голоса, заключается в выявлении отличий в совокупности технических параметров голосового сигнала в образцах голоса с патологией и без патологии на основании истинного диагноза врача. При этом не учитывается описание патологии в терминах фониста, и как следствие врач фактически лишен возможности детально интерпретировать результат, полученный с помощью машинных методов.

Кроме того очень мало работ, посвященных анализу качества речи, особенно, оценке её интонационной составляющей, являющейся в важнейшим паралингвистическим средством общения [8].

Таким образом, в вопросе выявления технических параметров голосоречевого сигнала и их характерных значениях в норме и патологии остается открытым.

Разработка методов оценки патологии голосоведения невозможна без набора и упорядочивания статистических данных (в виде базы данных) по голосоречевым образцам с их оценкой со стороны эксперта-фониатора. Это необходимо и для выявления закономерностей и связей между техническими параметрами и терминологией фониатрии, а также для их достоверной проверки.

Перед созданием базы данных голосоречевых образцов совместно с экспертом-логофонопедом были определены основные критерии и требования к содержанию и структуре базы данных.

Во-первых, были выработаны требования к процедуре записи:

- запись должна производиться аппаратно с достаточными техническими характеристиками (диапазон частот 40 — 16000 Гц, отношение сигнал/шум не хуже 90 Дб);
- помещение, где производится запись, не должно искажать голосовой сигнал;
- испытуемым должно звучать одинаковый набор инструкций.

Кроме того, были сформулированы дополнительные информативные для эксперта фрагменты голосоречевых образцов, которые могут быть использованы и для выявления патологии голосоведения в устной речи.

Так для выявления нарушений голоса следует анализировать следующие звуки:

- отдельные гласные звуки, произнесенные кратко и протяжно;
- отдельные согласные звуки;
- отдельные согласные звуки, произнесенные смягченно;
- отдельные слоги.

Для выявления нарушений голоса и интонационной стороны речи по рекомендации эксперта следует анализировать голосоречевые образцы следующего содержания:

- отдельные короткие фразы;
- отдельная короткая фраза, произнесенная с определённой интонацией;
- короткий текст, имеющий положительную эмоциональную окраску.

Также были систематизированы критерии оценки голосоречевых образцов со стороны эксперта. Для оценки качества голоса выделяются:

- сила голоса (громкий, средний, тихий);

– ограничение по частотному диапазону (не ограничен, ограничен);

– особенности тембра (глухой-звонкий, хриплый-чистый, не асализован-не асализован, крикливый — спокойный, дисффоничный-не дисффоничный).

Для оценки качества и интонационной стороны устной речи следует оценивать основные её параметры, такие как:

- темп (ускоренный, нормальный, замедленный);
- ритм (есть ритмическая организация речи или она отсутствует);
- мелодика (присутствует или отсутствует)
- ударение.

Для автоматизации процедуры набора и экспертной оценки голосоречевых образцов было создано программное обеспечение в соответствии с требованиями, и зложенными выше.

Ранее было предложено использовать для количественной оценки распределения энергии в спектре голосоречевого сигнала коэффициенты гармонизации (КГГ) [9], которые могут являться показателями качества голоса при правильном выборе наборов гармоник.

$$K_{h1, h2, \dots, hm - l1, l2, \dots, ln} = \frac{\sum_{1, 2, \dots, m}^h P_{h1}, P_{h2}, \dots, P_{hm}}{\sum_{1, 2, \dots, n}^l P_{l1}, P_{l2}, \dots, P_{ln}} \quad (1)$$

где $h1, h2, \dots, hn$ - номера относительно высокочастотных обертонов, $l1, l2, \dots, lm$ - номера относительно низкочастотных обертонов, Phj - энергия i -того относительно высокочастотного обертона, Plj - энергия j -того относительно низкочастотного гармоника или обертона, $Ph1, Ph2, \dots, Phm$ - высокочастотный набор, $Pl1, Pl2, \dots, Plm$ - низкочастотный набор.

В процессе набора и обработки голосоречевых образцов было показано, что критерием выбора гармоник низкочастотного и высокочастотных наборов с учетом индивидуальных особенностей конкретного человека может являться принадлежность той или иной гармоники к определенным формантам в спектре. В таблице 1 приведены результаты расчетов КГГ голосов детей с тембром без патологии и патологически глухим тембром.

Таблица 1. Расчетные данные для коэффициентов голосовой гармонизации для звука /А/

ФИО	Пато-лог.	K2ф-1ф, отн.е д.	K3ф-1ф, отн.е д.	K4ф-1ф, отн.е д.
Эрнест А.	Нет	0,668	2,497	2,477
Анастасия Г.	Нет	3,017	3,999	0,602
Влад С.	Нет	2,044	4,044	0,602
Никита С.	Да	2,311	0,397	0,167
Анастасия С.	Да	2,156	0,324	0,106
Аня В.	Да	2,371	0,697	0,204

Заключение

В данной работе выработаны требования к параметрам и процедуре записи, критерии оценки с о стороны эксперта. На основании данных критериев создано программное обеспечение для набора и экспертной оценки голосоречевых образцов.

Для коэффициентов голосовой гармонизации найден оптимальный метод выбора гармоник для оценки тембра голоса в аспекте «глухой-звонкий».

Список литературы

- 1 Парамонова Л.Г. Логопедия для всех. — СПб.: Питер, 2009. — 410 с.
- 2 Волкова Л.С., Лалаева Р.И., Мастюкова Е.М. и др., Логопедия: учебник для студентов

дефектологических факультетов педагогических высш. учеб. заведений / под ред. Власовой Л.С. — М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2008. — 703 с.

3 Орлова О.С. Нарушения голоса: учеб.-метод. пособие. — М.: АСТ: Астрель, 2008. — 220 с.

4 B. S. Aghazadeh, H. Khadivi, M. Nikkhah-Bahrami, "Nonlinear Analysis and Classification of Vocal Disorders", in Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp. 6199 — 6202, 2007.

5 Julián D. Arias-Londoco, Juan I. Godino-Llorente, Germán Castellanos-Domínguez, "Complexity Analysis of Pathological Voices by means of Hidden Markov Entropy measurements", in 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp. 2248 — 2251, 2009.

6 Maria Markaki, Yannis Stylianou, "Using Modulation Spectra for Voice Pathology Detection and Classification", 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS, pp. 2514 — 2517, 2009.

7 Wenxi Chen, Cheng Xing, Baikun Wan, Daming Wei, "SVM-based Identification of Pathological Voices", pp. 3786 — 3789, 2007.

8 Шевцова Е.Е., Забродина Л.В. Технология формирования интонационной стороны речи. — М.: АСТ: Астель, 2009. — 222 с.

9 Fetisova, O.G., Lamtyugin, D.V., Makukha, V.K., Voronin, E.M., Spectrum analysis of vocalization application for voice pathology detection. pp. 2725 - 2728

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЧИ ЗДОРОВОГО ОРГАНИЗМА

Машевский Г.А.

Научный руководитель: Юлдашев З.М., д.т.н., профессор
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф.Попова, 5
E-mail: Aniket@list.ru

В современной медицине всё большее распространение приобретают системы мониторинга каких-либо физиологических параметров человека. В то же время, мониторинговые системы нашли своё применение в разных областях медицины в совершенно разной степени. В настоящее время мониторящие системы применяются преимущественно для контроля функционирования отдельных систем организма, и на протяжении течения заболевания. При этом, практически отсутствуют разработки, способные проводить оценку и мониторинг общего состояния человека, на протяжении длительного времени, не только у пациентов каких-

либо лечебных учреждений, но и у здоровых людей. Наша работа, призвана заполнить существующий пробел, н астоящая заметка посвящена исследованию динамики и изменения ионных параметров у здорового человека.

В нашей работе была осуществлена разработка мультисенсорной системы контроля состояния пациента в послеоперационный период, на основе потенциометрического контроля ряда ионных параметров мочи [1, 2, 3]. Создание подобных систем безусловно предполагает сбор статистического массива данных и измерений для здорового организма. Однако, собрать такую базу данных к райне

затруднительно, поскольку в группу действительно здоровых людей при контрольных измерениях попадают также люди, считающие себя здоровыми и не обращавшиеся ранее к врачам. Нами установлено, что при введении стационарности (стабильности) и онных параметров мочи для здорового (базового) организма, наблюдаемого в течение более 10-ти лет, тем не менее, фиксируются временные, но достаточно существенные нарушения в метаболизме ионной системы. Рассмотрим в качестве примера вариации потенциала Na-электрода, сформулированного нами, как энергетический потенциал человеческого организма.

Характеристика изменения тренда энергетического потенциала здорового (базового) организма, при заболевании гриппом и стрессовых состояниях, существенно отличается от тренда больных с различными формами патологии (рис. 1, 2).

При заболевании гриппом наблюдается резкое падение энергетического потенциала до нижней границы референтной зоны. После этого, при лечении, наблюдается восстановление потенциала Na-электрода до нормального уровня. Выход показаний электрода за нижнюю, референтную границу наблюдается при повышенной водной нагрузке (в 11:30), а также по причине циркадных циклов, установленных нами при гармоническом разложении случайных функций, отражающих ионный гомеостаз. Стрессовое состояние организма, например, при судороге ноги значительно сказывается на величине энергетического потенциала, после снятия с стрессового состояния он восстанавливается достаточно быстро.

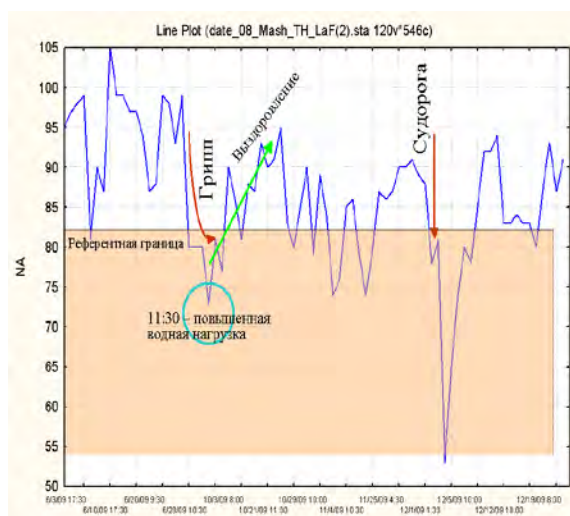


Рис. 1. Тренд энергетического потенциала здорового (базового) организма, при заболевании гриппом и стрессовом состоянии.

На рис. 2 представлен тренд больной (история болезни 328, 23 года), поступившей с диагнозом рецидива опухолевого процесса в брюшной полости и развитием пневмонии на фоне иммунодефицита.

В результате лечения больной на первом этапе улучшилось состояние. Однако, в дальнейшем у больной диагностирована почечная недостаточность, кишечное кровотечение и кишечная непроходимость. Послеоперационный период осложнился функциональной недостаточностью ЖКТ, развились острая перфоративная язва тонкой кишки, перитонит. Этот период отражен на диаграмме резким снижением энергетического потенциала.

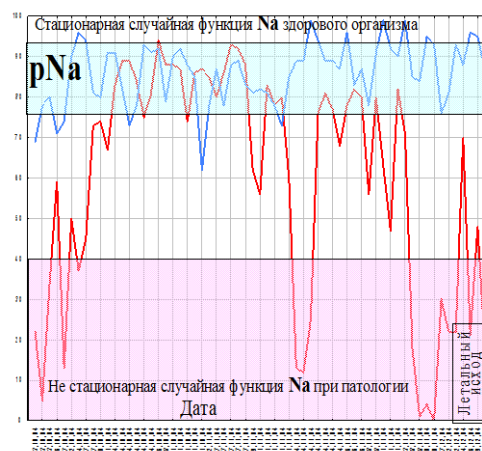


Рис. 2. Оценка стационарности энергетического потенциала здорового организма и при патологии.

Итак, мы видим, что случайная функция потенциала натрийселективного электрода у здорового организма является стационарной величиной, чего мы не наблюдаем в случае развития патологических процессов. В то же время, наблюдения, связанных с различными кратковременными патологическими отклонениями, повышенной водной нагрузкой и другими явными нарушениями диеты, искажают наблюдаемую картину. Поэтому, при вычислении референтных границ параметров подобные наблюдения должны быть исключены из рассмотрения.

При расчете референтных границ использовался принцип Гауссова определения нормы $X \pm 2\sigma$. На рис. 3 представлен пример вычисления референтных границ потенциала натрийселективного электрода.

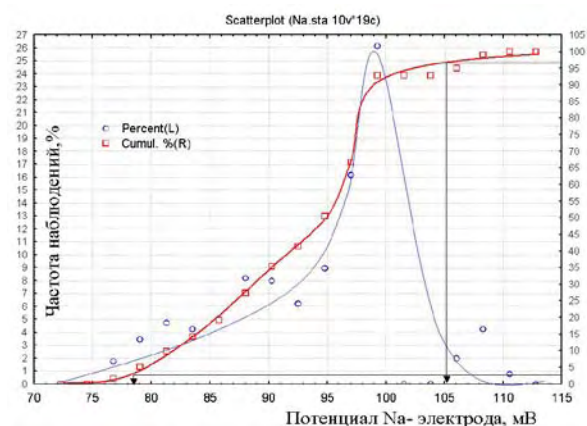


Рис.3

Таким же образом были установлены референтные границы для прочих параметров, анализируемых в работе, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Параметр	Диапазон измерений, мВ		Референтные границы	
	Абсолютная величина	Отклонение по модели, ΔУ	мВ	г-коэф
Na	0÷105		78÷105	$(0.6-1.78) \cdot 10^{-1}$
K (ΔK)	370÷410	-98÷42	-10±20	$(1.2-2.8) \cdot 10^{-1}$
PH	4.2÷8.6		5.0±7.06	
Ca	370÷450		390÷410	$(0.46-4.9) \cdot 10^{-1}$
NH ₄ (ΔNH ₄)	120÷190	-40÷70	-23±17	$(3.47-5.12) \cdot 10^{-1}$
EtH (ΔEtH)	-450÷120	-500÷100	-40±30	
Ag-S(HS)	-510÷-220		-302±-232	$10^{-1} - 10^{-11}$
NO-электрод	-285÷-120		-240±-180	
LaF	-383÷-197		-360±-306	
Cd	-824÷-387		-756±-707	

Таким образом, установленные значения референтных границ могут использоваться в клинической практике для оценки состояния обследуемых пациентов.

Список литературы

1. Машевский Г. А., Тарасов В. А., Ю. Филиппов Д. И. Об информационно-компьютерной базе мониторинга при лечении больных с распространенными формами рака. // Известия СПбГЭТУ, Биотехнические системы в медицине и экологии. – 2004. – выпуск 1. – С. 40–46.
2. Машевский Г. А., Тарасов В. А. Развитие информационной базы при онкометрировании мочи больных с распространенными формами рака // Информационно-управляющие системы – 2006 – выпуск 4 – с 50 – 52.
3. Машевский Г. А., Юлдашев З. М. Оценка энергетического потенциала организма человека по данным онкометрии мочи. Биомедицинская радиоэлектроника.- 2009.- Выпуск 11. – С. 40-44

РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА КОМБИНИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ХОЛОДОВОЙ ГИПЕРРЕАКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ

Моисеев А.В., Соколенко А. В., Ульянычев Н.В.

Научный руководитель: Ульянычев Н.В., к.ф.м.н., профессор

Амурский государственный университет,

675027, Россия, г. Благовещенск, ул.Игнатьевское шоссе, 21

E-mail: qazm@mail.ru

Низкая температура и высокая влажность воздуха могут играть решающую роль в возникновении хронических заболеваний органов дыхания и являться триггерными механизмами бронхоконстрикторной реакции. Большая продолжительность холодного периода года представляет собой характерную особенность климата России в целом, охватывая регионы Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Измененная реактивность дыхательных путей к холодному воздуху является важной проблемой не только России, но и других северных стран мира. Особая актуальность этого феномена связана с тем, что он может проявляться у здоровых лиц, в

период длительного пребывания на открытом воздухе в холодное время года, например у спортсменов, связанных с зимними видами спорта. В месте с тем, необходимость комплексного исследования реакции дыхательных путей к холодному воздуху и кондиционирующей способности легких связана с особенностями формирования механизмов бронхообструктивного синдрома. Нами доказано, что у больных с хроническими обструктивными заболеваниями легких нарушения респираторного теплообмена лежат в основе возникновения холодового бронхоспазма. Следовательно, выявление и измененной реакции дыхательных путей к холодному возду-

ху и имеет важное значение, поскольку вносит существенную коррекцию в тактику лечения бронхообструктивного синдрома и требует длительной реабилитации лиц с выявленными нарушениями на протяжении всего зимнего сезона.

Холодный воздух, как бронхопровокационный агент представляет несомненный и интерес как наиболее универсальный физический фактор окружающей среды, который способен в клиническом эксперименте модулировать реакцию, встречающуюся при естественных условиях жизни человека. Он в большей степени физиологичен, относительно безопасен при проведении и исследования по сравнению с фармакологическими пробами (например: метахолином, гистамином, брадикинином, аденозином и т.д.), которые могут вызывать тяжелый бронхоспазм, а профилактическую реакцию. Холодный воздух не связан с проблемами дозировки, распределения и задержки веществ в дыхательных путях. Эффективность выявления и измененной реактивности дыхательных путей данным методом достаточно высока и не уступает метахолиновому тесту, чувствительность и исследования для больных бронхиальной астмой составляет 87,4%.

Восновным методом холодовой и закапнической гипервентиляции холодным воздухом (ИГХВ) является рефлекторное окращение гладкой мускулатуры дыхательных путей под влиянием раздражения холодовых рецепторов гортани. Для усиления охлаждающего эффекта воздуха дыхание во время проведения пробы осуществляется в форсированном режиме. Поскольку интенсивность эфферентного ответа пропорциональна степени охлаждения поверхности дыхательных путей, важное значение для адекватной количественной оценки наличия и степени бронхиальной гиперреактивности имеет точное дозирование температуры вдыхаемого воздуха и минутного объема вентиляции.

Разработанный метод диагностики предполагает создание автоматизированного аппаратно-программного комплекса, имеющего возможность снятия температурных параметров вдыхаемого и выдыхаемого воздуха, измерения параметров вентилируемой в воздушной смеси, сравнения полученных результатов, посредством программного обеспечения в режиме реального времени.

На сегодняшний день существует множество автоматизированных устройств для проведения спирометрической диагностики. Они включают в себя как автономные модули, состоящие из интерфейса управления, принтера, дисплея и непосредственного измерителя, так и модули в качестве приставки к персональному компьютеру (ПК), в виде непо-

средственного измерителя, как симметричная погрешность измерения с пирометрических величин которых не превышает 5%. Но данный метод не может быть реализован без синхронной регистрации температуры в вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Следовательно, существующие устройства не подходят для реализации метода, так как одни они являются полностью законченными изделиями, в которых применение синхронной регистрации температуры исключено.

Были выделены основные составляющие модели комплекса: охлаждение воздуха, регистрация температурных зависимостей, регистрация спирометрических зависимостей, синхронизация диагностики, автоматическая обработка и предоставление данных в виде медицинских показателей. Именно синхронизированная регистрация может выявить зависимости между функциями дыхания человека от температуры вдыхаемого воздуха. Учитывая широкое и повсеместное использование ПК и инфраструктур, построенных на базе локальных сетей, рационально и использовать автоматизированную систему на базе ПК.

Разрабатываемая автоматизированная система включает в себя в качестве центра сбора, обмена, обработки и хранения результатов диагностических исследований ПК с программным обеспечением, модуль с синхронизированной регистрацией и оцифровки сигнала, модуль преобразования температур и скорости потока воздуха в электрический сигнал, устройство охлаждения воздуха, трубка со встроенными датчиками и клапанами для распределения потока воздуха. Таким образом видно, что разрабатываемая автоматизированная система не имеет аналогов на сегодняшний день, а готовые изделия можно сравнить лишь с частью комплекса, которая определяет спирометрические показатели.

Подача холодного воздуха и выход из легких нагретого воздуха осуществляется с помощью разделительной трубки, содержащей 2 клапана, один из которых открыт при подаче холодного воздуха, второй при выходе нагретого воздуха из легких. Клапанная система находится непосредственно у ротовой маски, что позволяет вести к минимуму смешивание нагретого и холодного воздуха.

Синхронизированная регистрация сигналов достигается за счет одновременной оцифровки сигналов с частотой 10 КГц, откуда следует, что расхождение сигналов по времени при оцифровке не превышает 0,1 миллисекунды.

Для регистрации температуры необходимо использовать преобразователь температуры в электрический сигнал с малым временем

релаксации, работ ающий в и нтервалах т емператур от 253К до 313К с точностью 0,1К. В данном случае был применен полупроводниковый терморезистор МТ-56 со временем релаксации ме нее 0,1 секунды, что п озволяет регистрировать д инамическое и зменение температуры 10 раз в секунду. Данное требование обусловлено тем, что период дыхания человека при проведении диагностики может составлять около 1-1,5 секунд, и за это время необходимо от следить и зменение температуры. Терморезистор включается в мостовую схему в качестве плеча, далее снимается напряжение с диагонали моста, которое усиливается и обрабатывается ф ильтрами. Р егистрировать т емпературу н еобходимо к ак входного т ак и в ыходного п отока, для ч его используется два температурных датчика.

Для рег истрации с пирометрических п оказателей необходимо измерять скорость потока воздуха. В данном комплексе используется трубка Ф лейша, т ак к ак и меет ря д п реимущества: мал ое с опротивление п отоку, и нертность к дезинфицирующим с р едствам, проч ность, минимальные турбулентные потоки, линейность с опротивления воздуха, о тсутствие инертности. В трубке используется принцип раз ности д авлений н а в ходе и в ыходе. Для регистрации этой разности давлений используется п реобразователь д ифференциального д авления (ПДД) DUXL01D. С по мощью д анного П ДД в озможно и змерять ра зность д авлений д о 250 Па, п ричем п огрешность т аких и змерений с оставляет 0,1% о т амплитуды. Так ж е п р актически о тсутствует инерционность и время реакции ПДД не превышает 1мс , что п озволяет рег истрировать динамическую развертку сигнала потока с частотой до 1КГц.

Усиленные и отфильтрованные сигналы с датчиков т емператур и П ДД п о ступают н а модуль о цифровки сигнала, ч астота д искретизации с оставляет 10 К Гц. О цифрованный сигнал регистрируется и обрабатывается в программном об еспечении(ПО) Т ермо-Спирометрия. ПО интегрируется в общую систему диспансеризации.

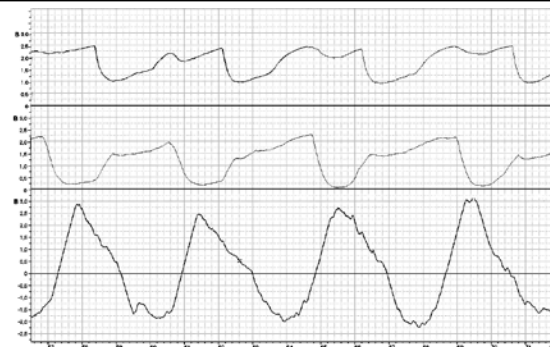


Рис. 1. Сигналы с датчиков температур и ПДД

При а нализе з ависимостей (Рис.1) было выявлено, что в необработанном виде сигналы п р актически н е и меют ш ума вследствие применения ап паратной ф ильтрации. Д ля обработки с игналов с д атчиков т емператур необходимо п рименять э кспоненциальное преобразование, т ак к ак д атчики яв ляются полупроводниковыми, и з ависимость н апряжения от температуры нелинейная.

Для п олучения з ависимости п роходящего через трубку объема от времени (спирограммы) д остаточно п роинтегрировать п олученный с игнал с П ДД. И нтегрирование с игнала происходит п рограммно. П осле п олучения зависимости с корости п отока и об ъема от времени возможно построение графика «петля поток-объем» для п олучения с пирометрических показателей.

После п олучения с пирометрических и термометрических в еличин в рач о ценивает состояние дыхательной с истемы и у становливает диагноз.

Данный комплекс возможно интегрировать в об щую систему а втоматической д испансеризации м едицинского учреждения, ч то п озволит использовать результаты диагностики любым специалистом, а так же в автоматическом режиме отслеживать изменение результатов д иагностики п р и д лительном л ечении. Применение а втоматизированного комплекса позволяет сократить время диагностики и протоколирования ре зультатов. П р и с пользовании вероятностных характеристик, статистических д анных и ал горитмов о ценки р езультатов д иагностики возможно в недрить в комплекс модуль автоматического установления п р иблизительного д иагноза п ациента, что п озволит с ократить в ремя установления диагноза.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЁГКИХ

Николаев М. А.

Научные руководители: Фокин В.А., к.ф.-м.н., доцент; Писарева Л.Ф., д.м.н., профессор
ГОУ ВПО Сибирский государственный медицинский университет Росздрава,
Россия, г. Томск, 634050, г. Томск, ул. Московский тракт, 2
E-mail: miha4406@yandex.ru

Анализ компонентов выдыхаемого воздуха – перспективный метод экспресс-диагностики состояния человека. В выдыхаемом воздухе могут содержаться молекулы-биомаркеры эндогенного происхождения, специфичные выделения которых определяется наличием патологических процессов в организме, в частности, связанных с онкологическими заболеваниями. Так, например, в ряде работ показано, что рак лёгких сопровождается выделением продуктов окислительного стресса [1-4].

Целью работы является изучение специфичности спектра поглощения в выдыхаемого воздуха у больных с раком лёгких методом оптико-акустической лазерной спектроскопии и оценка возможности неинвазивной экспресс-диагностики онкозаболеваний человека на основе спектроскопического анализа выдыхаемого воздуха. Рабочая гипотеза, положенная в основу планирования исследований основана на предположении о том, что состав газовой выделений у больных раком лёгких отличается от состава газовой выделений здоровых людей, что может быть использовано в качестве диагностического критерия заболевания.

При решении указанной задачи следует учитывать, что изменения в составе выдыхаемого воздуха могут быть малы настолько, что требуется применение высокочувствительных и, вместе с тем и специфичных методов оценки состояния. В этих условиях наиболее оптимально использование аппаратуры для оптико-акустического лазерного газоанализа. Лазерный оптико-акустический метод является одним из высокочувствительных и избирательных методов локального газоанализа. Сам же лазерный оптико-акустический газоанализатор (ЛОАГ) прост в обслуживании, надёжен, обладает малыми массогабаритными параметрами и низкой стоимостью эксплуатации [5].

Наличие большого числа поглощающих компонентов в зарегистрированных спектрах сильно затрудняет применение методов классического спектроскопического газоанализа многокомпонентных смесей, поэтому в работе дополнительно использовался метод интегральной оценки экспериментальных данных.

Методика измерений и анализа спектроскопических данных. Спектры поглощения

образцов выдыхаемого человеком воздуха планируется получить с помощью в нутрирезонаторного лазерного оптико-акустического сенсора ILPA [6]. Сенсор предназначен для детектирования в режиме реального времени газовых примесей в воздухе, имеющих полосы поглощения в спектральной области 9.2 – 10.8 мкм.

Принцип действия сенсора основан на оптико-акустическом эффекте, возникающем при поглощении газами излучения лазера. Используемый в ILPA волоконный CO₂-лазер излучает на 70 линиях основного изотопа молекулы углекислого газа (12C16O₂).

Для оценки специфичности спектра использовался метод интеллектуального анализа данных, основанный на интегральном критерии состояния исследуемого объекта [9].

В соответствии с данным методом количественная оценка состояния биологической системы проводилась по интегральной оценке спектра поглощения газовой выделений и исследуемого объекта по отношению к некоторому его референтному состоянию. Методика оценки заключалась в следующем.

Пусть S_0 и S – заданные референтное и оцениваемое состояния, характеризуемые множествами спектров $\{\vec{b}_j | j \in N_{S_0}\}$ и $\{\vec{b}_i | i \in N_S\}$ соответственно. Здесь N_{S_0} и N_S – объёмы выборок. Величина количественной оценки состояния объекта $\vec{b}_i \in S$ может быть охарактеризована его мерой близости к референтному состоянию S_0 . При оценке близости следует учитывать взаимное расположение спектров, представляющих референтное состояние системы, и расположение оцениваемых спектров $\vec{b}_j$ относительно области референтного состояния.

С учетом этих условий критерий интегральной оценки близости спектра $\vec{b}_i$ к состоянию S_0 можно задать следующим образом:

$$I_{S_0}(\vec{b}_i) = \frac{1}{2m} d(\vec{b}_i, S_0)$$

где $d(\vec{b}_i, S_0)$ рассчитывается как усредненное расстояние от спектра $\vec{b}_i$ до спектров из S_0 , m – размерность пространства признаков.

Вектор признаков состояния биосистемы формировался из значений интенсивности поглощения на задаваемых частотах. В качестве координат в векторе $\vec{x}$ состояния биосистемы использовались величины интенсивности поглощения на линиях генерации СО₂ лазера в диапазонах 933 – 954 и 967 – 982 см⁻¹. Такой выбор данных обусловлен тем, что в данных диапазонах сигнал поглощения был наиболее воспроизводим. Полученные таким образом два значения признаков состояния биосистемы (I_1, I_2) , соответствующие указанным диапазонам частот, определяли ее состояние в виде точки в двумерном пространстве признаков.

Оценка статистических характеристик и интегрального показателя проводилась в два этапа. На первом этапе моделировалось M выборочных множеств X_k ($k = \overline{1, M}$) заданного объема, соответствующих статистическим характеристикам референтного состояния S_0 , представленного некоторым выборочным множеством объектов $X : \{\vec{b}_i | i \in \overline{1, N_{S_0}}\}$. Полученные по следовательности значений и митируют в зятие в выборки из одной и той же совокупности и, следовательно, будут свободны от погрешностей, обусловленных влиянием внутри- и межиндивидуальной вариабельности биологических данных.

На втором этапе и следовало, как на величину оценок будут сказываться такие факторы, как объем выборки, соотношение между объемом выборки и количеством совместно анализируемых показателей и т. п. В зависимости от того, известен или нет закон распределения многомерных данных, для статистического моделирования наборов и значений могут применяться различные методы [8–10]. Статистические свойства интегрального критерия оценивались путем вычисления среднего значения интегрального показателя

$$\hat{I}_{S_0}(\vec{b}) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M I_{S_0,k}(\vec{b})$$

среднего квадратичного отклонения

$$\hat{\sigma}_I(\vec{b}) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (I_{S_0,k}(\vec{b}) - \hat{I}_{S_0}(\vec{b}))^2$$

Для оценки вариабельности интегрального показателя рассчитывался коэффициент вариации

$$V = \frac{\hat{\sigma}_I(\vec{b})}{\hat{I}_{S_0}(\vec{b})} \cdot 100\%$$

и $(1-p) \cdot 100\%$ -го доверительный интервал,

как и интервал, содержащий значения I_{S_0} находящиеся между $p/2 \cdot 100\%$ и $(1-p/2) \cdot 100\%$ числом всех значений интегрального показателя в ранжированном ряду оценок. Здесь p – соответствующий уровень статистической значимости.

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

Список литературы

1. Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors [электронный ресурс] / Corrado Di Natale, Antonella Macagnano, Eugenio Martinelli – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elsevier.com/locate/bios
2. Altered regulation of metabolic pathways in human lung cancer discerned by ¹³C stable isotope-resolved metabolomics (SIRM) [электронный ресурс] / Teresa W M Fan, Andrew N Lane, Richard M Higashi – Электрон. дан. – Режим доступа: www.molecular-cancer.com/content/8/1/41
3. Quantitative breath analysis of volatile organic compounds of lung cancer patients [электронный ресурс] / Geng Song, Tao Qin, Hu Li – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elsevier.com/locate/lungcan
4. Detection of lung cancer using weighted digital analysis of breath biomarkers [электронный ресурс] / Michael Phillips, Nasser Altorki, John H. M. Austin – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elsevier.com/locate/clinchim
5. Применение методов лазерной спектроскопии и нелинейного анализа для исследования медико-биологических объектов / под ред. Ю.В. Кистенева, – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 286 с.
6. Агеев Б.Г., Капитанов В.А., Пономарев Ю.Н., Сапожникова В.А. / Исследования эмиссии растениями углекислого газа, этилена, метана методами лазерного газоанализа. // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 9. – С. 795–798.
7. Карась С.И., Кистенев Ю.В., Никифорова О.Ю., Пеккер Я.С., Фокин В.А., Шаповалов А.В. / Нелинейный анализ медико-

биологических данных - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. - 118с.

8. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. 2-е изд. - М.: Наука, 1982. - 296 с.

9. Efron B. The Jackknife, the Bootstrap and Other Resampling Plans. // CBMS-NSF Region-

al Conference Series in Applied Mathematics, Monograph. 38. - Philadelphia: SIAM, 1982. - 92 p.

10. Manly B .F.J. Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology. - London: Chapman and Hall/CRC, 1997. - 424 p.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФИЦИРОВАННЫХ РАН

Петренко А.Б.

Научный руководитель: Болотина И.О., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: bolotina@tpu.ru

Введение

Лечение больных с различными видами ран, профилактика раневой и инфекции остаются одними из наиболее актуальных проблем хирургии, что обусловлено высоким уровнем бытового и производственного травматизма, участвовавшими с случаями автомобильных и других аварий.

Практически все раны, за исключением операционных, загрязняются микробами. Раневая инфекция проявляется еще в сего процессе воспаления за счет стафилококков, стрептококков, кишечной палочки и других возбудителей. В анаэробных условиях (без доступа воздуха) в ране, особенно загрязненной землей, могут развиваться возбудители газовой гангрены и столбняка, что является чрезвычайно опасным для жизни [1].

Особенно важным является лечение раневого процесса, протекающего на фоне снижения иммунной системы организма, при наличии тяжелой сопутствующей патологии.



Рис. 1. Рваная рана предплечья.

Методы лечения инфицированных ран

При лечении ран и в профилактике возможных осложнений необходим комплекс соответствующих мероприятий: первичная обработка ран, создание условий для оттока

раневого содержимого, применение препаратов противомикробного действия, повышение сопротивляемости организма к раневой инфекции.

В качестве лечебных и профилактических мероприятий необходимо использовать механические, физические, химические, биологические и смешанные методы антисептики.

Механическая антисептика занимает основное место в профилактике и инфекции в первые 6-12 часов. Вокруг раны моют и бреют кожу, удаляют сгустки крови, и инородные тела, проводят хирургическую обработку раны.

Химическая антисептика применяется при обработке кожи вокруг раны (спирт, йод, бриллиантовый зеленый раствор, перекись водорода и др.). Антисептические средства действуют губительно на микробные клетки.

Суть физической антисептики заключается в применении физических факторов, создающих в ране неблагоприятные условия для размножения микробов, и их проникновения вглубь тканей, в сасывания токсических веществ из раны. Гигроскопические ватно-марлевые повязки, марлевые тампоны в сасывают жидкость из раны и выводят ее наружу.

К физическим методам относится ультразвуковая обработка. Ультразвуковая

обработка раны ведет к тому, что кавитационные пузырьки (пузырьки, заполненные газом, паром или их смесью, образующиеся в области низкого давления и захлопывающиеся в области высокого давления) отторгают и вымывают некротические ткани, и инородные тела. Ультразвук обладает также и бактерицидным эффектом [1].

Чаще всего применяются смешанные методы антисептики ран, профилактики и лечения.

Низкочастотная ультразвуковая обработка ран

Воздействие ультразвуковых колебаний на биологические ткани приводит к ускорению физиологических процессов в организме пациента, способствующих заживлению раны. Кавитационные явления, возникающие в растворах лекарственных веществ под действием ультразвука, могут служить причиной разрушения микроорганизмов, образующихся в ране при наличии в ней инфекции. К физико-химическим явлениям можно отнести развивающиеся процессы массопереноса и массообмена как непосредственно в растворе, так и на границе «лекарственная жидкость – биологическая ткань».

Массопередача состоит из двух процессов: 1) перенос молекул лекарственного препарата к поверхности биологических тканей; 2) диффузии их в глубину биологических тканей.

Сущность метода ультразвуковой обработки заключается в нанесении на поверхность раны растворов лекарственных веществ (антибиотиков, антисептиков и др.) с последующим нанесением ультразвуковых колебаний. Частота колебаний может составлять десятки кГц, интенсивность от 0,1 до 1 Вт/см².

Под воздействием этих колебаний в растворе возникает целый ряд явлений, таких как кавитация, акустические потоки, звуковое давление и др., вызывающих сложный комплекс физико-химических и биологических процессов в ране. Посредством ультразвуковой обработки достигаются очистка поверхности раны от некротических отложений, внедрение лекарственного препарата в ткани, бактерицидный эффект и как следствие стимулируются физиологические процессы заживления раны.

В качестве объекта обработки при ультразвуковом воздействии на инфицированные раны могут быть как костные, так и мягкие ткани, имеющие сложные строения, различия в которых обусловлены видом ткани и зависят от пола, возраста пациента и ряда других факторов.

Поверхность ткани при наличии инфекции покрыта различного рода наложениями (некротические налеты, гной и т.д.), которые представляют собой набухшую коллоидную пленку белкового происхождения. Скорость ультразвуковой очистки раны определяется скоростью диффузии молекул растворенной пленки наложения. Диффузия возникает вследствие разности концентраций раствора вещества пленки в слое жидкости, непосредственно прилегающем к раневой поверхности, и в толще раствора лекарственного вещества. Ультразвуковые колебания ускоряют

процессы диффузии до десятков секунд, которые в обычных условиях протекают медленно.

Бактерицидное действие ультразвука заключается в прямом механическом воздействии на мембраны микроорганизмов в результате численных эффектов. Они приводят также к появлению в растворе радикалов с высокой антибактериальной активностью и интенсивным выходом лейкоцитов, повышающих местную фагоцитарную активность.

В результате проведенного литературного обзора, выяснено, что при лечении ран ультразвуком в сочетании с другими методами, можно сократить период лечения в два раза, по сравнению с традиционными методиками, такими как, применение мази Левомеколя или раствора димексида.

Эффективность воздействия одного только низкочастотного звука на бактериальную флору без применения медикаментозных средств (например, сочетание ультразвука и физиологического раствора) не в полной мере достижима для достижения максимального эффекта. В том случае механическому разрушению подвергнутся лишь те бактерии, которые находятся в непосредственном контакте с поверхностью в ране. Поэтому было предложено доставлять на обрабатываемую поверхность раны растворы антибиотиков и антисептиков.

Время обработки ультразвуком зависит от величины поверхности раны и ее состояния (стадии раневого процесса). Количество обработок зависит от первоначального состояния раны и скорости ее заживления. Вид лекарственного препарата выбирается в зависимости от чувствительности микрофлоры к тому или иному препарату [2].

Методы введения ультразвука в область воздействия

Существует несколько способов введения ультразвуковой энергии в область воздействия. Наиболее распространенный – контактный. Преобразователь прикладывается непосредственно к коже, через тонкий слой контактного вещества, акустический импеданс которого близок к импедансу кожи.

При лечении частей тела неудобных конфигураций (колени, локти) облучение можно проводить при погружении тела в ванну с водой и использовать акустически прозрачные мешки с водой. Открытые раны обрабатываются через стерильные перевязочные материалы, имеющие схожие акустические свойства с биотканями, и при условии, что воздух удален из раны.

Во время процедуры преобразователь может удерживаться в одном положении или перемещаться над обрабатываемой обла-

стью. Необходимо и избегать с табильной м е-
тодики, т ак к ак в озможно образование с тоя-
чих в олн и «г орячих т очек», к оторые мог ут
привести к повреждениям [3].

Ультразвуковую об работку м ожно произ-
вести с помощью устройства, структурная
схема которого изображена на рис. 2.

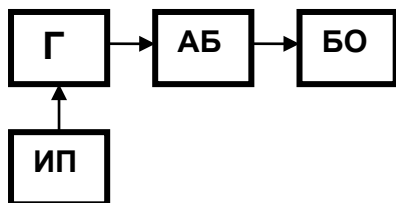


Рис. 2. Структурная схема УЗ-аппарата.
Г – генератор, АБ – акустический блок,
ИП – источник питания, БО – биообъект.

Акустический б лок пр еобразует э лектри-
ческие и мпульсы, вырабатываемые г енера-
тором Г , в ультразвуковые волны, к оторые
непосредственно воздействуют на биообъект
БО. Под биообъектом понимается обрабаты-
ваемая раневая поверхность.

Заключение

Ультразвуковой метод обработки инфици-
рованных ран является перспективным и не-
дорогим методом, позволяющим значительно
сократить время заживления ран. Этот метод
прост, удобен в использовании для пациента
и не оказывает вредных влияний на орга-
низм.

Список литературы

1. Основы медицинских знаний/Под ред .
Ю.С.Тарасова. - Самара, 1996. – Т.1. - 175 с.
2. Вельшер Л.З., Подколзин А.А. Комбини-
рованный метод лечения ран на основе низ-
коинтенсивного излучения и ультразву-
ка//Медицинская техника. – 2003. – №5. – С.
21– 26.
3. Применение ультразвука в медицине:
Физические основы. Пер. с англ. / Под ред. К.
Хилла. – М.: Мир, 2008. – 544 с.

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕГЕНЕРАТОРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОРГАНИЗМЕ МЫШЕЙ

Пигузова А.И., Жаркова Л.П.

Научный руководитель: Большаков М.А., д.б.н., профессор
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: piguzovan@mail.ru

В настоящее время в медицинской практи-
ке широко используются физические методы
терапевтического воздействия и проводятся
экспериментальные исследования для рас-
ширения такого инструментария. В частности
показано, что в воздействие импульсно-
периодического микроволнового излучения
(ИПМИ) с импульсами наносекундной дли-
тельности может оказывать ранозаживляю-
щий эффект на моделиях полнослойных ко-
жных ран в межлопаточной области у мышей
[1]. В данной работе проверялась способ-
ность ИПМИ влиять на скорость заживления
изъязвлений, вызванных этаноловым повре-
ждением слизистой, а также вызванных хро-
ническим стрессирующим воздействием.

Материалы и методы исследования

Эксперименты выполнены на 100 мышах
массой 25-30 г с соблюдением всех правил и
рекомендаций гуманного обращения с живот-
ными [2]. В работе использовались этаноло-
вая модель экспериментального повреждения
слизистой желудка, которая воспроизво-

дилась путем однократного в желудоч-
ного введения этанола (1 мл 96° /200 г массы
животного) [3], а также модель нейрогенной
язвы, вызываемая хроническим стрессиро-
ующим воздействием (плавание в воде с
температурой 15 – 18°C по 5 минут в день в
течение 6 дней) [4]. Затем 2 группы животных
с этаноловой и нейрогенной язвами подвер-
гались ложному облучению, а другие 2 груп-
пы облучались ИПМИ с частотой по-
вторения 8 имп/с и пиковой плотностью пото-
ка мощности (пППМ) 1520 Вт/см². Воздействи-
е ИПМИ на животных осуществлялось с
помощью лабораторного генератора на осно-
ве магнетрона МИ 505 (Россия) (10 ГГц, дли-
тельность импульсов 100 нс). Состояние сли-
зистой желудка отслеживалось в динамике на
3-й, 5-й и 7-й дни облучения. Для оценки
влияния факторов на поверхности извлечен-
ных желудков макроскопически определялось
среднее количество изъязвлений на одно жи-
вотное в группе [5]. Значимость различий ис-
следуемых показателей с равниваемыми ло-
нооблученной и облученной выборкой опреде-

лялась с по мощью к ритерия В илкоксона-Манна-Уитни.

Результаты исследования

Эксперименты с этаноловой моделью язвообразования

Эксперименты показали, что слизистая желудка с вызванными этанолом повреждениями способна к достаточно быстрой самостоятельной репаративной регенерации (Рис. 1). Результаты эксперимента по облучению мышей с этаноловой язвой ИПМИ показали, что процесс заживления язв в условиях воздействия ИПМИ реализуется быстрее естественной репарации (Рис. 1). Если на 3-й день облучения среднее число язв снизилось только на 13 %, то на 5-е и 7-е сутки наблюдений видимых повреждений слизистой оболочки желудка мышей уже не было отмечено. Это означает, что ИПМИ способно оказывать противоязвенное действие, которое реализуется не ранее чем через 5 дней облучения.

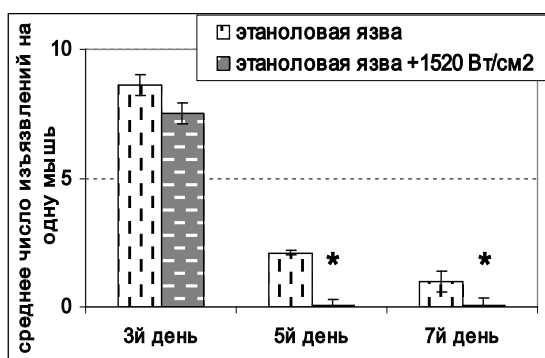


Рисунок. 1 – Динамика изменения среднего числа язв на слизистой оболочке желудка мышей с этаноловой язвой в условиях естественной репарации и облучения ИПМИ.

Эксперименты с нейрогенной моделью язвообразования

Как показали результаты, при нейрогенном язвообразовании динамика естественной репарации язв носит нелинейный характер: на 3-й день наблюдений после стрессирующего воздействия, вызванного купанием, у мышей среднее число язв составляет 6,0, на 5-й день уменьшается до 1,0, а на 7-й день снова растет до 2,7 (Рис. 2).

При облучении ИПМИ мышей с нейрогенной язвой изменение среднего числа язв в течение недели также носит нелинейный характер. Сравнение динамик заживления в облученной и необлученной группах животных показало, что на 3-й и на 7-

й день наблюдений ИПМИ выступает как фактор, ускоряющий заживление и язвенный процесс, число язв уменьшилось в 2,5 и 4 раза соответственно, что позволяет говорить о его противоязвенной активности. На 5-й день отмечается заметно возросшее (почти в 5 раз) число повреждений на слизистой оболочке желудка животных (Рис. 2).

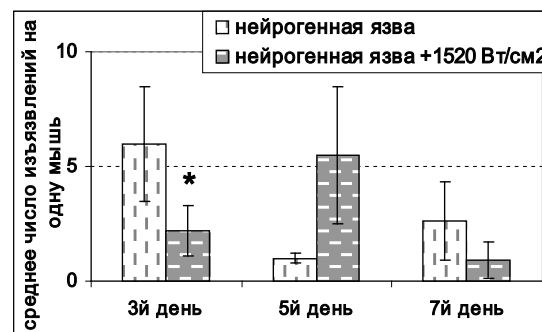


Рисунок. 2 – Динамика изменения среднего числа язв на слизистой оболочке желудка мышей с нейрогенной язвой в условиях естественной репарации и облучения ИПМИ.

Каким же может быть механизм подобного влияния? По мнению некоторых ученых, под действием ЭМИ возможна активация Са-кальмодулин-зависимой стимуляции продукции окиси азота, которая в свою очередь стимулирует ранозаживление [6]. Кроме того NO способен ингибировать кислородные метаболиты и предотвращать клеточные повреждения. Однако NO способен вступать в реакции с анионом супероксида, в результате чего образуется сильнейший окислитель – пероксинитрит, способный подавлять систему антиоксидантной защиты. Возможно, увеличение концентрации и самого NO вырабатываемого индуцибельной формой фермента NO-синтазы может приводить к нарушению гомеостаза в слизистой и поддерживать патологические процессы, в частности, в воспалении [7]. Вероятно изменяя баланс этих противоположных направленных процессов облучением ИПМИ и зависит протекание язвозаживления.

Таким образом, ИПМИ обладает стимулирующим действием на процесс заживления язвенных повреждений слизистой оболочки желудка. ИПМИ, возможно, реализует свое влияние за счет повышения продукции окиси азота, способной опосредованно стимулировать деление клеток, необходимых для заживления. Можно предположить, что в будущем источники такого излучения пополнят арсеналы медицинского оборудования.

Авторы выражают благодарность доктору Н.В. Мамоновой и доценту И.Р. Князевой за помощь в проведении экспериментов и

полезное обсуждение по полученным результатам.

Работа поддержана проектом АВЦП № 2.1.1/2777 и грантом У.М.Н.И.К. № 7058p/9654

Список литературы

1. Жаркова Л.П., Князева И.Р., Афанасьев К.В., Кутенков О.П., Ростов В.В., Большаков М.А. Действие ИПМИ с импульсами наносекундной длительности на заживление поверхностных ран у мышей // Труды 8 международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. СПб, 2009

2. Euroguide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes. (Based on the revised Appendix A of the European Convention ETS 123) FELASA: Federation of European Laboratory Animal Science Associations, London, U.K. 2007. 17 с. www.felasa.eu.

3. Bou A bbound C h.F., Wayland H . e t al. Ethanol-Induced Gastric Mucosal Injury in Rat // Dig. Dis. Sci. - 1988. - vol. 33, № 7 – P. 872 – 882.

4. Gunin A. Effect of chronic stress on estradiol action in the uterus of ovariectomized rats // European journal of obstetrics and gynecology and reproductive biology. – 1996 – v. 66. – P. 169 – 174.

5. Зуева Е.П., Рейхарт Д.В., Крылова С.Г. и др. Лекарственные растения в терапии язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. – Томск: Из-во ТГУ, 2003. – 212 с.

6. Pilla A. A Proposed electrochemical mechanism of EMF modulation of tissue repair // The bioelectromagnetic society 30 th annual meeting abstract collection, San Diego, California, 2008, p. 147.

7. Kubes P., Wallece J. Nitric oxide as mediator of gastrointestinal mucosal injury? – Say it ain't so // Mediators of inflammation. – 1995. – v. 4. – P. 397 – 405.

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА TiO₂ МЕТОДОМ АНОДИРОВАНИЯ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Родионов И.В.

Саратовский государственный технический университет,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
e-mail: iv.rodionov@mail.ru

Исследования связаны с получением оксидных покрытий нового функционального назначения на имплантатах для травматологии и ортопедии. Данные имплантаты представляют технические изделия из материалов небиологического происхождения, вживляемых в костные части организма для выполнения определенных медицинских функций (а именно для сращения переломов и исправления деформаций костей, размерной коррекции костных сегментов и др. патологий опорно-двигательного аппарата). Они применяются в аппаратах внешнего остеосинтеза более широко и известными под названием аппаратов Илизарова. Материалами для изготовления основ таких изделий являются металлы и их сплавы, имеющие заданный комплекс физико-химических и механических свойств для необходимой адаптации имплантатов в биоструктурах без появления в них реакций отторжения.

Наиболее благоприятным сочетанием указанных свойств обладают титан и сплавы на его основе, чаще всего применяемые для изготовления имплантатов. При этом используемые металлические материалы не позволяют обеспечить биоинтеграцию – т.е. биоло-

гически прочное соединение поверхности имплантата с окружающей костной тканью. Высокий уровень приживляемости имплантатов может быть достигнут путем создания на их поверхности пористых электрохимических оксидных покрытий, придающих изделиям способность к эффективному интеграционному взаимодействию с костными структурами.

Возможность получения и практического использования электрохимических оксидных покрытий на медицинских изделиях типа имплантатов, функционирующих в костных структурах, является весьма актуальной, т.к. создаваемые на поверхности изделий металлооксидные слои способны обеспечить повышенный уровень их адаптации к окружающим условиям. При этом известно, что большинство разрабатываемых и получаемых на металлах функциональных оксидных пленок широко применяется в технических системах различного назначения и служит для нужд микроэлектроники, машиностроения, химического аппаратостроения и многих других отраслей промышленности, тогда как возможность использования оксидных покрытий в производстве медико-технических изделий является сильно ограниченной и зачастую отсут-

вия результатов комплексных исследований таких свойств поверхностных оксидов, которые определяют качества их совместимости с биосистемами и способность интеграционно-го взаимодействия с тканями организма. Ранее оксидные покрытия формировались на металлах, в основном, с целью повышения их защитных свойств, электроизоляционной способности, износостойкости, а также для декоративной отделки, но в качестве функциональных биосовместимых покрытий на имплантатах и имплантационного назначения не рассматривались.

Эффективным методом получения оксидного покрытия на титановых имплантатах может считаться анодное оксидирование, позволяющее при определенных технологических условиях обработки создавать поверхностно-пористый оксидный слой на основе бионертного диоксида TiO_2 [1, 2]. Поэтому целью работы является исследование возможности получения биосовместимого анодно-оксидного покрытия на имплантатах из титана и его сплавов.

Методика исследования

Анодирование предварительно подготовленных (обезжиривание, промывка, пескоструйная обработка) имплантатов из титана BT1-00 и титановых сплавов ВТ6, ВТ16 осуществлялось в сернокислых электролитах, концентрацией 200 г/л H_2SO_4 и 200 г/л H_2SO_4 с добавкой 50 г/л $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$. Добавлением в сернокислый электролит сульфата $CuSO_4$ создавалось повышение скорости роста толщины оксидного покрытия за счет активирующего действия ионов Cu^{2+} на титановый анод. Оксидирование проводилось при значениях анодной плотности тока 0,5-3,0 А/дм², температуре электролитов 40-500С и продолжительности процесса 20-50 мин.

Исследование свойств покрытий включало определение показателей физико-химического, физико-химического и механических характеристик сформированных оксидов.

Результаты исследования

Установлено, что анодирование обезжиренных и пескоструйно-обработанных имплантатов в используемых сернокислых электролитах при заданных значениях режима электролиза обеспечивает создание покрытий с однородным фазовым составом, необходимыми поверхностно-структурными характеристиками и коррозионной стойкостью. Полу-

чаемые покрытия состоят, в основном, из нестехиометрического диоксида TiO_2 с присутствием небольшого количества других оксидных фаз – TiO , Ti_2O_3 , CuO . Шероховатость и морфологическая гетерогенность оксидированной поверхности имплантатов находятся на высоком уровне и соответствуют показателям параметров микронеровностей – $Ra=1,1-1,35$ мкм, $Rmax=5,50-6,20$ мкм, $Sm=10,0-14,0$ мкм, размеру открытых пор – 12-20 мкм, суммарной открытой пористости – 18-35%. Толщина и микротвердость имеют значения 15-50 мкм и 9-10 ГПа, соответственно. Высокий уровень коррозионной стойкости анодированных имплантатов характеризуется положительной величиной коррозионного потенциала (по н.х.с.э) их поверхности в физиологическом растворе, равной 0,15-0,18 В. Аdezия покрытий находится в пределах 25-29 МПа и обуславливает в высокопрочную связь по поверхностным оксидов с основным металлом (табл.).

В ходе исследований установлено, что для получения шероховатых покрытий повышенной толщины необходимо осуществлять электролиз при повышенных значениях тока анодирования.

Путем сравнительного оптического анализа поверхности покрытий выявлено, что анодирование пескоструйно-обработанного титана в сернокислом электролите №1 с добавлением сульфата меди приводит к существенному изменению поверхностной структуры оксидного слоя с наличием явно выраженной морфологии и повышенной гетерогенности (рис.1). Покрытие, созданное в электролите №1, обладает более высокой степенью пористости и равномерностью распределения пор по поверхности, чем обеспечиваются благоприятные условия протекания остеointegrационных процессов. Таким образом, в электролите №1 формируется покрытие с необходимыми поверхностно-структурными параметрами, способствующими прорастанию костных клеток в микронесплошности оксидного слоя и интеграции имплантата с окружающей тканью.

Клиническими исследованиями доказано, что титановые имплантаты с разработанными анодно-оксидными покрытиями на основе диоксида TiO_2 успешно адаптируются к тканям организма, не вызывают существенных воспалительных реакций биоструктур, прочно соединяются с костью.

Таким образом, использование металло-

Таблица. Характеристики электрохимических оксидных покрытий титановых (BT1-00, BT16) имплантатов

Электролит, г/л	Режим анодирования			Характеристики покрытия								
	i , А/дм ²	t , 0С	τ , ч	фазовый состав	толщина, мкм	адгезия, МПа	микротвердость, ГПа	пористость, %	потенциал, В (н.х.с.э.)	Шероховатость, мкм		
										Ra	$Rmax$	Sm
№1 (200) H ₂ SO ₄ и (50) CuSO ₄ ·5H ₂ O	1-3	40-50	0,3	TiO ₂ , TiO ₂ , Ti ₂ O ₃ , CuO	30-50	29	10	30-35	0,15	1,35	6,20	10
№2 (200) H ₂ SO ₄	2-5	50	1,0	TiO ₂ , TiO ₂ , Ti ₂ O ₃	15-30	25	9	18-30	0,18	1,15	5,5	9,4

Примечание. Перед анодированием имплантаты подвергались УЗ обезжириванию в моющем растворе 40 г/л Na₃PO₄ и пескоструйной обработке корундовым абразивом для очистки и создания исходной микрошероховатости поверхности.

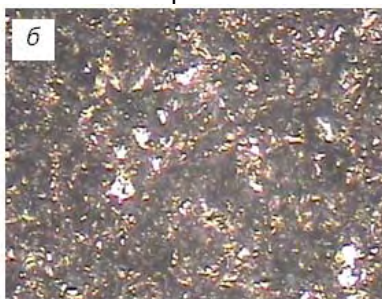
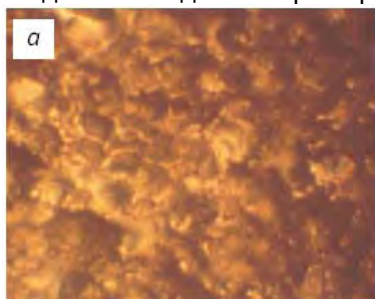


Рис. Поверхность оксидных покрытий, полученных анодированием пескоструйно-обработанного титана при $i=3$ А/дм², $t=50^{\circ}\text{C}$, $\tau=1,0$ ч в электролитах различного состава:
А – электролит №1;
Б – электролит №2

ных электрохимических пленок, получаемых анодированием титана и его сплавов, в качестве функциональных покрытий на медицинских и имплантатах позволяет расширить спектр областей применения как оксидных покрытий, так и технологий их формирования.

Список литературы

1. Родионов И.В. Электрохимическое и газотермическое оксидирование в производстве изделий медицинской техники /

Materiał y V Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i innowacja – 2009». Przemysł, Polska: Nauka i studia. Vol. 10. S. 7-10.

2. Родионов И.В. Клинические испытания медицинских имплантатов с анодно-оксидными и термооксидными биопокрытиями / Материалы IV Международной практической конференции «Высшая промышленность европейского континента – 2008». Praha, Czech Republic: Publishing House «Education and Science» s.r.o. Dhl 12. S. 3-19.

Саратовский государственный технический университет,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77,
E-mail: iv.rodionov@mail.ru

В последние годы разрабатываются и исследования по созданию функциональных оксидных покрытий на изделиях медицинского назначения, а именно, на имплантатах для травматологии и ортопедии, наиболее часто выполняемых из титана и его сплавов, а также из нержавеющей хромоникелевой стали. При определенных технологических условиях оксидирования могут формироваться такие покрытия, которые обладают в высокой биосовместимостью и способностью срастания с костной тканью [1, 2]. Данные покрытия характеризуются определенным комплексом физико-химических и механических характеристик, включающих фазовый состав, толщину, параметры шероховатости и морфологии поверхности, коррозионную стойкость к воздействию биосред, адгезионную прочность, микротвердость.

Образцы выполнялись из биоинертного титана BT1-00, титановых сплавов BT6, BT16 и хромоникелевой стали 12X 18H9T в виде прямоугольных пластин толщиной 1 мм, площадью рабочей поверхности 200 мм². Опытными имплантатами являлись стерильные интратканевые металлофиксаторы для остеосинтеза диаметром 6 мм и длиной 60 мм, изготовленные путем токарной обработки прутков из титана и стали.

2. Паротермическое оксидирование изделий из стали и титана проводилось в камерной электропечи экспериментальной агрегательной установки при различных режимах, включающих температуру нагрева 450 и 5500С в атмосфере перегретого водяного пара, а также продолжительность оксидирования 1, 2, 3 ч при каждой температуре. При этом давление пара в рабочем объеме печи поддерживалось на уровне 1,2-1,3 атм.

3. А ргонокислородное ок сидирование применялось для создания покрытия на титановых и зделях и п редусматривало использование т рубчатой э лектропечи с опротивления, в к оторую пр ямоточно по ступала д вухкомпонентная г азовая с месь. П ри э том с нача ла осуществлялся заданный нагрев печи с помощью р егулятора т емпературы, з атем через н ее п ропускалась с месь а ргона с к ислородом, образующаяся в газовой смеси. Подсоединенным резиновыми шлангами к

редукторам соответствующих газовых баллонов.

Оксидирование производилось при температурах печи 600, 700, 800, 900 и 1000°C, продолжительности 2-6 ч, расходе газов – Ar – 4л/мин, O₂ – 2 л/мин и соотношении компонентов в смеси: Ar – 60%, O₂ – 40%.

По окончании высокотемпературной обработки в ыключался нагрев печи, прекращалась подача кислорода и осуществлялось охлаждение оксидированных образцов и имплантатов в атмосфере аргона до нормальной температуры.

Исследование комплексов свойств оксидных покрытий с тальных и титановых образцов, а также имплантатов производилось по методике определения физико-структурного состояния, уровня коррозионного поведения и механических свойств получаемых металлооксидов.

Полученные результаты

Путем проведения экспериментальных исследований по созданию газотермических оксидных покрытий на стальных и титановых имплантатах с высокой биосовместимостью установлено, что:

– воздушно-термическое оксидирование пескоструйно-обработанных имплантатов из стали 12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т при температурах 400, 500°C и продолжительности 0,5 ч приводит к получению покрытий с комплексом показателей физико-химических и механических свойств, способным обеспечить надежную остеоинтеграцию и эффективное приживание имплантатов в костной ткани; такие воздушно-оксидные покрытия характеризуются четырехфазным составом из Fe, FeNi, Fe₂O₃ и Ti₃O₅, толщиной 25-40 мкм, значениями коррозионного потенциала в физрастворе, находящимися в пределах от – 0,35 В до – 0,38 В (н.х.с.э.), величиной суммарной открытой пористости, а также показателями микротвердости и адгезии, обуславливающими высокую механическую прочность покрытий; оксидные слои, созданные при повышенных температурах в воздушно-термического оксидирования 600 и 700°C, имеют двухфазный состав из Fe, Ti₃O₅, отличаются значительно большей толщиной 75-100 мкм, низкой коррозионной устойчивостью и малой прочностью;

– паротермическое оксидирование с тальных и имплантатов при температурах 4500°C, 5500°C и продолжительности 1,5-2 ч способствует формированию покрытий из оксидных фаз Fe₂O₃ и Ti₃O₅, биointеграционные свойства которых соответствуют значениям показателей толщины 10-55 мкм, коррозионного потенциала – 0,30 В (н.х.с.э.), пористо-

сти 24-34%, микротвердости 5,4-6,2 ГПа; сопоставление и с равнительная оценка функциональных характеристик покрытий, полученных в условиях паротермического оксидирования, показывают, что наиболее высоким уровнем качества биосовместимости обладают стальные и имплантаты, обработанные при режимах: температура 5500°C, продолжительность 1,5-2 ч и имеющие показатели покрытий со значениями толщины 35-55 мкм, коррозионного потенциала поверхности – 0,33 В (н.х.с.э.), пористости 34%; парооксидные покрытия имплантатов, созданные при более низкой температуре оксидирования 4500°C, характеризуются малой толщиной 10-20 мкм и невысокой суммарной открытой пористостью 24%, ограничивающими глубину прорастания клеток биоструктур в оксидный слой и процесс поверхностной интеграции изделий;

– паротермическое оксидирование пескоструйно-обработанных имплантатов из технического титана BT1-00 и титанового сплава BT16 при режимах: температура 4500°C, продолжительность 3 ч и температура 5500°C, продолжительность 1-3 ч создает такие условия формирования титанооксидных покрытий, при которых они приобретают физико-химические, механические и поверхностно-структурные характеристики, благоприятствующие необходимому биоактивному взаимодействию оксидированных имплантатов с окружающей костной тканью; фазовый состав парооксидных покрытий на титане включает, в основном, нестехиометрический диоксид TiO₂ при весьма малом содержании изших оксидов Ti₂O₃ и Ti₃O₅, а функциональные параметры соответствуют значениям толщины 20-45 мкм, потенциала поверхности 0,13-0,24 В (н.х.с.э.), пористости 29-45%, микротвердости 6,1-8,5 ГПа, адгезии 34-42 МПа; выбранные режимы оксидирования могут применяться для получения биосовместимых покрытий как на внутрикостных титановых имплантатах постоянного функционирования, так и на чрескостных спицевых, а также стержневых остеосинтезаторах с вращательным характером их функций в организме;

– газотермическое оксидирование титановых и имплантатов в контролируемой аргонно-кислородной смеси позволяет получать высококоррозионностойкие, морфологически гетерогенные и прочные покрытия при температуре 1000°C, продолжительности 2-4 ч с однородным фазовым составом, содержащим биоинертный диоксид TiO₂, а также необходимые для биointеграции параметры, находящимися на уровне: толщина 32-40 мкм, коррозионный потенциал поверхности 0,22 В (н.х.с.э.), суммарная открытая пористость 31-38%; технология высокотемператур-

ного оксидирования и имплантатов в инертно-окислительных газовых смесях является перспективной при получении высококачественных биосовместимых покрытий на различных медицинских металлах и сплавах.

Результаты исследования качеств биосовместимости оксидированных имплантатов *in vivo*, проводимого на лабораторных животных (кролики породы «черный великан»), показали, что характеристики полученных покрытий, благоприятно влияют на процесс приживления имплантатов в костных структурах и обеспечивают интеграцию оксидированной поверхности с окружающей тканью.

Проведенная оценка влияния свойств оксидных покрытий на уровень приживления

изделий в организме, указывает на высокую способность разрабатываемых покрытий адаптироваться к окружающим тканям в различных условиях.

Список литературы

1. Патент РФ на изобретение № 2322267. Способ получения биосовместимого покрытия на имплантатах из титана и его сплавов / Родионов И.В., Бутовский К.Г., Бейдик О.В., Серянов Ю.В. Оpubл. 20.04.2008.

2. Патент РФ на изобретение № 2332239. Способ получения биосовместимого покрытия на остеофиксаторах из титана / Родионов И.В., Бутовский К.Г., и др. Оpubл. 27.08.2008.

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

А. О. Садвакасова

Научный руководитель: И.С. Тропин, ст. преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aliyuwka@bk.ru

Планирование облучения является важным этапом в лучевой терапии злокачественных опухолей. Задачей планирования является выбор оптимальных условий облучения, заключающихся в том, чтобы на опухоли была сосредоточена максимально возможная поглощенная доза, при этом повреждение окружающих здоровых тканей должно быть сведено к минимуму. Планирование должно осуществляться с учетом индивидуальной анатомо-топометрической информации, радиобиологических параметров живых тканей и допустимых уровней нагрузок на критические органы, попадающих в зону облучения. Выбор параметров облучения производится с учетом устойчивости окружающих нормальных тканей. Результатом планирования является программа облучения, определяющая набор положений и источника излучения, направлений пучка, в режиме облучения, конфигураций коллиматоров [1].

Неотъемлемой частью систем планирования являются программы расчета пространственного распределения поглощенной дозы в биологических тканях при фиксированных условиях облучения. В большинстве существующих систем этот расчет выполняется в приближении электронного равновесия, т.е. без учета переноса вторичных частиц, возникающих во взаимодействиях частиц пучка с биологической тканью.

Наиболее точно произвести расчет распределения поглощенной дозы позволяет метод статистического моделирования Монте-

Карло. Этот метод используется в разработанной нами программе, реализованной на языке C++ на основе программного комплекса GEANT4 [2] в среде операционной системы LINUX. GEANT4 - это библиотека C++ классов для компьютерного моделирования процессов прохождения частиц через вещество. Она разработана международной коллаборацией с центром в CERN.

Реализация приложений с использованием GEANT4 заключается в создании набора программных модулей, в которых должно быть реализовано: моделирование начальных фазовых координат частиц, и спускаемых и сточником; описание типов частиц, траектории которых будут прослеживаться; определение физических процессов, в которых частицы будут участвовать; построение геометрии поглотителя, в котором прослеживаются траектории частиц.

В текущей версии нашей программы и сточником первичных частиц служит пучок фотонов. Физическими процессами для фотонов являются рэлеевское рассеяние, эффект Комптона, фотопоглощение, образование электронно-позитронных пар. При моделировании с толковений заряженных частиц учитываются процессы ионизации и испускания тормозного излучения. Таким образом, программа позволяет проводить полноценное моделирование электромагнитных ливней с учетом переноса вторичных частиц.

Поглотитель, в котором производится моделирование траекторий частиц, представля-

ет собой прямоугольный объем, разделенный на слои в вдоль оси Z . Каждый слой, в свою очередь, делится на прямоугольные зоны, называемые вокселями. Количество слоев и число вокселей внутри этих слоев задается во входных параметрах программы.

Реализованный в данной программе подход заключается в том, что воксели динамически размещаются в оперативной памяти, только в том случае, если в него приходит траектория частицы. В этот момент определяется его геометрическая форма, положение в пространстве и вещество, которое его заполняет. Такой метод создания геометрии называют параметрическим. Использование этого метода позволяет избежать формирования всех зон поглотителя в целом в момент старта программы.

Разработанное приложение было протестировано с сравнением с результатами расчетов программ, предназначенных для моделирования прохождения частиц через вещество. Был проведен расчет распределения поглощенной дозы в водном фантоме по глубине. Источником излучения служил моноэнергетический коллимированный пучок фотонов с энергией 1,25 МэВ, направленный по оси z . Сторона кубического водного фантома составляла 1 м, число зон $100 \times 100 \times 34$ соответственно осям x , y и z . Ось источника находилась в плоскости симметрии фантома. Статистика составила 1,5 млн. событий. Полученные результаты представлены на Рис. 1.

Эти результаты отлично согласуются с результатами расчета поглощенной дозы при аналогичных параметрах, представленных в работе [3]. (Рис. 2)

Следующий расчет был произведен при тех же параметрах за исключением источника и размера поглотителя. Моноэнергетический точечный источник фотонов с энергией 1,25 МэВ был направлен на поглотитель, представляющий собой водяной куб со стороной 50 см. Статистика составила 2 млн. событий.

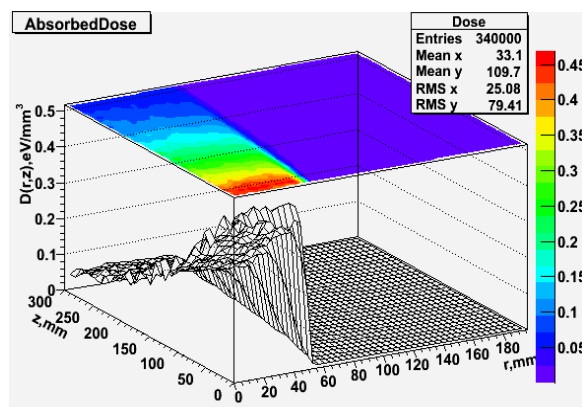


Рис. 1 - Поглощенная доза в водном фантоме при облучении моноэнергетическими фотонами

с энергий 1,25 МэВ

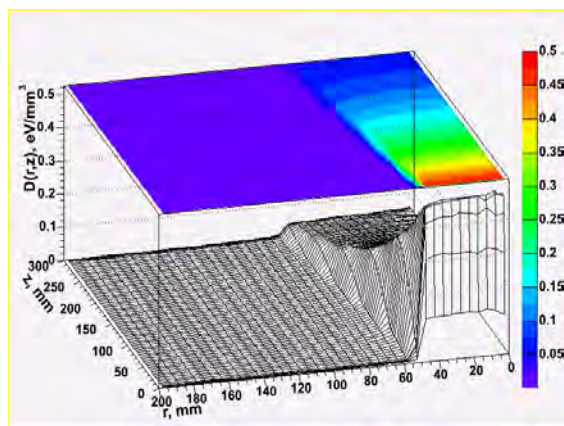


Рис. 2 - Результаты расчета поглощенной дозы в водном фантоме. [3]

На Рис. 3 представлено сравнение распределений поглощенных доз по глубине во всем фантоме полученных на разработанном приложении (гистограмма 2) и программе «Компьютерная лаборатория» (гистограмма 1) [4].

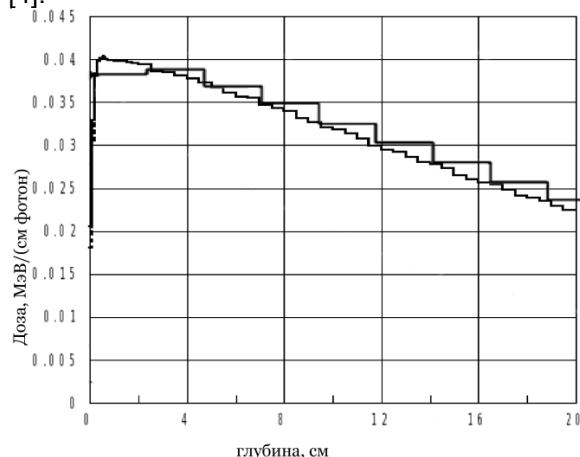


Рис. 3 - Сравнение расчетов распределения поглощенной дозы по глубине во всем фантоме: 1 – результат расчета разработанного приложения; 2 – результат расчета программы «Компьютерная Лаборатория».

По гистограммам видно, что согласие результатов является удовлетворительным.

Также было произведено сравнение с результатами расчета дозных полей, полученных на дозиметрической системе планирования гамма-облучения, применяемой в НИИ Онкологии. Результаты сравнения представлены на рисунке 4. Цифры на графике обозначают дозу в данной области поглотителя в отн.ед. (8 – 80%, 6 – 60% и т.д.), а изолинии – результат расчета разработанного приложения (максимум 90%). По Рис. 4 видно, что 80-ти, 60-ти и 40 %-ные изодозы совпадают. Погрешность всех проведенных расчетов со-

ставляет 5-10%. Неровность и изолиний характеризуются малой статистикой 500000.

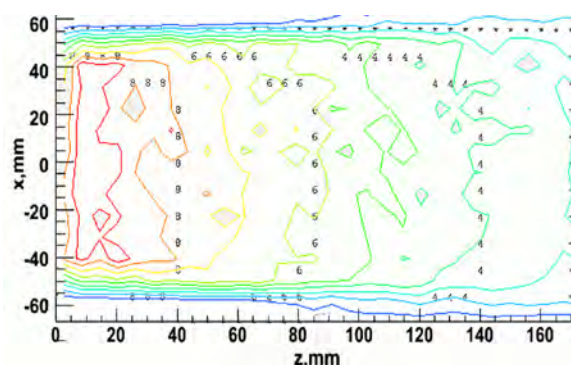


Рис. 4 - Сравнение результатов расчетов распределения поглощенной дозы в водном фантоме по глубине

В основу существующих программ для планирования облучения положены алгоритмы, допускающие упомянутое приближение. Во многих случаях точность таких программ вполне применима. Но исключения составляют случаи, при которых в организме имеются искусственные имплантаты, при нахождении которых приобретают в настоящее время в се-

большее распространение (пластическая хирургия, травматология и др.). В таких случаях расчет поля поглощенной энергии должен проводиться с учетом этих особенностей. Именно поэтому создание приложения, учитывающего все происходящее в тканях процессы взаимодействия, является актуальной задачей в медицине.

Список литературы

1. Лисин В.А., Метод расчета распределения поглощенной дозы пучка быстрых нейтронов циклотрона У -120 в биологической ткани. Мед. Радиология, 1990. №1, с. 45-47.
2. <http://www.geant4.web.cern.ch/>
3. Кондратьева А.Г. Доза гамма-излучения в неоднородных тканезквивалентных средах / А.Г. Кондратьева, В.И. Беспалов, А.М. Кольчужкин, В.А. Лисин, И.С. Тропин. - Томск, 2005 г.
4. Беспалов В.И. Использование программного комплекса «Компьютерная лаборатория» в задачах лучевой терапии/ В.И. Беспалов. - Томск, 2009.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБЕЗЗАРАЖИВАТЕЛЬ МОЛОКА ПРОТОЧНОГО ТИПА

Скорик Д.А.1, Торгаев С.Н.1,2, Тригуб М.В.1,2

Научный руководитель: Торгаев С.Н., ассистент

1 – Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

2 – Институт оптики атмосферы СО РАН, Россия, 634055, г.Томск, пр. Академический, 1

E-mail: red_moon@list.ru

В настоящее время выход телят в России на 100 коров составляет 72 головы, большая их часть переболевают желудочно - кишечными болезнями. В развитых странах потери телят также высоки, причем более 3/4 падежа приходится на молозивный период, то есть на первые 10 дней жизни.

Одной из основных причин заболеваний и падежа новорожденных телят является несовершенство существующих технологий и технических средств для ихи искусственного вскармливания [1]. Следовательно, необходима стерилизация молока, которая проводится в целях получения безопасного в санитарно-гигиеническом отношении продукта и обеспечения его длительного хранения при температуре окружающей среды без изменения качества.

В связи с этим, вопрос создания устройств, для кормления новорожденных телят, максимально сответствующих их физиоло-

гическим особенностям и потребностям, является актуальным.

Существующие на сегодняшний день тепловые методы стерилизации оказывают вредное влияние на качество получаемого продукта, так как в них обработка осуществляется при высоких температурах. Длительное воздействие в высоких температурах может вызвать необратимое изменение структуры и свойств белков и прочих составных частей молока [2].

Исследованиями доказано [3], что дробление жировых шариков молока до меньших размеров почти на треть повышает питательную ценность молока. Дробление жировых шариков (гомогенизацию) возможно осуществлять с помощью ультразвукового аппарата.

В своей работе мы занимаемся разработкой «Ультразвукового обеззараживателя молока проточного типа». Молоко, стерилизованное в потоке при ультравысокотемпера-

турных режимах с кратковременной выдержкой, по своим качественным показателям хранения приближается к пастеризованному молоку [4].

При ультразвуковой обработке молока, как следует из результатов исследования, не происходит разрушения наиболее лабильной части витамина С и его содержание остается практически равным исходному - 0,83 мг. Таким образом, ультразвуковая обработка обеспечивает не только повышение питательной ценности молока, но и обеспечивает его стерилизацию.

На рис. 1 приведена структурная схема "Ультразвукового обеззараживателя молока проточного типа":

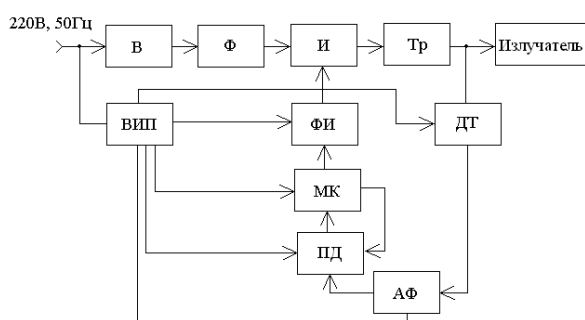


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового обеззараживателя молока: **В** - выпрямитель; **Ф** - фильтр; **И** - инвертор; **Тр** - трансформатор; **ФИ** - формирователь импульсов; **ВИП** - вспомогательный источник питания; **ДТ** - датчик тока; **МК** - микроконтроллер; **ПД** - пиковый детектор; **АФ** - активный фильтр.

Прибор, построенный по такой схеме, имеет возможность автоматической подстройки частоты излучателя на резонанс. Благодаря чему достигается максимальное значение интенсивности ультразвука.

Постоянное напряжение с выпрямителя и фильтра подается на схему и инвертора (И), который необходим для формирования на излучателе напряжения с частотой близкой к частоте резонанса излучателя. Для обеспечения гальванической развязки, а также повышения напряжения подаваемого на излучатель, напряжение со схемы инвертора подается на излучатель через повышающий трансформатор (Тр).

Для эффективного обеззараживания молока необходимо чтобы излучатель работал на резонансной частоте, которая зависит от нагрузки, следовательно, в схеме необходимо предусмотреть автоматическую подстройку частоты. Резонанс в схеме излучателя характеризуется максимумом тока протекающего во вторичной обмотке трансформатора (Тр). Сигнал, передаваемый в нагрузку, регистрируется датчиком тока (ДТ) и поступает на

схему активного фильтра нижних частот (АФ), для и включения в высокочастотных по мех. Для отслеживания амплитуды сигнала в схеме предусмотрен пиковый детектор (ПД). Сигнал с ПД поступает на АЦП микроконтроллера (МК). Таким образом, отслеживая амплитуду тока излучателя, микроконтроллер выполняет перестройку частоты работы схемы так, чтобы она являлась резонансной. В качестве микроконтроллера в данном приборе используется микросхема ATMEGA8.

Для питания микросхем системы управления в схеме предусмотрен вспомогательный источник питания (ВИП).

На основе данной структурной схемы был разработан макет ультразвукового обеззараживателя.

На рис. 2 показана осциллограмма тока излучателя на частоте, соответствующей резонансной (21,1 кГц):

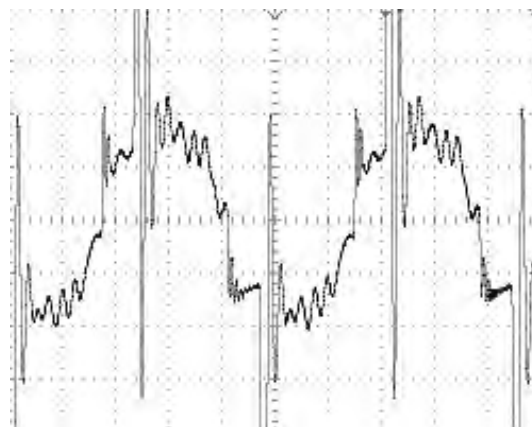
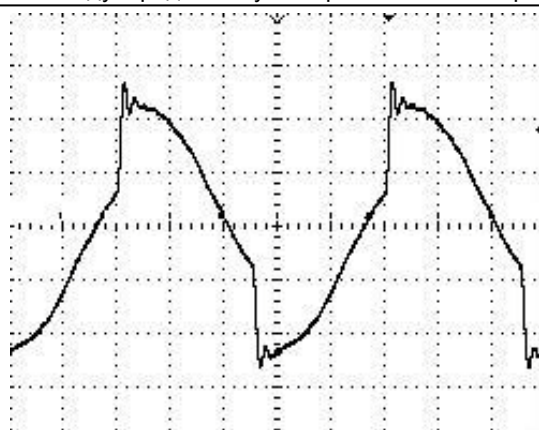
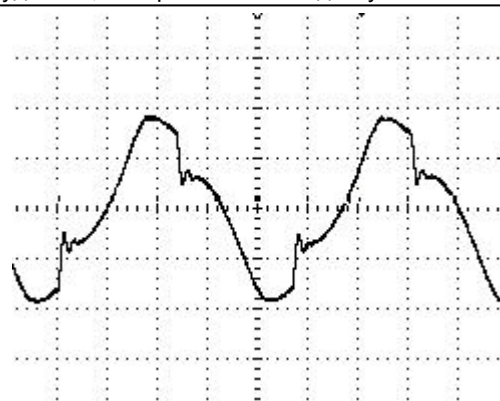


Рис. 2. Осциллограмма тока УЗ излучателя.

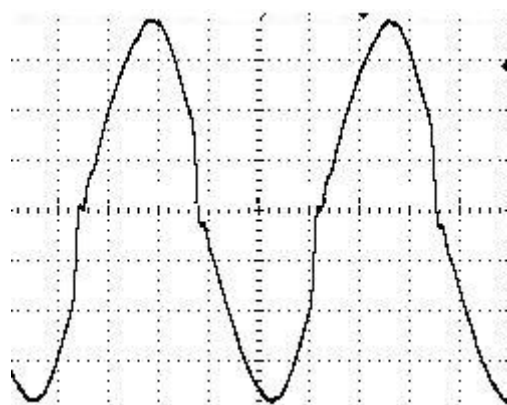
Данная осциллограмма показывает, что из-за наличия в схеме механического резонанса ток излучателя имеет достаточно сильные помехи. Так как автоподстройка частоты в схеме осуществляется по амплитуде тока излучателя, то необходима фильтрация сигнала обратной связи. На рис. 3 приведены осциллограммы токов излучателя на разных частотах после фильтрации:



а)



в)



б)

Рис. 3. Осциллограммы токов УЗ излучателя на частотах: а) 20 кГц; б) 21,1 кГц (резонанс); в) 21,3 кГц.

Из приведенных осциллограмм видно, что на частоте соответствующей частоте резонанса, в условиях данного эксперимента 21,1 кГц, амплитуда тока является максимальной. Это доказывает возможность реализации режима автоматической подстройки частоты при использовании в качестве сигнала обратной связи – ток УЗ излучателя.

Список литературы

1. Кузнецов С. А., Заболотнов Л. В. Выращивание здоровых телят. // Животноводство России. – 2007. – №11. – с. 37-39
2. Montville, T. J., and K. R. Matthews: "food microbiology an introduction", page 30. American Society for Microbiology Press, 2005.
3. Ультразвуковая обработка молока. <http://u-sonic.ru/>
4. Ron Schmid. The Untold Story of Milk by Ron Schmid, ND; New Trends Publishing, Nov. 2003.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ ЧЕЛОВЕКА

Стертюков С.В.

Научный руководитель: Ульянычева В.Ф., к.ф.-м.н., доцент
Амурский государственный университет,
675027, Россия, г. Благовещенск, ул. Игнатьевское шоссе, 21
E-mail: stertyukov@mail.ru

В конце 50-х годов начал по-прежнему являться научный интерес к проблеме теплообмена в дыхательных путях человека [10] и, в частности, к влиянию холодного воздуха на функционирование респираторной системы [13]. Накапливающиеся знания в этой сфере начинали оказывать влияние на изучение различных болезней дыхательной системы [8],

либо служили основой для дальнейших исследований характеристик теплообмена при выполнении холодовой бронхопровокации [11]. В частности, в наши дни всё чаще встречаются различные случаи заболеваний респираторного тракта, оказывающих влияние на нормальное протекание теплообмена. Создание моделей теп-

ломассообмена началось в конце 80-х годов [9], но в них имелись свои недостатки. В данной работе рассмотрено влияние геометрии поверхности дыхательных путей на эффективность влагообмена.

Изучение системы внешнего дыхания человека приводит к созданию новых более совершенных моделей процессов, протекающих в ней. Одной из подсистем внешнего дыхания является теплообмен. Существующие модели теплообмена в дыхательных путях человека не учитывают в полной мере сложности геометрии поверхности, через которую идет передача теплоты. Тем более что вычислительные возможности современной компьютерной техники позволяют создавать более достоверные модели процессов в сложных биологических системах, в частности, в дыхательных путях человека.

Для разработки новой модели необходимо изучить задачу теплообмена для различных случаев и проанализировать влияние на решение таких факторов как геометрия потока и поверхности.

Основным методом расчета конвективного теплообмена является теория пограничного слоя. Случай ламинарного течения сплошной среды в доль пластины бесконечной ширины и конечной длины [6] описывается уравнениями Прандтля:

$$w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2}, \quad (1)$$

$$w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} = a \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}. \quad (2)$$

Здесь $\nu = \mu / \rho$ – это коэффициент кинематической вязкости,

μ – коэффициент внутреннего трения,

ρ – плотность,

T – абсолютная температура,

w – скорость потока,

a – коэффициент температуропроводности.

Если $\nu = \mu / \rho$ численно равен a , то уравнения для T и w идентичны. Тогда описываемые уравнениями (1), (2) поля температур и скоростей подобны. Равенство ν и a означает, что критерий Прандтля равен единице. Таким образом, критерий Прандтля определяет степень подобия гидродинамического и теплового пограничных слоев. Если $Pr = 1$, то $\delta = \delta_T$, если $Pr \leq 1$, то динамический пограничный слой лежит внутри теплового, если $Pr \geq 1$, то тепловой пограничный слой лежит внутри динамического.

Полученные дифференциальные уравнения решаются различными численными методами.

Другой метод – применение интегральных уравнений пограничного слоя. Эти уравнения

в разное время были получены учеными: Карманом – для динамического – и Кружилиным – для теплового пограничных слоев. Они выглядят следующим образом.

$$\frac{d}{dx} \int_0^\delta w_x (w_\infty - w_x) dy = \nu \left. \frac{\partial w_x}{\partial y} \right|_{y=0}$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_T} w_x (t_\infty - t_x) dy = a \left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=0}$$

Получены эти уравнения все тем же методом рассмотрения переноса количества движения и энергии через выделенный элементарный объем внутри пограничного слоя. Решение интегральных уравнений пограничного слоя приводит к следующим результатам. Для ламинарного пограничного слоя:

$$Nu_x = 0,33 Re_x^{1/2} Pr^{1/3},$$

$$Nu_l = 0,66 Re_l^{1/2} Pr^{1/3}.$$

Здесь Re_x – местное значение числа Рейнольдса,

Re_l – усредненное по длине пластины число Рейнольдса. Для турбулентного режима течения в пограничном слое функциональная зависимость несколько иная:

$$Nu_x = 0,0296 Re_x^{0,8} Pr^{0,43},$$

$$Nu_l = 0,037 Re_l^{0,8} Pr^{0,43}.$$

Заметим, что режим течения – ламинарный или турбулентный – определяется величиной критерия Рейнольдса.

Рассчитаем на основе полученных решений толщину температурного пограничного слоя для воздуха, движущегося со скоростью 1,6 м/с вдоль пластины для характерного расстояния 5 см от края пластины с условием, что температура воздуха 20°C , а температура плиты 36°C . Выбор таких параметров обусловлен средними характеристиками внешнего дыхания человека (объем дыхания 20 л/мин, площадь поперечного сечения на входе 1 см²). Подставляя перечисленные параметры, получаем соответственно для ламинарного и турбулентного потоков:

$$\delta_{\text{л}} = 2,49 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$\delta_{\text{т}} = 2,22 \times 10^{-3} \text{ м}$$

И, зная параболическую зависимость температуры от координаты y [7], находим следующие температуры в воздухе на расстоянии 1 мм от пластины для случаев ламинарного и турбулентного движений:

$$t_{\text{л}} = 32,2^\circ\text{C},$$

$$t_{\text{т}} = 31,3^\circ\text{C}.$$

В случае стационарного течения газа в трубке система уравнений во взятой системе координат [2, 3] (x направлена вдоль оси, y – в радиальном направлении) примет следующий вид:

$$\frac{\partial \rho w_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho w_y}{\partial y} = 0; \quad (3)$$

$$\rho \left(w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) - \frac{dp}{dx} + \rho g_x \beta (T - T_\infty) \quad (4)$$

$$\rho c_p \left(w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \mu \left(\frac{\partial w_x}{\partial y} \right)^2 + w_x \frac{dp}{dx}; \quad (5)$$

$$\frac{p}{\rho} = RT; \quad (6)$$

$$\mu = \mu(T). \quad (7)$$

Система уравнений (3)-(7) в нашем случае не имеет точных решений. Но известные численные методы [5, 7], применяемые для набора наших исходных параметров, дают следующие значения температур соответственно для ламинарного и турбулентного движений:

$$t_{2l} = 34,3^\circ \text{C};$$

$$t_{2t} = 33,1^\circ \text{C}.$$

Ввиду схожести зависимости пограничных слоев скоростей и температур, для температурного поля и для поля скоростей характерны подобные уравнения. Также решения для осесимметричных течений можно получить применяя уже известные решения для плоских течений путем использования преобразований Манглера (позволяющие выполнить пересчет координат и скоростей осесимметричной задачи в соответствующие координаты и скорости плоской задачи).

Также при построении модели теплообмена в дыхательных путях человека нам необходимо учесть массообмен. Испарение вносит большой вклад в теплообмен. Этот процесс описывается уравнением:

$$q_L = h_{fg} k_c (C_M(x) - C_A(x))$$

где h_{fg} – теплота парообразования;

k_c – коэффициент массопереноса (вычисляется через число Шервуда);

$C_M(x)$ – концентрация воды на стенке слизистой;

$C_A(x)$ – концентрация воды в воздухе.

По экспериментальным оценкам [1, 12] вклад массопереноса с влажной поверхности в воздух повышает температуру в выбранной

нами точке на 1-3 °C (в зависимости от типа движения газа и геометрии поверхности).

Для того чтобы обеспечить прогрев в дыхательном воздухе в соответствии с реальной ситуацией в учет должна быть принята шероховатость дыхательных путей (реснитчатый эпителий), а также наличие влагообмена между слизистой и воздухом.

Список литературы

1. Гебхарт Б., Джалурия Й., Махаджан Р. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен. – Мир. – 1991.
2. Лойцянский Л.Г. Ламинарный пограничный слой. – М.: Гос. изд. физ.-мат. литературы, 1983.
3. Олейник О.А.: Математические задачи теории пограничного слоя // Успехи математических наук. – 1982. – №3. – С. 3-65.
4. Патанкар С., Сполдинг Д. Тепло- и массообмен в пограничных слоях. – М.: Энергия. – 1971.
5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М: Наука, 1974.
6. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1981.
7. Юдаев Б.М. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1973.
8. Chen W.Y., Horton D.J. Heat and water loss from the airways and exercise-induced asthma // Respiration. – Vol. 34, №6. – P. 305-313.
9. Hanna L.M., Scherer P.W. A theoretical model of localized heat and water vapor transport in the human respiratory tract // Biomechanical Engineering. – 1986. – Vol. 108. – P. 19-27.
10. Ingelstedt S. Studies on the conditioning of air in the respiratory tract // Acta Oto-laryngol. – 1956. – Vol. 131. – P. 1-80.
11. Mathew O.P., Sant'Ambrogio F.B. Characteristics of laryngeal cold receptors // Respiratory Physiology. – 1988. – Vol. 71, №3. – P. 287-297.
12. Vladislav N., James S.U. Longitudinal distribution of chlorine absorption in human airways: a comparison to ozone absorption // Journal of Applied Physiology. – 1999. – Vol. C-8, N 87. – P. 2073-2080.
13. Wells R.E. Influence of cold air on respiratory resistance to air's flow // New Engl. J. Med. 1960. – Vol. 263, №6. – P. 268-273.

РЕАЛИЗАЦИЯ ABC/VEN- И ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАРМАКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ В РАМКАХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АССПЕД».

Супроненко О.С.

Научный руководитель: Сизов Е.Е.

Сибирский Государственный медицинский университет,

634050, Россия, г.Томск, Московский тракт 2

E-mail: olga4407@mail.ru

В настоящее время в стране более серьезной проблемой мирового здравоохранения становится рост стоимости медицинского обслуживания.

На структуру расходов в здравоохранении влияет целый ряд факторов. Из них наиболее общими для большинства экономически развитых стран являются: старение населения, рост уровня заболеваемости хроническими болезнями и инвалидности, разработка новых, высокоэффективных, но вместе с тем и дорогостоящих методов лечения и медицинских технологий, желание пациентов получать более качественную медицинскую помощь. При этом основными становятся проведение исследований с привлечением экономического анализа. В применении к лекарственным средствам экономический анализ получил название "фармакоэкономика"[4].

Фармакоэкономика – это новая самостоятельная наука, изучающая вопросы экономического анализа применения лекарственных средств и медицинских технологий в лечебном процессе[3].

История проведения фармакоэкономических исследований в России берет свое начало в 90-х годах прошлого столетия. Стремительное ее развитие связано с тем, что экономическая оценка, наравне с клиническими исследованиями, является рациональным методом оздоровления условий, позволяющих распределять имеющиеся, как правило, ограниченные ресурсы наиболее эффективно[2].

В нашей стране рациональное использование лекарственных средств – это одна из наиболее актуальных задач. В этой связи применение системы фармакоэкономического анализа на всех этапах оказания медицинской помощи является необходимым инструментом оценки эффективности использования ресурсов здравоохранения.

Как известно, все лекарственные препараты можно условно разделить на основные (для терапии конкретного заболевания), препараты для лечения сопутствующих заболеваний и препараты, косвенно влияющие на заболевание. Таким образом, остро стоит вопрос о необходимости расчета затрат на «основные» препараты, а также «сопутствующие», экономия при этом на препаратах

третьей группы, которые как правило не оказывают эффекта в лечении определенной нозологии[5]. То есть, существует потребность при выборе какого-либо препарата видеть наглядно структуру затрат в зависимости от заболевания и тяжести состояния. Важно отметить, что при этом не стоит цели изменить подходы к терапии, целью является улучшение результатов лечения и снижение стоимости терапии без ухудшения ее качества[3]. В соответствии с этим можно осуществить, проводя анализ фармакоэкономической эффективности работы учреждений здравоохранения, на основе которого будет возможно сделать вывод о дальнейшей рационализации его работы.

Среди всех методологий к линико-экономическим и исследованиям, для оценки фармакоэкономической эффективности работы медицинского учреждения применяют только три: ABC-, VEN- и частотный анализы[1]. Расчет фармакоэкономических показателей для данных видов анализа является очень трудоемким занятием, что приносит врачам в повседневной работе достаточно неудобств. Поэтому естественным и желанным является автоматизировать процесс расчета с тем, чтобы в результате уже видеть наглядно всю структуру затрат за необходимый период времени в зависимости от заболевания и тяжести состояния.

Цель: Разработать информационно-аналитическую систему в рамках программного комплекса «АССПЕД» с реализацией ABC/VEN- и частотного анализа для оценки фармакоэкономической эффективности работы учреждений здравоохранения.

Материалы и методы: Расчет фармакоэкономических показателей для оценки эффективности работы учреждения здравоохранения осуществляется с использованием трех методов линико-экономического анализа: ABC-, VEN- и частотного анализа.

ABC-анализ – методика, которая применяется для анализа структуры затрат на медикаментозные препараты в медицинском учреждении. При проведении ABC-анализа определяется доля затрат на каждый использованный лекарственный препарат за определенный период времени. При этом все лекарственные препараты ранжируются в порядке

убывания затрат на них. Обычно для анализа стоимости препаратов расчет строится на основе средних оптовых цен фирм-дистрибьютеров, если препараты применяются в стационаре, а если пациенты получали лечение амбулаторно, то на основе средних цен в аптеках. Затем все лекарственные препараты разбиваются на три группы: в группу А относят наиболее затратные препараты, на которые в сумме было потрачено 80% средств, в группу В – менее затратные, на которые в сумме ушло 15% средств, в группу С – наименее затратные, на которые ушло 5% средств. В итоге в группе А должны находиться препараты с подтвержденной эффективностью. Если же в нее вошли препараты, не эффективные при лечении данной патологии, то это свидетельствует о нецелесообразности расходования средств. Таким образом, ABC-анализ используется для определения приоритетов и целесообразности расходования средств на основе ретроспективной оценки реальных затрат.

ABC-анализ дополняется VEN-анализом.

VEN-анализ – распределение лекарственных средств по степени значимости: в группу V(vital) входят жизненно необходимые препараты, в группу E (essential) – важные, в группу N (non-essential) – второстепенные, незначимые препараты. Распределение препаратов по этим группам возможно с помощью двух подходов: формального (на основании нормативных документов, например, ПЖНВЛС) и экспертного (экспертная оценка препаратов с точки зрения их значения в лечении конкретной патологии).

Частотный анализ – это ретроспективная оценка частоты применения той или иной технологии. С учетом затрат на каждый вид услуги или лекарственного средства позволяет определить, на какие виды помощи уходит основная доля расходов.

Все три вида анализа дополняют друг друга и позволяют оценивать структуру расходов и выявлять случаи нерационального распределения ресурсов[1].

Система реализована с помощью структурного программирования, клиент-серверных технологий, SQL (Structured Query Language – язык структурированных запросов).

Для проведения фармакоэкономического анализа необходимы параметры: лекарственные препараты, назначавшиеся пациентам в каждом отдельном случае в зависимости от заболевания и степени тяжести (название препарата (торговое и МНН), частота назначения, суточная доза, длительности лечения, стоимость одной дозы, общая стоимость препарата на весь курс терапии и др.). Все необходимые параметры содержатся в базе данных программного комплекса, к уда

вляются врачами во время лечения пациента и наблюдения за ним. А затем, с помощью запросов, производится расчет фармакоэкономической эффективности работы медицинского учреждения за выбранный период времени.

Результаты:

Информационно-аналитическая система позволяет проводить клинко-экономические исследования для изучения структуры расходов на лечение больных при применении разных медицинских вмешательств. С ее помощью возможно выявить те неэффективные или чрезмерно затратные технологии, на замену которых необходимо будет направить новые, а также структуру затрат в зависимости от заболевания и тяжести состояния. Кроме того, она позволяет хранить большие массивы данных, в результате чего, врач сможет производить различные срезы за необходимый период времени по определенной заболеваемости и в зависимости от тяжести состояния. Таким образом, проведя фармакоэкономический анализ эффективности работы медицинского учреждения, можно сделать вывод о дальнейшей рационализации его работы.

Выводы: Реализованное клиентское приложение врача-педиатра системы «АССПЕД» позволяет рассчитывать фармакоэкономическую эффективность работы учреждений здравоохранения с целью совершенствования управленческой деятельности.

Несомненно, от качества реализованной системы фармакоэкономической оценки зависит не только оптимизация деятельности лечебно-профилактического учреждения, но и рационализация использования лекарственных средств, повышение эффективности лечения, а значит и качества жизни людей.

Список литературы

1. ABC-, VEN- и частотный анализы в здравоохранении / П.А. Воробьев // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2004. – № 3.
2. Особенности методологии фармакоэкономических исследований в условиях здравоохранения Российской Федерации (обзор публикаций за период 1995 по 2007 гг.) / Р.И. Ягудина, А.Ю. Куликов, И.С. Крысанов, М.М. Литвиненко, А.Л. Морозов // Фармакоэкономика. – 2009. – №1.
3. Проект отраслевого стандарта "Фармакоэкономические исследования. Общие положения" / М.В. Аксентьева, П.А. Воробьев, И.Б. Герасимов, С.Г. Горохова // Проблемы стандартизации в здравоохранении. – 2000. – № 4. – С. 42-54.

4. Фармакоэкономика: теоретические основы и практические аспекты развития фармакоэкономических исследований в Беларуси / А.К. Цыбин, М.К. Кевра, Н.Н. Пилипцевич, Н.М. Трофимов // Вопросы организации и

форматизации здравоохранения. — 2001. — №3. — С. 7–10.

5. Фармакоэкономическое исследование — инструмент рационализации лекарственного обеспечения в России/Голин А. // Реме-диум.— 1999.— № 10.— С. 24–26

ПРИБОР ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ КАМНЕЙ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Лернер М.И., Иванова Л.Ю., Титова О.С.

Научный руководитель: Лернер М.И., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: okSano4kina@sibmail.com

Введение

Важность проблемы мочекаменной болезни (МКБ) огромна. Показатель заболеваемости населения в среднем по России составляет до 30 % от всех урологических заболеваний и встречается не менее чем у 1-3 % трудоспособного населения в возрасте от 20 до 50 лет [1].

В настоящее время, во всем мире интенсивно развиваются малоинвазивные способы разрушения камней, которые получили общее название — литотрипсия. Из всех способов, наибольшее распространение получила дистанционная литотрипсия (ДЛТ), применяемая во многих урологических клиниках России. Неоспоримым преимуществом ДЛТ является отсутствие непосредственной инвазии в организм пациента.

Одновременно, помимо ДЛТ, освоены и продолжают широко разрабатываться эндоскопические методы разрушения камней. К их числу относятся операции с применением контактной литотрипсии.

Контактная литотрипсия основана на передаче энергии к камню посредством зонда, введенного через эндоскоп. Основное её преимущество — прямая передача энергии к камню, непосредственный контроль над процессом, возможность разрушения фрагментов камней. Наиболее популярны ультразвуковые, лазерные, пневматические, электрогидравлические и электроимпульсные литотрипторы [2].

Одним из первых контактных литотрипторов был прибор «УРАТ», созданный в России, для дробления камней в мочевом пузыре, принцип действия которого заключался в передаче электрогидравлической энергии к камню. Однако, с развитием новых технологий, он был вытеснен с рынка более безопасными зарубежными приборами.

Тем не менее, сегодня, только лазерный литотриптор является прибором по позволяю-

щим разрушать камни по всей длине мочевого тракта. В связи с этим, был разработан электроимпульсный способ контактной литотрипсии [3,4] и создан опытный образец прибора — контактный электроимпульсный литотриптор.

Электроимпульсный способ позволил и использовать достоинства традиционных способов разрушения камней — электрогидравлического (быстрое разрушение камня) и лазерного (длинный тонкий гибкий зонд,) и избавиться от их недостатков (для электрогидравлического — высокая травматичность, для лазерного — длительное время разрушения камня).

Описание прибора

Принцип действия прибора основан на создании в твердом теле (объекте разрушения), электрического пробоя, при воздействии на него коротких импульсов напряжения. В таком случае энергия в основном расходуется на разрушение камня.

Общий вид малогабаритного электроимпульсного литотриптора «Уролит» приведен на рис. 1.



Рис.1 Внешний вид прибора: 1- генератор импульсов с системой управления и контроля, 2- передающий кабель, 3- зонд, 4- сетевой шнур, 5- педаль управления.

В приборе предусмотрена регулировка энергии импульсов напряжения в пределах от 0,1 до 1,0 Дж. Прибор генерирует однократные импульсы напряжения и пакеты, с частотой следования импульсов в пакете до 5 Гц.

Непосредственным рабочим устройством для разрушения камней по всей длине мочевого пузыря является специальный зонд. Зонд вводится в естественные проходы мочевого пузыря человека через эндоскоп.

В общем виде зонд электроимпульсного литотриптора состоит из разрядной головки, передающей части (кабеля) и высоковольтного электрического разъема. Разрядная головка зонда является тем элементом, от надежности работы которого во многом зависит эффективность разрушения камня. В связи с чем, разработке этого элемента зонда должно быть уделено существенное внимание.

Результаты исследований

Ресурс работы головки определяется электрическими, механическими и геометрическими параметрами используемых материалов.

В течение длительного времени исследовано большое количество зондов с различной конструкцией головки и применяемых материалов. В результате, за базовую основу принята конструкция головки, представленная на рис.2.

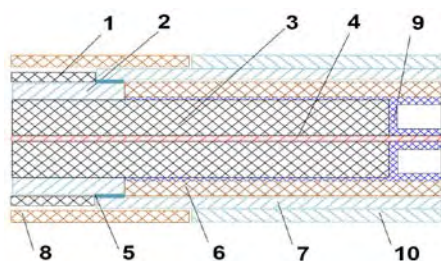


Рис.2 Конструкция головки зонда, где: 1 - внешняя изоляция коаксиального кабеля; 2 - оплетка кабеля; 3 - основная изоляция кабеля; 4 - центральная жила кабеля (первый электрод); 5 - серебряный припой; 6 - полиимидная изоляционная втулка; 7, 10 - металлическая трубка (второй электрод); 8 - внешний полиимидный катетер; 9 - пленка диэлектрическая.

Изменяя геометрические параметры головки зонда и используемые материалы, можно управлять эффективностью разрушения камней и ресурсом работы зондов. По результатам исследований, было выявлено, что с увеличением величины диаметра зонда и соответственно толщины и изоляции увеличивается эффективность и ресурс зонда. Сведения об используемых зондах представлены в таблице 1. Результаты экспериментов

на ресурс и эффективность работы представлены в таблице 2.

Таблица 1. Основные параметры зондов

Номер зонда	Внешний диаметр, мм	Толщина изоляции, мм	Диаметр жилы, мм
1	0,90	0,20	0,16
2	0,90	0,225	0,16
3	0,99	0,265	0,16
4	1,08	0,275	0,16
5	1,27	0,315	0,16
6	1,49	0,535	0,20

Таблица 2. Эффективность и ресурс работы зондов разной конструкции

Номер зонда	Эффективность			Ресурс
	хор.	норм.	слабо	
1	220	220	350	792
2	195	255	1000	1450
3	270	348	652	1270
4	350	400	600	1350
5	272	487	648	1407
6	430	575	1250	2255

Сравнивая с наиболее популярными дистанционными и лазерными литотрипторами, величина суммарной энергии затраченной на разрушение камня при электроимпульсном способе дробления значительно меньше, а эффективность дробления не ниже. Этот фактор способствует повышению безопасности операции и снижению риска послеоперационных осложнений.

Выводы

Основными преимуществами прибора являются наличие гибких зондов различных диаметров (от 0,9 до 1,5 мм), позволяющих проводить операции по всей длине мочевого тракта; малая суммарная энергия, затрачиваемая на разрушение камней; низкая травматичность окружающих тканей; небольшие массогабаритные показатели [1].

По мнению врачей-урологов, контактная электроимпульсная литотрипсия является эффективным методом лечения конкрементов любого химического состава в мочеточнике и мочевом пузыре, приводя к деструкции конкремента в 96% случаев. Это позволяет расценивать электроимпульсную литотрипсию как высокоэффективный метод, близкий по эффективности к лазерной литотрипсии. Созданный прибор не уступает зарубежным образцам, а по некоторым параметрам даже превосходит их [5].

Список литературы

1. Гудков А.В., Бощенко В.С., Афонин В.Я. Контактная электроимпульсная литотрипсия // Урология, 2009. - №2. - С.32-37.
2. Лернер М.И., Черненко В.П., Аненкова Л.Ю., Дутов А.В. Применение электрического импульсного разряда в медицине // Сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А.Воробьева. - Том 2/ ТПУ, 2009. - С.283-288.
3. В.В. Лопатин, М.И. Лернер, В.В. Буркин, В.П. Черненко. Электроразрядное разрушение биологических конкрементов // Известия вузов. Физика, 2007. - №9. Приложение. - С. 181-184.
4. V. Chernenko, V. Diamant, M. Lerner and other, Method and intracorporal lithotripsy fragmentation and apparatus for its implementation, USA patent № 7,087,061/B2.
5. Афонин В.Я., Гудков А.В., Бощенко В.С., Арсеньев А.В. Эффективность и безопасность эндоскопической контактной электроимпульсной литотрипсии у больных мочекаменной болезнью. // Сибирский медицинский журнал, 2009. - №1. - С.117-123.

ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ГЕННОЙ СЕТИ АЛЬВЕОЛЯРНЫХ МАКРОФАГОВ ПРИ ХОБЛ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ГЕННОЙ ЭКСПРЕССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ GRATIO

Хабудаев К.В.

Научный руководитель: Шилов Б.В., к.м.н., доцент
Сибирский Государственный Медицинский Университет,
634050, Россия, г. Томск, Московский тракт, 2
E-mail: khabudaev@gmail.com

Идентификация генов и путей их активации при различных заболеваниях и других биологических процессах является одной из центральных проблем в биологии [1]. Развитие технологий ДНК-микрочипов и методов исследования с высокой пропускной способностью позволило приблизиться к решению данного вопроса [2].

Широкомасштабное секвенирование геномов, экспериментальные методы протеомики, геномики и транскриптомики обеспечивают колоссальный рост молекулярно-биологической информации, которую принципиально невозможно осмыслить и переработать без использования специальных программно-информационных средств. Во всем мире интенсивно ведутся исследования в области организации биологических систем и технологий, в частности: высокопроизводительных биочипов (ДНК-микрочипы, белковые, клеточные и тканевые микрочипы, микрочипы на основе малых молекул); протеомных и метаболомных экспериментальных технологий, широко и используемых в биомедицине, фармакологии, биотехнологии, агробиологии и других областях. При этом следует отметить, что в настоящее время активное развитие экспериментальных методов и идентификации молекулярных взаимодействий на самых разных уровнях организации биологических систем значительно опережает развитие биоинформатических средств поддержки,

анализа и интерпретации результатов экспериментов [3].

В связи с этим возникает необходимость в комплексных компьютерных подходах к интеграции и анализу гетерогенных экспериментальных данных молекулярной и клеточной биологии. Острая потребность в решении этих задач привела к появлению нового научного направления - системной компьютерной биологии. Ключевая задача этого нового раздела биологии состоит в получении целостного представления о структуре и механизмах функционирования иследуемых молекулярно-биологических систем на основе интеграции и анализа разнотипных экспериментальных данных.

Хроническая обструктивная болезнь легких (ХОБЛ) является одной из ведущих причин заболеваемости и смертности в мире и приводит к значительному и постоянно растущему экономическому и социальному ущербу. Адекватное лечение может значительно увеличить продолжительность и улучшить качество жизни больных, страдающих этой легочной патологией. В основе возникновения и прогрессирования ХОБЛ лежит хроническое воспаление, которое, с одной стороны, является универсальной реакцией на воздействие факторов риска развития болезни, а с другой — главной причиной в сех функциональных и морфологических проявлениях ХОБЛ. В развитии ХОБЛ предполагается участие факторов воспаления, прежде

всего с истемы цитокинов, факторов, регулирующих пролиферацию соединительной ткани, а также факторов защиты, таких как альвеолярные макрофаги [4].

Особенностью альвеолярных макрофагов является слабая экспрессия CD14 по сравнению с моноцитами крови в сочетании с повышенной экспрессией особого мембранного полипептида PAM-1. Альвеолярные макрофаги экспрессируют три класса рецепторов для Fc-фрагмента IgG: FcγRI(CD64), FcγRII(CD32), FcγRIII(CD16). Первые два из них экспрессируют моноциты крови, а третий является особенностью альвеолярных макрофагов. Между моноцитами и альвеолярными макрофагами имеется различие и по экспрессии рецепторов для фракций комплемента. На альвеолярных макрофагах усилена экспрессия CR4 при ослабленной экспрессии CR3 и CR1. Альвеолярные макрофаги отличаются от моноцитов крови сниженной экспрессией адгезионных молекул LFA1 и отсутствием на мембране представителей семейства интегринов (VLA). По уровню экспрессии антигенов гистосовместимости MHC альвеолярные макрофаги не уступают моноцитам крови.

На мембране макрофагов экспрессированы рецепторы для многих регулирующих цитокинов, главным активным среди которых является IFNγ. Созревание, дифференцировка и активация макрофагов зависят от ростовых факторов: GM-CSF и M-CSF. Альтернативным регулирующим цитокином для макрофагов является IL-10, который ингибирует в себе свойства и функции макрофагов, которые стимулирует IFNγ.

Промежуточное влияние на функции макрофагов оказывают IL-4, IL-13, M-CSF и TGF-β.

Среди продуктов секреции макрофагов главное место занимают провоспалительные (IL-1, IL-6, TNF-α, IL-8, IL-12) и противовоспалительные (IL-10, TGF-β) цитокины. Макрофаги продуцируют и секретируют факторы роста для аутокринной регуляции и для регуляции других клеток (фактор роста фибробластов). Среди монокинов обнаруживаются хемокины для разных клеток. Продукты макрофагов обеспечивают адгезию лейкоцитов к эндотелию сосудов и последующую трансэндотелиальную миграцию (TNF-α, IL-8 и др. хемокины).

С помощью разработанного нами программного модуля (plug-in) G Ratio будет построена генная сеть альвеолярных макрофагов при ХОБЛ различной этиологии и проведен детальный анализ полученной сети. Данный модуль является функциональным расширением для программы Cytoscape. Cytoscape – программная платформа с открытым и сходным кодом, созданная для ви-

зуализации биологических сетей и их взаимодействий. Программа позволяет сопоставлять полученные данные с аннотациями научных статей и профилями экспрессии генов. Основной дистрибутив программы обеспечивает базовый набор функций для интеграции данных и их визуализации. Дополнительные функции Cytoscape доступны в виде программных модулей.

Модуль G Ratio написан на языке JAVA с использованием программного инструмента Eclipse. Данный модуль позволяет использовать биологическую примитиву системы «оперон» для формирования связей в генной сети.

Большинство генов эукариот подвергаются адаптивной регуляции – то есть индукции и репрессии, которые осуществляются на уровне транскрипции. Вследствие огромной протяженности и сложности эукариотической ДНК специфические регуляторные участки ДНК и взаимодействующие с ними белки-регуляторы весьма многочисленны. Выявлено более 10 000 различных белков, способных взаимодействовать с регуляторными последовательностями ДНК и тем самым влиять на сборку транскрипционного комплекса и скорость транскрипции. Эти белки содержат ДНК-связывающие домены, отвечавшие за узнавание специфических участков в молекуле ДНК, а также домены, активирующие транскрипцию. Последние связываются с транскрипционными факторами, либо с РНК-полимеразой. Регуляторные белки могут иметь в своем составе антирепрессорные домены, которые взаимодействуют с гистонами нуклеосом, освобождая от них участки ДНК. Эти белки могут содержать в себе также домены, связывающие лиганды – индукторы транскрипции (стероидные гормоны, гормоны щитовидной железы, производные витаминов). После связывания лиганда конформация белка изменяется, и он образует участок, узнающий в регуляторной зоне ДНК специфическую последовательность и индуцирующий транскрипцию определенного гена.

Характерной особенностью организации генных сетей является их способность к саморегуляции за счет замкнутых регуляторных контуров с отрицательными и положительными обратными связями. Молекулярной основой существования таких регуляторных контуров является наличие с сайтов-мишеней в ДНК, РНК и белках, с которыми могут взаимодействовать различные молекулярные компоненты генной сети и внешние регуляторные факторы. Благодаря этим двум типам регуляторных контуров возможно поддержание определенного функционального состояния генной сети или ее переход в другой режим функционирования, в том

числе и под влиянием факторов внешней среды [5].

Модуль GRatio позволяет не только построить генную сеть, но и провести детальный анализ. GRatio определяет коэффициенты взаимодействия элементов сети, направление взаимодействия, пороговые значения уровня экспрессии генов. На основе этих данных возможно проследить динамику развития ХОБЛ и выявить значимые сегменты сети.

Исследование генной сети альвеолярных макрофагов легких при ХОБЛ может открыть пути к созданию новых лекарственных препаратов с более точно направленным воздействием и минимумом побочных эффектов, а также стимуляторов иммунной системы и других биологически активных веществ. Эти исследования имеют важное практическое значение, поскольку раскрывают причины возможных нарушений регуляции целого ряда жизненно важных функций организма и позволяют приблизиться к решению проблемы их генетической коррекции.

Список литературы

1. Serban Nacu, "Gene expression network analysis, and applications to Immunology." *Bioinformatics Journal*. – 2006. – Vol. 00, no. 00, P. 1.
2. Bahrad A Sokhansanj, "Linear fuzzy gene network models obtained from microarray data by exhaustive search." *BMC Bioinformatics*. – 2004. 5:108.
3. Демеников П.А. Математическое и программное обеспечение для реконструкции ассоциативных сетей молекулярно-генетических взаимодействий: Автореф. дис. канд. тех. наук: 2009/ Институт математики и м. С. Л. Соболева СО РАН.
4. Козубова Н.А. Патолофизиологические механизмы формирования хронической obstructивной болезни легких (клинико-экспериментальное исследование): Автореф. дис. докт. мед. наук: 2009/ Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова.
5. Kolpakov F.A., Ananko E.A., Kolesov G.B., Kolchanov N.A. GeneNet: a database for gene networks and its automated visualization // *Bioinformatics*. 1998. V. 14. P. 529–537.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОСАЖДЕНИЯ ИЗ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИМПЛАНТАТАХ

Швецов Е.Е., Салтымаков М.С., Волокитина Т.Л.

Научный руководитель: Твердохлебов С.И.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: geksut@gmail.com

Вакуумные ионно-плазменные методы позволяют получать биопокрывтия для медицинских применений с контролируемыми параметрами. В работе [1] для нанесения биопокровтий был предложен метод их осаждения из абляционной плазмы, создаваемой мощным импульсным ионным пучком (МИП-метод). Суть метода состоит в том, что сфокусированный ионный пучок, попадая на мишень, распыляет её, при этом образуется абляционная плазма, которая осаждается на подложку. Источником ионного пучка служил сильноточный импульсный ионный ускоритель типа «ТЕМП». Авторами [1] на ускорителе «ТЕМП 2» (НИИ ЯФ ТПУ, ускоряющее напряжение 100-300 кВ, длительность импульса 50-1000 нс, плотность энергии пучка ионов 25 Дж/см², частота импульсов 0,1-10 Гц, диод с внешней магнитной изоляцией – ресурс работы 103 импульсов МИП) были получены кальций-фосфатные покрытия.

Работы по нанесению кальций-фосфатных покрытий на имплантаты были продолжены на ускорителе ионов «ТЕМП 4М» (НИИ В Н ТПУ, ускоряющее напряжение 200-250 кВ, плотность тока на мишени 150-200 А/см², длительность импульса пучка ионов (C⁺⁺ H⁺) 80 нс), т.к. экономически целесообразно использовать для этих целей диод с внешней магнитной самоизоляцией, имеющий большой ресурс работы: 105-106 импульсов МИП.

Для улучшения адгезионных свойств покрытий образцы нагревались резистивным нагревателем до 1000 °С. Образцами служили плоские подложки Ti BT1-0, 10C10C0,5, нержавеющая сталь 09X18H10T (аналог 12X18H10T, L316), модели медицинских изделий. Мишени изготавливались по керамической технологии из гидроксипатита (ГА) натурального и синтезированного механическим методом с добавлением кремния Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂+SiO₂ 4,9% масс.

На рис. 1 представлены Оже-спектры покрытий на моделях из Ti BT1-0 (500 импульсов МИП, температура нагревателя 3000С). В покрытии присутствуют элементы: Ca, P, Ti, C, O. Оже-спектры позволяют оценить толщину покрытия, она составляет для указанного режима нанесения ~ 0,7 мкм, что подтверждается измерением толщины профилометрическим методом.

ИК спектры покрытий, нанесенных на подложку KBr за 300 и 500 импульсов МИП, представлены на рис. 2. Спектры характеризуются полосами поглощения основных структурных компонентов $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Элементы Ca и Si данным методом обнаружить не удалось. Разница в интенсивности спектров говорит о количественном различии некоторых групп компонентов покрытия, полученных при различных значениях числа импульсов.

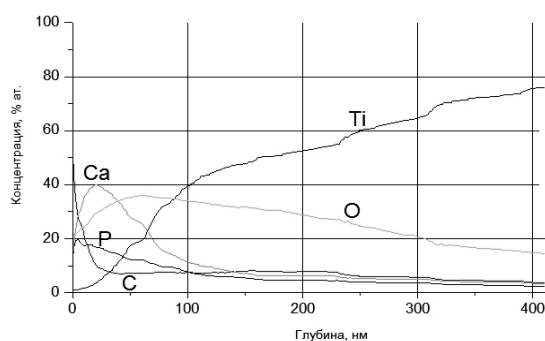


Рис. 1. Оже-спектры покрытий на Ti, 500 импульсов МИП.

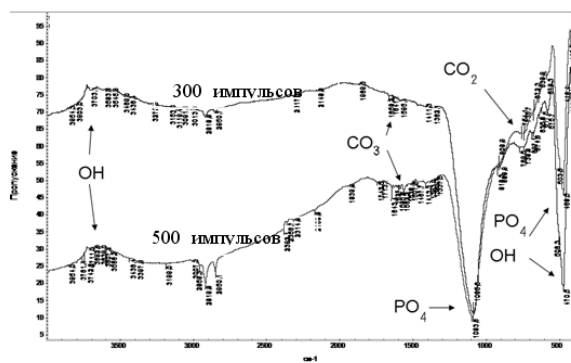


Рис. 2. Характерные ИК спектры пропускания ГА покрытия, 500 и 300 импульсов МИП.

В работе были проведены и исследования морфологии поверхности, измерения твердости, модуля Юнга, шероховатости, толщины покрытий. Толщина покрытий (табл. 1)

Таблица 1. Толщина покрытий/число импульсов

Число импульсов	Толщина, мкм.
300	0,175
400	0,37
500	0,7

определялась профилометрическим и оптическим методами. Исследование морфологии поверхности покрытий и определение параметров шероховатости проводилось методом трехмерной бесконтактной профилометрии на установке MICROM EASURE 3 D station. Измерения твердости и модуля Юнга проводились методом наноиндентирования на нанотвердометре Nano Hardness Tester, результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства покрытий

Материал подложки/число импульсов	Нанотвердость/МПа	Модуль Юнга/ГПа	Ra мкм	Rz мкм	Класс шероховатости
Сталь/500	2599,74 ± 212,82	85,7	0,17	2,39	9a
Ti/400	1858,33 ± 299,75	62,86	1,08	8,65	7a
Ti/500	2806,74 ± 154,53	64,93	1,1	9,2	7b

По результатам измерений были построены графики зависимости твердости покрытий от глубины индентирования (рис. 3, 4). Твердость покрытия уменьшается с глубиной проникновения индентора, такая же зависимость наблюдалась и при измерении других образцов. Среднее значение твердости для покрытий варьируется в интервале от 2000 МПа до 4000 МПа.

Измерение морфологии (рис. 5, 6.) покрытий показало, что оно не имеет каких-либо трещин и равномерно на поверхности подложки равномерно, в заданных пределах измерения. В месте с этим поверхность имеет необходимый класс шероховатости, что способствует развитию клеточной среды. Класс шероховатости покрытия зависит от класса шероховатости подложки.

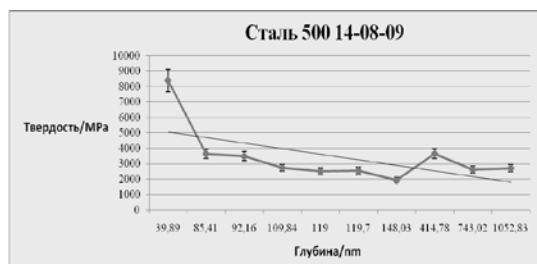


Рис. 3. График зависимости твердости от глубины инdentирования, сталь 500 импульсов МИП, относительная погрешность одного измерения по твердости 8,17%.

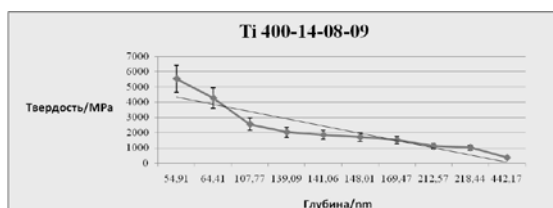


Рис. 4. График зависимости твердости от глубины инdentирования, Ti 500 импульсов МИП, относительная погрешность одного измерения по твердости 5,51%.

В аккредитованной Минздравом лаборатории были проведены токсикологические и испытания местно-раздражающего действия и гемолитической активности медицинских изделий (материалов), устанавливающие их биологическую безопасность. Было подтверждено, что изделия с биосовместимыми покрытиями на основе кальций-фосфатных структур, полученные с интрузом и азблационной плазмы (МИП метод), не токсичны, апиrogenны, при имплантации дегенеративных изменений тканей не вызывают. Соответствует требованиям нормативных документов. (Протокол № 091145 от 21 декабря 2009г.).

Получены покрытия на подложках из Ti и стали. Результаты Оже и ИК спектроскопии хорошо согласуются и свидетельствуют о том, что полученные покрытия являются кальций-фосфатными. Медико-биологические исследования подтверждают, что покрытия не являются токсичными. Поверхность покрытий во многом определяется классом шероховатости подложки и может быть достаточной для развития клеточной среды. МИП метод позволяет легко контролировать толщину покрытий числом импульсов.

Основной задачей на данный момент является увеличение скорости роста покрытий. Для чего необходимо увеличить плотность тока ускорителя.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 09-02-99035-р-офи).

Список литературы

1. V. K. Struts, V. M. Matvienko, A. V. Petrov, A. V. Mytnikov, V. F. Pichugin, S.I., Tverdokhlebov. High Power Ion Beam Ablation Plasma, Proc. 9-th Intern. Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows. Tomsk.- 2008. - pp. 565-567.
2. Аронов А.М., Пичугин В.Ф., Козельская А.И., Салтымаков М.С., Сурменев Р.А. Твердохлебов С.И., Возможности использования ионно-плазменных методов с целью формирования поверхности рабочих частей медицинских изделий, Актуальные задачи электронного оборудования: Труды 9-й международной конференции - Новосибирск, 24-26 сентября 2008. - Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2008. - с. 79-81.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ВРАЧА – НЕВРОЛОГА, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩЕГОСЯ НА ЛЕЧЕНИИ И ДИАГНОСТИКЕ ПАЦИЕНТОВ С ЭКСТРАПИРАМИДНЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ

Юровская Е.С.

Научный руководитель: Жукова И.А.

Сибирский государственный медицинский университет,
634050, Россия, г. Томск, Московский тракт 2

E-mail: elogy@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, особенно в связи с широким внедрением вычислительной техники и современных информационных технологий в практическую

деятельность лечебно-профилактических учреждений.

В настоящее время на учете в кабинете экстрапирамидных расстройств находится около 800 пациентов с различной экстрапирамидной патологией. Часто эти пациенты нуждаются в выписках и справках, которые должны содержать жалобы пациента, анамнез заболевания, диагноз и другие сведения. Трудности, с которыми сталкивается врач на амбулаторном приеме, это в первую очередь нехватка времени. Разработка медицинской базы данных позволит решить эту проблему, так как может предоставить текущие сведения о вышеперечисленных параметрах состояния здоровья. В результате чего, врач сможет больше времени проводить с пациентом, а, следовательно, больше времени уделять на диагностику патологии, что в свою очередь позволит своевременно назначить необходимое и правильное лечение. Вся медицинская информация о пациенте, результатах профилактической и лечебно-диагностической работы, включая результаты исследований, доступна в рабочем месте.

Возможности автоматизированной системы позволяют отражать данные о пациенте не только в виде традиционных разделов медицинской карты, но и представлять информацию в других срезах. Врач может быстро найти любые и интересующие его сведения, включая данные лабораторных и других диагностических исследований[1].

Таким образом, разработка автоматизированной медицинской информационной системы по ведению больных с экстрапирамидными расстройствами актуальна с точки зрения своевременной и квалифицированной медицинской помощи.

Целью данной работы является разработка программного комплекса для использования на рабочем месте врача-невролога в виде автоматизированной информационной системы (АИС), с возможностью динамической оценки изменений состояния больного и возможностью

формировать динамические ответы на основе каскада структурированных запросов.

Задачи:

1. Анализ предметной области (экстрапирамидные расстройства, специфика работы врача - невролога).
2. Разработка структуры базы данных с целью хранения параметров характеризующих состояние здоровья пациентов с экстрапирамидными расстройствами.
3. Разработка клиентского программного обеспечения врача кабинета экстрапирамидных расстройств с возможностью формировать динамические ответы на основе каскада структурированных запросов.

Материалы и методы: Система спроектирована с использованием стандартов моделирования UML (Unified Modeling Language – унифицированный язык моделирования) – язык графического описания для объектного моделирования в области разработки программного обеспечения. UML является языком широкого профиля, это открытый стандарт, использующий графические обозначения для создания абстрактной модели системы, называемой UML моделью. UML был создан для определения, визуализации, проектирования и документирования в основном программных систем. Система реализована с помощью структурного программирования, клиент-серверных технологий, SQL.

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 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.

Однако это название не совсем соответствует действительности. Сегодня SQL представляет собой нечто большее, чем просто инструмент создания запросов, хотя именно для этого он и был первоначально разработан. Несмотря на то что выборка данных по-прежнему остается одной из наиболее важных функций SQL, сейчас этот язык используется для реализации всех функциональных возможностей, которые СУБД предоставляет пользователю. К ним относятся:

1. Организация данных. SQL дает пользователю возможность изменять структуру предоставления данных, а также устанавливать отношения между элементами базы данных.
2. Выборка данных. SQL дает пользователю или приложению возможность извлекать из базы данных содержащуюся в ней информацию и пользоваться ею.
3. Обработка данных. SQL дает пользователю или приложению возможность изменять базу данных, то есть добавлять в нее новые данные, а также удалять или обновлять уже имеющиеся в ней данные.
4. Управление доступом. С помощью SQL можно ограничить возможности пользователя по выборке и изменению данных и защитить их от несанкционированного доступа.
5. Совместное использование данных. SQL координирует совместное использование

данных пользователями, работающими параллельно, чтобы они не мешали друг другу.

6. Целостность данных. SQL позволяет обеспечить целостность базы данных, защищая ее от разрушения и з — за несогласованных изменений или отказа системы.

Таким образом, SQL является достаточно мощным языком, обеспечивающим эффективное взаимодействие с СУБД[2].

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

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

В качестве преимуществ Firebird можно отметить многоверсионную архитектуру, обеспечивающую параллельную обработку оперативных и аналитических запросов (это возможно потому, что читающие пользователи не блокируют пишущих), компактность (дистрибутив 5Mb), высокую эффективность и мощную языковую поддержку для хранимых процедур и триггеров. Среди недостатков: отсутствие кэша результатов запросов, полнотекстовых индексов[3].

Полученные результаты: Разработана медицинская информационная система. Возможности данной системы позволяют обрабатывать данные о пациенте не только в виде традиционных записей медицинской карты, но и представлять информацию в интересующих врача-невролога срезах. Данная система базируется на клиент-серверных технологиях. Имеется база данных показателей состояния здоровья пациентов с экстрапирамидными расстройствами. Доступ к базе данных происходит через интерфейс клиентского программного приложения врача-невролога.

Выводы: На основе структурно-функционального моделирования и анализа информационных потоков реализовано клиентское приложение врача-невролога, специализирующегося на лечении и диагностике пациентов с экстрапирамидными расстройствами, с целью оперативного сбора, хранения

медицинской информации и получения различного рода информационных срезов по данным пациента.

Ведение больных с экстрапирамидными расстройствами с помощью представленного программного обеспечения, позволяет:

1. обеспечить быстрое ведение и надежное хранение информации, а также увеличить скорость доступа и обработки отдельных информационных блоков;

2. хранить информацию, как о едином клиническом случае, так и о динамике, отслеженной при повторном обращении пациента;

3. облегчить ведение в лечебной документации посредством формирования и вывода на бумажный носитель индивидуальных групповых отчетов, как для пациентов, так и для медицинских учреждений;

Разработка информационной системы в данной области позволит, во-первых, регистрировать и централизованно хранить большие объемы формализованных клинических данных, необходимые при обследовании и диагностики пациентов, а также, которые в дальнейшем могут служить основой научных исследований. Во-вторых, использование «бесбумажной» технологии позволяет увеличить скорость доступа и обработки отдельных блоков информации, интересующих врача-клинициста. В-третьих, повысить качество медицинской помощи за счет того, что врач затрачивает огромное количество времени не на заполнение и ведение медицинской документации, а на осмотр, диагностику и лечение пациентов, что в свою очередь влечет за собой повышение качества медицинской помощи и снижению инвалидизации пациентов.

Список литературы

1. Дуданов И. П., Гусев А. В., Романов Ф. А., Воронин А. В. Информационные системы в здравоохранении // Медицинский академический журнал, 2002. - № 1.- Том 2.- Стр.58-77.
2. Назаренко Г. И., Гулиев Я. И., Ермаков Д. Е. Медицинские информационные системы: теория и практика. — М.: Физматлит, 2005. — 320 с.
3. Вендров А.М. CASE – технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем. — М.: Финансы и статистика, 1998. — 256 с.

СЕКЦИЯ 6

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ И ФРАГМЕНТАЦИЯ СДВИГА [110]-МОНОКРИСТАЛЛОВ НИКЕЛЯ

Алфёрова Е.А.

Научный руководитель: Лычагин Д.В., д-р физ.-мат. наук, профессор
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: katerina525@mail.ru

В более ранних работах экспериментально установлено, что в зависимости от ориентации оси деформации монокристаллов с структурными элементами деформации являются системы следов сдвига, мезо- и макрополос, деформационные складки.

В настоящей работе исследуется неоднородность деформации [110]-монокристаллов никеля с боковыми гранями $(\bar{1}10)$, (001) и $(1\bar{1}\bar{1})$, $(1\bar{1}2)$ (рис.1), фактор Шмида – 0,41, число действующих систем сдвига – 4. Деформацию образцов осуществляли сжатием при комнатной температуре со скоростью 10^{-4} с⁻¹. Для определения величины локальной деформации был использован метод делительных сеток с базой 100 мкм.

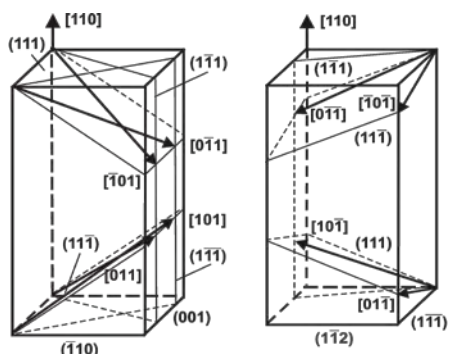


Рис.1. Кристаллографическая схема расположения октаэдрических плоскостей сдвига

Эксперименты показывают, что структурными элементами деформации для всех случаев ориентации боковых граней являются следы сдвига и мезополосы.

Статистические характеристики локальной деформации на боковых гранях $(\bar{1}10)$, (001) приведены в таблице 1, а для боковых граней $(1\bar{1}\bar{1})$, $(1\bar{1}2)$ – в таблице 2.

Таблица 1. Статистические характеристики распределения деформации по грани, $\epsilon=0,05$

боковая грань	хар-ка	$\langle \epsilon \rangle$	Sd	Sd/e	V=Sd/ $\langle \epsilon \rangle$
$(\bar{1}10)$ 12 доменов	e_x	0,06	0,11	2,20	1,86
	e_y	0,04	0,08	1,52	2,17
	e_z	-0,10	0,06	1,28	-0,67
	Γ	0,24	0,13	2,56	0,54
(001) 5 доменов	e_x	0,08	0,05	1,01	0,67
	e_y	0,00	0,03	0,58	7,51
	e_z	-0,08	0,04	0,76	-0,48
	Γ	0,17	0,08	1,55	0,47

Таблица 2. Статистические характеристики распределения деформации по грани, $\epsilon=0,09$

боковая грань	хар-ка	$\langle \epsilon \rangle$	Sd	Sd/e	V=Sd/ $\langle \epsilon \rangle$
$(1\bar{1}\bar{1})$ 9 доменов	e_x	0,03	0,09	0,94	3,36
	e_y	0,07	0,06	0,65	0,82
	e_z	-0,10	0,06	0,62	-0,58
	Γ	0,22	0,10	1,08	0,45
$(1\bar{1}2)$ 7 доменов	e_x	-0,04	0,13	1,39	-3,03
	e_y	0,10	0,08	0,83	0,73
	e_z	-0,06	0,09	0,95	-1,39
	Γ	0,27	0,14	1,57	0,54

Несмотря на одинаковые элементы деформационного рельефа и на равное количество действующих систем сдвига неоднородность деформации в монокристаллах с разным набором боковых граней различается в следствие разной кристаллогеометрической установки, определяемой ориентацией октаэдрических плоскостей и направлений сдвига относительно боковых граней монокристалла (рис.1).

Сравнение показывает, что неоднородность деформации выше для образцов с боковыми гранями $(\bar{1}10)$, (001) , чем для $(1\bar{1}\bar{1})$, $(1\bar{1}2)$, особенно для грани $(\bar{1}10)$. На грани (110) формируется наибольшее число деформационных доменов. По-видимому, это связано с тем, что расположение плоскостей сдвига относительно базовых концентраторов напряжения (вершин и риторцевых ребер образца) способствует активизации наибольшего числа систем сдвига. В случае $(1\bar{1}\bar{1})$, $(1\bar{1}2)$ боковых граней расположение плоскостей и систем сдвига относительно базовых концентраторов напряжения такое,

что из восьми базовых концентраторов напряжения активно могут включаться только четыре, но каждый из них может активировать по две системы сдвига с одинаковым фактором Шмида. Это находит свое отражение в статистических характеристиках распределения деформации (таблицы 1 и 2). Среднее значение деформации γ граней ($\langle e \rangle$) и среднеквадратическое отклонение локальной деформации (S_d) отличается как для разных граней, так и для компонент деформации для каждой из рассматриваемых граней. Поэтому для сравнения образцов с разной общей деформацией (e) между собой следует использовать отношение S_d/e . В этом случае максимальная неоднородность деформации, определяемая по характеристике S_d , проявляется для грани ($\bar{1}10$) с максимальным числом деформационных доменов. Минимальная неоднородность наблюдается на грани (001) с минимальным числом деформационных доменов. Для всех компонент деформации ее значения почти в два раза ниже, чем для грани ($\bar{1}10$). Для граней ($1\bar{1}\bar{1}$), ($1\bar{1}2$) S_d/e имеет промежуточное значение, как и количество деформационных доменов, образующихся на этих гранях. Интенсивность деформации (Γ) характеризует различие деформации по главным компонентам. Она имеет наиболее низкое значение на боковой грани (001). Анализ коэффициента вариации (V) свидетельствует о росте типичного значения среднего с увеличением степени деформации. В случаях, когда деформация по какой-либо из компонент незначительна, коэффициент вариации имеет максимальное значение.

На количество деформационных доменов влияет наличие областей с разной схемой главных напряжений. Как известно, при деформации сжатием в приторцевой зоне формируются области со схемой всестороннего сжатия, а в центральной части образца – со схемой одноосного сжатия. На деформацию в этих областях будет влиять вид тензора напряжений (количество компонент тензора отличных от нуля), а, следовательно, деформация в каждой области будет подчиняться своим закономерностям. Таким образом, в монокристаллах можно выделить три зоны с разными условиями сдвиговой деформации. Поэтому анализ неоднородности деформации целесообразно проводить отдельно для рассматриваемых областей. В таблице 3 и 4 представлены статистические данные по области всестороннего сжатия, одноосного сжатия и границы этих областей, соответственно, для монокристаллов с

набором боковых граней ($\bar{1}10$), (001) и ($1\bar{1}\bar{1}$), ($1\bar{1}2$).

Таблица 3. Статистические характеристики распределения деформации с учетом схемы напряженного состояния

Схема напряженного состояния	[110]($\bar{1}10$), $e=0,05$		
	Хар-ка	$\langle S_{d_{cx}} \rangle / \langle e \rangle$	$\langle V_d \rangle = \langle S_{d_{cx}} \rangle / \langle e_{cx} \rangle$
	e_x	1,29	8,58
	e_y	1,66	1,14
	e_z	-0,57	-0,90
	Γ	0,44	0,63
	e_x	1,25	-3,97
	e_y	1,43	0,72
	e_z	-0,52	1,32
	Γ	0,39	0,53
	e_x	1,71	1,40
	e_y	2,00	2,48
	e_z	-0,57	-0,55
	Γ	0,44	0,42

Таблица 4. Статистические характеристики распределения деформации с учетом схемы напряженного состояния

Схема напряженного состояния	[110]($1\bar{1}\bar{1}$), $e=0,09$		
	Хар-ка	$\langle S_{d_{cx}} \rangle / \langle e \rangle$	$\langle V_d \rangle = \langle S_{d_{cx}} \rangle / \langle e_{cx} \rangle$
	e_x	3,03	4,43
	e_y	0,72	0,75
	e_z	-0,53	-0,60
	Γ	0,40	0,44
	e_x	3,32	3,40
	e_y	1,03	1,00
	e_z	1,02	1,00
	Γ	0,99	1,00
	e_x	3,26	2,78
	e_y	0,83	0,86
	e_z	-0,54	-0,53
	Γ	0,40	0,40

Неоднородность деформации в областях с разной схемой напряженного состояния близка по величине для граней ($\bar{1}10$) и ($1\bar{1}\bar{1}$). При этом наиболее высокая степень неоднородности наблюдается для компоненты e_x в направлении, перпендикулярном поверхности грани. Максимальное различие деформации по главным компонентам отмечено на грани ($1\bar{1}\bar{1}$) в области схемы одноосного сжатия. В пределах области реализации одной схемы напряженного состояния в большинстве случаев также наблюдается максимальная неоднородность деформации компоненты e_x . Особенно, это заметно для области

всестороннего сжатия, в которой средняя величина деформации не является типичной для характеристики в сей области в целом. Сравнение деформации граней ($\bar{1}10$) и ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) в областях с разной схемой напряженного состояния также свидетельствует об более высокой неоднородности деформации в первом случае.

Анализ карт распределения деформации на грани ($\bar{1}10$) показал, что в центре грани присутствует деформация сжатия, а в приторцевых областях деформация растяжения. Значение компонент ϵ_z по модулю в центральной части значительно выше, чем в приторцевых областях. Распределение деформации в образце с

боковыми гранями ($1\bar{1}\bar{1}$), ($1\bar{1}2$) свидетельствует о меньшей тенденции перехода от областей сжатия к растяжению по сравнению с предыдущим случаем. Эти области занимают незначительную часть грани.

Влияние кристаллогеометрической установки на неоднородность деформации зависит от ориентации октаэдрических плоскостей и направлений сдвига в монокристаллах, количества и расположения базовых концентраторов напряжений и механизмов пластической деформации, что, в свою очередь, определяет число и различие в активности деформационных доменов.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА НОВЫХ ХЕЛАТНЫХ СОРБЕНТАХ

Баранова Н.В., Неудачина Л.К., Старцев В.А.

Научный руководитель: Неудачина Л.К., к.х.н., профессор

Уральский государственный университет, 620083, Россия, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51

E-mail: Ludmila.Neudachina@usu.ru

Для многих хелатообразующих сорбентов сорбционные свойства коррелируют с ионообменными, так как и те, и другие определяются содержанием функциональных групп в фазе полимера. На сорбционные свойства хелатообразующих сорбентов влияют как концентрация, так и степень протонирования функциональных групп. Для всех хелатообразующих сорбентов функциональные группы являются координационно – активными, если они находятся в депротонированном состоянии. С увеличением кислотности равновесного раствора уменьшается концентрация координационно – активных (непротонированных) групп сорбента, изменяются их электронодонорные свойства и степень набухания ионита, что приводит, в большинстве случаев, к уменьшению константы устойчивости ионитного комплекса [1]. Поэтому необходимо изучить зависимость сорбции от значения pH раствора.

Методом полимераналогичных превращений нами синтезировано три типа хелатообразующих сорбентов: карбоксиэтиламинополистирол (сорбент I) на основе линейного полистирола, карбоксиэтиламинотетраметилполистирол (сорбент II) на основе сополимера стирола и дивинилбензола (2% ДВБ) и карбоксиэтилполиаллиламин (сорбент III).

Сорбенты идентифицированы методом элементного анализа и ИК-спектроскопии.

Изучение зависимости сорбции ионов переходных металлов от pH раствора проводили статическим методом при постоянном перемешивании. Предварительно изучалась сорбция ионов меди(II) от pH водных растворов. При этом pH растворов устанавливали при помощи соляной кислоты и лигидроксида натрия с концентрацией 0.05 моль/дм³. Концентрацию ионов переходных металлов в растворе над сорбентом до и после сорбции определяли методом атомно – абсорбционным спектроскопии с пламенной атомизацией. Как видно из результатов, представленных на рис. 1, в водных растворах максимум сорбции ионов меди(II) наблюдается в интервале pH 3.5 – 5.0.

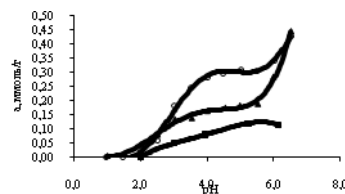


Рис. 1 Зависимость концентрации ионов меди(II) от pH водных растворов: ○ – на сорбенте I, ■ – на сорбенте II, ▲ – на сорбенте III

Дальнейшее повышение значения обменной емкости в интервале pH 5.5 – 6.5 связано с образованием гидроксида меди(II) и выпадением его в осадок [2].

Для предотвращения выпадения ионов меди(II) в осадок при pH больше 5.5 необходимо использовать буферные растворы. В качестве буферных растворов использовали ацетатные, аммиачно-ацетатные и аммиачно-хлоридные буферные растворы. Результаты изучения зависимости концентрации ионов меди(II), а также кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) в фазе сорбента от pH выбранных буферных растворов для сорбента I представлены на рис. 2.

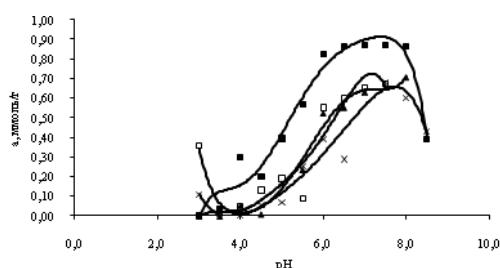


Рис. 2 Зависимость концентрации ионов меди(II), кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) на сорбенте II от pH аммиачно-ацетатных буферных растворов: $\blacklozenge$ – медь(II) водные растворы; $\blacksquare$ – медь; $\times$ – кобальт(II); $\blacktriangle$ – никель(II); $\square$ – цинк(II)

Аналогичные зависимости были получены для сорбентов II и III. Как видно из представленных результатов, максимум сорбции у всех изучаемых сорбентов после применения буферных растворов сдвигается в более щелочную область и наблюдается в интервале pH 5.5 – 8.0. Кроме того зависимость концентрации ионов переходных металлов в фазе сорбента от pH раствора имеет достаточно сложный характер (рис. 2). Такой сложный характер подобных зависимостей имеет большинство хелатообразующих сорбентов [3]. Возможными причинами этого являются смещение равновесия реакции комплексообразования и за счет изменения концентрации электронодонорных групп в фазе сорбента и изменение констант устойчивости комплексов ионов переходных металлов с функциональными группами сорбента [1]. На сорбенте I сорбция ионов никеля(II) и кобальта(II) не наблюдается, т.е. данный сорбент проявляет высокую селективность по отношению к ионам меди(II).

На основании полученных результатов для описания состояния равновесия в системе раствор – сорбент были рассчитаны

коэффициенты распределения D_M по формуле (1) [4]:

$$D = \frac{C_{\text{сорбент}}}{C_{\text{раствор}}} \quad (1)$$

где $C_{\text{сорбент}}$ – равновесная концентрация ионов в фазе сорбента;

$C_{\text{раствор}}$ – равновесная концентрация ионов в растворе.

Для оценки селективности исследуемых сорбентов по отношению к различным ионам были рассчитаны коэффициенты селективности $\beta_{M1/M2}$ по формуле (2) [4]:

$$\beta_{M1/M2} = \frac{D_{M1}}{D_{M2}} \quad (2)$$

где D_{M1} и D_{M2} – коэффициенты распределения ионов металлов M1 и M2.

Различия в селективности сорбентов по отношению к ионам переходных металлов хорошо видны на этих зависимостях коэффициентов распределения D от pH раствора (рис. 3).

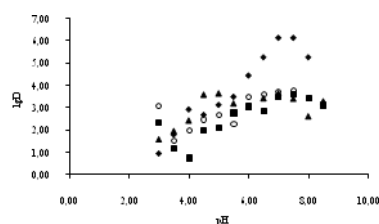


Рис. 3 Зависимость коэффициентов распределения от pH раствора для сорбента I: $\blacklozenge$ – медь(II), $\blacksquare$ – кобальт(II), $\blacktriangle$ – никель(II), $\square$ – цинк

Аналогичные зависимости были получены для сорбентов II и III. Исходя из зависимостей коэффициентов распределения от pH раствора для сорбентов I и III наблюдается небольшое различие в селективности по отношению к ионам переходных металлов. Однако сорбент II извлекает только ионы меди(II). Сорбция ионов никеля(II) и кобальта(II) на этом сорбенте не наблюдается. Возможно, в случае сорбента II, по сравнению с сорбентом I, появление метиленового мостика резко повышает основность атома азота, а следовательно, и устойчивость комплексов хелатообразующих групп с ионами переходных металлов. Однако, устойчивость комплексов с ионами меди(II) возрастает в большей степени, чем с ионами никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) [5]. Количественное разделение смеси двух элементов методом селективной сорбции достигается, если коэффициенты распределения (D_M) сорбируемых и несорбируемых ионов имеют следующий порядок: $D_{M1} > 100 - 300$ и $D_{M2} < 3 - 10$, а

$D_{M1}/D_{M2} \geq 10 - 30$ [4]. Таким образом в большей степени соответствует сорбент I. В интервале pH от 6.50 до 7.50 соотношение D_{M1}/D_{M2} (где M1 – медь(II), M2 – никель(II), кобальт(II) и цинк(II)) значительно больше 30 (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты селективности для сорбентов I и III

pH	$B_{Cu/Co}$	$B_{Cu/Ni}$	$B_{Cu/Zn}$
Сорбент I			
6.0	24	24	9
6.5	254	69	46
7.0	433	308	244
7.5	343	531	209
8.0	67	438	-
Сорбент III			
6.0	5	3	5
6.5	5	3	7
7.0	6	4	11
7.5	4	3	6
8.0	5	3	7

Таким образом на сорбенте I можно проводить количественное деление ионов меди(II) от ионов кобальта(II), никеля(II) и цинка(II). Следует также указать, что это соотношение будет возрастать, если разделение проводить в динамическом режиме. Тем не менее величины коэффициентов селективности показывают, что сорбенты I и III являются групповыми по отношению к ионам переходных металлов.

Важной характеристикой хелатообразующих сорбентов является сорбционная емкость, обусловленная

взаимодействием ионов металлов с хелатообразующими группами сорбента в условиях, когда все функциональные группы находятся в координационно-активной форме. В случае исследуемых нами сорбентов сорбционную емкость определяли по ионам меди(II) в интервале pH от 6.5 до 7.0. Для сорбента I обменная емкость составляет от 1.7 до 3.3 ммоль/г в зависимости от партии, для сорбента II – 0.08 ммоль/г и для сорбента III – 3.1 ммоль/г.

НИР выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы (ГК № П278 от 23 июля 2009 г.)

Список литературы

1. Салдадзе К.М., Копылова-Валова В.Д. Комплексообразующие иониты. М.: Химия, 1980. 335 с.
2. Подчайнова В.Н., Симонова Л.Н. Медь. АН СССР, Ин-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского. М.: Наука, 1990. 278 с.
3. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Моросанова Е.И., Дмитриенко С.Г. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов для целей химического анализа. // Успехи химии. 2005. Т.74. № 1. С.41-66.
4. Мархол М.И. Ионнообменники в аналитической химии. В 2-х частях. Ч. 1. М.: Мир, 1985. 264 с.
5. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексоны металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.

О СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКАХ СИЛИКОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МАГНИЯ

Белоусов М.В., Ракипов Д.Ф.

Научный руководитель: Ракипов Д.Ф., к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», филиал в г. Краснотурьинске, 624449, Россия, г. Краснотурьинск, ул. Ленина, 41
E-mail: MetAlMg@yandex.ru

Магний и сплавы на его основе заслуживают своих свойств и находят в себе больше применение в различных отраслях науки и техники. Наиболее перспективными являются авиационная, космическая отрасли и ракетостроение. В последние годы значительно увеличилось потребление сплавов магния в автомобилестроении. Спрос на магний и его сплавы при условии постоянного развития вышеперечисленных и

других отраслей, будет постоянно повышаться.

На сегодняшний день можно выделить два основных, принципиально разных промышленных способа производства магния: электролитический и силикотермический.

Электролитический способ имеет ряд существенных недостатков[1]:

1. сложность технологии, требующая от обслуживающего персонала в высокой квалификации;

2. неизбежность отрицательного воздействия процесса на окружающую среду (выделение большого количества газообразного хлора в процессе электролиза, отработанного электролита, шлама электролизеров);

3. необходимость в организации дополнительного производства при переработке отходов процесса электролиза;

4. большие грузопотоки сырья для получения 1 единицы веса продукта (магния);

5. использование дорогого постоянного электрического тока в процессе электролиза.

В то же время наиболее простым, менее опасным для окружающей среды является силикотермический метод получения магния, для осуществления которого можно использовать теплоту сгорания природного газа. Кроме того, магний, полученный силикотермическим способом, содержит меньше примесей, чем электролитический [2].

Поэтому последние 20 лет для производства магния силикотермическим способом постоянно увеличивается, что говорит о конкурентных преимуществах данной технологии по сравнению с электролитическим способом.

В качестве основного вида сырья для получения магния силикотермическим способом используют доломит [3]. Поэтому целью данной работы является проведение качественного и количественного анализа доломитовой породы и месторождений среднего Урала для установления ее соответствия требованиям, предъявляемым к доломиту, как к сырьевому и сточнику в производстве магния.

На территории Свердловской области имеются значительные разведанные доломитовые залежи с запасом сырья около 80 млн. тонн. В настоящей работе использованы доломиты Никитинского (Бойцовского) и Чернореченского месторождений.

Никитинское месторождение приурочено к северо-западной окраине Частинского Черемшанско-Цибихинской синклинали, входящей в состав Билимбаевского синклинория. Месторождение сложено карбонатными породами силурийского и девонского возраста, в геологическом строении принимают участие отложения среднего и верхнего отделов ордовикской системы, перекрытые рыхлыми отложениями мезокайнозойского возраста. Толща карбонатных пород в верхнем ордовике, в которой размещены доломиты, залегает в

виде субмеридиональной полосы. Балансовые запасы месторождения составляют 16 млн. тонн доломита.

Залежь доломитов Чернореченского месторождения приурочена к полосе развития карбонатных пород среднего девона и составляет по прогнозным запасам 30 млн. тонн.

Крупным отечественным исследователем силикотермического способа производства магния Тайцем А.Ю. для достижения оптимальных показателей процесса сформулирован ряд требований к составу доломита [3]:

1. отношение $MgO : CaO$ (мас.) не ниже 0,65;

2. сумма примесей $Fe_2O_3 + SiO_2$ не выше 2,5 мас.%;

3. сумма $Na_2O + K_2O$ не больше 0,3 мас.%

В теоретическом составе доломита содержание основных компонентов составляет, в мас. %: $MgO - 21,86$; $CaO - 30,41$; $CO_2 - 47,73$, а эквивалентное соотношение $MgO : CaO$ (моль) = 1 : 1 в массовом выражении имеет значение $MgO : CaO$ (мас.) = 0,7188.

Таким образом требование Тайца А.Ю. к соотношению $MgO : CaO$ (мас.) = 0,65 допускает 10% (отн.) избыток CaO .

Для определения химического состава проб были использованы методы эмиссионного спектрального анализа и индуктивно-связанной плазмы (табл. 1). Анализ проводился с помощью оптического эмиссионного спектрометра «iCAP 6300 Duo» фирмы «Thermo scientific» США.

Таблица 1
Химический состав проб руды исследуемых месторождений, в мас. %

Элемент	Проба Чернореченского месторождения		Проба Никитинского месторождения	
	Основной компонент	Примеси	Основной компонент	Примеси
Ca	23,6		22,2	
Mg	11,3		12,3	
Li		0,001032		0,000546
Na		0,03583		<0,02
K		0,00509		<0,005
Ba		0,00041		0,00073
Sr		0,00666		0,012918
Al		0,0218		0,0163
Fe		0,1186		0,0500
Mn		0,01997		0,01444
S		0,0033		0,00426
Si		0,0032		0,01555
R		0,01059		0,04316
ИТОГО	34,9	0,22642	34,5	0,18290

В пересчете на оксиды содержание в мас. %:

1. по хернореченскому месторождению: CaO – 33,02; MgO – 18,74 и MgO : CaO (мас.) = 0,56;

2. по Никитинскому месторождению: CaO – 31,06; MgO – 20,39 и MgO : CaO (мас.) = 0,66.

Анализ данных таблицы позволяет сделать следующие выводы:

1. доломитовая руда обогатительных месторождений в высококачественная не загрязнена вредными примесями щелочных и тяжелых металлов;

2. требованию Тейца А.Ю. к массовому соотношению MgO : CaO полностью отвечает доломит Никитинского месторождения;

3. содержание магния и кальция удовлетворяет технологическим условиям силикотермического способа.

4. доломит месторождений среднего Урала в основном отвечает вышеперечисленным предъявляемым требованиям и может использоваться в качестве сырья для получения магния по силикотермическому способу.

Для исследования фазового состава соединений, качественных характеристик образцов доломитовой руды был применен метод рентгенофазового анализа. Рентгенофазовый анализ проводили на установке RIGAKU Dmax – 2200 в интервале углов 2θ – 75° при угловой скорости сканирования 1 град/мин. в CuK_α – излучении (40 кВ, 30 мА $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). Полученные результаты использовались для автоматизированного поиска по базе данных JCPDS.

По данным рентгенофазового анализа образцы доломитовой руды обогатительных месторождений состоят из смеси фаз:

1. образец руды Никитинского месторождения: основная фаза со структурой доломита (наиболее интенсивный рефлекс при $2\theta = 30,965^\circ$) и дополнительная фаза со структурой карбоната кальция. Используя вышеприведенные данные химического состава руды определено процентное содержание свободного (не связанного с доломитом) карбоната кальция, $\text{CaCO}_3 = 4,9\%$;

2. образец руды хернореченского месторождения: основная фаза со структурой доломита (наиболее интенсивный рефлекс

при $2\theta = 31,014^\circ$), дополнительная фаза со структурой карбоната кальция. Процентное содержание свободного CaCO_3 составляет 12,5%.

Использование доломита в качестве сырья для производства магния силикотермическим способом предполагает осуществление ряда основных последовательных технологических операций: обжиг, измельчение, брикетирование, восстановление.

Обжиг исходного доломита является первым и важным звеном технологического процесса производства магния [4]. Но и остальные стадии являются не менее важными и определяющими итоговые качественные показатели процесса получения магния.

Поэтому для достижения оптимальных показателей процесса силикотермического производства магния необходимо не только сырьевой и сточник в высококачественности, но и подбор оптимальных технологических параметров проведения процессов, обоснованный выбором основного и дополнительного оборудования. Также необходимо проведение анализа и ряда дополнительных исследований в области термодинамики и кинетики процессов обжига доломита и восстановления магния.

Учитывая значительные доломитовые залежи и исследуемых месторождений и высокое качество доломитовой руды можно говорить о наличии сырьевых источников для силикотермического производства магния, а соответственно и о возможности организации данного производства на среднем Урале.

Список литературы

1. Москвитин В.И. Металлургия легких металлов: учебник для вузов / В.И. Москвитин, И.В. Николаев, Б.А. Фомин; - М.: Интермет Инжиниринг, 2005.- 416 с.
2. Эйдензон М.А. Магний. М.: Металлургия. 1969. - 351 с.
3. Стрелец Х.Л. Металлургия магния: Стрелец Х.Л., Тейц А.Ю., Гуляницкий Б.С.; Под. ред. С.М. Хернобров; Металлургиздат. - М., 1960. - 480 с.
4. Стрелец Х.Л. Металлургия магния: Стрелец Х.Л., Тейц А.Ю., Гуляницкий Б.С.; Под. ред. А.И. Беляев; Металлургиздат. - М., 1950.- 491 с.

ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В АЗОТЕ

Болгару К.А., *ухломина Л.Н.

Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН, г.Томск

E-mail: moldova@sibmail.com

Развитие современной керамической промышленности направлено на создание ресурсо- и энергосберегающих технологий производства новых высоко функциональных керамических материалов, обладающих уникальными характеристиками. Одним из лидеров современной керамической промышленности является нитрид кремния (Si_3N_4). Наличие разнообразных физико-химических свойств нитрида кремния как индивидуального вещества и предопределяет высокий уровень свойств нитридокремниевых материалов. Нитрид кремния при низкой плотности ($3,19 \text{ г/см}^3$) обладает высокой твердостью (до $45,3 \text{ ГПа}$, HV_{100}), достаточной механической прочностью ($\sigma_{\text{изг}} = 200\text{--}830 \text{ МПа}$) и рекордной термостойкостью (до 3000 $^\circ\text{C}$), а также химической инертностью по отношению к большинству агрессивных сред. Наиболее перспективным способом получения нитрида кремния является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). СВС-технология получения Si_3N_4 из кремния разработана И.П.Боровинской с сотрудниками [1]. В ОИИ ТНЦ СО РАН разработана технология получения нитрида кремния из ферросилиция – промышленного сплава кремния с железом [2,3]. Горение сплава в азоте имеет ряд особенностей, обусловленных физико-химическими характеристиками и исходного сырья. В настоящей работе представлены результаты исследования процесса горения ферросилиция в азоте, влияние условий синтеза на фазовый состав и микроструктуру продуктов СВС.

В качестве исходного сырья использовался ферросилиций марки ПУД – 75 с содержанием кремния 82,0 мас. %. По результатам рентгенофазового анализа (РФА) ферросилиций представлял собой двухфазный материал, состоящий из кремния и высокотемпературного лебита (FeSi_2). Порошок ферросилиция с размером частиц $< 100 \text{ мкм}$ засыпали в цилиндрические трупки из нержавеющей стали диаметром 50 мм. Образцы сжигали в установке постоянного давления при изменении давления азота от 1 до 10 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 Co -излучения. Температуру горения измеряли с помощью вольфрам-рениевых термпар (ВР5-ВР20) диаметром 100 мкм. Проволоки сваривали контактным способом в стык и ставляли в алуновую сломку. Открытую часть термпары, находящуюся внутри образца, покрывали тонким слоем нитрида бора, оставляя не покрытым только спай. Термпару вводили в образец на глубину 10 – 15 мм. При измерении температуры горения обработка экспериментальных результатов осуществлялась с помощью аналого-цифровых преобразователей.

* Здесь и далее массовые проценты

Для компьютерной регистрации показаний термпар использовалась восьмиканальная плата аналого-цифрового преобразователя АЦП Ла-20. При этом проводилась видеозапись процесса горения.

Эксперименты показали, что горение ферросилиция в азоте происходит не в стационарном, а в автоколебательном режиме. При этом гармонические колебания трансформированы в релаксационные, которые состоят из чередования вспышек и депрессий. Распространение волны горения протекает с ледующим образом: после инициирования реакции наблюдается яркая вспышка, и интенсивность которой постепенно уменьшается, а через некоторое время свечение вообще прекращается. Затем на некотором расстоянии книзу от погасшего фронта вновь появляется яркая полоса. В целом процесс горения ферросилиция происходит по схеме: сгорание прогретого слоя $\rightarrow$ прогрев нового слоя $\rightarrow$ воспламенение $\rightarrow$ сгорание прогретого слоя и т.д.

На рисунке 1 представлен продольный срез образца азотированного ферросилиция. Внешние размеры и форма сгоревшего образца сохраняются, однако отчетливо видно, что образец состоит из чередующихся слоев, которые легко отделяются друг от друга. Результаты послойного химического анализа сгоревшего

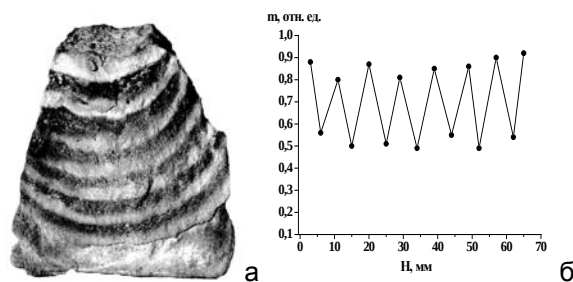


Рис. 1 – Фотография азотированного ферросилиция и изменение степени азотирования по высоте (вдоль волны горения) сгоревшего в автоколебательном режиме образца ($P_{N_2} = 4$ МПа, $d = 50$ мм)

образца свидетельствуют о различной степени азотирования с четкой и темной полосой (рисунк 1б). Слой, обогащенный нитридом кремния, образуется в моменты вспышки; выделяющегося при этом тепла достаточно для плавления прилегающего к зоне реакции слоя исходного ферросилиция, где реакция переходит в депрессивный режим из-за снижения реакционной поверхности ферросилиция вследствие плавления и коагуляции жидких частиц исходного сплава.

В соответствии с моделью, предложенной авторами [4] неоднородная, слоистая структура продукта горения связана с режимом распространения фронта горения, а возникновение колебаний обусловлено течением расплава.

На рисунках 2 а, б представлены термограммы процесса горения ферросилиция в азоте.

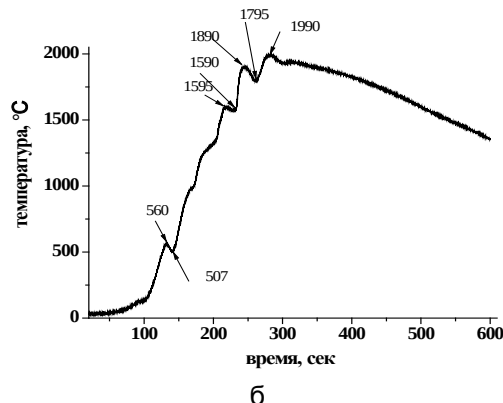
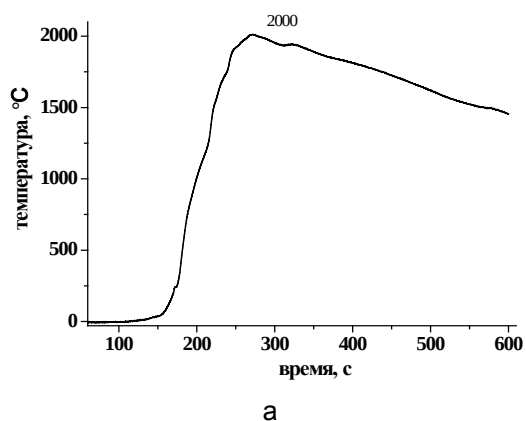


Рис. 2 - Термограммы процесса горения ферросилиция в азоте ($P_{N_2} = 4$ МПа, $d = 50$ мм; термопара находится в светлом (а) и в темном (б) слоях)

Максимальные температуры горения практически совпадают ($\sim 1990-2000^\circ\text{C}$). Однако изменение скорости процесса и температуры неодинаково для различных точек горящего образца. Значительные колебания скорости горения и температуры во фронте (рисунк 2б) могут свидетельствовать о выходе с истемы из «депрессии», и последующем сгорании образца в продольном направлении. При этом наблюдается эстафетный (сцинтилляционный) [5] режим реакции, при котором в доль фронта горения локально возникают горячие очаги, которые, релаксируя, приводят к рождению новых очагов. Сгорание прогретого слоя представляет собой серию нарастающих вспышек, что и отражено на температурном профиле волны.

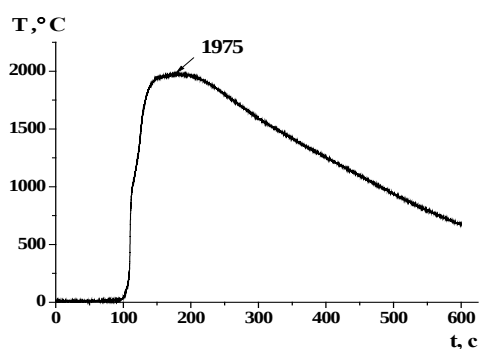
Таким образом, автоколебательное горение ферросилиция в азоте сопровождается низкой степенью азотирования продуктов синтеза и приводит к их химической и фазовой неоднородности.

Для получения продукта СВ с высоким выходом нитрида кремния необходимо организовать горение ферросилиция в азоте в стационарном режиме. Экспериментально установлено, что продукт горения с 96-100 % -м в выходом нитрида кремния удается получить при введении в исходный ферросплав 40 -60 % предварительно азотированного ферросилиция. Особенностью горения ферросилиция в азоте при разбавлении исходного ферросилиция предварительно азотированным ферросилицием является рост скорости горения с увеличением степени разбавления. Как показали исследования [6, 2], разбавление азотированным ферросилицием препятствует образованию крупных частиц, появляющихся в результате

плавления частиц исходного сплава и их коагуляции, и способствует тому, что характерный размер частиц, вступающих в реакцию, не увеличивается по сравнению с размером частиц исходного порошка. Отсутствие коагуляции при разбавлении исходного ферросилиция конечным продуктом приводит к увеличению реакционной поверхности и, в итоге, скорость горения увеличивается более чем в два раза. При этом продукты горения однородны во всем объеме (рисунок 3а). Термограмма стационарного процесса горения представлена на рисунке 3б.



а



б

Рис. 3 - Фотография образца азотированного ферросилиция, сгоревшего в стационарном режиме (а) и термограмма процесса горения (б)

Список литературы

1. Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Володин Ю.Е. О механизме горения пористых металлических образцов в азоте // Докл. АН СССР.-1972.-Т.206, №4.-С. 905-908.
2. Хухлома Л.Н. Закономерности синтеза нитрида кремния горением с плава железо-кремний в азоте // Журн. прикладной химии. – 2007. – Т. 80, № 11. – С. 1768-1772.
3. Патент 2 257338 РФ, МПК С 01В21/068. Способ получения нитрида кремния // Л.Н. Хухлома, Ю.М. Максимов, А.Н. Аврамчик. - № 2004108661/15; заявл.23.03.04; Опубл.27.07.05.
4. Aldushin A. P. Combustion of porous samples with melting and flow of reactants // Combust. Sci. And Tech. – 1994. – Vol. 99, № 4-6. – P. 313-343.
5. Complex behavior of self-propagating reaction waves in heterogeneous media / A. Varma [et. al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1998. – № 95. – P. 11053-11058.
6. Хухлома Л.Н. О механизме и закономерностях азотирования ферросилиция в режиме горения / Л.Н. Хухлома, Ю.М.Максимов [и др.] // Физика горения и взрыва. 2006. – Т. 42, № 3. – С. 71-77.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-03-00604-а)

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ КАШИРОВАНИЯ БУМАГОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ

Борисова А.С.

Научный руководитель: Варепко Л.Г., к.т.н., доцент

Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11

E-mail: Lianilla@mail.ru

Каширование (гер. kaschieren - наклеивать, припрессовывать) - это соединение (склеивание) двух материалов, в данном случае это алюминиевая фольга и бумага.

Для получения фольги к ашированной бумагой могут использоваться следующие технологические схемы:

– приклеивание бумаги к фольге с помощью специального клея, так называемая «клеевая ламинация»;

– приклеивании бумаги к фольге с помощью расплава РЕ;

– приклеивание бумаги к фольге с помощью расплавленного микровоска.

Согласно представленным выше технологическим схемам проведены исследование влияния состава адгезионного слоя на свойства комбинированного упаковочного материала на испытательной машине ИП 5158.

Упаковочный комбинированный материал, в состав адгезионного слоя которого входит клей декстринового типа, не является подвержен деламинации. Среднее значение силы расслаивания составляет 6 1,04 Н (см. рис.1). Причиной деламинации кашированной фольги в данном случае является проникновение влаги и жиров через бумагу к клеевому слою. Поэтому бумага при данной технологической схеме каширования должна обладать свойствами жиростойкости, что особенно актуально для упаковки масла, маргарина, жиров. Для менее жиродержащих продуктов (например, кондитерские изделия) может применяться менее стойкая к жирам бумага. Достоинством клеевой ламинации является жесткость получаемого материала.

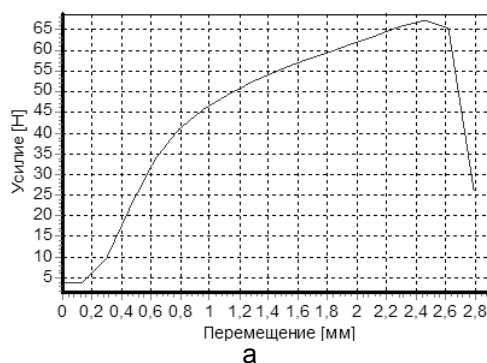
Наличие РЕ в составе адгезионного слоя практически исключает возможность деламинации упаковки. Среднее значение силы расслаивания составляет 7 1,57 Н (см. рис.1). Кашированная фольга с данным адгезионным слоем обладает высокой влагонепроницаемостью. Расплав РЕ придает комбинированному материалу высокую эластичность. Однако, серьезным недостатком является мягкость такого каширования. Упаковка будет плохо держать форму. Из-за этого, такого типа кашированную фольгу практически сложно применять для упаковки глазированных сырков и т.д., клеевая ламинация в данном случае предпочтительней. Кроме того, приклеенная на расплав РЕ бумага с РЕ не дает возможности «дышать» продукту.

Адгезионный слой при использовании микровоска обладает высокой клеящей способностью. Среднее значение силы расслаивания составляет 73,12 Н (см. рис.1). Упаковочный материал имеет высокую эластичность. Фольга кашированная данным способом мягче по сравнению с клеевой ламинацией, но при этом хорошо держит форму, в отличие от фольги, с клеевым расплавом РЕ. Кроме того, она лучше в себя впитывает при печати, особенно, если это глубокая, а не флексопечать. Это связано с тем, что для печати важно, чтобы разнотолщинность и шероховатость полученной кашированной фольги была как можно меньше, иначе могут возникнуть проблемы с равномерностью нанесения печатной формы к материалу и появятся места с непечатанными или плохо запечатанными элементами. В этом смысле слой воска является не менее жестким по сравнению со слоем РЕ, и тем более клея. Воск под давлением печатной формы будет проминаться и печать будет наноситься равномерно. Воск является экологически

чистым продуктом, легко разлагается в природной среде, не загрязняя ее, обладает прекрасными барьерными, по отношению к воде и жиру, свойствами. Однако, при повышенных температурах, учитывая физические свойства микровоска, возможна деламинация материала. Микровоск в качестве адгезионного слоя для каширования является весьма перспективным материалом, изучение технологических режимов каширования микровоском является одной из актуальных задач.

Для каширования машина должна быть оснащена стальным каландром с обрезиненным прижимным (кашировальным) валом. В области взаимодействия этих валов осуществляется каширование. Расплав наносится на полотно фольги/бумаги посредством вальца и тут же отжимается обрезиненным прижимным валом. Регулируя давление между этими валами можно осуществлять точный контроль плотности наносимого воска.

Регулирование плотности нанесения воска осуществляется путем повышения/понижения температуры расплава в рабочей ванне при повышении температуры расплава в рабочей ванне вязкость и, соответственно, плотность наносимого воска уменьшаются. При понижении температуры вязкость и, соответственно, плотность наносимого расплава увеличиваются.



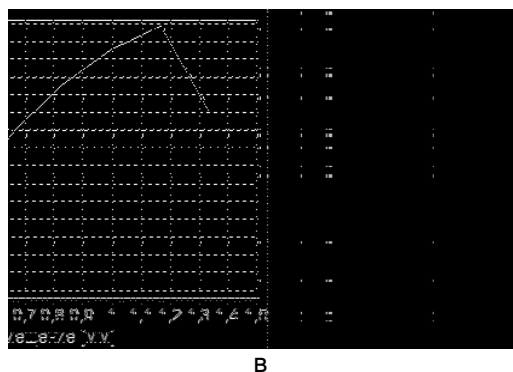


Рис. 1. Графическая зависимость «усилие (Н)–перемещение (мм)» при расплавлении систем:

- а** – «бумага - клей декстринового типа – фольга»;
б – «бумага - расплав РЕ - фольга»;
в – «бумага - P272 (микровокс) - фольга»

Экспериментальным путем было установлено, что на однородность с войства расплава микровокса существенное влияние оказывает режим его нагрева в плавильной емкости. Температуру в плавильной емкости рекомендуется повышать монотонно в течении 2-4 часов. Температура охлаждающих каландров (остальные валы для охлаждения водой) 14-15 градусов.

Намотку полотна кашированной фольги в рулон рекомендуется осуществлять таким образом, чтобы алюминиевая фольга находилась с внутренней стороны рулона, а бумага с внешней. Такой способ намотки позволяет в процессе работы обнаружить наличие миграции воска на поверхность бумаги. Кроме того, он способствует защите поверхности алюминиевой фольги от механических повреждений в процессе транспортировки готовой продукции.

Установлены оптимальные параметры каширования:

- температура в оска в плавильной емкости 135-140 градусов;
- температура воска в рабочей ванне 95-105 градусов;
- плотность нанесения воска 12-14 г/м²;
- рабочая скорость машины в среднем около 150 м/мин.

Плотность нанесения воска зависит от типа используемой бумаги и условий

нанесения в оска (воск наносится на бумагу или фольгу). При использовании сульфитной бумаги воск обычно наносится на алюминиевую фольгу, а затем комбинация бумага+фольга прокатывается через обжимной вал. В случае использования пергамента, воск наносится на бумагу, причем плотность в оскового покрытия возрастает. Кроме того, давление обжимного вала должно быть очень незначительным во избежание продавливания воска сквозь пергамент и за счет высокой пористости этого типа бумаги. Поэтому в большинстве случаев, рекомендуется наносить воск на фольгу, а не на бумагу.

Проведенный анализ технологических схем каширования позволил определить влияние состава адгезионного слоя комбинированного материала на его свойства. Выявлены наиболее значимые проблемы при производстве упаковки кашированной фольги. Установлены оптимальные параметры режимов каширования. Все выше перечисленное позволит повысить качественные и экологические показатели упаковочного материала, сократить время выполнения технологических операций.

Список литературы

1. Ефремов, Н.Ф. Тара и ее производство. - М: МГУП, 2001.- с. 118-121.
2. Локшин, М. Мировой и российский рынок алюминиевой упаковки // Тара и упаковка. - 2005.- №5. - с.44-49.
3. ГОСТ Р 52145 -2003. Материалы комбинированные на основе алюминиевой фольги. Технические условия. -Введ. 2003 - 10-25. - М.: Изд-во стандартов, 2003.
4. Флятте, Д.М. Свойства бумаги. - М.: Лесная промышленность, 1976. - С.275-503.
5. Оцкир, И. Каширование в производстве гибкой упаковки // Флексо Плюс. -2002. - №2. С.38-44.
6. Аксенова, Т.И. Технология упаковочного производства / Т.И. Аксенова, В.В. Ананьев, Н.М. Дворецкая. – Под ред. Э.Г. Розанцева. – М: Колос, 2002.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОЙ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ С УРОВНЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА Mo-Re ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Винс С.А.

Научный руководитель: Дитенберг И.А., к. ф.-м. н.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4
Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: vins-sv09@rambler.ru

Одной из отличительных особенностей наноструктурных и субмикроструктурных металлических материалов после интенсивной пластической деформации (ИПД) является формирование высокодефектных состояний. Как показано в [1], для таких структур характерно накопление большой плотности частичных дислокаций в объеме и на границах зерен и, как следствие, границ с высокими непрерывными разориентировками. Наличие участков с высокой кривизной кристаллической решетки свидетельствует о высоком уровне локальных внутренних напряжений, приближающихся к теоретической прочности кристалла [1, 2]. Также необходимо отметить, что при переходе чистых металлов и сплавов в состояния с элементами нано- и субмикроструктурной структуры существенным образом изменяются и физико-механические свойства [3, 4], однако, работ по установлению взаимосвязи между параметрами формирующейся в процессе деформации микроструктуры и уровнем свойств в литературе практически не встречается.

В настоящей работе представлены результаты электронномикроскопического исследования эволюции сплава системы Mo-47%Re (вес. %) после ИПД кручением под давлением с количественным определением параметров микроструктуры и сопоставлением полученных данных с измеренными значениями микротвердости материала в этих состояниях. Для этого, образцы в форме дисков толщиной $h = 0.2$ мм и диаметром 10 мм деформировали кручением под давлением ~ 7 ГПа при комнатной температуре на 1, 3, 5 и 7 оборотов. Толщина образцов после деформации составляла не более 0.15 мм. Оценки сдвиговой и истинной логарифмической деформации в соответствии с формулой ($e = \ln(2\pi RN/l)$) [4] в зависимости от расстояния от центра диска $R = 1.5 - 3.5$ мм и приведены в таблице 1.

Электронномикроскопическое исследование с применением темнопольных методов анализа высоких непрерывных

разориентировок проведено преимущественно сечении перпендикулярном плоскости наковален, что позволяет получать количественные характеристики микроструктуры формирующейся при деформации кручением под давлением [5]. Подробная методика проведения таких исследований изложена в работах [1, 5].

Таблица 1. Оценки величины сдвиговой и истинной логарифмической деформации в зависимости от R.

R, мм	e, γ	N = 1	N = 3	N = 5	N = 7
0.5	γ	21.0	62.8	104.6	146.5
	e	3.0	4.1	4.6	5.0
3.5	γ	146.5	439.6	732.6	1025
	e	4.98	6.085	6.59	6.93

В процессе электронномикроскопических исследований сплава системы Mo-47%Re, в сечении, перпендикулярном плоскости наковален было установлено, что уже после кручения на 1 оборот ($3 < e < 5$) в материале формируется анизотропное наноструктурное состояние: размеры зерен в направлении оси кручения в несколько раз меньше, чем в направлениях перпендикулярных данной оси [6]. Кроме того, отличительной особенностью материала после таких деформаций является неоднородность микроструктуры. Было выявлено наличие двух типов структур. Первый тип это области с мелкими (100-400 нм) зернами несколько вытянутыми параллельно плоскости наковален, коэффициент неравноосности которых составляет порядка 2-3. Второй тип - области с характерной для такого состояния [5], микрополосовой структурой, отличительной особенностью которой является высокий коэффициент неравноосности зерен (4-10), то есть в плоскости, перпендикулярной оси кручения, «микрополосы» имеют субмикронный размер, тогда как в направлении оси кручения - наномасштабный, не превышающий 50 - 70 нм. Предполагается, что наличие двух представленных выше типов структуры

связано с неполной проработкой материала в процессе ИПД. Установлено, что при указанных выше степенях деформации подобная микрополосовая структура занимает большую часть материала, чередуясь с областями первого типа.

В результате проведенного исследования механических свойств сплава после кручения на 1 оборот в сечении, перпендикулярном

плоскости наковален, было установлено, что уровень микротвердости (H_{μ}) центральной и периферийной частей образцов значительно отличается (Таблица 2). Данная особенность, по-видимому, является следствием неоднородного упрочнения материала в процессе деформации кручением под давлением.

Таблица 2. Параметры зеренной, дефектной структуры и микротвердости материала, оценки локальных внутренних напряжений

N	d, нм		d _{суб} , нм	χ_{ij} , град/мкм	$\sigma_{лок}$	H _μ , ГПа	
	d _⊥	d				d _⊥	d
1	30÷100	100÷400	—	5÷30	< E/40	6,83	10,01
3	30÷80	100÷200	40÷60	< 40	> E/40	9,18	10,30
5	30÷80	100÷200	20÷30	40÷50	E/20÷E/15	11,90	12,03
7	30÷70	100÷200	10÷20	~ 50	E/15÷E/12	9,56	10,27

Предполагается, что более низкий уровень микротвердости в центральной части образца после кручения на 1 оборот свидетельствует о наличии в этой области преимущественно первого типа микроструктуры.

При изучении структуры сплава после кручения на 3, 5 и 7 оборотов установлено, что при такой деформации уже практически весь объем материала представлен в основном вторым типом. При этом значения микротвердости в сечении, перпендикулярном плоскости наковален, выравниваются и при деформации материала на 5 оборотов ($4,6 < \sigma < 6,6$) достигают некоторого насыщения.

Сравнительное электронно-микроскопическое исследование таких структурных состояний показало, что во всем интервале деформаций в материале наблюдается формирование двухуровневой структурой, то есть зерна субмикронного размера (100÷400 нм) с высковоуговыми границами, фрагментированные на наномасштабные субзерна (10÷60 нм) с малоугольными границами дискретного и непрерывного типа [7]. Важно отметить, что с увеличением степени деформации плотность таких зерен в объеме материала возрастает.

Результаты структурных исследований и данные о свойствах сплава системы Mo-47%Re (Таблица 2) показали, что степень деформации существенно не влияет на размеры зерен (d) в направлении параллельном (d_{||}) и перпендикулярном (d_⊥) плоскости наковален, но при этом наблюдается значительное изменение параметров микротвердости материала. Предполагается, что рост значений H_μ при

увеличении степени деформации обусловлен увеличением плотности зерен с двухуровневой структурой, то есть изменением тонкой дефектной структуры. Об этом также свидетельствует увеличение параметров кризисной кристаллической решетки (χ_{ij}) от 5 до ~50 град/мкм в зависимости от числа оборотов (Таблица 2). Рассчитанные по экспериментально полученным значениям кризисных локальных внутренних напряжений и меняются в интервале $E/40 < \sigma_{лок} < E/12$ и практически достигают значений, близких к теоретическим.

Сделано предположение, что в качестве основного механизма пластической деформации, действующего в сплаве системы Mo-47%Re в условиях низкой диффузионной и дислокационной активности, может быть рассмотрен механизм дисклинационного типа. Его действие обеспечивает формирование обнаруженных в материале структурных состояний с высокой плотностью границ с переменными векторами разориентации и участков с высокой кривизной кристаллической решетки. В настоящее время этот механизм рассматривается как основной и универсальный при переориентации кристаллической решетки в процессе ИПД, участвующий в формировании субмикроструктурных и наноструктурных состояний широкого класса металлов и сплавов [1, 5, 7].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-02-00809а и гранта Президента Российской Федерации МК-658.2009.8. Исследования проведены с использованием оборудования

Томского материаловедческого центра коллективного пользования ТГУ.

Список литературы

1. Тюменцев А.Н., Коротаев А.Д., Пинжин Ю.П. // ФММ. – 2004. – Т. 7. – № 4. – С. 35-53.
2. Теплов В.А., Пилиugin В.П., Чернышев Е.Г. и др. // ФММ. – 1997. – № 24. – Вып. 3. – С. 82-94.
3. Андриевский Р.А., Глезер А.М. // ФММ. – 2000. – Т. 98. – № 1. – С. 91-112.
4. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические

материалы – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007, 398с.

5. Тюменцев А.Н., Дитенберг И.А., Пинжин Ю.П. и др. // ФММ. – 2003. – Т. 96. – № 4. – С. 33-43.
6. Валиев В.А., Дитенберг И.А., Тюменцев А.Н., Корзников А.В. // Известия ВУЗов. Физика. – 2009. – 12/2. – С. 32-36.
7. Дитенберг И.А., Тюменцев А.Н., Корзников А.В., Валиев В.А. // “Ультрамелкозернистые и наноструктурные материалы-2008”, Перспективные материалы. – Спец. вып. (7). – 2009. – С. 103-107.

СВС - АЗОТИРОВАНИЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПРИРОДНОГО ОКСИДНОГО СЫРЬЯ

Витушкина О.Г., Хухлома Л.Н.
 Научный руководитель: Хухлома Л.Н.
 Отдел структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН
 E-mail: olchik4@yandex.ru

Среди керамических материалов, обладающих уникальными свойствами и предназначенных для использования в различных областях науки и техники, следует выделить нитрид кремния. Нитрид кремния (Si_3N_4) обладает низким коэффициентом термического расширения, термостойкостью, высокой механической прочностью и др. свойствами.

Все более широкое применение находят композиционные материалы на основе нитрида кремния (Si_3N_4 – BN, Si_3N_4 – SiC, Si_3N_4 – ZrO_2 , Si_3N_4 – TiN и др.). Сочетание положительных свойств нитрида кремния, оксидов и нитридов в одном материале требует поиска новых методов получения таких композиций. При этом следует отметить, что для получения материалов из данных композиций преимущественно используются преимущественно синтезированные порошки.

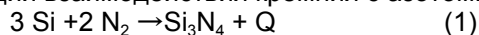
Композиционные материалы на основе системы Si_3N_4 - ZrO_2 отличаются высокой стойкостью к окислению и термостойкостью; в зависимости от содержания нитрида титана в композиции Si_3N_4 -TiN полученные материалы будут либо электроизоляционными или электропроводящими.

Как правило, композиции на основе нитрида кремния получают по технологии печного синтеза, плазмохимическим методом, а также методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Получение композиционной керамики на

основе нитридов металлов СВС было разработано в ИСМАН под руководством А.Г. Мержанова, И.П. Боровинской. В качестве исходных материалов и используются элементарные порошки В, Ti, Si [1].

Сотрудниками Отдела структурной макрокинетики ТНЦ СО РАН разработана технология получения нитридов из сплавов нитридообразующего элемента и железа, в частности получения нитрида кремния из ферросилиция [2, 3].

В процессе азотирования ферросилиция тепловыделение осуществляется за счет реакции взаимодействия кремния с азотом:



Поскольку реакция является очень экзотермичной (750 к Дж/моль) для предотвращения процессов коагуляции расплавленных частиц исходного сплава и диссоциации продукта горения (Si_3N_4) в исходный ферросилиций вводят до 70 мас. % второго компонента (предварительно азотированный ферросилиций, нитрид кремния).

Наряду с инертными разбавителями в исходную смесь можно вводить и другие тугоплавкие соединения, а также оксидное минеральное сырье, например циркон или ильменит. В результате в процессе СВС-синтеза в одну стадию получают композиционные порошки на основе нитрида кремния. Использование стадии изотопного обогащения на финишном этапе получения порошков позволит получать достаточно

чистые керамические композиции на основе нитрида кремния.

В настоящей работе представлены экспериментальные закономерности горения смесей « ферросилиций - циркон», «ферросилиций - ильменит» в азоте и результаты термодинамического расчета максимальных температур горения и равновесного состава продуктов реакции.

В экспериментальной части работы в качестве исходных компонентов смеси для СВ- синтеза керамических композиций на основе нитрида кремния и использовались ферросилиций (марка П УД – 75, общее содержание кремния в сплаве 82,0 %), циркон и ильменит Туганского месторождения Томской области. Циркон – природный минерал $ZrSiO_4$, конечным продуктом переработки которого является диоксид циркония (ZrO_2).

* Здесь и далее массовые проценты

Ильменит – это минерал подкласса сложных оксидов общей формулы $FeTiO_3$, представляющий собой смесь оксидов железа и титана.

Общепринятым приемом в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза является проведение расчетов максимальных температур, развигивающихся при горении, и их сравнение с экспериментальными данными.

Для оценки адиабатической температуры горения и равновесного состава продуктов горения ферросилиция в присутствии циркона и ильменита использовался программный комплекс Астра – 4, разработанный в МГТУ им. Баумана, который основан на фундаментальном принципе максимума энтропии.

Расчеты проводились в предположении адиабатичности процесса, т. е. отсутствия теплопотерь в зоне реакции. В качестве изменяемых параметров были выбраны: давление азота (0,1 – 10 МПа), содержание циркона и ильменита в смеси с ферросилицием (10 – 90 %).

Содержание азота задавалось в предположении, что весь кремний будет превращаться в нитрид кремния, а фазовыми составляющими ферросилиция являются дисилицид железа ($FeSi_2$) и кремний (Si).

Система «ферросилиций-циркон-азот»

Результаты термодинамического расчета показали, что при содержании циркона в исходной смеси до 70 % наблюдается рост температуры горения с увеличением давления азота. При содержании циркона до 60 % адиабатическая температура горения остается постоянной для данного давления,

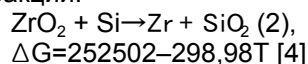
так как дальнейший ее рост ограничивается диссоциацией нитрида кремния.

Экспериментальные данные показали, что максимальная температура горения для смеси « 50 % ферросилиций, 50 % циркон» составляет 2040С, которая определяется равновесием между нитридом кремния и продуктами его диссоциации – кремнием и азотом. Данное обстоятельство согласуется с результатами термодинамического расчета.

Однако, в ходе эксперимента при введении циркона свыше 60 % в исходную смесь « ферросилиций - циркон» организовать горение данной смеси не удалось. Вероятной причиной является то, что термодинамический расчет проводился в отсутствие теплопотерь в зоне реакции, а в реальных условиях теплопотери в окружающую среду являются значительными.

Основным отличием результатов термодинамического расчета от экспериментальных данных является то, что в соответствии с результатами термодинамического анализа в равновесном составе конденсированных продуктов азотирования наряду с Si_3N_4 , SiO_2 , Si, Fe образуется нитрид циркония (ZrN). При проведении экспериментальных исследований в продуктах горения, согласно РФА, нитрида циркония не образуется.

Объяснением данного факта может служить то, что поскольку в равновесном составе конденсированных продуктов СВ-азотирования смеси «ферросилиций - циркон» присутствует кремний, то в соответствии с [4] возможно осуществление реакции:



Дальнейшее взаимодействие циркония (Zr) с азотом приводит к образованию нитрида циркония. Согласно расчету энергии Гиббса (ΔG) осуществление реакции 2 возможно при температуре выше 580°С.

В условиях эксперимента по достижении температуры плавления циркона с разложением (1677°С) на соответствующие оксиды ZrO_2 и SiO_2 , свободного кремния не остается, поскольку он уже полностью прореагировал с образованием нитрида кремния. Поэтому процесс восстановления циркония (Zr) из его диоксида не осуществляется.

Система «ферросилиций-ильменит-азот»

По данным термодинамического расчета при давлениях ильменита до 70 % наблюдается увеличение адиабатической температуры горения с увеличением давлением азота. При разбавлении ферросилиция ильменитом до 60 %

адиабатическая температура горения является постоянной для данного давления. Дальнейший рост температуры горения, как и в случае использования добавки циркона, ограничивается температурой диссоциации нитрида кремния.

Экспериментально установлено, что с увеличением количества вводимой добавки ильменита степень азотирования уменьшается, а при введении ильменита свыше 40 % система не горит. Это связано с тем, что в процессе распространения реакционной волны по образцу в зоне прогрева при температуре 120 °С6 наблюдается плавление эвтектики $\text{FeSi}_2 - \text{Si}$, а затем при температуре свыше 365 °С происходит плавление ильменита. В результате чего количество расплава в волне горения увеличивается, что приводит к фильтрационным затруднениям по двода азота к зоне реакции. Поэтому экспериментальное горение смеси «ферросилиций – ильменит» реализуется в диапазоне концентраций ильменита 0 – 40 %, а не 0 – 60 % как указывают результаты термодинамического расчета.

Результаты термодинамического расчета равновесного состава продуктов реакции согласуются с экспериментальными данными по СВС – азотированию смеси «ферросилиций – ильменит». Основными

фазовыми составляющими продуктов синтеза являются Si_3N_4 , TiN , Si и Fe .

Следует отметить, что как в случае добавки ильменита к ферросилицию, так и циркону, по данным РФА в продуктах синтеза сгоревших образцов присутствует оксинитрид кремния ($\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$), в то время как по данным термодинамических расчетов конденсированной фазой является SiO_2 . Это связано с тем, что в базе данных используемой программы отсутствуют данные для фазы $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$.

Список литературы

1. Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Володин Ю.Е. О механизме горения пористых металлических образцов в азоте // Докл. АН СССР.-1972.-Т.206, №4.-С. 905-908.
2. О механизме и закономерностях азотирования ферросилиция в режиме горения / Л.Н. Ухломина, Ю.М. Максимов, В.Д. Китлер, О.Г. Витушкина / Физика горения и взрыва.-2006.-Т42, №3.- С. 71-78.
3. Патент 2 257338 РФ, МПК С 01В21/068. Способ получения нитрида кремния // Л.Н. Ухломина, Ю.М. Максимов, А.Н. Аврамчик. - № 2004108661/15; заявл.23.03.04; Опубл.27.07.05.
4. Рысс М.А. Производство ферросплавов.-М.: Металлургия, 1985.- 344 с. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 09-03-00604-а)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ БРОНЗЫ БРОСЦН-10-8-2-2.

Гизатуллин И.И., Петренко Ю.Н., Мартюшев Н.В.

Научный руководитель: Петренко Ю.Н.

Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nikitoid@mail.ru

Многофазные свинцовистые бронзы используются в машиностроении для изготовления издел с высокими антифрикционными и противозадирными свойствами, например, подшипников скольжения. Но в ряде случаев детали из таких материалов разрушаются в следствие недостаточной прочности. Свинец практически не растворяется ни в одном из компонентов 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 формирования свинцовых включений в многокомпонентных бронзах и влияния 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 в работе не рассматривается вопрос о влиянии такой формы свинцовых включений на триботехнические свойства отливок.

В данной работе изучалось влияние формы свинцовых включений, получаемых при различных скоростях охлаждения на коэффициент многокомпонентной свинцовой бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2. Исследуемая бронза выплавлялась в высокочастотной индукционной тигельной печи ВХГ2-100/0,066 и 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					
	Pb	Cu	Zn	Ni	Sn	Раскислитель
БрОСЦН-10-8-2-2	8	77,5	2	2	10	0,5

Раскисление проводилось фосфористой медью перед закладкой свинца в расплав.

Температуру заливки составляла 1150°C и контролировалась быстродействующим оптическим пирометром ТПТ-90 с лазерным наведением.

Заливка проводилась в холодные графитовые формы при температуре 25 °C после чего они охлаждались на воздухе (скорость охлаждения ~80 °/мин) и в горячие формы, нагретые до 800 °C, которые охлаждались в месте спечью до 800°C (скорость охлаждения ~4 °/мин). Отливки представляли собой цилиндры с диаметром 17 мм и высотой 70 мм.

Микроструктура образцов изучалась на оптическом микроскопе ZEISS AXIO Observer.A1m с встроенной фотокамерой и ZEISS Axiovert 40 MAT, травления шлифов не проводилось. Качественные характеристики микроструктуры (процент структурных составляющих и их средний размер) определялись с помощью разработанной компьютерной программы [4].

Исследования триботехнических свойств образцов проводилось на испытательной машине СМТ-1 проводились сравнительные испытания по схеме в ал-колонка двух типов образцов с использованием смазки М8Г на скорости 300 об/мин. 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.

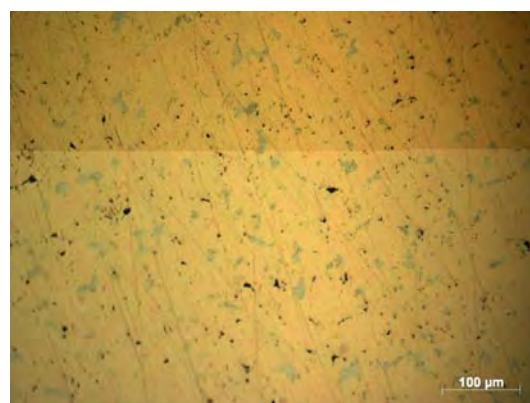
Проведенные металлографические исследования показали, что в результате изменения скорости охлаждения формируется различная морфология включений легкоплавкой фазы в отливках в

соответствии с данными и зложенными в [3]. Высокая скорость охлаждения привела к образованию большого количества мелких разветвленных включений свинца с рваной межфазной поверхностью. Низкая скорость охлаждения отливок из бинарной свинцовой бронзы привела к образованию в структуре ферообразных включений легкоплавкой фазы с гладкой межфазной поверхностью (см. рис. 1).

В процессе трения свинец будет выкрашиваться, образуя поры на поверхности трения. Эти пустоты будут играть роль масляных карманов, причем форма и размеры этих карманов будут в значительной мере определять коэффициент трения материала.

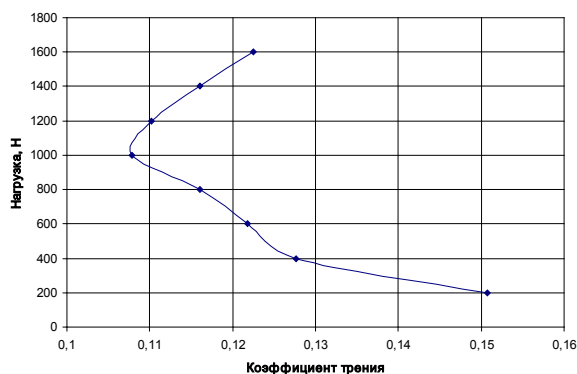


а

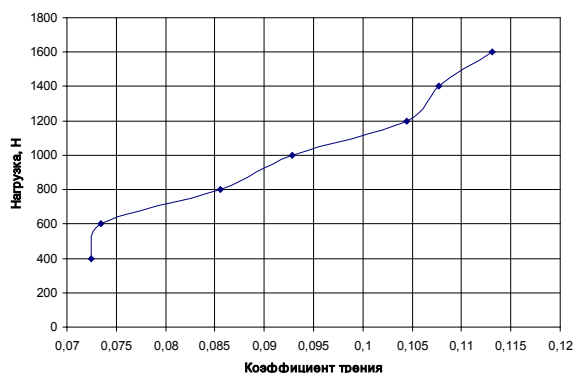


б

Рис.1 Микроструктура многокомпонентной бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения.



а



б

Рис.2 Результаты испытаний на трение образцов из бронзы марки БрОСЦН-10-8-2-2 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения.

Проведенные триботехнические испытания (см. рис. 2) показали, что в диапазоне нагрузок от 20 до 200 кг коэффициент трения образцов с сферической формой с винцовых 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 и исследования морфологии свинцовых включений показывают, что их средние размеры при низкой скорости охлаждения ($\sim 4^\circ\text{C/s}$) в 1,6 раз больше, чем

при высоких скоростях охлаждения ($\sim 80^\circ\text{C/s}$). 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 (голубая фаза на рис. 2 а, б). Компьютерный расчет показал, что быстро охлажденные образцы, содержащие в структуре электронного соединения в 2 раза больше, в сравнении с медленно охлаждаемыми образцами.

В итоге по результатам исследований можно сделать вывод о том, что снижение скорости охлаждения многокомпонентных бронзы БрОСЦН-10-8-2-2 приводит к увеличению коэффициента трения.

Список литературы

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: СТУ, 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 СТУ"2002-ТПУ, 2002.

ЛИТЬЕ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРОВ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Голиков А.Ю., Головин Е.Д., Журавина Т.В.

Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: golikov.alexander@yandex.ru

Литейные процессы являются одними из наиболее важных и основополагающих технологических процессов. От качества получаемых отливок зависят эксплуатационные характеристики множества машин, механизмов и ответственных машиностроительных конструкций. Поэтому причине, повышение качества литейного металла является актуальной научно-практической задачей.

Широко применяемым методом повышения качества отливок является модифицирование металлов и сплавов различными добавками, влияющими на процесс кристаллизации отливки. На сегодняшний день с специалистами выполняется большая работа и исследований по данной тематике [1].

Совершенствование методов изготовления наноразмерных порошков привело к появлению нового направления исследований в области модифицирования. Наноразмерные порошки имеют отличные от массивного состояния вещества свойства. Поэтому в настоящее время ведется большое число исследований по влиянию нанодисперсных частиц на процессы кристаллизации расплава [2, 3].

В работе представлен анализ экспериментальных исследований по модифицированию алюминия марки АД0 различными добавками (таблица 1), среди которых представлены промышленный модификатор фторцирконат калия, 2 типа наноразмерных порошков и 2 типа кусковых лигатур.

Таблица 1. Состав модифицирующих добавок.

отливка 1	без добавок
отливка 2	промышленный модификатор K_2ZrF_6
отливка 3	наноразмерный порошок Cu-TiCN
отливка 4	наноразмерный порошок Cu-TiC
отливка 5	лигатура Cu-TiCN
отливка 6	лигатура Al-Mg-Zr-B

Плавление алюминия производили в индукционной печи при наведении активного покровного флюса NaF. Перед заливкой металл сливали в графитовый ковш, на дне которого находился модификатор, составляющий по массе 0,2 % от заливаемой

в ковш порции металла. Заливка производилась в песчаные формы при начальной температуре металла 740 °С.

В общей сложности было получено 6 отливок, из которых были изготовлены цилиндрические образцы на растяжение, а также шлифы для изучения макро- и микроструктуры. Макроструктура полученных образцов свидетельствует о том, что применение всех модификаторов приводит к измельчению структуры на несколько порядков.

Структура немодифицированного алюминия имеет исключительно дендритный характер – вся площадь шлифа представляет собой вытянутые в сторону центра отливки дендритные кристаллы (рис. 1).

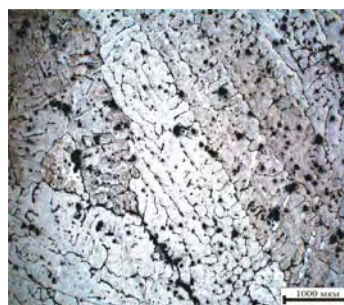


Рис. 1. Дендритная составляющая в микроструктуре немодифицированного алюминия.

Анализ микроструктуры модифицированных отливок показывает наличие в металле двух типов кристаллов – дендритных и полиэдрических (рис. 2). Количественное соотношение этих кристаллов для модифицированных отливок незначительно отличается, в целом же структуры материалов, отлитых с применением модификаторов весьма схожи.

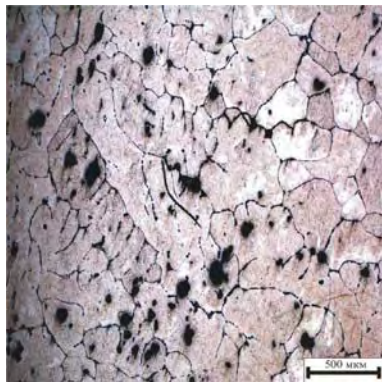


Рис. 2. Дендритная и полиэдрическая составляющие в микроструктуре модифицированного алюминия наноразмерным порошком Cu-TiC.

Испытание образцов в условиях статического растяжения показали, что добавки всех модификаторов привели к повышению предела прочности итого металла (рис. 3). При этом уровень предела текучести остался одинаковым для всех отливок. Наибольшее значение предела прочности показали отливки, модифицированные наноразмерным порошком Cu-TiCN, и кусковой лигатурой Al-Mg-Zr-B. Однако модифицирующие добавки оказали разное воздействие на пластичность алюминия. Наибольшее значение пластичности имеет отливка, модифицированная кусковой лигатурой Al-Mg-Zr-B. Близкий уровень пластичности показал материал с добавками промышленного модификатора K_2ZrF_6 . Росту пластичности способствует также порошок модификатор Cu-TiCN, однако, в этом случае величина относительного удлинения меньше, чем у алюминия, обработанного промышленным модификатором K_2ZrF_6 .

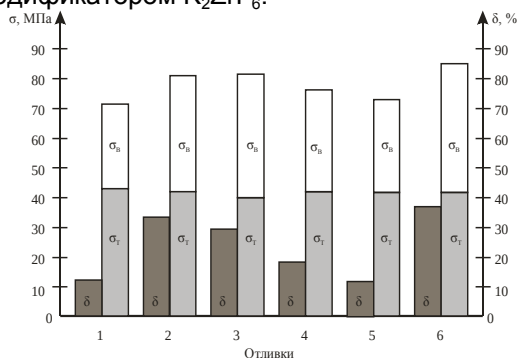


Рис. 3. Результаты испытания на статическое растяжение, нумерация соответствует таблице 1.

Среди 30 испытанных образцов были выбраны 9 для проведения фрактографических исследований.

Выяснилось, что абсолютно все образцы имеют значительную пористость, а в некоторых из них были выявлены газовой раковины больших размеров (рис. 4). Как и следовало ожидать, в порах и газовых раковинах наблюдается ярко выраженное дендритное строение металла (рис.5).

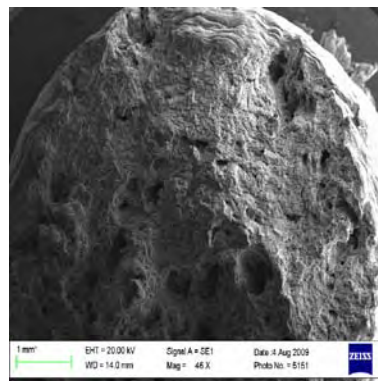


Рис. 4. Пористость и газовые раковины, наблюдаемые на разрушенном сечении образца, модифицированной лигатурой Al-Mg-Zr-B.

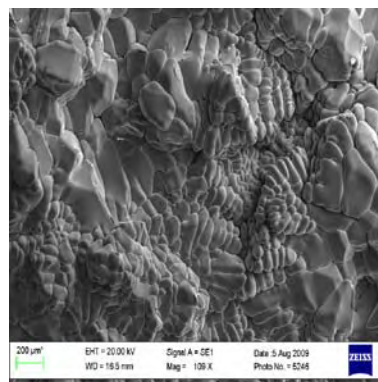


Рис. 5. Дендритная структура стенки газовой раковины в образце из отливки, модифицированной лигатурой Cu-TiCN.

Сравнительный анализ пористости показал, что наименьшее содержание пор в образцах отливки 6. Однако в двух случаях из пяти в этих образцах были обнаружены крупные газовой раковины до 2 мм в диаметре. Возможно, это следствие вскипания модификатора в расплаве. В отливках 1 и 5 пор наибольшее количество, в образцах отливки 6 – наименьшее, а отливки 2, 3 и 4 занимают по содержанию пор промежуточное положение. Тем не менее, пористость модифицированных отливок, кроме отливки 5, меньше, чем пористость немодифицированного металла. Следствием этого факта является несомненное повышение качества металла в процессе модифицирования.

По результатам проведенных фрактографических исследований можно

сказать, что данные прочностных и сплитаний не представляются достаточно надежными, поскольку металл разный отливок содержит разное количество пор, в следствие чего площадь испытуемого в процессе растяжения сечения образца не являлась постоянной для всех образцов.

Список литературы

1. Г.Г. Крушенко, Б.А. Балашов, З.А. Василенко, М.Н. Фильков, Т.Н. Миллер // Повышение механических свойств алюминиевых литейных сплавов с помощью

ультрадисперсных порошков / Литейное производство №4, 1991. С. 17-18.

2. В.И.Напалков. Модифицирование алюминиевых деформируемых сплавов совместными добавками титана и бора. //Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Москва – 1974. 27 с.

3. Решетникова С.Н. Применение нанопорошков химических соединений для повышения физико-механических характеристик изделий машиностроения. // Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук / Красноярск – 2008. 21 с.

АНИЗОТРОПИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА СИСТЕМЫ V-4Ti-4Cr ПОСЛЕ МНОГОКРАТНОГО ВСЕСТОРОННЕГО ПРЕССОВАНИЯ

Гриняев К.В.

Научный руководитель: Дитенберг И.А., к.ф.м.н.

Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36

E-mail: daemonmv@inbox.ru

Создание новых конструктивных материалов, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, является одним из наиболее важных и интенсивно развивающихся направлений современного материаловедения. Для широкого класса разрабатываемых материалов в качестве основы традиционно используются тугоплавкие ОЦК металлы, что позволяет получать новые сплавы, сочетающие высокий уровень жаропрочности с высокой низкотемпературной пластичностью.

В соответствии с [1, 2], существенной материаловедческой проблемой при разработке ванадиевых сплавов системы V-Ti-Cr является их высокая активность к примесям внедрения (C, O, N), что переводит эти сплавы в разряд гетерофазных материалов со сложной последовательностью фазовых превращений и высокой чувствительностью эксплуатационных свойств от особенностей двухфазного состояния и режимов термомеханической обработки. Поэтому возникает необходимость разработки новых способов и режимов обработки таких сплавов, одним из ключевых этапов которых является деформационная обработка, традиционно реализуемая прокаткой, экструзией, прессованием, ковкой и др.

Как показано в работе [1], материалы этой системы обладают сверхвысокой технологической пластичностью, позволяющей деформировать образцы при

комнатной температуре до значений истинной логарифмической деформации $\epsilon > 5$ без промежуточных отжигов. Существенным ограничением при достижении больших степеней деформации в процессе прокатки является толщина образцов, в следствие ее уменьшения на каждом акте деформационного воздействия.

Тем не менее, разрабатываемые в последнее время металлы большой пластической деформации [3], в частности многократное всестороннее прессование, позволяющее деформировать образцы с сохранением их исходной формы, могут успешно применяться на некоторых этапах деформационных обработок, практически не накладывая ограничений на количество актов деформационного воздействия.

Работа выполнена с использованием сплава V-4,36Cr-4,21Ti-0,013C-0,011N-0,02O (вес. %), образцы которого были подвергнуты многократному 2-х и 3-х осному прессованию с осевой деформацией в пресс-форме при комнатной температуре. Проведено по 16 актов прессования с достижением на каждом акте величины $\epsilon \approx 40\%$ и суммарной (после 16 актов) величиной истинной логарифмической деформации $\epsilon \approx 5.8$.

Электронно-микроскопическое исследование проведено в различных сечениях, на электронном микроскопе Philips CM30 при ускоряющем напряжении 300 кВ. Фольги для электронно-микроскопических

исследований получали методом струйной электрополировки на приборе "МИКРОН". В качестве электролита использовали 20%-ный раствор серной кислоты в метаноле.

Для изучения особенностей высокодефектных структурных состояний с высокой континуальной плотностью дефектов использовались специальные методы анализа высоких непрерывных разориентировок [4], позволяющие выделить "структурную" (присущую объемным образцам) кривизну к кристаллической решетки.

В результате с сравнительного исследования были выявлены отличительные особенности структурных состояний после реализации двухосного (рис. 1 а, б) и трехосного (рис. 1 в) режимов многократного прессования. Установлено, что материал после обработки характеризуется значительной неоднородностью зеренной структуры, формированием микрополосовых структурных состояний и, при достижении больших степеней деформации, образованием «кочерящегося» макроскопического проявления локализации деформационных процессов.

В объеме материала происходит формирование своеобразного композита с элементами мелкокristаллических (МК) и субмикrokristаллических (СМК) структурных состояний. В частности, после 3-х-осного прессования повсеместно по образцу наблюдаются участки микрополосовой структуры с шириной полос до десятых доли микрона на фоне крупных зерен размерами до нескольких микрон. Сетчатое изображение такого структурного состояния представлено на рис. 1 в. Исследования показали, что подобная микроструктура характерна для всех трех сечений образца.

После 2х-осного прессования, наблюдается формирование микрополос шириной $50 \div 300$ нм, вытянутых в направлении осей, вдоль которой не осуществлялось прессования (рис. 1 а). Длина таких полос достигает нескольких микрон. При этом, установлено, что подобная структура характерна для сечений параллельных этой оси. В сечении, перпендикулярном указанному выше направлению (рис. 1 б), наблюдается преимущественно равноосная субмикrokristаллическая зеренная структура. Таким образом, анизотропия нагружения, связанная со схемой применяемого метода обработки, приводит к формированию анизотропного структурного состояния.

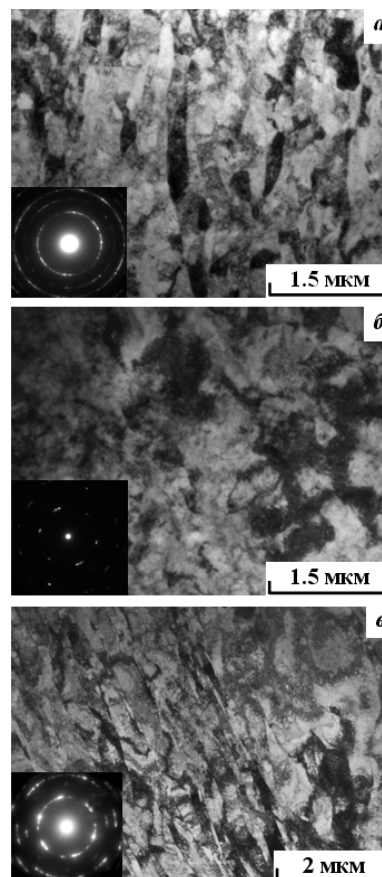


Рис. 1. Микроструктура сплава системы V-Ti-Cr после 2-х (а, б) и 3-х (в) осевой деформации методом многократного востороннего прессования при комнатной температуре.

Анализ непрерывных разориентировок позволил установить, что обработка с применением многократного востороннего прессования приводит к формированию в объеме материала структурных состояний с высокими значениями кривизны кристаллической решетки. Так, после 3-х осного прессования значения кривизны в микрополосах достигают значений $\chi_{ij} \approx (10 \div 15)^\circ \text{ мкм}^{-1}$. В более крупных зернах величина этого параметра ниже и находится на уровне $(\chi_{ij} \approx 0)^\circ \text{ мкм}^{-1}$. После двухосного прессования эффективная структура более сложная: в них наблюдается как фрагментация на субзерна, так и кривизна кристаллической решетки, достигающая $(15 \div 20)^\circ \text{ мкм}^{-1}$. Для указанных выше высокодефектных состояний, рассчитанные по формуле $\sigma_{\text{лок}} \approx \chi_{ij} E \Delta t / 2$ (где E - модуль Юнга, Δt - толщина фольги, в данном случае около 200 нм) [4], величины локальных внутренних напряжений и их градиентов на субмикронном масштабном уровне ($\partial \sigma / \partial r \approx 0.1 \text{ мкм}$) с оставляют $\sigma_{\text{лок}} \approx E/60$ и $\partial \sigma_{\text{лок}} / \partial r \approx E/30 \text{ мкм}^{-1}$ соответственно.

В качестве заключения, необходимо отметить, что в изученном сплаве в процессе больших пластических деформаций, формируются неоднородные высокодефектные структурные состояния, характеризующиеся наличием МК и С МК структуры с высокой плотностью наноразмерных частиц второй фазы в объеме и на границах зерен. При этом, важными факторами, оказывающими влияние на структурообразование в процессе деформационной обработки, являются неоднородность и сходного с структурно-фазового состояния и процессы локализации пластической деформации.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 09-02-00809а и № 09-03-99007-р_офи, и гранта Президента Российской Федерации МК-658.2009.8. Исследования проведены с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования ТГУ.

Список литературы

1. Тюменцев А. Н., Пинжин Ю. П., Овчинников С. В., Дитенберг И. А., Коротаев

А. Д., Шуба Я. В., Чернов В. М., Потапенко М. М. Особенности формирования наноструктурных состояний при больших пластических деформациях сплавов V-4%Ti-4%Cr // Перспективные материалы. – 2006. – № 1. – С. 5-19.

2. Тюменцев А. Н., Коротаев А. Д., Пинжин Ю. П., Дитенберг И. А., Дробышев В. А., Потапенко М. М., Чернов В. М. Влияние режимов термомеханической обработки на закономерности формирования гетерофазной и зеренной структуры сплавов V-4Ti-4Cr // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. – 2004. – Вып. 2. – № 63.

3. Валиев Р. З., Александров И. В. Объемные наноструктурные металлические системы – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398с.

4. Тюменцев А. Н., Дитенберг И. А., Пинжин Ю. П., Коротаев А. Д., Валиев Р. З. Особенности микроструктуры и механизмы формирования ультрамелкозернистой меди, полученной методами интенсивной пластической деформации / Физика металлов и материаловедение. – 2003. – Т. 96. – № 4. – С. 33-43.

О НЕОБХОДИМОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ПВХ-ПЛАСТИКАТОВ В КАБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Иванова Н.А., Шатова Е.В., Анисимова О.А.

Научный руководитель: Ким В.С., к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Ivanova_na@tpu.ru

На сегодняшний день в мировой практике среди гибких полимеров абсолютно доминируют ПВХ-пластики. [1] При больших масштабах производства вопросы качества выпускаемой продукции имеют первостепенное значение. [2]

Старение ПВХ-пластика в основном определяется его составом, но точная рецептура полимерных композиций является коммерческой тайной. Для оценки количественного содержания ингредиентов будем пользоваться общими рекомендациями по составу кабельных ПВХ пластиков [3], представленными в таблице 1.

Таблица 1.

Рекомендуемое (на 100 весовых частей смолы) содержание основных компонентов кабельного ПВХ пластика

Продукт	Количество вес. частей
Суспензионный ПВХ	100
Пластификатор (диоктилфталат)	40...60
Стабилизатор	5...8
Наполнитель	30...65

Необратимые изменения, из-за которых дальнейшее практическое использование поливинилхлорида или материалов на его основе становится невозможным, в основном связаны с выделением хлористого водорода при термическом воздействии. Подавление деструкции ПВХ – это функция системы стабилизации. Предотвращение деструкции в

течение срока службы полученного изделия и во время ускоренных испытаний, проводимых для определения соответствующего срока службы, почти всегда требует наличия стабилизатора и антиоксиданта. Антиоксиданты подразделяются на 2 группы – первичные, обрывающие цепную реакцию (ограничивают скорость распространения реакции посредством захвата углеродных или кислородных свободных радикалов) и вторичные разрушающие гидропероксид (предотвращают иницирование цепной реакции, взаимодействуя с гидропероксидами).

Первичные антиоксиданты. Соединения этого типа представляют собой маломобильную молекулу с подвижным, легко отщепляющимся атомом водорода, который реагирует со свободным радикалом. Активность обрывающегося после отщепления водорода радикала существенно ниже активности алкил-радикала полимера.

Вторичные антиоксиданты. Взаимодействуют с гидропероксидами и разрушают их без образования активных радикалов. Образующиеся продукты должны обладать очень низкой реакционной способностью и высокой термической стабильностью. Скорость взаимодействия вторичных антиоксидантов с гидроперекисями должна быть выше скорости термического разложения пероксидов. В этом случае стадия роста и разветвления цепи в цикле автоокисления подавляется. Гидропероксиды восстанавливаются до спиртов, а антиоксидант окисляется.[4]

Целью работы является выявление влияния вида антиоксиданта на механические свойства ПВХ-пластиката в ходе теплового старения.

Были отобраны две партии образцов кабеля, оболочка которых выполнена из ПВХ-пластиката марки О-40 рецептуры ОМ-40, полученных от разных производителей. Назовем одну партию образцов кабеля образцами с ПВХ-пластикатом типа А, а вторую партию – образцами с ПВХ-пластикатом типа Б.

Методом высокоэффективной обращено-фазовой жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) определен тип антиоксидантов, входящих в состав пластикутов. Хроматографический анализ показал, что пластикат типа А содержит два

Рис. 3. Зависимости прочности относительного удлинения при разрыве ε_p от времени старения t кабелей с оболочкой из ПВХ-пластиката: антиоксиданта фенольного типа, пластикат Б – типа один антиоксидант – этиленоксид.

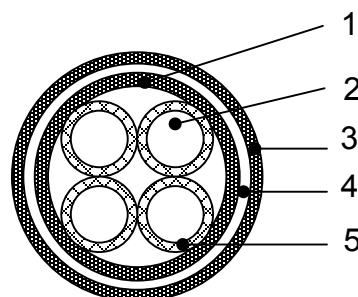


Рис 1. Конструкция кабеля КВББШв.
1-подушка; 2-токопроводящая жила;
3-оболочка; 4-броня; 5-изоляция ТПЖ

Далее были проведены и измерения механических свойств (прочности σ_p и относительного удлинения при разрыве ε_p) по ГОСТ 25018 (Кабели, провода и шнуры – Методы определения механических показателей и изоляции и оболочки) оболочки образцов кабеля марки КВББШв (рис. 1).

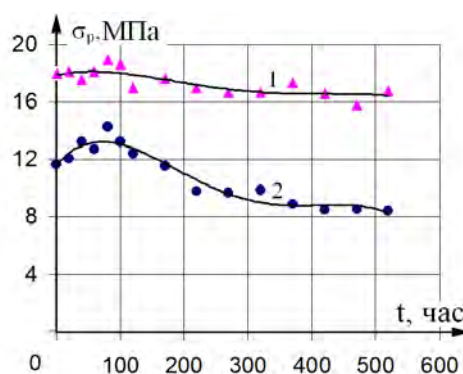
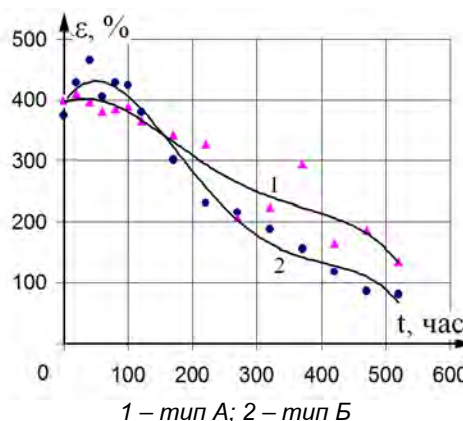


Рис 2. Зависимости прочности при разрыве σ_p от времени старения t кабелей с оболочкой из ПВХ-пластиката: 1 – тип А; 2 – тип Б



Различие значений прочности при разрыве σ_p и относительного удлинения при разрыве ε_p для пластикутов наблюдается уже на первом этапе испытаний, т.е. до старения. Прочность при разрыве σ_p оболочки до

теплового старения пластика типа А на 6.3 МПа больше, чем у пластика типа Б.

В ходе теплового старения (рис.2) вид зависимостей прочности σ_p от времени старения t для пластиков типа А и типа Б различен. В то время как σ_p пластика типа А практически не изменяется в ходе старения, прочность ПВХ-пластика типа Б снижается на 28 %.

Зависимости относительного удлинения a_p от времени старения t (рис. 3) и имеют монотонно убывающий вид. Скорость снижения a_p пластика типа Б на 19 % больше, чем для пластика типа А.

Это может быть связано с тем, что массивные и малоподвижные молекулы антиоксиданта фенольного типа затрудняют подвижность макромолекул поливинилхлорида. С течением времени подвижности становится ниже эластичности, и таким образом увеличивается a_p .

Уменьшение a_p во время старения пластиков типа А и Б обусловлено интенсивным испарением пластификатора, что приводит к увеличению жесткости пластика [5].

Различная скорость ухудшения механических свойств (σ_p и ε_p) для пластиков типа А и Б в ходе теплового старения связана с эффективностью введенных в пластик антиоксидантов. Так как главная задача любых антиоксидантов – замедление термоокислительной деструкции полимера. Поэтому можно сказать, что с данной задачей антиоксиданты фенольного типа более эффективны по сравнению с этиленоксидом.

В заключении необходимо отметить:

1. В соответствии со ставкой ПВХ-пластик типа А и типа Б соответствует ГОСТ 5960-72 (Пластик поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия)

2. Обнаруженное отличие и изменения механических свойств может приводить к уменьшению срока службы кабельного изделия с оболочкой из ПВХ-пластика, антиоксидантом которого является этиленоксид.

3. Так как рецептура не отражает возможных изменений антиоксидантов, то возможно необходим входной контроль ПВХ-пластиков для повышения качества продукции.

Список литературы

1. Онченко В.О. Пластмассы в кабельной промышленности // Полимеры – деньги. 2005 №5
2. Заиков Г.Е. Почему стареют полимеры // Соросовский образовательный журнал, 2000, №12, с. 48-55
3. Мамбиш С.Е. Карбонатные наполнители фирмы ОМАУ в поливинилхлориде. Часть 2. Карбонаты в пластифицированном поливинилхлориде // Пластические массы, №2, 2008, с. 5 – 10
4. Руководство по разработке композиций на основе ПВХ: пер. с англ. / под ред. Р. Ф. Гроссмана. — 2-е изд. — СПб.: НОТ, 2009. — 608 с.
5. В.С. Ким, О.А. Анисимова, В.М. Аникеенко, Ю.М. Анненков, Исследование влияния стабильности бронекабеля на изменение механических свойств ПВХ пластика при тепловом старении // И зв. ТПУ, Т314, №4, 2009, 98 – 102 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИХ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

И. Ю. Грубова, В.С. Теряева, М.А. Сурменева

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н., зав.каф. ТиЭФ ЕНМФ ТПУ В.Ф. Пичугин
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: rodeo_88@mail.ru

В настоящее время остро стоит проблема замены костной ткани, утраченной вследствие различных факторов (болезни, раковые опухоли, операции, травмы и др.). Оптимальным, широко используемым в клинической практике материалом считается синтетический гидроксиапатит кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (ГА). Впервые применение

биоактивных покрытий на основе ГА было предложено нидерландским ученым de Groot в 70-е годы 20-го века. ГА биосовместим с организмом человека, способен к биоинтеграции с костной тканью, не проявляет отрицательного воздействия на иммунную систему, не токсичен и характеризуется остеокондуктивным

поведением. Такой материал обладает рядом недостатков: низкой скоростью биорезорбции *in vivo*, слабым стимулирующим воздействием на рост новой костной ткани (остеоиндукцией).

Одним из известных способов повышения резорбируемости и остеоиндукции является химическое модифицирование ГА. Известно, что в качестве иономерных примесей в кристаллическую решетку ГА могут входить различные катионы и анионы. По медико-биологическим причинам круг возможных примесей ограничен. С кристаллохимической точки зрения замена катиона или аниона эффективна для изменения энергии решетки кристалла и кислотно-основных свойств поверхности. Анионы оксида кремния (SiO_4^{4-}) могут быть предложены в качестве возможного модификатора с интетического гидроксиапатита, так как они являются естественным компонентом человеческого организма (межтканевой жидкости) [1].

Метод В $\times$ -магнетронного распыления является одним из методов модифицирования металлической поверхности и имплантатов. Он позволяет формировать покрытия с высокой адгезией, а также с соотношением элементов в покрытии, которое по составу близко к составу исходной мишени [2].

Целью данной работы является исследование фазового состава покрытий, сформированных методом В $\times$ -магнетронного распыления мишени из кремнийзамещенного гидроксиапатита.

Порошок кремнийзамещенного гидроксиапатита $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{Si}_x(\text{OH})_{2-x}$ (Si-ГА), где $x=0; 0,25; 0,5$ и $1,72$, был получен механохимическим методом. Мишень для магнетрона была изготовлена по керамической технологии: прессование порошка при давлении 70 МПа, а затем отжиг полученной пресс-формы при температуре 1100°C в течение 1 часа на воздухе. В качестве подложек для напыления использовались технически чистый тантал марки ВТ1-0.

Для формирования покрытий использовалась установка 08ПХО-100Т-005 с магнетронным источником (рабочая частота В $\times$ -генератора 5, 28 МГц). Для нанесения покрытий были установлены следующие параметры: рабочее давление – 0,1 Па (предельное давление в вакуумной камере 10^{-4} Па), расстояние между мишенью и подложками – 40 мм, газ – аргон, мощность В $\times$ -генератора – 290 Вт.

Для определения фазового состава сформированного кремнийсодержащего кальций фосфатных (Si-CaP) покрытий и материала мишени был использован

рентгенофазовый анализ РФА (дифрактометр Shimadzu XRD – 7000 с медным $\text{CuK}\alpha$ (1,54 нм) антикатодом (напряжение 40кВ и сила тока 30мА). Сканирование осуществлялось в интервале углов 2θ от 20 до 70° (шаг сканирования 0,02°, скорость сканирования 1°/мин). Для изменения структуры Si-ГА покрытий проводился нагрев на воздухе до 700°C.

На рисунках 1-2 представлены рентгенограммы материала мишени и покрытия Si-CaP с замещением $x=0; 0,25; 0,5$ и $1,72$, сформированных методом В $\times$ -магнетронного распыления на подложках Ti.

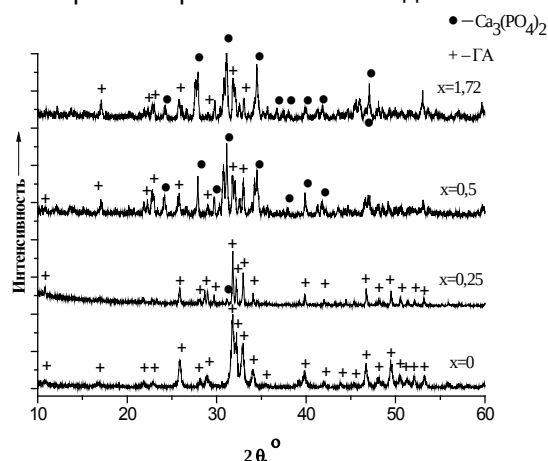


Рис. 1. Рентгенограмма материала мишени Si-CaP

Методом РФА материала мишени (рисунок 1) Si-CaP с замещениями $x=0; 0,25; 0,5$; обнаружена фаза, соответствующая ГА с преимущественной кристаллографической ориентацией (211) при $31,7^\circ$ с небольшим количеством примесной фазы трикальций фосфата. Результаты РФА материала мишени ($x=1,72$) свидетельствуют о присутствии двух фаз: $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ с преимущественной кристаллографической ориентацией (170) при $30,7^\circ$ (09-348 JCPDS) и ГА с максимальным рефлексом при $31,7^\circ$ (211) (09-432 JCPDS).

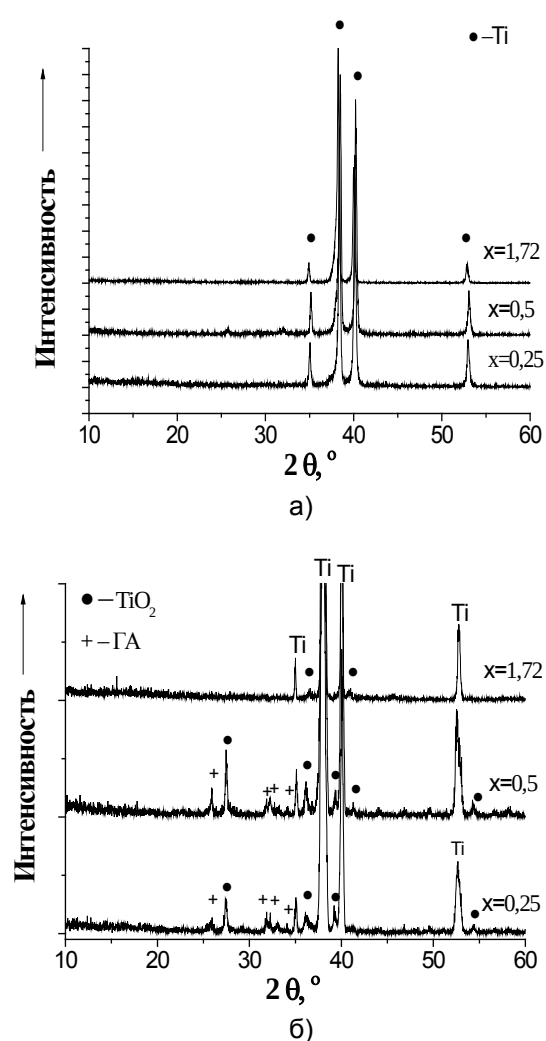


Рис. 2. Рентгенограмма Si-GA покрытия на Ti при замещениях $x=0,25$; $x=0,5$; $x=1,72$ а) до нагрева, б) после нагрева до 700°C

На рентгенограмме Si-CaP покрытий, полученных методом ВХ-магнетронного распыления на подложке Ti, (рисунок 2) до нагрева присутствуют рефлексы только материала подложки Ti (44-1294 JCPDS). Данный факт говорит об аморфной природе сформированных покрытий. Для увеличения кристалличности и получения более ясной картины о фазовом составе Si-CaP покрытия нагревались до температуры 700°C .

В случае Si-CaP покрытий с замещениями $x=0,25$ и $0,5$ после термообработки была обнаружена апатитоподобная фаза. На рентгенограммах покрытия после нагрева присутствуют только рефлексы, соответствующие GA и Ti. Отсутствие рефлексов, соответствующих трикальций фосфатам (CaO и $\alpha\text{-Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) и кремнийсодержащим кристаллическим соединениям, дает основание предполагать о присутствии в покрытии кремнийзамещенного апатита и кремнийсодержащей рентгеноаморфной фазы. Покрытия с замещением $x=1,72$ после нагрева остаются аморфными.

Процесс напыления приводит к менее преимущественной ориентации с (211) на (002). Увеличение содержания кремния в материале мишени привело к уменьшению степени кристалличности, что согласуется с результатами [5]. Отсутствие рефлексов, соответствующих трикальций фосфату, который присутствует в материале мишени, дало основание предполагать, что в покрытие данная фаза не входит в аморфном состоянии. Таким образом, Si-CaP покрытия образуются с мешанной аморфно-кристаллической структурой. Для более полной информации о структуре покрытий, полученных ВХ-магнетронным распылением мишени на основе кремнийзамещенного гидроксиапатита, необходимы дальнейшие исследования.

Список литературы

1. L.L. Hench// J. A m. Ceram. Soc. 1998. Vol. 81. №7. P. 1705-28
2. V.F. Pichugin, R.A. Surmenev, et al. //Surf. Coat. Tech. 202 (2008), P. 3913-3920.
3. А. В. Соин, П. В. Евдокимов и др. //Альтернативная энергетика и экология, 1, стр. 130-132
4. М.В. Хайкина, Механохимия природных и синтетических апатитов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2002 – 223 с.
5. E.S. Thian et al. / Materials Science and Engineering C 27 (2007) 251–256

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕХАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Nb-Al

Денисов К.И.

Научный руководитель: Дитенберг И.А., к.ф.-м.н.

Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: Denisov_ki@mail.ru

Обработка материала в шаровых мельницах является перспективным методом порошковой металлургии, позволяя реализовать в материале метастабильные состояния, энергетически далекие от равновесия. Традиционно метод применяется для создания пересыщенных твердых растворов, низкотемпературного синтеза соединений, приготовления смеси-прекурсора для последующей химической реакции, получения дисперсно-упрочненных, наноструктурных и аморфных сплавов [1]. Однако, несмотря на широкое применение этого метода, на сегодняшний день не разработано адекватной теоретической модели механизмов деформации и перемешивания веществ в процессе подобной обработки. В основном это обусловлено недостатком экспериментальных исследований, связанных с изучением микроструктуры материала и ее эволюции в процессе деформации.

В настоящее время интерметаллиды на основе системы Nb-Al (Nb_3Al , Nb_2Al , $NbAl_3$) совмещая малую плотность и высокую термическую стабильность, рассматриваются в качестве перспективных материалов для применения в транспортной и аэрокосмической промышленности [2]. Следует заметить, что ввиду высокой температуры плавления ниобия синтез интерметаллидов данной системы традиционными методами затруднен, но при этом они могут быть получены как непосредственно в результате длительного воздействия в шаровых мельницах [3], так и при кратковременной механической активации (МА) с последующей термообработкой и компактированием при относительно низких температурах [4]. Также известно, что формируемое в процессе обработки нанокристаллическое состояние материала часто приводит к повышению его прочностных свойств.

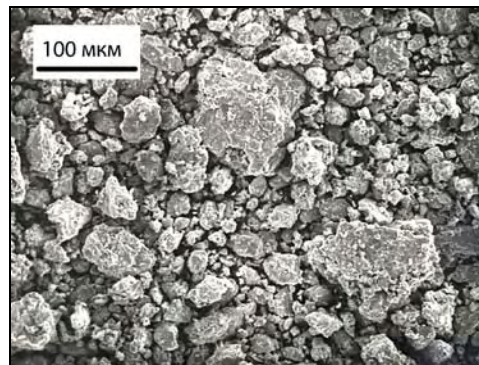


Рис.1 Порошок Nb+Al после 5 минут МА

Целью работы является исследование влияния длительности воздействия в планетарной шаровой мельнице на структуру и свойства механокомпози́тов на основе системы Nb-Al.

Механической активации в планетарной шаровой мельнице АГО-2 были подвергнуты смесь порошков ниобия (99,98 %) и алюминия (98 %, марки ПА-4) в эквимолярной пропорции, а также чистый порошок ниобия, продолжительность воздействия составляла несколько минут (см. таб. 1). Шары и барабаны мельницы изготовлены из стали, во избежание окисления обработку проводили в атмосфере аргона. Центробежное ускорение шаров (энергонапряженность мельницы) составляло 40g.

Сложный характер эволюции структуры материала в процессе обработки обуславливает необходимость комплексного исследования с применением локальных и интегральных структурно-аналитических методов в сочетании с методами изучения физико-механических свойств. Исследования проводились методами рентгеноструктурного анализа, растровой и просвечивающей электронной микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии. Контроль механических свойств проводился на основе измерения микротвердости композитов.

Исследование методом растровой электронной микроскопии показало, что после механической активации в шаровой мельнице размер порошинок находится в широком интервале значений, наблюдаются

порошкин диаметром менее 1 мкм и более 100 мкм (рис.1). Крупные порошкин в начале обработки и меют в выраженную пластинчатую форму, но в дальнейшем с тановятся б олее равноосными. На их поверхности наблюдаются трещины и отслоения.

Важным резу ультатом яв ляется обнаружение и нтерметаллической ф азы Nb_2Al уже после 1 ми нуты обработки, о чем свидетельствует появление соответствующий дифракционных пиков на рентгенограммах (рис.2). По результатам анализа установлено,

что объемная доля интерметаллида увеличивается с продолжительностью МА от 0,6 до 13,5 вес. %, соответственно после 1 и 6 ми нут. А нализа уширения д ифракционных пиков п оказал, ч то н аряду с уменьшением размера О КР в п роцессе о браотки наблюдается рост микроискажений кристаллической р ешетки. В ч истом Nb величина м икроискажений д остигает 1,5 %, что с видетельствует о в ысоком у ровне внутренних

Таблица1. Микротвердость (H_{μ}), размер ОКР (L) и величина микроискажений решетки ($\Delta d/d$) порошков чистого Nb и Nb+Al после МА.

T, мин		0,5	1	1,5	2	3	4	5	6
H_{μ} , ГПа	Nb	1,4	3,4	4,6	4,9	5,7	7,2	7,6	
	Nb-Al		1,1			2,7	3,2	4,6	4,8
L, нм	Nb		45	41,4	38,4	31,6	26,3		
	Nb в Nb-Al		64			25	22	16,6	8
$\Delta d/d$, %	Nb		0,83	0,92	0,95	1,2	1,5		
	Nb в Nb-Al		0,21			0,11	0,22	0,41	0,62

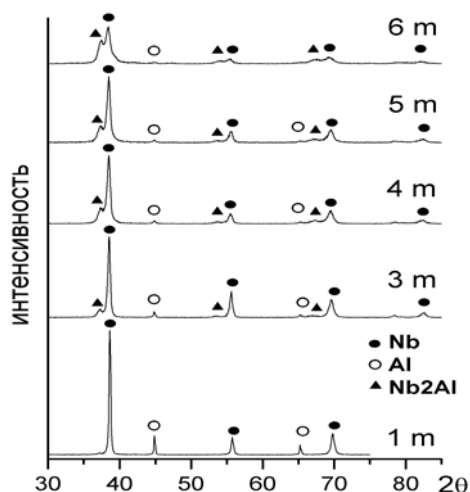


Рис.2 Рентгенограммы Nb-Al после МА (излучение $CuK\alpha$)

напряжений. М икроискажения кристаллической р ешетки н иобия в с оставе смеси N b+Al мен ьше (0,6% после 6 ми нут МА), н о пр и э том п роцессы наноструктурирования п ротекают б олее интенсивно.

Наномасштабный ра змер з ерен также подтверждается р езультатами просвечивающей э лектронной микроскопии. Обнаружено, что порошкин представляют собой к онгломераты к ристаллитов диаметром 10 -20 н м, п ричем зерна с ильно искажены и и меют с ложную высокодефектную су бструктуру. П омимо этого наблюдается интенсивные процессы релаксации при взаимодействии материала с электронным п учком, ч то с видетельствует о

высоком уровне запасенной энергии деформации и сильно осложняет исследование.

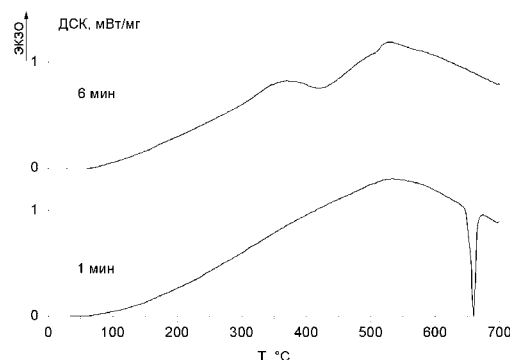


Рис.3 Кривые ДСК порошка Nb+Al

Параметры микротвердости крупных порошинок были измерены путем закрепления и х в э поксидном к лее, с средние значения представлены в та блице 1 . Наблюдаемое у прочнение мо жно о бьяснить уменьшением размеров зерен и увеличением плотности дефектов в объеме и на границах зерен.

Теплофизические ис следования, проведенные мет одом д ифференциальной сканирующей калориметрии, показали, что при н агреве в п рошрке н аблюдается несколько тепловых эффектов, зависящих от продолжительности о браотки (рис.3). Эндотермический пик вблизи 660 °C соответствует плавлению алюминия. По мере увеличения продолжительности МА пик уменьшается, полностью исчезая к 6 минутам МА. О дновременно п оявляется и рас тет

экзотермический пик вблизи 350 °С, который можно объяснить протеканием реакции между Nb и Al с образованием интерметаллида (вероятно, Nb₂Al). Увеличение полноты протекания реакции с увеличением длительности обработки можно объяснить уменьшением размера зерна реагентов и, следовательно, уменьшением необходимого расстояния диффузионного пробега. Широкий экзотермический эффект с максимумом вблизи 550 °С предположительно обусловлен релаксацией дефектной субструктуры.

Таким образом, в процессе МА смеси порошков Nb и Al формируется высокодефектное наноструктурное состояние, что сопровождается упрочнением материала. Обнаружено формирование интерметаллического соединения (Nb₂Al) как

непосредственно в процессе МА, так и при последующем нагреве.

Список литературы

1. Suryanarayana C. Mechanical alloying and milling // Progress in Materials Science. – 2001, №46. p. 1 – 184.
2. Dollar A., Dyrek S. Microstructure and high temperature mechanical properties of mechanically alloyed Nb₃Al-based materials // Intermetallics. – 2003, №11. p. 341–349.
3. Nandi P. et al. Solid state synthesis of Al-based amorphous and nanocrystalline Al-Cu-Nb alloys // Materials Science and Engineering A. – 2003, №359. p. 11–17.
4. Gauthier V. et al. Synthesis of nanocrystalline NbAl₃ by mechanical and field activation // Intermetallics. – 2001, №9. p. 571–580.

ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ В БЕЗВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Дирксен Р.Н., Баев А.Г., Гончаренко И.М.

Научный руководитель: Гончаренко И.М., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: roman.dirksen@mail.ru

Физическая сущность процессов ионного азотирования в водородосодержащих и безводородных средах одинакова. Однако качественные и количественные характеристики отдельных стадий этих процессов имеют свои отличия, что оказывает влияние на структуру и кинетику формирования азотированного слоя. Процесс ионного азотирования в водородосодержащих средах (аммиак, смесь азота с водородом), проводимый в плазме тлеющего разряда при давлениях рабочего газа 1-10 Торр, достаточно хорошо изучен в отечественной и зарубежной литературе [1 – 4]. Водород, являясь хорошим восстановителем, оказывает существенное влияние на кинетику формирования азотированного слоя, интенсифицируя процесс. Однако, как отмечалось ранее, присутствие водорода в насыщающей среде в начальных количествах вызывает охрупчивание поверхности (особенно острых кромок) и разупрочнение осадков, что в определенных условиях ведет к снижению прочности и долговечности элементов конструкций.

В связи с этим крайне необходимы исследования и разработка новых управляемых методов диффузионного

насыщения с талей азотом, например с применением дуговых газовых разрядов низкого давления. На наш взгляд, источники газоразрядной плазмы дугового разряда низкого давления позволяют кардинально улучшить эффективность и управляемость техпроцессов ионно-плазменного азотирования.

Настоящая работа посвящена результатам реализации этого направления. Исследованы морфология поверхности, структура и микротвердость упрочненных слоев конструкционной стали 40Х, полученных ионным азотированием в плазме дугового разряда низкого давления. Азотирование проводилось при давлении 10⁻¹ Па без ведения в разрядную камеру водорода.

Процесс азотирования проводился в камере объемом 0,25 м³ по следующим режимам: ток разряда I_p = 100 А, напряжении горения разряда U_p ≈ 55 В, на образец подавалось отрицательное смещение U_{см} от 0 до -600 В. Вблизи поверхности образца возникал слой пространственного заряда, в котором при низком давлении газа ионы, поступающие из плазмы, ускорялись до энергии, соответствующей приложенному напряжению. При бомбардировке

поверхности ионами азота происходит её очистка и нагрев образцов до температуры $\sim 200 - 500^\circ\text{C}$ в зависимости от величины потенциала смещения. Исследуемые образцы с тали после отжига диаметром 20 мм и высотой 10 мм перед установкой в рабочую камеру подвергались механической обработке, включая полировку, и очищались от органических загрязнений в ультразвуковой ванне. Для сравнения характеристик образцов, азотированных в дуговом разряде, аналогичные образцы подвергались азотированию при температуре $T = 530^\circ\text{C}$ в тлеющем разряде азото-водородной газовой смеси диссоциированного аммиака на промышленной установке по известной технологии.

Сравнительный анализ структуры и распределения микротвердости упрочненных слоев показал, что, как и при азотировании в тлеющем разряде, на поверхности сформировался комбинированный упрочненный слой, состоящий из твердого раствора α -фазы и нитридного белого слоя Fe_4N . Следует отметить, что протяженность слоя образовавшегося после азотирования в дуговом разряде в течение всего 2 часов, имеет значительно большую протяженность, по сравнению с слоем, полученным после азотирования в условиях тлеющего разряда даже в течение 8 часов (рис. 1).

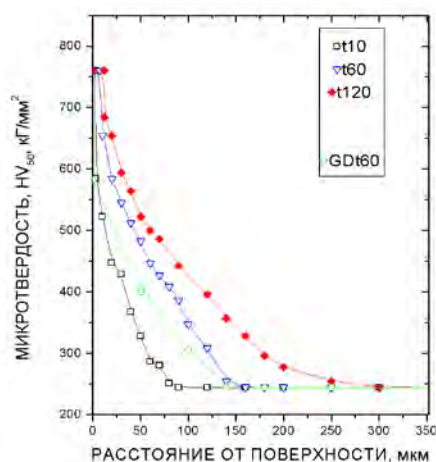


Рис. 1. Распределение твердости по толщине азотированного слоя в зависимости от времени процесса при $T=520^\circ\text{C}$: t_{10} ; t_{60} ; t_{120} – азотирование в дуговом разряде при давлении $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст. и напряжении смещения -600В, время t 10, 60 и 120 мин. соответственно; GDt60- азотирование в тлеющем разряде диссоциированного аммиака при давлении 2 мм рт.ст $t = 8$ час.

Протяженность белого нитридного слоя составляет ~ 20 мкм, что примерно в 7 раз больше по сравнению с толщиной слоя, полученного после азотирования в тлеющем

разряде. Общая протяженность модифицированного слоя, полученного в результате азотирования в дуговом разряде за 2 часа сравнима с протяженностью слоя после 8 часов обработки в тлеющем разряде.

Было отмечено, что формирование упрочненного слоя при одинаковом токе разряда и температуре зависит от величины отрицательного смещения, прикладываемого к обрабатываемым образцам (таблица 1.).

Таблица 1. Влияние напряжения смещения на протяженность азотированного слоя

№	$U_{\text{см}}, \text{В}$	Толщина слоя Fe_4N , мкм	Толщина диффузионного слоя, мкм
1	0	0	0
2	-80	0	0
3	-100	0	0
4	-300	18 ÷ 20	200

Из представленных выше результатов наблюдается явное преимущество использования дугового разряда, применение которого в отличие от тлеющего позволяет значительно ускорить и интенсифицировать процесс азотирования. Одной из причин, объясняющей это, является энергия ионов, входящих к поверхности. Косвенным доказательством сделанного высказывания (предположения) служат измерения шероховатости поверхности стандартных образцов, полученных после азотирования в тлеющем и дуговом разрядах.

По изображениям морфологии можно наблюдать эволюцию состояния азотированной поверхности. В исходном состоянии образцы имели гладкие поверхности ($Ra=0,023$ мкм). После обработки в тлеющем разряде поверхность остается достаточно гладкой даже после 8 часов ($Ra=0,028$ мкм). Иная картина наблюдается после обработки в дуговом разряде. Даже уже после 30 минут заметно изменяется внешний вид поверхности ($Ra=0,06$ мкм). Обнаружено, что первоначально следы интенсивного травления наблюдаются по границам зерен. Последующее увеличение времени азотирования в дуговом разряде до 2 часов приводит к сильному растравливанию с амых зерен, в результате чего поверхность имеет большое количество шероховатостей и неровностей ($Ra=0,28$ мкм).

Эти явления свидетельствуют об интенсивной ионной бомбардировке поверхности. Как отмечалось в работе [5], при давлениях порядка $1 \cdot 10^{-1}$ Па ионы в слое пространственного заряда вблизи поверхности, к которой приложено отрицательное смещение порядка нескольких

сотен вольт, ускоряются до значений энергии, величина которых эквивалентна приложенному смещению. Это достигается за счет того, что ионы не испытывают соударения на вступительном пути движения в катодном слое. Напротив, в тлеющем разряде в результате того, что рабочее давление достигает 10^3 Па и ионы, несмотря на то, что напряжение составляет порядка 500 – 600 В, испытывают многочисленные столкновения с молекулами и атомами газа, имеют низкую кинетическую энергию. Ввиду низкой кинетической энергии ионов не происходит интенсивное распыление оксидных пленок. Поэтому для успешного насыщения поверхности азотом в тлеющем разряде необходимо добавлять в одород более 5 процентов для востановительных реакций с вызывания к испорода. Значительное увеличение толщины, сформировавшегося в дуговом разряде нитридного слоя почти в 10 раз по сравнению с тлеющим разрядом при одинаковых температурах и в режимах обработки мы связываем с высокой концентрацией низкоэнергетичных ионов в дуговом разряде. Низкоэнергетичные ионы имеют большую вероятность проникновения в матрицу основного материала, нежели нейтральные. Именно это условие обеспечивает градиент концентрации атомов азота в поверхностном слое стальной подложки.

Кроме того, формирующиеся на поверхности насыщения оксидные пленки являются барьером для проникновения азота. Поэтому в тлеющем разряде применяется водород как восстановитель. Напротив, в случае дугового разряда, кинетической энергии ионов азота (свыше 200 эВ) достаточно, чтобы распылять материал поверхности с тлеющего образца, в том числе и оксидные пленки. Поэтому процесс ионного азотирования в плазме дугового разряда можно осуществлять на техническом азоте без добавления водорода.

Список литературы

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панафити. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. — 400 с. — ISBN 5-7038-1358-1.
2. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде. А.А. Атомиздат Бабад-Захрянин, Г.Д. Кузнецов, 1975. — 175 с.
3. Microstructural analysis of the ion nitrided layer of the ferritic Stainless steel. A. M. Oliveira, R. M. Mucos R iofano, and a ll. A ISI 43 9. Acta Microscopica, Volume 12, Supplement C, 2003.
4. Азотирование конструкционных сталей в газовых разрядах низкого давления. П.М. Щанин, Н.Н. Коваль, И.М. Гончаренко, С.В. Григорьев. ФХОМ, 2001, №3, с.16 – 19.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВС-ПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Дурницын К.С.

Научный руководитель: Ермошкин А.А.

Самарский Государственный Технический Университет,
443100, Россия, г.Самара, ул.Молодогвардейская, 244
E-mail: yustas_aleksu@mail.ru

Получение и износостойких наноструктурированных покрытий на сегодняшний день является востребованным и интенсивно развивающимся направлением в области создания новых материалов. Детали машин, режущего инструмента, нефтехнологического и теплотехнического оборудования, авиационной промышленности и пр. работают в условиях повышенного износа, экстремальных температур и агрессивных сред. Износостойкие покрытия применяются с целью повышения надежности и стабильности работы таких деталей, они способствуют увеличению производительности и срока службы изделий,

снижению энергоемкости и трудоемкости при работе с ними.

Износостойкие покрытия могут быть получены рядом методов. Одним из наиболее эффективных является метод конденсации и ионной бомбардировки (КИБ). В основе этого метода лежит генерация плазмы эродированного катода необходимого состава в инертной среде и ли вакууме и конденсация продуктов эрозии на изделие-подложку. В результате образуется покрытие, свойства и структура которого зависят от состава катода и технологических особенностей процесса. Покрытия, полученные методом КИБ, повышают не только механические свойства подложки, но и

положительно влияют на технологические свойства и стойкость коррозии.

С развитием техники и технологий появляется потребность в нанесении покрытий на основе нескольких металлов или соединений, а также сложных композиционных покрытий. В настоящее время для получения вышеуказанных покрытий применяются составные катоды (в корпусе из одного металла делают вставки из другого). В создании таких катодов существуют определенные трудности, связанные с трудоемкостью их производства. Кроме того, для таких макроскопически неоднородных катодов, состоящих из материалов с разной температурой плавления и испарения довольно сложно обеспечить оптимальные технологические параметры нанесения покрытий. Однако, методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) возможно получение катодов даже из тугоплавких составляющих их металлов на недорогом оборудовании при минимальных энергозатратах, что, в свою очередь, ведет к увеличению производительности и снижению себестоимости продукта высокого качества.

СВС — одна из разновидностей горения. Метод СВС основан на взаимодействии компонентов шихты в соответствующей газовой среде и ли в вакууме при инициировании реакции и дальнейшем распространением фронта горения по всему объему посредством теплопередачи от горячих продуктов к негорячим и сходным веществам. После инициирования реакция протекает без подвода внешней энергии, что существенно снижает энергозатраты по сравнению со сплавлением тех же веществ, используемом при изготовлении составных катодов. Высокая температура СВС-процесса (2500 °С и выше) обеспечивает синтез многокомпонентных и композиционных материалов на основе тугоплавких соединений непосредственно в процессе горения. Совмещение СВС с последующим прессованием обеспечивает получение высокоплотных изделий заданной формы.

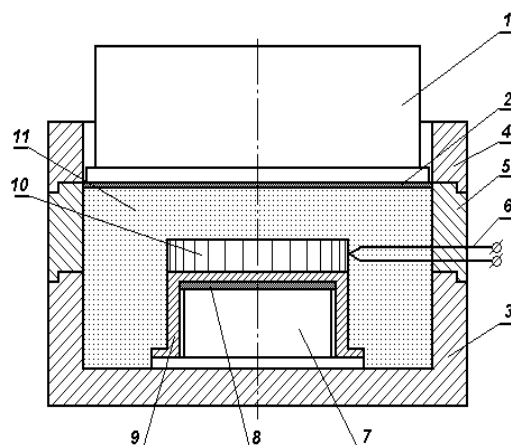


Рис. 1. Устройство для СВС-прессования катодов на металлическом основании (обозначения в тексте)

Полуфабрикат катода для нанесения высокопрочного наноструктурированного покрытия осуществляется с ледующим образом (рис. 1.). На дно основания 3 последовательно устанавливают жесткую опору 7, теплоизолятор 8 и металлическое основание катода 9. На основание катода 9 помещают шихтовую заготовку 10. Полость основания 3 заполняют песком 11. На основание 3 устанавливают промежуточное кольцо 5 со спиралью-нагревателем 6, подключенной к источнику тока. Затем полость кольца 5 засыпают песком. Сборка устройства завершается установкой корпуса 4, пресс-шайбы 2 и пуансона 1. После сборки пресс-формы-реактора осуществляют подпрессовку с целью предварительного уплотнения песчаной обложки. Путем подачи электрического импульса на спираль-нагреватель 6 осуществляют зажигание шихтовой заготовки 10. Горение экзотермической смеси протекает в режиме СВС. После прохождения волны горения по всему объему заготовки 10 производят спрессовывание горячих продуктов синтеза совместно с песчаной обложкой. Затем готовую заготовку-полуфабрикат извлекают из устройства.

Катоды, полученные методом СВС, были исследованы на растровом электронном микроскопе. В ходе исследования получены следующие результаты. На рисунке 2 показан микроснимок поверхности катода состава $TiC+Cu+Ni$ при увеличении в 2000 раз. Выявлена структура полученного композита с размерами упрочняющей фазы порядка 3–4 мкм, форма частиц сферическая. На рисунке 3 показан микроснимок поверхности катода состава $TiC+Cu$ при увеличении в 2000 раз. Выявлена структура полученного композита с размерами упрочняющей фазы порядка 3–4 мкм, форма частиц сферическая. На рисунке

4 показан микроснимок поверхности катода состава $TiC+Si$ при увеличении в 2000 раз. Структура игольчатая с размером частиц до 30 мкм. На рисунке 5 показан микроснимок поверхности катода состава $TiC+Ti+Al$ при увеличении в 2000 раз. Структура композита игольчатая, размер частиц около 10 мкм. На рисунке 6 показан микроснимок поверхности катода с состава $TiC+Al+Si$ при увеличении в 500 раз. Выявлена структура полученного композита с размерами упрочняющей фазы порядка 30 мкм, форма частиц игольчатая.

Для дальнейшего изучения необходимо провести рентгенофазовый анализ, что позволит судить о фазовом составе полученных катодов

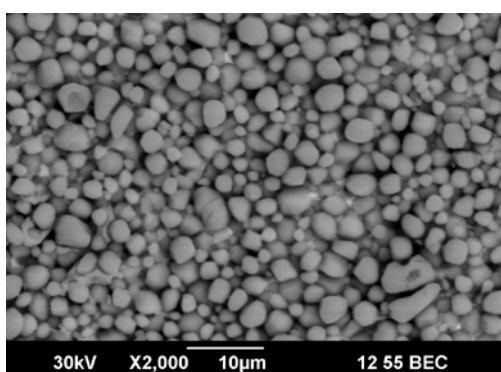


Рис. 2. Структура поверхности катода $TiC+Cu+Ni$

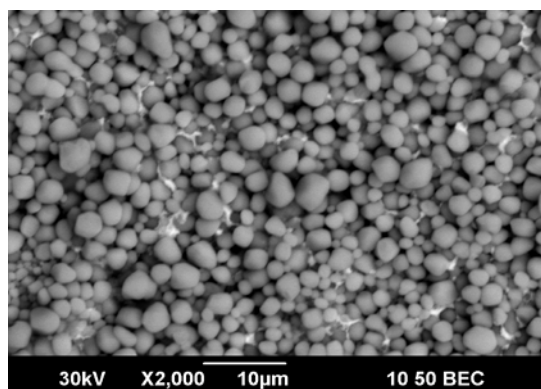


Рис. 3. Структура поверхности катода $TiC+Cu$

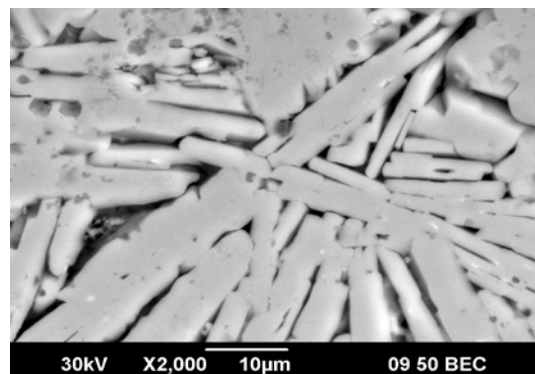


Рис. 4. Структура поверхности катода $TiC+Si$

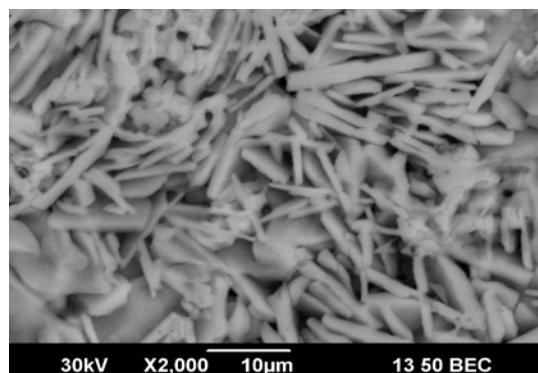


Рис. 5. Структура поверхности катода $TiC+Ti+Al$

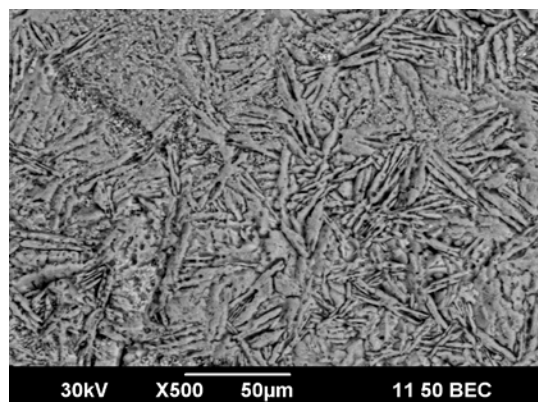


Рис. 6. Структура поверхности катода $TiC+Al+Si$

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Елисеев К.А., Саушкин Р.Н.

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

E-mail: KOT_U-SIB@mail.ru

Проектировка материалов для производства строительной керамики производится с учётом технологических свойств сырьевых компонентов. Поэтому комплексное исследование пород глин, на основе которых производят строительные материалы - это первый этап при разработке керамических масс.

В данной работе исследованы представительные образцы глин шестнадцати месторождений Иркутской области и Бурятского автономного округа. Для определения рациональной области их применения в производстве керамических строительных материалов изучены химический, минеральный и гранулометрический составы, и исследованы их технологические свойства.

Исследованный глинистый материал, кроме шаракундуйской глины содержит от 56 до 66 % оксида кремния, от 14 до 19 % оксида алюминия, от 3 до 8 % оксида железа, до 6 % оксида кальция, до 3,5 % оксида магния, до 5 % оксида калия и натрия. Потери при прокаливании составляют 0, 5-10%. (хим. состав см. табл. 1).

Таблица 1.

Химический состав глинистых пород

Наименование сырья	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Суглинок тимлюский	65,4	18,5	0,56	5,6	5,8	1,61	1,86	0,5
Суглинок олонский	60,7	17,3	0,61	5,27	3,25	1,29	0,44	0,26
Гл. шаракундуйская	56,6	19,1	0,80	3,79	0,54	0,5	3,1	0,36
Глина слюдяная	60,3	16,3	1,02	5,48	2,49	2,28	2,06	2,33
Аргиллит чудничинский	57,9	17,5	0,77	8,77	0,76	3,51	4,91	0,28
Глина куйтунская	60,9	15,6	0,51	5,7	2,02	2,0	1,61	1,78
								10,0

На диаграмме применения в зависимости от химического состава все глины, кроме шаракундуйской находятся в области кирпичных (рис. 1).

С помощью термического анализа (рис. 2) выявляли процессы, происходящие в глинистых материалах при обжиге. Эндозффекты при температурах 100-200 °С сопровождаются удалением физически связанной влаги, реакция с максимумом при температуре 500-600 °С характеризуется удалением химически связанной воды. Экзотермические реакции при температуре 300-350 °С сопровождаются выгоранием органических примесей. Декарбонизация



Рис. 1. Расположение глинистых пород на диаграмме их применения в зависимости от химического состава (по А.И. Аевустиннику)

- ◇ - суглинок тимлюский;
- - суглинок олонский;
- ★ - аргиллит чудничинский;
- - глина слюдяная;
- - глина куйтунская;
- * - глина шаракундуйская

кальцита происходит при температуре 700-800 °С. Экзотермический эффект в области температуры 900-1000 °С связан с перекристаллизацией аморфных продуктов разрушения глинистых и образованием новых кристаллических фаз [1].

По составу глинистое сырьё является полиминеральным. С помощью рентгенофазового анализа в них обнаружен монтмориллонит, каолинит, гидрослюда, кварц, полевой шпат, гематит. Количественное соотношение основных и примесных минералов в глинах различно.

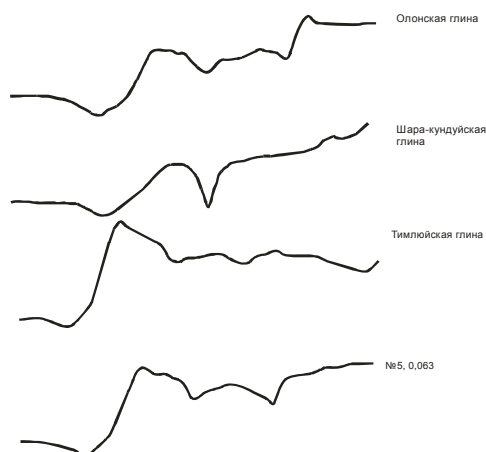


Рис.2. ДТА глинистых материалов

Вследствие присутствия в исследованных породах малого количества (11,3% и менее) глинистых частиц и большого количества (более 50%) частиц размером $< 0,05$ мм, т.е. пылеватых, на диаграмме Охотина исследованные породы располагаются в области пылеватых суглинков и супесей (рис.3)

Таблица 2.
Гранулометрический состав
глинистого сырья

Наименование сырья	Содержание частиц, %, размером, мм			
	1-0,05	0,05-0,005	$< 0,005$	в т.ч. $< 0,001$
Суглинок тимлюйский	40	54	5,07	3
Суглинок олонский	40	50	11,3	7
Глина шара-кундуйская	37	46	15,1	2,7
Аргиллит чудничные	7,8	61,4	31,6	20,42
Глина слюдянская	55	36	9,08	5
Глина куйтунская	52,5	38,4	9,05	5

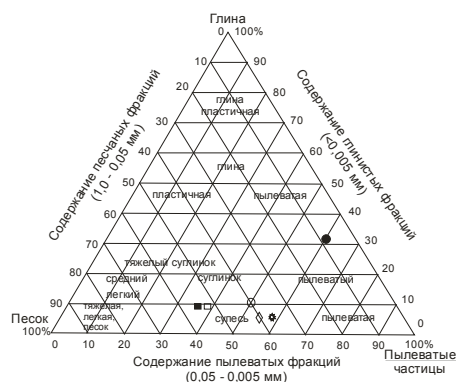


Рис.3. Расположение глинистых пород на диаграмме (В.В.Охотина) классификации глин по

гранулометрическому составу (обозначения см. рис. 1)

Глинистое сырьё по содержанию частиц менее $0,01$ мм может быть дисперсным и грубодисперсным, относится к материалам с высоким (более 5%) содержанием крупных включений (табл.2), которые представлены кварцем, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом.

Высокое содержание песка в глинах обуславливает их малую пластичность и чувствительность к сушке. Число пластичности глинистых пород изменяется от 5 до 17.

Наибольшей пластичностью и чувствительностью к сушке из исследованных пород обладают шара-кундуйская и чудничная глины, содержащие 15-31% глинистых минералов, которыми в основном являются каолинит и лит. Не менее пластичными являются тимлюйские и олонские суглинки (число пластичности 5). Их коэффициент чувствительности к сушке меньше 1.

Все исследованные материалы, кроме шара-кундуйской глины являются легкоплавкими ($t_{огн} < 1350^{\circ}\text{C}$).

Фазовый состав образцов и глин после обжига в основном представлен кварцем, плагиоклазом, гематитом, к.пш. Глинистое сырьё Тимлюйского, Олонского месторождений является неспекающимся, Слюдянского – легко вспучивающимся, вследствие присутствия в материале вермикулита. Чудничные аргиллиты относятся к сильно спекающимся, низкотемпературного спекания. Глина шара-кундуйская и куйтунская являются сырьем среднетемпературного спекания (интервал спекшегося состояния от 1100 до 1300°C), причем шара-кундуйская – сильно спекающийся материал (при $t=1150^{\circ}\text{C}$ имеет водопоглощение 1,04%). Технологические свойства обожженных образцов представлены в таблице 3.

Таблица 3.
Спекаемость глинистого сырья

Наименование сырья	Температура обжига $^{\circ}\text{C}$	Водопоглощение %	Огнеупорная линейная усадка, %	Прочность на сжатие, МПа
Тимлюйские суглинки	900	18,87	0	9
	950	17,08	0	9
	1000	16,60	0,1	11
	1050	16,42	0,2	14
Олонск	1100	15,27	0,2	18
	900	18,23	0	18

ие суглинк и	950	16,95	0,1	20
	1000	16,89	0,1	19
	1050	15,76	0,1	24
	1100	13,23	0,1	25
Куйтун ская глина	900	16,45	0	15
	950	15,98	0	16
	1000	14,65	0	20
	1050	12,91	0,1	25
	1100	9,29	0,1	31
	1150	8,2	0,1	33
Слюдя нская глина	900	17,56	0	12
	950	18,27	0	14
	1000	19,51	0,1	29
	1050	22,21	0	11
	1100	пережог		
худни чные аргилл иты	900	16,93	6,03	38
	950	13,78	10,27	43
	1000	15,71	10,30	34
	1050	10,2	10,29	55
	1100	4,94	10,31	

*Шара- кундуй ская глина	950	13,17	1,46	10
	1000	12,96	2,77	10
	1050	9,11	5,64	11
	1100	4,79	10,1	15
	1150	1,04	15,37	15

*Механическую прочность образцов и шаро-кундуйской глины определяли по прочности на изгиб.

Результаты данной работы показали, что исследованное сырье пригодно для производства грубой строительной керамики.

Список литературы

1. Иванова В.П. /Термический анализ горных пород и минералов./В.П.Иванова, Б.К.Касатов, Т.Н.Красавина, Е.Л.Розинова. Изд-во «Недра», 1974. – 399с.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО ИОНООБМЕННИКА, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО 2-АМИНОЭТИЛПИРИДИНОВЫМИ ГРУППАМИ

Засухин А.С., Осипова В.А., Москалева Ю.С.

Научный руководитель: Неудачина Л.К., к.х.н., профессор
Уральский государственный университет им. А.М. Горького
620083, Россия, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51
E-mail: azone@uralweb.ru

Ионообменные материалы находят широкое применение в аналитической практике: они успешно используются для разделения сложных смесей ионов, концентрирования элементов и разбавленных растворов, выделения и удаления мешающих ионов, получения титрованных растворов, особенно в воде и т.п. [1]. Среди ионообменников особый интерес вызывают полученные по золь-гель технологии гибридные органо-неорганические материалы. Данные вещества состоят из неорганической матрицы (оксиды кремния, алюминия, титана, циркония, смешанные оксидные носители [2]) с ковалентно закрепленными функциональными группами органической природы. Гибридные золь-гель материалы обладают рядом преимуществ по сравнению с органическими ионообменными смолами (высокая селективность; отсутствие набухания в органических растворителях; высокая химическая, термическая и механическая стабильность) и ионообменниками, которые получены путем химической модификации поверхности неорганической матрицы (высокое

содержание органической составляющей; большая площадь поверхности и пористость; равномерное распределение реакционных центров внутри матрицы) [3, 4].

Целью настоящей работы является комплексное исследование свойств гибридного кремнийорганического золь-гель материала с 2-аминоэтилпиридиновыми функциональными группами (далее SiAEP).

Синтез ионообменника был осуществлен в соответствии со следующей схемой:

Строение целевого продукта синтеза подтверждено при помощи ^1H Я МР-спектроскопии. Отнесение резонансных полос протонных сигналов групп SiAEP осуществлено на основании сравнения

экспериментального и рассчитанного при помощи программного пакета ChemOffice [5] спектров. Сигналы в области δ 0.40-0.52, 1.45-1.60 и 2.50-2.62 м.д. соответствуют протонам метиленовых групп и сходного аминопропилтриэтоксисилана. Наличие сигналов метиленовых групп в области δ 2.86-2.97 м.д. и сигналов протонов пиридинового кольца в области δ 7.26-7.32, 7.32-7.38, 7.75-7.83 и 8.40-8.46 м.д., а также отсутствие сигналов в инертной группе в области δ 5-7 м.д. подтверждает присоединение 2-винилпиридина к исходному силану. В целом, экспериментальный и теоретически рассчитанный ^1H ЯМР-спектры находятся в хорошем соответствии, на основании чего можно сделать вывод о том, что происходит образование ксерогеля предполагаемого состава.

Дополнительно SiAEP был исследован методом элементного анализа. Найдено (мас. %): C, 23.83; N, 5.30; H, 3.26; Si, 28.02; вычислено (мас. %): C, 35.80; N, 8.35; H, 4.51; Si, 25.11. На основании данных ^1H ЯМР-спектроскопии и элементного анализа определено количество 2-аминоэтилпиридиновых групп в SiAEP, которое составило 2.43 ммоль/г.

Термическая стабильность ионообменника изучена методом термогравиметрии в температурном диапазоне 40-800°C. На производной термогравиметрической кривой присутствуют три пика с максимумами при 100, 240 и 500°C. Первый пик соответствует уменьшению массы образца за счет испарения физически адсорбированной на поверхности SiAEP воды; второй – началу разрушения органической составляющей ионообменника (в первую очередь за счет отщепления небольших фрагментов, содержащих пиридиновое кольцо) и испарению воды и зольных веществ; третий – окислению органических групп до CO_2 , NO и NO_2 и конденсации силанольных групп сорбента. Из полученных данных можно заключить, что SiAEP термически устойчив до 150°C. Выводы о процессах, происходящих с ионообменником при нагревании, сделаны на основании анализа масс-спектрограмм детектора дериватографа. Общая потеря массы SiAEP при 800°C составляет 3.03%, что находится в соответствии с данными элементного анализа.

На основании данных низкотемпературной сорбции азота рассчитаны величина удельной поверхности SiAEP по методу BET, а также суммарный объем пор и распределение пор по размерам по методу BJH. Величина удельной поверхности SiAEP составила 121.71 м²/г. Установлено, что

доминирующими порами в ионообменнике являются мезопоры с размером 10-30 нм (мезопоры). Общий объем пор SiAEP составил 0.32 см³/г.

Для оценки ионообменных свойств SiAEP изучены зависимости сорбции ионов тяжелых металлов от концентрации растворов и индивидуальных растворов и при совместном присутствии (селективность) в диапазоне pH 4.0-8.0, построены изоотермы сорбции. Извлечение ионов металлов проводили из аммиачно-ацетатных буферных растворов. Количество молей металлов, перешедших в фазу SiAEP, определено по у были концентрации и сходных растворов методом ААС.

Зависимость коэффициента извлечения ионов меди (II), никеля (II), кобальта (II), цинка (II), кадмия (II) и свинца (II) от величины кислотности раствора изучена методом ограниченного объема. Извлечение ионов кобальта (II) и никеля (II) исследуемым ионообменником мало зависит от кислотности раствора и лишь незначительно возрастает с увеличением pH, не превышая 64.8% и 68.4% соответственно. Кривая извлечения ионов меди (II) носит экстремальный характер с максимумом при pH=7.5 (54.8%). Оптимальным для сорбции интервалом pH для ионов кадмия (II) является pH=5.0-7.0. Извлечение ионов цинка (II) и свинца (II) возрастает с увеличением величины pH раствора и достигает максимального значения (32.8 и 22.8% соответственно) при pH=8.0.

Исследование селективности SiAEP проведено по отношению к ионам меди (II), никеля (II), кобальта (II), цинка (II), кадмия (II) и свинца (II) при одновременном присутствии в растворе всех катионических условий. Ионообменник проявляет избирательность при извлечении ионов меди (II) в широком диапазоне pH. Наибольшее мешающее действие на извлечение меди оказывают ионы цинка (II) в нейтральных и слабощелочных растворах. При pH=6.5 ряд селективности для SiAEP выглядит следующим образом: $\text{Cu} > \text{Co} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Pb}$.

Изоотермы сорбции ионов тяжелых металлов SiAEP при pH=6.5 представлены на рис. 1. Для математического оптимизации полученных зависимостей и изоотермы обработаны при помощи моделей Ленгмюра, Фрейндлиха и Редлиха-Петерсона [6, 7]. На основании сравнения коэффициентов корреляции установлено, что модель Редлиха-Петерсона наилучшим образом подходит для описания изоотерм сорбции рассматриваемых ионов металлов SiAEP. Т.е., поверхность сорбента является химически неоднородной, т.е. и меются

сорбционные группы различной химической природы, отличающиеся по химической активности. При этом сорбционный процесс протекает по механизму Ленгмюра, т.е. на поверхности образуется мономолекулярный слой.

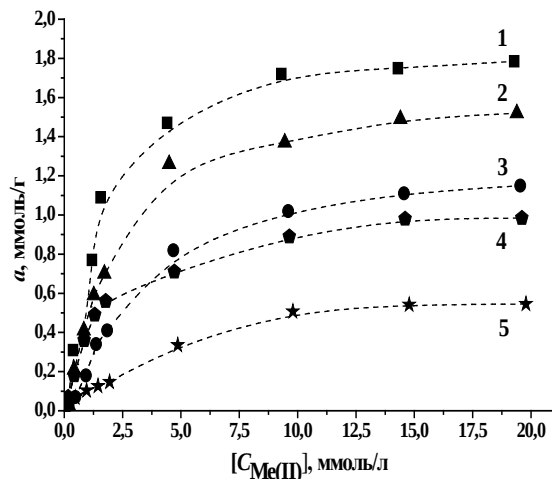


Рис. 1. Изотермы сорбции ионов тяжелых металлов SiAEP: 1-Cu (II); 2-Ni (II); 3-Co (II); 4-Zn (II); 5-Cd (II). Аммиачно-ацетатный буферный раствор pH=6.5. T=293±2 K.

Кроме того, обработка изотерм сорбции при помощи модели Ленгмюра позволяет определить значения статической обменной емкости SiAEP по ионам меди (II), никеля (II), кобальта (II), цинка (II) и кадмия (II), которые составили 2.04, 1.76, 1.46, 1.06 и 0.76 ммоль/г соответственно.

В рамках настоящего исследования осуществлен синтез ионообменника с 2-аминоэтилпиридиновыми функциональными группами по золь-гель технологии. Методами элементного анализа

и ^1H Я МР-спектроскопии установлен состав вещества; поверхностно-структурные характеристики SiAEP определены методом низкотемпературной сорбции азота; проведен термический анализ вещества; изучены сорбционные свойства ионообменника по отношению к ионам тяжелых металлов.

НИР выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы. Госконтракт № П749 от 12.08.2009 г.

Список литературы

1. Мархол М. Ионообменники в аналитической химии. М.: Мир, 1985. 348 с.
2. Ятлук Ю.Г., Журавлев Н.А., Корякова и др. // Изв. АН. Сер. хим. 2005. № 8. С. 1783.
3. Лисичкин Г.В. Модифицированные кремнеземы в сорбции, катализе и хроматографии. М.: Химия, 1986. 248 с.
4. Шье G., Glomm W.R., Vralstad T. et al. // Adv. Colloid Interface Sci. 2006. V. 123-126. P. 17.
5. ChemOffice Ultra 2005 (Version 9.0), CambridgeSoft Corporation, 2005.
6. Wong Y.C., Szeto Y.S., Cheung W.H. et al. // Langmuir. 2003. V. 19. P. 7888.
7. Calvete T., Lima E.C., Cardoso N.F. et al. // J. Chem. Eng. 2009. V. 155. P. 627.

САМОУПРОЧНЯЮЩИЕСЯ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ХРОМОВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Зинченко А. Д., Дампильон Б.В.

Научный руководитель: Дампильон Б.В., к.т.н., доцент кафедры ММС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dampilon@ispms.tsc.ru

На металлургическом и машиностроительном производстве существуют процессы, связанные с работой технологического инструмента в условиях трения при повышенных температурах (прокатные валки, штамповый и прошивной инструмент и др.). Рабочая поверхность такого технологического инструмента подвергается как механическому, так и

тепловому воздействию. От износостойкости рабочей поверхности технологического инструмента зависят в первую очередь производительность оборудования и качество готовой продукции.

Одним из основных факторов малого срока службы такого инструмента является интенсивный абразивный и эрозивный износ. Эффективным способом повышения

износостойкости инструмента является нанесение на его рабочую поверхность защитного износостойкого и жаростойкого покрытия. Одним из перспективных наплавочных материалов для упрочнения технологического инструмента, работающего в условиях высокотемпературного трения, может быть хромованадиевый чугун.

Одним из эффективных способов нанесения такого покрытия является электронно-лучевая наплавка. Электронно-лучевая наплавка характеризуется высокой скоростью кристаллизации зоны формирования покрытия. Энергия сканирующего оптического луча (кольцо, линия и др.) с фокусированного электронного луча позволяет мгновенно расплавить заданный участок движущейся стальной подложки. Наплавочный материал, поступающий в расплавленную зону на поверхность, переплавляется и мгновенно кристаллизуется, образуя покрытие. Высокая скорость кристаллизации способствует формированию неравновесного, пересыщенного (в случае высоколегированных наплавочных материалов) с остатками материала с вязки покрытия.

Выбор хромистого чугуна эвтектического состава в качестве наплавочного материала для электронно-лучевой наплавки в настоящей работе был обусловлен тем, что этот материал является природным композиционным материалом, в структуре которого сочетаются относительно пластичная основа и твердый и прочный, пространственно разветвленный каркас эвтектических карбидов хрома. Для легирования хромистого чугуна с целью дополнительного дисперсного упрочнения покрытий был выбран ванадий. Известно, что ванадий обладает высокой реакционной способностью и образует дисперсные карбиды уже в жидком металле и в дальнейшем способствует коагуляции при высоких температурах. Следует отметить также, что твердость карбидов ванадия VC (HV~3000 [3]) значительно выше основных карбидов ($(Cr, Fe)_7C_3$ (HV~1550 [3]) хромистого

Таким образом, первоочередной задачей данного проекта настоящего проекта являлось получение покрытия эвтектического состава.

Второй задачей является исследование особенностей формирования пересыщенного твердого раствора в связке покрытия из хромистого чугуна эвтектического состава легированного ванадием методом быстрой кристаллизации при электронно-лучевой наплавке в вакууме.

Третьей задачей настоящего проекта будет являться определение температурного интервала выделения ультрадисперсных карбидов и пересыщенного твердого раствора и влияния температуры на процессы коагуляции и роста карбидов. Для выполнения задачи предполагается провести высокотемпературный отжиг образцов с покрытиями в определенном температурном диапазоне.

В процессе работы использовали следующие материалы и методику исследования. Покрытия наносились методом электронно-лучевой наплавки в вакууме на подложки из стали 30 размером 500×25×20 мм. В качестве наплавочного материала и использовался промышленный порошок хромистого чугуна с добавлением ванадия до 6% в вес. дисперсностью 150-300 мкм и железа 11% дисперсностью 150-300. Толщина наплавленного покрытия составляла ~3 мм.

При электронно-лучевой наплавке покрытий в связи с высокой скоростью кристаллизации расплава сформировалась неоднородная эвтектическая структура, состоящая из пересыщенного твердого раствора и эвтектических карбидов. (рис.1) Данное обстоятельство дает основание считать, что проведение дополнительной термической обработки – отжига, – может повлиять на процессы растворения и выделения карбидов и изменение структуры полученных покрытий и, как следствие, на уровень физико-механических свойств.

С целью дополнительного выделения дисперсных карбидов в матрице образцы подвергали отжигу при температуре $T_{отж} = 1100^{\circ}C$ с выдержкой 60 минут. При этом на образцах в перенасыщенном твердом растворе связки наблюдается выделение сложных $(Cr, V, Fe)_7C_3$ ультрадисперсных карбидов. (рис.2)

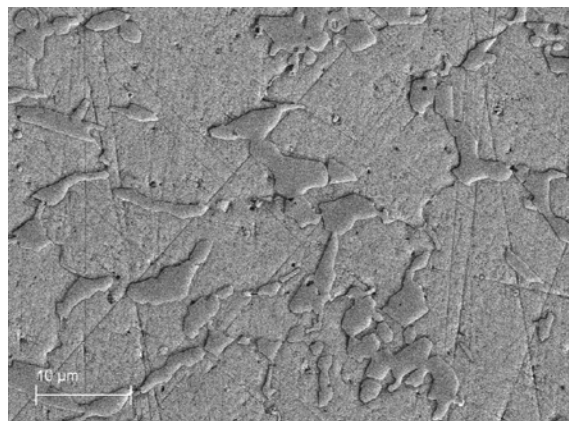


Рис. 1 Микроструктура наплавленного покрытия из хромованадиевого чугуна.

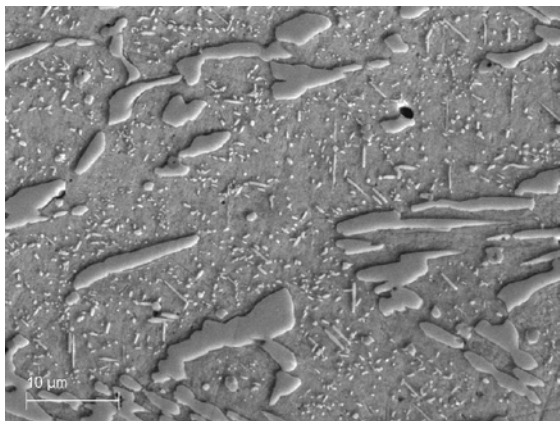


Рис.2 Микроструктура наплавленного покрытия из хромованадиевого чугуна после отжига при 1100°C в течение 1 часа.

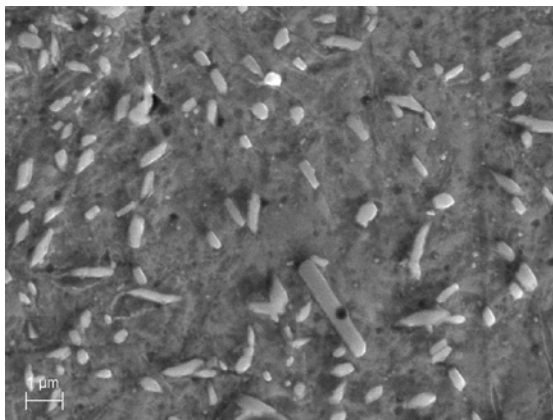


Рис.3 Микроструктура наплавленного покрытия из хромованадиевого чугуна после отжига при 1100°C в течение 1 часа.

Измерение распределения микротвердости от границы раздела с основным материалом к поверхности покрытий показало, что средняя микротвердость образцов с покрытиями после нормализации значительно увеличивается. Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 200 грамм. Повышение микротвердости покрытий после отжига вероятно вызвано упрочняющим действием выделившихся вторичных

ультрадисперсных карбидов хрома и ванадия.

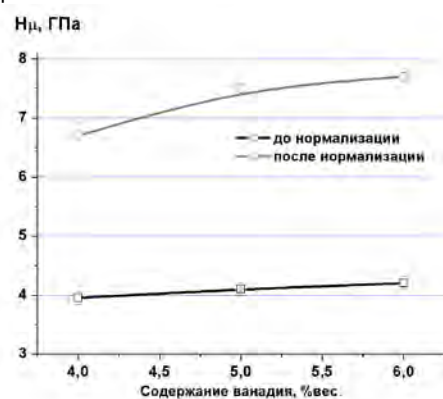


Рис.4 Зависимость средней микротвердости H_{μ} от содержания ванадия в покрытиях до и после нормализации.

Выводы

1. В процессе ЭЛН хромованадиевого чугуна эвтектического состава, в результате быстрой кристаллизации сформировалось покрытие, матрица которого представляет собой пересыщенный твердый раствор.
2. Отжиг при 1100 °C приводит к интенсивному выделению ультрадисперсных вторичных карбидов $(Cr, V, Fe)_7C_3$.
3. Выделение в матрице ультрадисперсных карбидов приводит к значительному повышению микротвердости покрытия и абразивной износостойкости.

Список литературы

1. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий / Сварочное производство – 2000. – №2. – с.34-38.
2. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов: Справочное пособие. – К.: «Техника», 1989. – 128 с.
3. Цыпин И.И. Белые и износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1983. – 1

ДЕКОРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ШИХТ, СОДЕРЖАЩИХ ДИОПСИД

Зыкова Ю.А., Сафонова Т.В.

Научный руководитель: Баяндина Е.В., доцент к.т.н.
Иркутский государственный технический университет
E-mail: Ulya2279@mail.ru

Искусство ландшафтного дизайна, активно развивающееся в России с конца прошлого – начала нынешнего века, повлекло за собой огромный спрос на элементы ландшафтного декора и садово-парковую скульптуру.

Садово – парковое строительство и хозяйство является дорогостоящей и трудоемкой отраслью как в сегменте городского хозяйства, так и за городными дачными и коттеджными поселками.

Дорогостоящими являются по садовые материалы (деревья, кустарники), растительная земля. Также дороги и строительные материалы: сыпучие (песок, щебень) для устройства дорожных сооружений и штучные элементы – плиты для устройства покрытий и площадок (брусчатка), керамическая плитка для облицовки фонтанов и бассейнов, вазоны, скульптуры [1].

В настоящее время существует несколько путей снижения затрат на объекты озеленения и строительства, один из них – экономия строительных материалов за счет их производства из местных сырьевых материалов.

Целью работы является разработка технологии качественного керамического материала для садово-паркового строительства из сырьевых материалов Иркутской области (каменская и никольская глины, мальтинский песок, нарын-кунтинский полевой шпат) с использованием слюдянского диопсида (хим. состав приведен в табл. 1).

В Иркутской области имеются разведанные месторождения глин, песков, диопсидов, полевых шпатов. Благодаря высокому качеству и чистоте, все эти материалы можно использовать для получения качественных керамических материалов [2].

CaO	1,08	0,27	25,17	0,53	4,18
MgO	0,87	0,27	18,87	2,67	0,2
K ₂ O	2,91	0,2	0,13	1,97	10,86
Na ₂ O	2,03	0,08	0,09	3,39	2,42
SO ₃	-	0,08	-	0,45	-
Am	7,02	11,72	1,25	2,05	0,22

По литературным данным и известно, что кальций-магниево-силикатные (волластонит, диопсид) могут успешно использоваться в рецептуре керамических материалов для производства декоративной плитки [3].

Сырьевые материалы были исследованы на дифрактографе Q1500 фирмы М ОМ, термический анализ показал чистоту сырьевых материалов и отсутствие примесей вредных для производства плитки. Данные сырьевых материалов приведены на рисунке 1.



Рис. 1 ДТА Сырьевых материалов

Таблица 1.
Химические составы сырьевых материалов

Содержание оксидов, %	Никольская глина	Каменская глина	Слюдянский диопсид	Мальтинский песок	Нарын-Кунтинский ПШ
SiO ₂	66,7	54,07	54,04	69,51	67,53
Al ₂ O ₃	16,83	30,33	0,41	11,6	18,04
Fe ₂ O ₃	2,07	1,49	0,03	3,8	0,14
TiO ₂	0,49	1,49	0,02	0,36	0,05

В процессе работы были исследованы 12 масс. хим. составов лучших масс приведен в табл. 2.

Все сырьевые материалы отдельно измельчались в лабораторной шаровой мельнице, затем пропускались до полного прохождения контрольное сито 0.063. Для

определения свойств готовых материалов использовались образцы – «кирпичики» размером 60 × 30 × 10 мм. Образцы готовились полусухим прессованием порошков в лажностью 8%. Вылеживание пресс-порошка производилось 24 ч в эксикаторе.

Опытные образцы формовались полусухим двухступенчатым прессованием на лабораторном гидравлическом прессе с давлением прессования 20-60 МПа. Затем производилась воздушная сушка образцов в течение 1 суток, и сушка в сушильном шкафу. Обжиг производился при различной температуре с выдержкой при максимальной температуре 1 час.

Таблица 2
Химический состав масс

Содержание оксидов, масс. %	массы	M2	M6	M7	M8	M11
	SiO ₂	57,3 2	63,4 5	63,6 4	65,9 2	64,8 1
	Al ₂ O ₃	17,0 0	18,0 1	18,4 3	16,8 4	16,2 9
	Fe ₂ O ₃	0,51	0,88	1,03	1,09	0,99
	TiO ₂	0,57	0,49	0,60	0,48	0,48
	CaO	12,8 2	6,89	6,93	5,81	6,99
	MgO	9,62	5,29	5,35	4,56	5,41
	K ₂ O	1,76	3,53	2,67	3,49	3,40
	Na ₂ O	0,16	1,17	1,09	1,56	1,43
	FeO	0,19	0,21	0,20	0,18	0,15
	P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
	MnO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01

Физико-механические свойства полученных плиток оценивались по прочности на изгиб (таблица 3, рисунок 2) и водопоглощению (таблица 4, рисунок 3).

Таблица 3
Механическая прочность на изгиб, МПа

Массы	Температура обжига, °C			
	1170	1180	1190	1200
M2	18	19	29	39
M6	20	25	35	36
M7	13	28	29	31
M8	30	32	33	34
M11	13	22	34	38

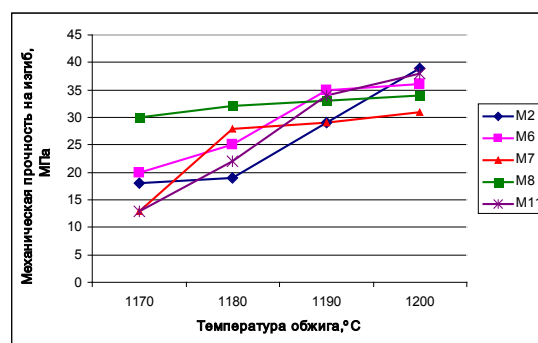


Рис. 2 Механическая прочность на изгиб, МПа
Таблица 4

Водопоглощение, %

Массы	Температура обжига, °C			
	1170	1180	1190	1200
M2	6,98	2,6	1,46	0,09
M6	0,08	0,06	0,04	0,04
M7	2,97	2,55	0,17	0
M8	0,105	0,09	0	0
M11	0,341	0,27	0	0

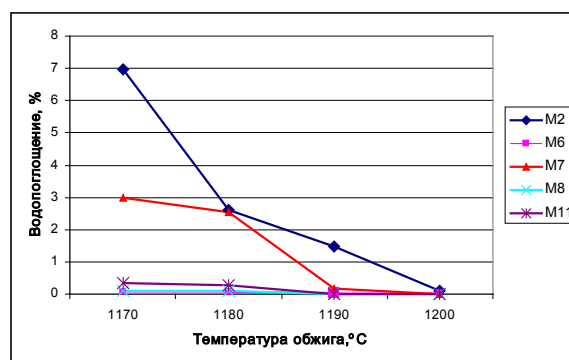


Рис. 3 Водопоглощение, %

По физико-механическим свойствам полученная плитка соответствует ГО СТ 6787-2001 «Плитки керамические для полов», по которому водопоглощение не должно превышать 3,5%, а прочность на изгиб должна быть больше или равна 25 МПа. Твердость по Моосу полученной плитки равна 7. С повышением температуры обжига прочность образцов увеличивается, а водопоглощение уменьшается, что свидетельствует об интенсивном спекании.

Полученные плитки обладают хорошими эстетическими свойствами, светлоокрашенным и блестящим чирепком. Большинство образцов имеют гладкую, блестящую поверхность, что позволяет их применение без глазурования, но и образцы с умеренно-шероховатой и шероховатой поверхностью также найдут применение, так как по физико-механическим свойствам подходят для полов. По декоративным свойствам наиболее привлекательна масса № 2, пробы её образцов были исследованы с

помощью рентгенофазового анализа (РФА), Анализ показал наличие в образцах диопсида, слабые следы плагиоклаза и возможно муллита. Лучшие физико-механические свойства показали образцы из массы № 6, РФА показал наличие в пробе большого количества рентгено-аморфной фазы, кварца, диопсида, анортита.

Таким образом, в результате работы получены декоративные материалы, обладающие высоким декоративными свойствами, достаточной прочностью на изгиб и нулевым водопоглощением. Формование изделий возможно различными способами, что существенно расширяет область применения данных материалов.

Список литературы

1. <http://www.russianlandshaft.ru/parskbul.php>
2. Объяснительная записка к обзорной карте месторождений строительных материалов Иркутской области масштаба 1:2000000. / Под ред. Осташкиной Н.К. В 2-х томах. - М.: Министерство геологии СССР, Объединение «Союзгеолфонд», 1988.
3. Вакалова Т.В. Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях. / Т.В.Вакалова, В.М.Погребенков. Томский политехнический университет. Строительные материалы №4, 2007

КЕРАМИЧЕСКИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА

Иванов А.А., Булавин А.А.

Научный руководитель: Филимошкин А.Г., д.х.н., профессор
Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: alexchemtsu@rambler.ru

Возможность создания керамических материалов низкотемпературного синтеза нового поколения с принципиально новыми, в первую очередь с заданными характеристиками, открывается при использовании в технологии синтеза этих наноструктурированных материалов.

Наноструктурные материалы являются перспективными в связи с возможностью формирования в них структурных элементов с особенностями фазового состава и уникальными свойствами. Отличаясь от обычных композиционных материалов, нанокompозиты обладают реализацией высокого уровня свойств, например: электропроводность, высокая износостойкость, химическая стойкость, жаростойкость и др. [1].

Это определяет наиболее перспективные сегменты рынка, куда они постепенно проникают, вытесняя аналоги из традиционных материалов.

Целью данной работы является синтез наноструктурных составов, получение качественных оценок функциональных и конструктивных свойств опытных образцов. Важна также оценка возможности использования наномодифицированной керамики низкотемпературного синтеза в виде LTCC-систем (Low Temperature Co-fired Ceramics-низкотемпературная (менее 1000°C) спекаемая керамика за одну технологическую операцию) на основе LFC-технологии (Low-

temperature Fireable Ceramics), пленочных нагревательных элементов и диэлектрического покрытия электродов управления электронным пучком в ионно-плазменной установке.

Лабораторные результаты исследования керамики низкотемпературного синтеза подтвердили перспективность ее применения в качестве многослойных керамических плат по LTCC-технологии с использованием серебряных и медных проводников. Благодаря низкой температуре формовки (250°C) керамическое использование низкотемпературных наполнителей и модификаторов (синтетических алмазов, углеродных нанотрубок, металлов и некоторых органических соединений). Существенным отличием нашей технологии от используемых на рынке является применение в качестве проводящей и диэлектрической фаз недорогого отечественного крупнотоннажного сырья преимущественно местного производства. В качестве модифицирующих добавок мы применяем порошки металлов и их соединений (в том числе $-Al_2O_3$ производства ОАО «СХК» и ОСП «Научно-исследовательский институт высоких напряжений» ГИОУ ВПО ТПУ, пассивированные анодопорошки $[Al+AlN]$, $[Al+Al_2O_3]$, $[ZrO_2+Y_2O_3]$, одно и многостепенные углеродные нанотрубки, флуорены и пр.).

Таким образом, применяемое технологическое решение обладает комплексным отличием от используемых в настоящее время в российской и зарубежной электронике технологий, что лежит в основе его устойчивого конкурентного преимущества [2]. Кроме того, использование крупнотоннажного местного сырья позволяет значительно снизить себестоимость продукции. Сравнение показывает, что стоимость основных компонентов диэлектрических слоёв традиционной технологии – 5000 руб./кг., в то время как у нашей технологии лишь 15 руб./кг. Важным является экономия энергии в циклах вжигания. При использовании диэлектрического стекла температура составляет 750-820°C, процесс проводится в тупиковых или конвейерных печах зачастую в инертной атмосфере или вакууме, а при использовании нашей низкотемпературной керамики, используются сушильные шкафы или ИК конвейерные сушилки с температурами до 250°C, атмосфера воздуха [3].

Непрерывно возрастающие требования к компактности и надёжности изделий электронной техники (ИЭТ) привели к тому, что традиционные борочные коммутационные носители компонентов (в том числе многослойные печатные платы – МПП) далеко не полностью обеспечивают оптимизацию условий работы ИЭТ. Использование борочных модулей, выполненных по технологии LTCC, позволяет в ряде случаев устранить вышеуказанные проблемы.

Большое количество, как В×СВ× устройств, так и некоторых других изделий электронной техники, в настоящее время выполняется по технологии LTCC – это смесители, делители и сумматоры мощности, ответвители, удвоители частоты, фильтры, В×т трансформаторы, модуляторы и т.д. Причем, помимо стандартных продуктов, также возможно выполнение заказных устройств, основанных на дизайне заказчика.

LTCC представляет собой многослойный керамический материал низкотемпературного синтеза, содержащий серебряный или медный проводящие слои, необходимые для внутрисхемных соединений.

При изготовлении LTCC материала используется низкая температура спекания (250°C), что неизбежно приводит к проведению проводников Ag и Cu и существенно ниже температуры обжига аналоговой керамики. Многослойные керамические платы можно изготовить с использованием следующих технологий: трафаретная печать, беззасадочный обжиг при высоком давлении, полусухое прессование, мокрое

и горячее прессование [4]. Наиболее часто используется метод трафаретной печати, который рассмотрим более подробно.

Метод трафаретной печати

Сначала делаются сквозные отверстия в керамической пленке, они заполняются серебряной или медной пастой. Эти отверстия предназначены для соединения верхней и нижней пленки. Затем на каждом слое печатается шаблон, содержащий топологию проводящих проводников, после чего все слои соединяются в процессе обжига. Типовой технологический процесс изготовления многослойной керамической печатной платы представлен на рисунке 1.

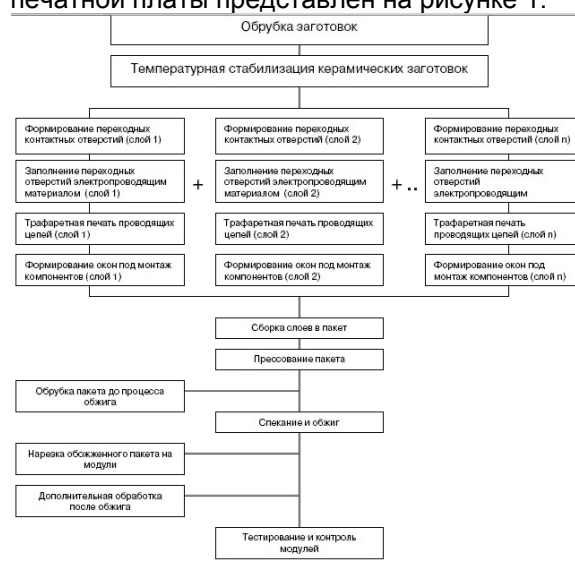


Рис.1. Технологический процесс изготовления многослойной керамической печатной платы по LTCC технологии.

Рассмотрим подробнее некоторые из приведенных на рисунке 1 стадий:

1. Формирование переходных контактных отверстий. Переходные контактные отверстия в пакете формируются в каждой отдельно взятой заготовке. Важно отметить, что в процессе обжига пакета отверстия, заполненные проводящим материалом, изменяют линейные размеры от 4 до 7%, в то время как окружающая керамическая матрица изменяет соответствующие размеры от 12 до 15%. Слишком близкое расположение отверстий может привести к появлению трещин между ними в сырой заготовке, а чересчур высокая плотность расположения отверстий может привести к искажению геометрических координат межслойных соединений (столбов) при обжиге. При сборке пакета наращиваемые один над другим толбы негерметичны и могут привести к неоднородности профиля

поверхности, поэтому рекомендуется производить сращивание столбов каждые 6-8 слоев.

2. Заполнение переходных отверстий электропроводящим материалом. Формирование методом алликации переходных отверстий производится посредством заполнения отверстий в керамической заготовке с помощью специальных смесей электропроводящих материалов с использованием технологии шаблонной печати. При этом используются высокоточные шаблоны из нержавеющей стали. Наиболее важным фактором, влияющим на этот процесс, является соотношение толщины используемой керамической заготовки к диаметру заполняемого отверстия. Зачастую наблюдается небольшое искривление переходного отверстия, вызванное разницей температурных коэффициентов переходного отверстия и окружающей керамики.

3. Формирование электропроводящих цепей (схем). Электропроводящие цепи (схемы) формируются методом трафаретной печати (шелкографии) на поверхности необожженной керамической заготовки. По сравнению с традиционной толстопленочной технологией преимуществом данного метода является более высокое разрешение печати цепей, что обусловлено следующими факторами: печать производится на плоской поверхности керамической заготовки, электропроводящие пасты наносятся на

мелкопористую поверхность, препятствующую их растеканию.

4. Сборка пакета. Готовые слои помещаются в специальное приспособление, обеспечивающее их сжатие. После сборки пакет с лентой проходит через специальную прессовку при строго определенных давлении, температуре и временных циклах.

5. Обжиг. Для окончательного формирования многослойной керамической платы производится термообработка пакета или отдельных модулей. При этом протекают два параллельных процесса – вжигание проводящих рисунков и спекание керамической массы.

Дальнейшее совершенствование свойств получаемых керамических материалов низкотемпературного синтеза планируется с использованием других наноструктурных материалов.

Список литературы

1. Duran P., Villegas M., Capel F. // J. Europ. Ceram. Soc. 1996. V.16. №9. P.945-952.
2. Балкевич В.Л. Техническая керамика. М.: Стройиздат., 1984. – 256 с.
3. Шабанова Н.А. Химия и технология нанодисперсных систем. М.: Академкнига., 2006. – 309 с.
4. Дубинин Г. Н., Аврамов Ю.С. Конструкционные, проводниковые и магнитные материалы. М.: Машиностроение., 1973. – 296 с.

ВЛИЯНИЕ НАВОДОРАЖИВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА BT1-0

Кретьева О.М., Таразанова Е.И., Казаченок¹ М.С.

Научный руководитель: Казаченок¹ М.С., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: oksna@sibmail.com

Введение

Изменение физических и механических свойств конструктивных материалов под действием водорода является весьма серьезной проблемой при эксплуатации оборудования в промышленности. Известно, что структура поверхности оказывает значительное влияние на сорбционную способность металлов по отношению к водороду. В настоящее время в качестве методов наноструктурирования поверхностных слоев успешно внедряются в промышленное производство пучковые технологии модификации материалов. Поэтому целью данной работы является исследование влияния обработки электронным пучком, в водородной обработке и их совместного воздействия на структуру, рельеф и механические свойства технического титана BT1-0.

Материалы и методика исследования

В качестве материала исследований использовали образцы из технического титана BT1-0. Облучение электронным пучком проводили с двух сторон: длительность импульса 50 мкс, число импульсов 3, плотность энергии пучка 18 Дж/см². Насыщение водородом проводили в установке Сиверса Gas Reaction Controller: температура 700 (1 режим) и 300 °C (2 режим) в течение 30 минут, при давлении 0,6 атм. Деформационный рельеф исследовали с помощью оптического профилометра NewView 6200. Одноосное статическое растяжение проводили на установке INSTRON 5582. Дефектную структуру и фазовый состав образцов определяли на просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) "ЭМ-125К". Микротвердость модифицированного поверхностного слоя определяли на наноинденторе NanoTest с использованием пирамидки Виккерса.

Результаты эксперимента

Электронно-микроскопические исследования показали, что технический титан BT1-0 представляет из себя

поликристалл на основе α -фазы; размеры зерен составляют десятки микрометров (рис. 1, а). При обработке титана электронным пучком в тонком поверхностном слое материала создается нанокристаллическая структура. В поверхностном слое технического титана формируются пластины α -фазы, поперечные размеры которых зависят от глубины модифицированного слоя: непосредственно на поверхности размеры варьируются в пределах 40÷80 нм (рис. 1, б), а на глубине 1÷2 мкм — от 50 нм до 1,5 мкм. Между пластинами α -фазы наблюдается в основном малоугловая разориентация ($2\text{--}4^\circ$).

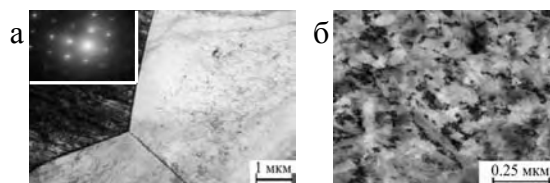


Рис. 1. ПЭМ-изображения структуры поверхностного слоя титана BT1-0 до (а) и после облучения электронным пучком (б)

Подобное изменение структуры поверхностного слоя материала приводит к изменению механических свойств. Использование наноиндентора позволило оценить механические свойства поверхностного слоя технического титана BT1-0, модифицированного путем водородной и/или электронно-пучковой обработок. Наводороживание по 1 режиму приводит к значительному увеличению твердости от 2,7 до 3,6 ГПа. При совместной обработке электронным пучком и водородном насыщении по 1 режиму наблюдается максимальное увеличение твердости поверхностного слоя до 8,26 ГПа. При этом глубина упроченного слоя исходного наводороженного образца значительно больше ($>1,5$ мкм), чем при подобной обработке образца облученного электронами ($\approx 0,3$ нм). Это связано с появлением запирающего слоя, который предотвращает проникновение водорода в глубь образца.

Исследования деформационного рельефа, проведенные с помощью

оптического профилометра, позволили выявить на поверхности исходных (необработанных) образцов наличие системы полос пластической деформации, расстояние между которыми составляет 5 мкм (рис. 2, а). При растяжении образцов, обработанных электронным пучком, данные полосы локализованной деформации становятся более ярко выраженными. При этом расстояние между полосами увеличивается до 10÷15 мкм (рис. 2, б). Последующая водородная обработка по 1 режиму приводит к существенному изменению поверхностного рельефа возникшего в процессе растяжения. Наводораживание (1 режим) исходных образцов технического титана ВТ1-0 приводит к зарождению и развиту на поверхности нагруженных образцов трещин, распространяющихся в различных направлениях (рис. 2, в). На начальной стадии нагружения происходит растрескивание, ориентированное перпендикулярно оси растяжения. При увеличении степени деформации наблюдается в торичное растрескивание по направлению максимальных касательных напряжений. При совместном воздействии электронно-пучковой и водородной (1 режим) обработок на поверхности нагруженных образцов распространяются мелкие хаотично направленные трещины (рис. 2, г). При наводораживании по 2 режиму количество водорода, проникшего в глубь образцов, уменьшается, при этом на поверхности нагруженных (как и исходного, так и подвергнутого электронно-пучковой обработке) образцов растрескивания не наблюдается (рис. 2, д, е).

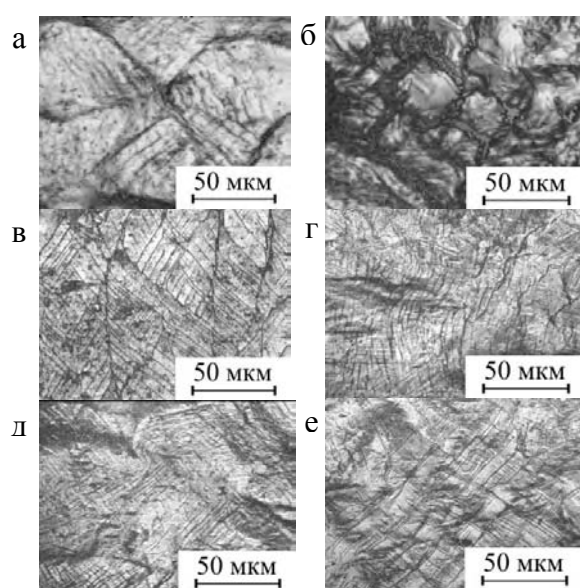


Рис. 2. Изображение деформационного рельефа титана ВТ1-0: исходный образец (а), после обработки электронным пучком (б), после

наводораживания по 1 (в) и 2 режимам (д), после облучения электронным пучком и последующего наводораживания по 1 (е) и 2 (е) режимам

Обработка пучками заряженных частиц высоких плотностей энергии не только приводит к повышению твердости поверхностного слоя, но и обуславливает некоторое увеличение прочностных свойств исследованных образцов при одноосном растяжении. Из табл. 1 видно, что создание нанокристаллической структуры в тонком поверхностном слое задерживает начало пластической деформации, что проявляется в небольшом увеличении предела текучести (от 330 МПа до 350 МПа). Кроме того, наблюдается увеличение пластичности. По сравнению с исходным состоянием, наводораживание по 1 режиму приводит к снижению пластичности, что связано с растрескиванием поверхностного слоя образцов, в то время как водородная обработка по 2 режиму обуславливает рост пластичности.

Таблица 1. Механические свойства технического титана ВТ1-0

	σ_B , МПа	ε , %
Исходное состояние	330	46
Обработка эл. пучком	350	58
Наводораживание (1 р.)	370	12
Обработка эл. пучком + наводораживание (1 р.)	420	10
Наводораживание (2 р.)	330	59
Обработка эл. пучком + наводораживание (2 р.)	350	57

Сочетание облучения электронными пучками с водородной обработкой (1 режим) приводит к увеличению предела прочности материала, но обуславливает уменьшение его пластичности (таблица 1). При этом наводораживание по 2 режиму не оказывает существенного влияния на механические свойства образцов обработанных электронным пучком.

Заключение

Обработка электронным пучком технического титана ВТ1-0 позволяет сформировать нанокристаллическую структуру в тонком поверхностном слое материала. Создание подобной структуры в поверхностных слоях исследованных образцов обуславливает распространение полос локализованной пластической деформации различных масштабов при одноосном статическом растяжении. Формирование в тонком поверхностном слое технического титана ВТ1-0

нанокристаллической структуры приводит к существенному повышению микротвердости поверхностного слоя.

Влияние в одородной обработки на механические свойства и поверхностный рельеф деформированных образцов зависит от режима обработки. Показано, что в процессе наводороживания в образцах технического титана ВТ1-0 возникает упрочненный поверхностный слой. Установлено, что в процессе растяжения образцов наводороженных по 1 режиму имеет место периодическое растрескивание, и как следствие, снижение пластичности

технического титана ВТ1-0. При этом уменьшение количества водорода (2 режим) приводит к увеличению пластичности исходных образцов.

Совместное воздействие электронно-пучковой и в одородной обработки по 1 режиму оказывает влияние, как на характер пластической деформации, так и на механические свойства исследуемых образцов: наводороживание образцов подвергнутых электронно-пучковой обработке приводит к увеличению предела прочности, но при этом пластичность снижается.

СТРУКТУРА СТАЛИ 05Г2МФБ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Ивановская Л.В.^{1,2}, Деревягина Л.С.².

Научный руководитель: Деревягина Л.С. к.ф.-м.н.

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: ivanovskaya.l@gmail.com

Известно, что за счет уменьшения размеров кристаллитов, роста доли большеугловых границ и трояных стыков в субмикрокристаллических материалах механические свойства по сравнению с крупнокристаллическими (КК) аналогами значительно и меняются. Несмотря на большое число публикаций по тематике СМК материалов, с ними изучены недостаточно. Актуальность исследований о влиянии СМК структур на свойства низкоуглеродистых сталей, определяется еще и тем, что возможности изменить структуру сталей классическими методами и одновременно получить высокие характеристики прочности и трещиностойкости, исчерпаны.

Цель настоящей работы: исследование материаловедческих основ повышения механических свойств и вязкости стали марки 05Г2МФБ в СМК состоянии.

Материал и методы исследования

Исследовали трубную сталь 05Г2МФБ в субмикрокристаллическом (СМК) состоянии, полученную методом всесторонней «abc»ковки.

Образцы для механических испытаний в форме двойной лопатки с размерами рабочей части 15×3×1мм вырезали методом электроэрозионной резки. Испытания на растяжение при скорости движения захватов 0,0027 мм/сек проводили на установке ИМАШ 20–78, с помощью оптико-телевизионным

измерительным комплексом. Структурно-фазовое состояние сталей изучали с использованием оптического микроскопа марки «Zeiss Axiovert 25» Параметр решетки и уширение линий определяли рентгеновским методом на дифрактометре ДРОН–4М в $\text{CoK}\alpha$ излучении. Макро и микро рельеф изломов исследовали с помощью растрового электронного микроскопа SEM 515 «Philips» в широком диапазоне увеличений.

Результаты эксперимента

Установлено, что структура нормализованной стали 05Г2МФБ в исходном КК состоянии типичная феррито-перлитная, слоистая (рис. 2).

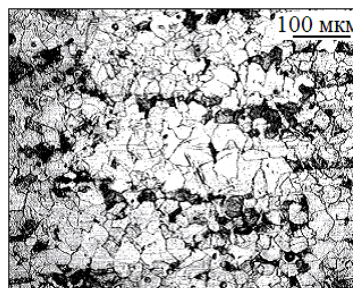


Рис.2. Микроструктура стали 05Г2МФБ в КК состоянии (травление в водном 3% растворе HNO_3)

Размер почти равноосных зерен феррита варьирует от 20 до 50 мкм, а перлита – от 15

до 40 мкм. Феррито-перлитная по лосчатость КК стали может быть следствием кристаллизации и связанной с ней ликвацией элементов, не устраненной при нагреве под закалку, и последующей прокатки стали.

В СМК с остоянии с трочечная структура стали сохраняется (рис. 3, б), однако в результате «абс» к овки пр оисходит значительное измельчение с труктурных составляющих и сходной фе ррито-перлитной структуры. Так, на боковой грани

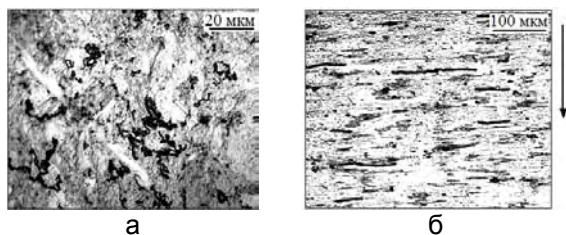


Рис. 3. Структура образцов типа I СМК стали 05Г2МФБ а– лицевая, б – боковая грани

жгуты темно травящейся фазы шириной ~ 5 и длиной до 200 мкм вытянуты в направлении ортогональном к направлению действия главных сил в последнем циклековки.

Поскольку технология получения СМК структуры сопровождается диссипативными процессами, приводящими к повышению дефектности ее кристаллического строения, микроструктуру стали исследовали рентгеновским методом и сравнивали с структурой КК аналога.

Рентгенограммы стали как в КК, так и в СМК состояниях характеризуются одинаковым набором максимумов интенсивности, характеризующих α-фазу железа, однако их общий вид различается (рис. 4).

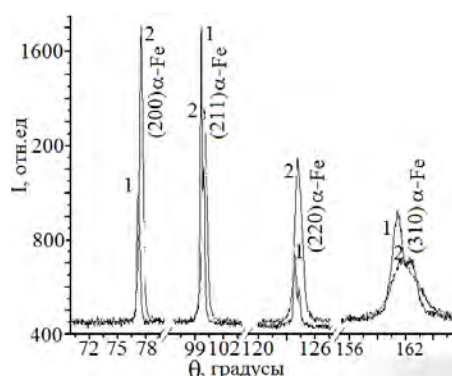


Рис. 4 Рентгенограммы стали 05Г2МФБ: 1-КК состояние, 2-СМК состояние

Так, в стали в СМК состоянии перестают разрешаться дублеты, наблюдавшиеся в КК состоянии, происходит изменение интенсивности, уширение и сужение

дифракционных пиков. Расчеты показали, что усредненная по различным пикам доля Лоренцевой компоненты η в функции Фойгта, описывающей форму профилей пиков, возрастает от 43 % в КК состоянии до 54 % в СМК состоянии (см. таблицу 1). Параметр решетки a определяли, используя экстраполяционную функцию А.Тейлора и Р.В. Фойгта в виде $\varphi(\theta) = 0,5(\cos^2 \theta / \sin \theta + \cos^2 \theta / \theta)$.

Таблица 1 Параметр решетки a и доля компоненты Лоренца η для стали в КК и СМК состояниях

образец	$\bar{\eta}$	a , Е
КК	0,43	$2,8672 \pm 2,04E-4$
СМК лицевая	0,52	$2,8669 \pm 2,14E-4$
СМК боковая	0,56	$2,8660 \pm 2,10E-4$

Установлено, что в СМК состоянии параметр решетки на 0,03% меньше, чем в КК состоянии.

Таким образом, результаты рентгеновских исследований свидетельствуют о формировании в СМК с остоянии специфической дефектной структуры.

На рисунке 5 представлены диаграммы растяжения образцов с стали 05Г2МФБ в исходном КК состоянии (кривая 1), после закалки в масло (кривая 2) и в СМК состоянии (образцы типа I и II соответственно кривые 3 и 4).

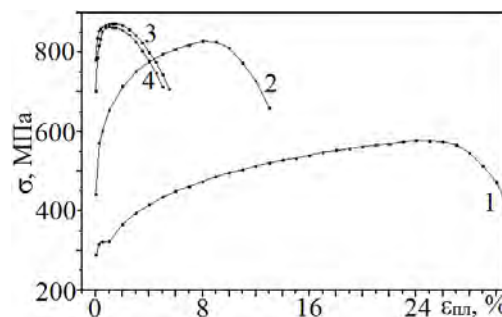


Рис. 5. Диаграммы растяжения КК и СМК стали 05Г2МФБ

В таблице 2 приведены сравнительные характеристики механических свойств КК и СМК стали 05Г2МФБ.

Таблица 2. Сравнительные характеристики стали

Состояние	$\sigma_{пр}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}/\sigma_B$	σ_B , МПа	δ до σ_B , %
КК	290	310	0,53	580	~24
КК закал	440	570	0,69	830	8
СМК тип I	780	850	0,97	875	~1,5
СМК тип II	700	810	0,94	865	~1

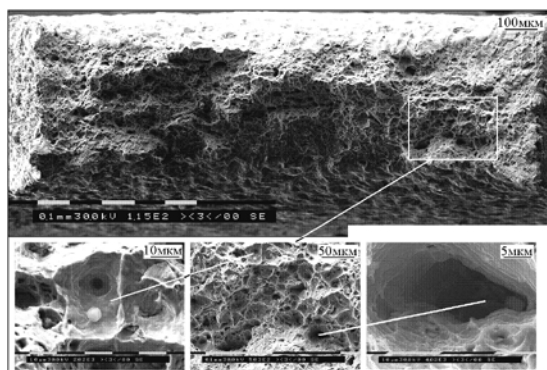
Видно, что кривые существенно различаются как по форме, так и по величинам напряжений текучести и пластичности. Наибольшую склонность к локализации проявляет сталь 05Г2МФБ в СМК с остоянии, для которой отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_B \approx 0,94-0,97$, где $\sigma_{0,2}$ -предел текучести, а σ_B -временное сопротивление разрушению.

Вследствие увеличения прочности, сближения значений $\sigma_{0,2}$ и σ_B и понижения пластичности характер разрушения стали в СМК состоянии может измениться, поэтому в работе исследовали макро и микро рельеф изломов.

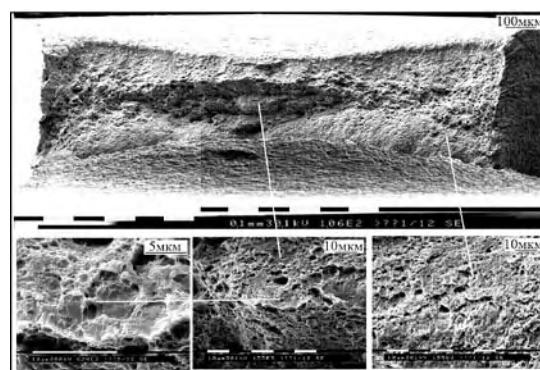
Излом стали в КК исходном с остоянии линзовидный. Поверхность и злома матовая, неоднородно-волоконистая, зонный характер разрушения не фиксируется. Напротив, фрактограмму закаленной с тали характеризует четкий зонный характер. Это свидетельствует о двухстадийности процесса ее разрушения. Первая стадия происходит в центральном объеме шейки, о трывом, в условиях объемно-напряженного с остояния. Вторая стадия по периферической зоне

излома, наклоненной под углом 45° к оси растяжения, обусловлена разрушением срезом.

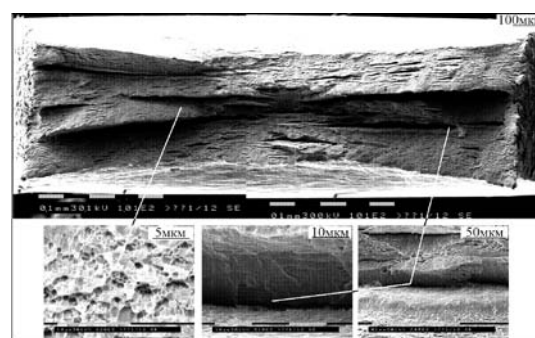
Таким образом, закалка с тали в КК состоянии увеличивает ее склонность к геометрической хрупкости.



а



б



в

Рис. 6 Макро и микро рельеф изломов стали
а–в КК исходном, б– КК закаленном,
в– в СМК состоянии

Разрушение СМК с тали происходит срезом в долг локализованной макрополосы, ослабленной деформацией. Характерной особенностью и злома СМК с тали являются выступающие над поверхностью и злома тонкие слои материала. Обычно наличие вырывов связывают с неоднородностью состава материала. Можно предположить, что разрушение на мезоуровне происходит вдоль межфазных границ включение-матрица (см. рис. 3 б), расположенных параллельно длинной стороне излома. Микромеханизмы разрушения стали, во всех исследованных состояниях, в явном виде, связанные с торможением дислокаций на частицах, зарождением пор, их ростом и слиянием.

ПРОЦЕССЫ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА ВОЛЛАСТОНИТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Карионова Н.П.

Научный руководитель: Вакалова Т.В., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, пр. Ленина, 30
E-mail: nina_petrovna@sibmail.com

Основные тенденции современного развития науки и техники предполагают использование керамических материалов с высоким уровнем функциональных свойств. Особую активность при этом приобретает кальцийсиликатная керамика с волластонитовой кристаллической фазой благодаря ее улучшенным механическим свойствам, низкой теплопроводности, высокой термостойкости и т.д.

Особый научный и практический интерес представляет твердофазный синтез волластонита по керамической технологии из смеси известкового и кремнеземистого сырья природного и техногенного происхождения. Известно, что скорость и интенсивность реакции в твердой фазе зависят от многочисленных факторов, из которых основными являются состояние (степень совершенства) кристаллической структуры компонентов смеси, дефектность поверхности зерен реагентов, дисперсность компонентов и др. [1].

При выполнении работы с синтезом волластонита осуществлялся с использованием природного кальцийсодержащего сырья: известняка Каменского месторождения Томской области и мела Инзенского месторождения (Ульяновская область).

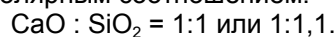
В качестве кремнеземистого сырья использовались природные породы в виде диатомита и опоки Инзенского месторождения (Ульяновская область), маршаллита Елбашевского месторождения (Новосибирская область), а также технические продукты в виде химического реактива – безводной кремниевой кислоты квалификации ч.д.а. и микрокремнезема, который является отходом производства кристаллического кремния и ферросилиция Новокузнецкого завода ферросплавов.

Сопоставление данных пород позволяет рассчитать с помощью оценить содержание в них основных минералов. Таким образом, известковые породы и исследуемого карбонатного сырья отличаются в высокой степени чистоты с содержанием порообразующего минерала не менее 95 %.

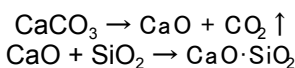
Установлено, что по фазовому составу все исследуемые кремнеземсодержащие

компоненты можно условно разделить на аморфное кремнеземистое сырье, аморфно – кристаллическое сырье, и кристаллическое сырье.

При расчете компонентного состава керамических масс для синтеза волластонита ориентировались на то, что содержание компонентов в составе шихты должно отвечать стехиометрическому и лишнему стехиометрическому составу волластонита CaSiO_3 с молярным соотношением:



Исходя из этого, необходимое количество сырьевых компонентов рассчитывалось по реакциям:



Разработка компонентных составов шихты для синтеза волластонита на основе исследуемого природного и техногенного сырья проводилась на основании химического состава волластонита.

Таблица 1 – Условное обозначение исследуемых масс волластонитового состава (48,3 мас. % CaO и 51,7 мас. % SiO_2)

Тип сырьевого компонента в составе массы		Шифр состава
кремнеземистый	известковый	а
диатомит	известняк	М 1
	мел	М 6
опока	известняк	М 2
	мел	М 7
микрокремнезем	известняк	М 3
	мел	М 8
маршаллит	известняк	М 4
	мел	М 9
безводная кремнекислота	известняк	М 5
	мел	М 10

Процесс синтеза волластонита осуществлялся из составленных и тщательно усредненных смесей и сходных компонентов (усреднение проводилось путем тонкого растирания в фарфоровой ступке) формовались полусухим прессованием и из пресспорошков при использовании в качестве связующего 1,5 % -ный раствор метилцеллюлозы образцы в виде таблеток диаметром 30 мм под давлением 20 МПа. Синтез осуществляли в температурном

интервале 1 000 – 1200°C с выдержкой при конечной температуре 1 час.

Фазовый состав продуктов термообработки и исследуемых смесях оценивался рентгеновским методом на дифрактометре ДРОН-3М. Полученные результаты свидетельствуют о лимитирующем действии природы кремнеземистого сырья на синтез волластонита и зоолигов, в частности его природы, минерального состава и степени дефектности структуры. Выявлено, что наибольшую активность в процессе волластонитообразования проявляет тонкодисперсный аморфный кремнезем в виде микрокремнезема независимо от природы кальцийсодержащего компонента.

Различия в природе исходных кремнеземистых составляющих при нагревании, помимо синтеза в температурном интервале 1000 – 1200°C собственно волластонита за счет реакции с известковым компонентом, проявляется также в характере и изменении рефлексов остаточных кварца, кристобалита и тридимита, а также и изменением рефлексов ларнита (β - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и бредигита (α - $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), что свидетельствует о незавершенности процесса синтеза волластонита.

Использование электронной микроскопии позволило оценить морфологию новообразований в волластонитовых массах стехиометрического состава М8 (смесь мела и микрокремнезема), обожженных при температуре начала синтеза волластонита – 1000°C и при температуре завершения этого процесса – 1200°C, а также стехиометрического состава М6 (смесь мела и диатомита) при температуре 1200°C.

Применительно к электронным микроснимкам образцов из состава М8, обожженных при температуре 1000°C при относительно небольших увеличениях ($\times 1000$) прослеживается наличие большой пористости и формирования достаточно однородной структуры образца. Применение больших увеличений позволяет определить форму и размер элементарных кристаллов сформировавшейся кристаллической фазы, скорее всего волластонита. В частности, формирование кристаллов преимущественно изометрической формы. По повышению температуры синтеза до 1200°C влетает за собой рост изометрических частиц кристаллической фазы и активацию процесса спекания материала, о чем свидетельствует округлая форма пор.

В случае стехиометрической смеси мела с диатомитом (состав М6) при температуре обжига 1200°C на электронных микроснимках

зафиксировано наличие большой пористости структуры с разнообразной формой пор: от округлой до извилистой. Кроме того явно прослеживаются явления плавления поверхностного кристаллического слоя.

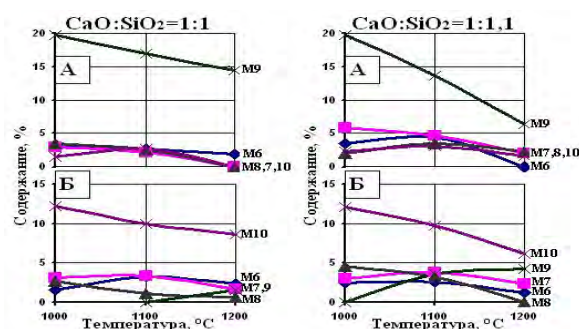


Рис.1 - Изменение содержания кварца (А) и кристобалита (Б) в составах мела с диатомитом (состав М6), опокой (состав М7), микрокремнеземом (состав М8), маршаллитом (состав М9), безводной кремниевой кислотой (состав М10) в стехиометрических составах и с содержанием компонентов сверх стехиометрии

Полученные данные свидетельствуют о незначительной разнице в количественном содержании анализируемых полиморфных форм кремнеземистого сырья между стехиометрическими составами и составами с избыточным содержанием кремнезема. Однако визуальные наблюдения за изменениями обожженных образцов в процессе их хранения на воздухе в течение определенного времени показали, что одни образцы хранились длительное время без изменения целостности (разрушения), другие уже через неделю-другую начинали постепенно самопроизвольно разрушаться. Это может быть связано с незавершенностью процесса синтеза волластонита, и в присутствии в обожженных изделиях не вступившего в реакцию оксида кальция, гидратация которого на воздухе и является основной причиной разрушения изделий в процессе их хранения. Это вызвало необходимость проведения прямых определений содержания свободного оксида кальция в обожженных изделиях и анализируемых составов.

Таким образом, установлено, что присутствие в обожженных образцах свободного оксида кальция в количестве до 5 мас.% обеспечивает сохранность изделий при хранении. Кроме того, выявлено, что использование избыточного содержания кремнеземистого компонента (независимо от его природы) в составе волластонитовых масс способствует более активному протеканию процесса синтеза, что сопровождается уменьшением содержания в

изделиях с вободного С аО в 2, 5 – 10 раз в составах с малоактивными ф ормами кремнеземистого сырья (например, маршаллитом) и сохранению ц елостности образцов п рактически и з в сех с оставов указанной серии.

Исследование возможности совмещения процессов синтеза волластонита и спекания изделий в однократном обжиге показало, что обжиг в т емпературном и нтервале 1000 – 1200°C образцов из исследуемых масс с избыточным содержанием кремнеземистого сырья с верх с техиометрии, н езависимо от природы к ремнеземистого с ырья обеспечивает получение высокопористых

керамических м атериалов с о ткрытой пористостью о т 5 0 д о 55 % и с д остаточной высокой ме ханической п рочностью (кроме изделий с и спользованием б езводной кремниевой кислоты) – от 16 до 24 МПа, что определяет п ерспективы их и спользования в качестве к онструкционного т еплоизоляционного к ерамического материала.

Список литературы

1. Вакалова Т. В., Погребенков В. М., Шляева Н. П.//Новые огнеупоры. 2009. №1. С. 18 – 22.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПГС27 ЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОМ

Кацай О.П., Дампилон Б.В.

Научный руководитель: Дампилон Б.В., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

Одним из ос новных ф акторов м алого срока с лужбы т яжелонагруженного инструмента яв ляется и нтенсивный абразивный и знос. Э ффективным способом повышения износостойкости инструмента является н анесение н а ег о раб очую поверхность з ащитного и зносостойкого покрытия. П ерспективной те хнологией нанесения покрытий является электронно-лучевая наплавка в в акууме, позволяющая наносить литые покрытия с высоким уровнем механических свойств.

Выбор состава наплавочного порошкового материала для электронно-лучевой наплавки был о бусловлен н еобходимостью создания безникелевых (из-за ег о д ороговизны) износостойких д исперсноупрочненных покрытий н а ж елезной ос нове. В к ачестве такого материала был выбран белый хромистый чугун, л егированный т итаном. Дополнительное л егирование м атериала ПГС27 титаном было проведено с целью увеличения к арбидной ф азы в п окрытии з а счет образования карбидов титана TiC в процессе наплавки, повышения пластичности связки в результате перехода у глерода в карбиды и увеличения износостойкости покрытий. Высокоэнергетическое воздействие э лектронного л уча п озволяет синтезировать карбиды т итана в процессе нанесения п окрытия, а в ысокая скорость кристаллизации ванн расплава вероятно позволит з афиксировать их в ультрадисперсном состоянии.

Целью р аботы яв ляется и сследование влияния л егирования т итаном н аплавочного материала из хромистого чугуна марки ПГС27 и термической обработки на структуру и свойства электронно-лучевых покрытий.

В процессе работы использовали следующие мат ериалы и методику исследования. П окрытия н аносились методом э лектронно-лучевой наплавки в вакууме н а подложки и з стали 30 р азмером 120×25×4 мм. В к ачестве н аплавочного материала и спользовался пр омышленный порошок х ромистого чугуна марк и П ГС27 с добавлением титана до 10% вес. дисперсностью 150-300 мкм (ПГС27+2%Ti, ПГС27+4%Ti, П ГС27+6%Ti, ПГ С27+8%Ti, ПГС27+10%Ti). То лщина н аплавленного покрытия со ставляла ~3 мм. С ц елью дополнительного в ыделения дисперсных карбидов в мат рице образцы п одвергали отжигу п ри т емпературе $T_{отж} = 1100^{\circ}\text{C}$ с выдержкой 60 минут.

Известно, ч то п ри э лектронно-лучевой наплавке п окрытий в с вязи с в ысокой скоростью к ристаллизации рас плава формируются н еоднородные с труктуры, состоящие и з п ересыщенных т в ердых растворов и и збыточных к арбидов легирующих э лементов. Д анное обстоятельство д ает ос нование считать, ч то проведение дополнительной термической обработки – отжига, - может п овлиять н а процессы растворения и выделения карбидов и и зменение с труктуры п окрытий и , к ак

следствие, на уровень физико-механических свойств.

Испытания по критериям с точки зрения абразивного изнашивания проводили согласно ГОСТ 23.208-79 «Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежесткозакрепленные абразивные частицы» (кварцевый песок). Микротвердость определяли на приборе ПМТ-3 с нагрузкой 200 грамм. Измерили твердость образцов по Роквеллу (HRC). Микроструктуру покрытий исследовали на поперечных микрошлифах с помощью оптического микроскопа МИМ-9 и Axiovert-25.

На рисунках 1, 2 и 3 приведены графики зависимости микротвердости, твердости и коэффициента относительной износостойкости от содержания титана в покрытии ПГС27 до и после термической обработки. Испытания наплавленных покрытий на абразивную износостойкость показали, что максимальное значение износостойкости наблюдается у состава, содержащего 4% титана, что соответствует максимальному значению твердости и микротвердости наплавленного покрытия.

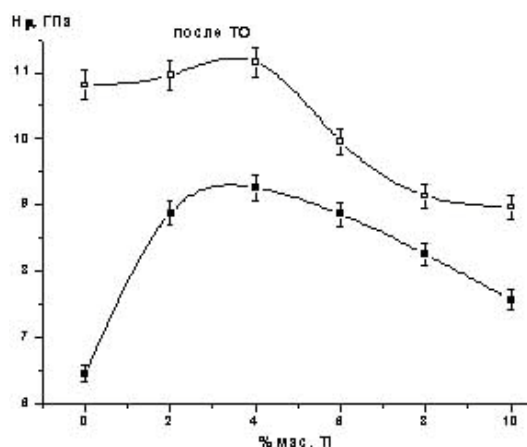


Рис. 1. Зависимость микротвердости H_{μ} от содержания титана в покрытии ПГС27 до и после термической обработки

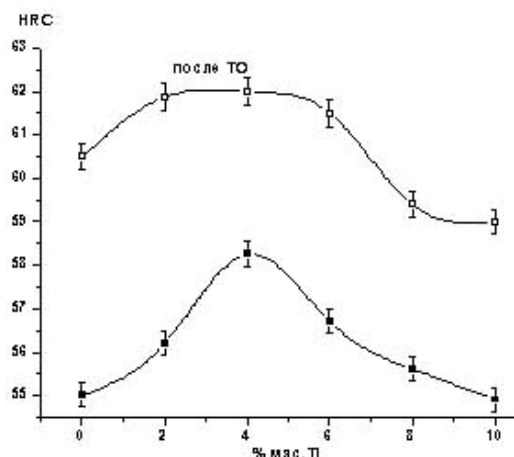


Рис. 2. Зависимость твердости HRC от содержания титана в покрытии ПГС27 до и после термической обработки

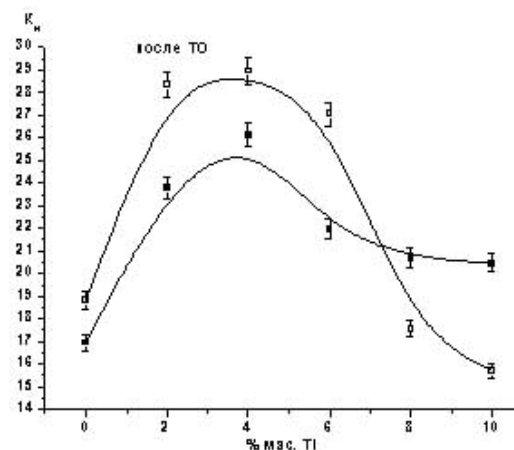


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной износостойкости K_u от содержания титана в покрытии ПГС27 до и после термической обработки

Наиболее существенное повышение свойств характерно для покрытий прошедших дополнительную термическую обработку. Измерение микротвердости показало, что, несмотря на растрескивание при отжиге частиц избыточных фаз, разупрочнения структуры не произошло. После отжига произошло увеличение твердости покрытий (HRC), что вероятно связано с тем, что разупрочнение структуры за счет диссоциации первичных карбидов хрома в процессе нормализации компенсировалось упрочнением γ -твердого раствора хромом и титаном растворившихся частиц.

Металлографические исследования наплавленных покрытий показали, что их структура представляет собой разветвленную аустенитно-хромистокрибидную эвтектику с диспергированной крибидной фазой ($(Cr, Fe)_7C_3$) и содержит первичные крибиды ($(Cr, Fe)_7C_3$) в виде протяженных шестигранных

призм. Металлографическим анализом выявлено, что первичные карбиды $(Cr, Fe)_7C_3$ формируются с внутренней полостью.

Наличие титана в составе наплавочного порошка в процессе нанесения покрытия в результате локального перегрева в зоне действия электронного луча приводит к расплавлению, диспергации порошка титана и образования карбидов титана (рис. 4). Выделившиеся карбиды титана являются активными центрами кристаллизации для дальнейшего образования аустенита и хосновы первичных карбидов $(Cr, Fe)_7C_3$.

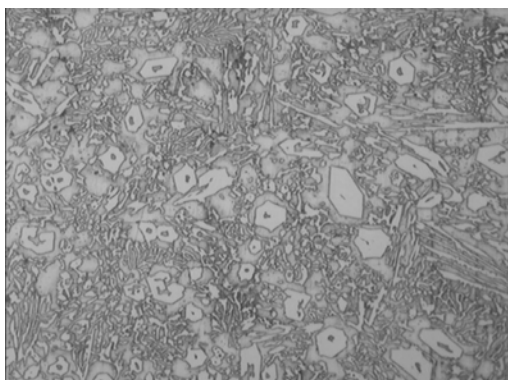


Рис.4. Микроструктура образца ПГС27, х500

В результате выполненной работы были проведены и испытания наплавленных покрытий при изнашивании о нежесткозакрепленные абразивные частицы, которые показали, что коэффициент

абразивной износостойкости $K_{из}$ зависит от количества добавленного в ПГС27 титана.

Увеличение износостойкости, микротвердости и твердости по покрытиям при повышении содержания титана до 4% мас. видимо происходит в результате образования карбидов титана TiC являющихся дополнительной упрочняющей фазой. Снижение перечисленных параметров у покрытий с содержанием титана свыше 4% мас. вероятно вызвано разупрочнением материала связки и за счет начального перехода углерода и связки в карбиды титана в процессе наплавки.

В процессе электронно-лучевой наплавки наплавочных порошковых материалов на основе хромистого чугуна ПГС27 с титаном в полученных покрытиях наряду с эвтектическими и первичными карбидами $(Cr, Fe)_7C_3$ формируются карбиды титана TiC .

Список литературы

1. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий / Сварочное производство – 2000. – №2 – с.34–38.
2. Добровольский А.Г., Кошеленко П.И. Абразивная износостойкость материалов: Справочное пособие. – К.: «Техника», 1989. – 128 с.
3. Цыпин И.И. Белье износостойкие чугуны. Структура и свойства. М.: Металлургия, 1983. – 176 с.

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ СВИНЦОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВИНЦОВИСТЫХ БРОНЗ

Кван Р.Ю., Жанчипов А.О., Мартюшев Н.В.

Научный руководитель: Мартюшев Н.В., к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nikitoid@mail.ru

Двухфазные свинцовистые бронзы используются в машиностроении для изготовления издел с высокими антифрикционными и противозадирными свойствами, например, подшипников скольжения. Однако такие бронзы обладают низкими механическими характеристиками из-за большого количества свинца. Свинец практически не растворяется в меди 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/). Подробно вопросы формирования свинцовых включений рассмотрены в работе 3. Из нее следует, что сферическая форма включений, получаемая при низких скоростях охлаждения, позволяет получить наиболее высокие прочностные свойства. Однако в работе не рассматривается вопрос о влиянии такой формы свинцовых включений на триботехнические свойства отливок.

В данной работе изучалось влияние формы свинцовых включений получаемых при различных скоростях охлаждения на коэффициент трения свинцовистых бронз

марок БрС10 и БрС30. Исследуемые бронзы выплавляли в высокочастотной индукционной тигельной печи ВЧГ2-100/0,066 из технически чистых компонентов в тигли из силицированного графита. Состав ихты исследуемых бронз приведен в таблице 1.

Таблица 1. Содержание элементов % масс.

Марка бронзы	Содержание элементов, % масс		
	Pb	Cu	Раскислитель
БрС10	10	89,5	0,5
БрС30	30	69,5	0,5

Раскисление производилось фосфористой медью перед закладкой свинца в расплав.

Температуру заливки составляла 1150°C и контролировалась быстродействующим оптическим пи рометром Т ПТ-90 с лазерным наведением.

Заливка проводилась в холодные графитовые формы при температуре 25 °С после чего они охлаждались на воздухе (скорость охлаждения ~60 °/мин) и в горячие формы нагретые до 1000°C, которые охлаждались в месте с печью от 1000°C (скорость охлаждения ~2 °/мин). Отливки представляли собой цилиндры с диаметром 17 мм и высотой 70 мм.

Микроструктура образцов изучалась на оптическом микроскопе ZEISS AXIO Observer.A1m с встроенной фотокамерой и ZEISS Axiovert 40 MAT, травления шлифов не проводилось. Качественные характеристики микроструктуры (процент структурных составляющих и их средний размер) определяли с помощью разработанной компьютерной программы /4/.

Исследования триботехнических свойств образцов производилось на испытательной машине СМТ-1 производились сравнительные испытания по схеме в ал-колонка двух типов образцов с использованием смазки М8Г на скорости 300 об /мин. Определялся коэффициент трения образцов и бронз БрС10 и БрС30. Для каждой марки брались по паре образцов. О дни полученные с высокой скоростью охлаждения и равными мелкими включениями свинца, другие с низкой скоростью охлаждения и сферической формой свинцовых включений.

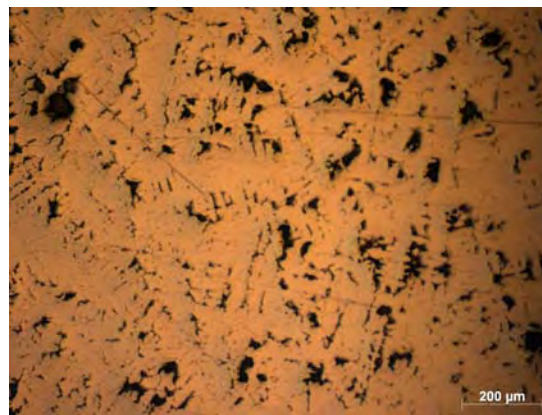
Проведенные металлографические исследования показали, что в результате изменения скорости охлаждения формируется различная морфология включений легкоплавкой фазы в бронзовых сплавах в соответствии с данными изложенными в /3/. Высокая скорость охлаждения привела к образованию большого количества мелких разветвленных включений свинца с ровной межфазной

поверхностью. Низкая скорость охлаждения отливок и бинарной свинцовистой бронзы привела к образованию в структуре сферообразных включений легкоплавкой фазы с гладкой межфазной поверхностью (см. рис. 1).

В процессе трения свинец будет выкрашиваться, образуя поры на поверхности трения. Эти поры будут играть роль масляных карманов, причем форма и размеры этих карманов будут в значительной мере определять коэффициент трения материала.

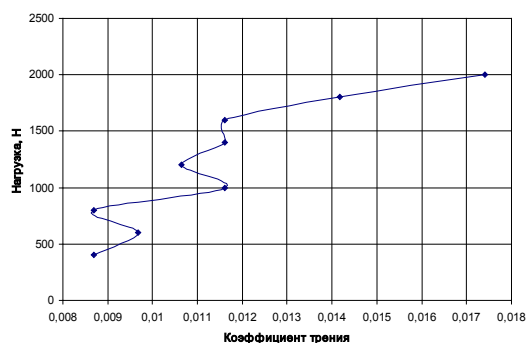


а

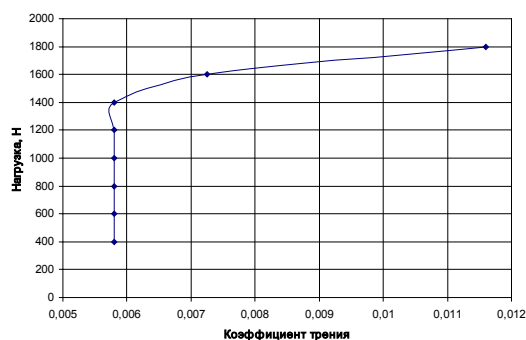


б

Рис.1 Микроструктура двухкомпонентных свинцовистых бронз марки БрС 30 полученных: а – с низкой; б - с высокой скоростью охлаждения.



а



б

Рис.2 Результаты испытаний на трение двухкомпонентных свинцовистых бронз марки БрС 10 полученных: а – с высокой; б - с низкой 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% ниже, чем у аналогичных образцов, но с рваной хлопьевидной формой включений.

Так средний коэффициент трения при скорости вращения вала 300 об/мин. составил 0,011 для образцов с рваной формой включений и 0,007 для образцов со сферической формой включений для бронзы марки БрС 10. И для бронзы БрС30 те же данные составили значения 0,054 для рваной

формы включений и 0,039 для сферической формы (см. рис. 2).

Проведенные ранее исследования морфологии свинцовых включений показывают что их средние размеры при низкой скорости охлаждения ($\sim 2^\circ\text{C/c}$) в 1,5 больше чем при высоких скоростях охлаждения ($\sim 60^\circ\text{C/c}$). Проведенные исследования показывают, что такая форма масляных карманов более благоприятна для процесса трения. Смазка лучше удерживается в них, обеспечивая более низкий коэффициент трения.

Таким образом, на основании проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что сферическая форма свинцовых включений в бинарных свинцовистых бронзах приводит не только к получению более высоких прочностных свойств, но и к снижению коэффициента трения.

Список литературы

1. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. "Медь и медные сплавы. Очистительные и зарубежные марки: Справочник" – М.: Машиностроение, 2004, – 336 с., ил.
2. Горшков И.Е. Литые литкоцветных металлов и сплавов: учебное пособие – М.: Металлургиздат, 1952. – 416 с.
3. Мартюшев Н.В., Корчмит А.В. Распределение свинцовых включений в структуре медных сплавов // Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых "НАУКА. ТЕХНОЛОГИИ. ИННОВАЦИИ". – Новосибирск: НГТУ, 2006. – ч. 2, с. 189-191
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.

ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ ВЫРАЩЕННЫХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 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

Термически выращенные оксидные слои широко и используются для защиты металлических деталей от окисления горячими газами в авиационной, железнодорожной, автомобильной и других областях промышленности [1]. Однако в процессе охлаждения после термического оксидирования в системе оксидная пленка-металлическая подложка возникают сильные сжимающие напряжения, вызванные различием коэффициентов термического расширения оксида и металла. Релаксация напряжений может приводить к формированию складок на поверхности оксидных покрытий, их отслаиванию от подложки, короблению, растрескиванию и т.п. [2]. Все это снижает защитные свойства покрытий и приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик деталей и механизмов.

Цель данной работы – исследовать особенности деформации и разрушения термически выращенной оксидной пленки на поверхности промышленного сплава Al 1570.

Выращивание оксидной пленки на поверхности сплава алюминия 1570 (5,6% Mg – 0,4% Mn – 0,32% Sc) проводили методом термического оксидирования при температуре 550 °С в течение 4 часов. Морфологию поверхности оксидных пленок исследовали с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ), атомно-силовой микроскопии (АСМ) и оптической профилометрии. РЭМ-исследования, а также определение элементного состава приповерхностного слоя образцов методом рентгеновского энергодисперсионного микроанализа проводили с использованием прибора Quanta 200 3 D. АСМ-измерения выполняли на микроскопе Solver HV в атмосферных условиях. Количественную оценку рельефа поверхности пленок проводили с помощью оптического профилометра NewView 6200.

АСМ-исследования выявили, что после термического оксидирования на поверхности образца сформировалась оксидная пленка толщиной ~ 900 нм с осредненным размером зерна ~ 500 нм. По всей поверхности пленки образовалась периодическая складчатая структура (рис.1, а). Амплитуда складок составила $A \approx 4$ мкм, длина волны $\lambda \approx 80$ мкм.

Обнаружено растрескивание оксидной пленки преимущественно в областях между впадинами и вершинами складок (рис.1, б). При этом, несмотря на образование трещин, пленка не отслаивается от подложки.

Исследования химического состава пленок с помощью энергодисперсионного микроанализа показало, что в вершинах складок периодического рельефа наблюдается накопление Mg (рис.2, а, в), в то время как Al вытесняется из этих областей (рис.2, б). При этом перераспределения кислорода, т.е. нарушения сплошности оксидной пленки не наблюдается (рис.2, г).

Формирование складчатого рельефа на поверхности исследованных пленок обусловлено возникновением сжимающих напряжений из-за различия коэффициентов термического расширения оксида и металла.

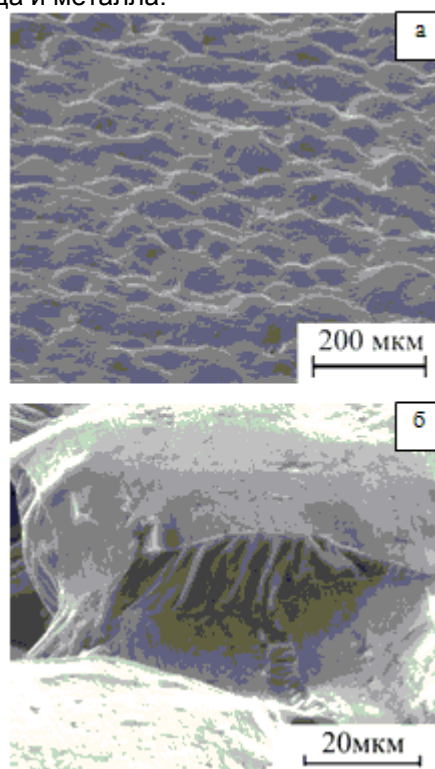


Рис.1. РЭМ-изображения оксидной пленки на поверхности алюминиевого сплава 1570 после охлаждения от 550 °С до комнатной температуры

Величину этих напряжений, можно оценить из следующего выражения:

$$\sigma = M \Delta \alpha \Delta T, \quad (1)$$

где M – биаксиальный модуль упругости пленки, $\Delta \alpha$ – разность коэффициентов термического расширения пленки и подложки, ΔT – разность температур. Используя соответствующие значения для исследуемой системы ($M = 496$ ГПа; $\Delta \alpha = 16,1 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta T = 530 \text{ } ^\circ\text{C}$), получаем, что при охлаждении от температуры окислительной обработки величина сжимающих напряжений в оксидных пленках могла бы достигать $\sigma \approx 4,2$ ГПа. В действительности, система пленка-подложка не может выдержать такой высокий уровень напряжений. Релаксация термических напряжений обусловливает когерентную деформацию пленки и подложки и образование складчатого рельефа. В результате возникает волнистая граница раздела пленка-подложка, в которой формируется периодическое распределение нормальных и касательных напряжений [3]. В вершинах складок разбиваются нормальные растягивающие напряжения, величина которых и изменяется от максимального значения вблизи границы раздела до нуля на поверхности пленки. В области педин действуют нормальные сжимающие напряжения, которые также максимальны вблизи границы раздела.

Периодическое распределение напряжений и деформаций на границе раздела пленка-подложка обусловливает перераспределение атомов легирующих элементов. Возникающий градиент химического потенциала вызывает поток атомов Mg, который обладает большим молярным объемом ($14 \text{ см}^3/\text{моль}$), чем Al ($10 \text{ см}^3/\text{моль}$), из объема алюминиевого сплава к вершинам складчатого рельефа.

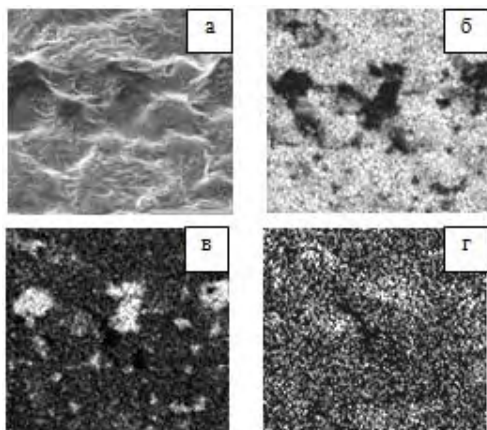


Рис.2. РЭМ-изображение поверхности оксидной пленки, выращенной на поверхности

алюминиевого сплава (а), и карты распределения химических элементов на данном участке:
б – Al, в – Mg; г – O

Наряду с локальным переносом, периодическое распределение напряжений нормальных к границе раздела пленка-подложка определяет характер разрушения исследуемых оксидных пленок. Растрескивание пленок происходит в области между максимумами и минимумами складок, где нормальные напряжения меняют знак, т.е. переходят из растягивающих в сжимающие. Рациональный характер напряжений обусловливает разрушение оксидных пленок посредством образования трещин поперечного сдвига. Тем не менее, даже после растрескивания пленка сохраняет контакт с металлической подложкой. Поэтому, данный механизм растрескивания оксидных пленок выгодно отличается от наблюдавшегося ранее в работе [3], где было обнаружено, что оксидный слой на поверхности сплава Fe-Cr-Al разрушается посредством формирования трещин нормального отрыва в вершинах складок. Подобный механизм был обусловлен отслоением пленки от подложки и приводил к ее частичному откачиванию и обнажению поверхности металла.

В результате проведенных исследований установлено, что под действием термических напряжений на поверхности оксидной пленки формируется складчатый рельеф. Развитие складчатого рельефа сопровождается когерентной деформацией пленки и подложки. В результате, граница раздела приобретает волнистый характер, что приводит к периодическому распределению нормальных и касательных напряжений. Осцилляция напряжений нормальных к границе раздела пленка-подложка определяет характер разрушения пленок посредством формирования трещин поперечного сдвига, а также вызывает перераспределение химических элементов. Наблюдаемый механизм растрескивания не приводит к отслоению оксидных пленок от подложки. Это позволяет сохранить защитные свойства термически выращенных оксидных покрытий, что обеспечивает повышение ресурса работы металлических конструкций.

Список литературы

1. Atkinson A., Seluk A., Webb S.J. Variability of stress in alumina corrosion layers formed in thermal-barrier coatings // Oxid. Met. – 2000. – Vol. 54., – № 5-6. – P. 371-384.
2. Tolpygo V.K., Clarke D.R. Wrinkling of α -alumina films grown by oxidation – II. Oxide

separation and failure // Acta Mater. – 1998. – Vol. 46, – № 14. – P. 5167-5174.

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 ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ИЗОЛЯЦИЯ – ОБОЛОЧКА» КАБЕЛЕЙ МАРКИ ЦЛFLEX

Козобина Л.А.

Научный руководитель: Анисимова О.А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Ludo4ka@sibmail.com

В последнее время наблюдается повышенный интерес к термоэластопластам (ТЭП) у российских производителей кабельной продукции. Это обусловлено, с одной стороны, простотой и высокой скоростью технологического процесса наложения ТЭП на жилы, прекрасными эксплуатационными характеристиками компаундов, а также по полной утилизируемости при переработке.

Основные преимущества нового материала по сравнению с традиционной резиновой изоляцией:

- расширенный температурный диапазон эксплуатации и как следствие увеличение срока службы изделий с 12 до 20 лет;

- улучшение массогабаритных параметров кабеля за счет малой удельной массы полимерной изоляции и сокращения сечения медной жилы;

- значительное сокращение технологического цикла производства кабеля [1]

Тепловое старение термопластичных эластомеров на сегодняшний день изучено достаточно хорошо, однако, в кабележном изделии старение материалов происходит в условиях взаимного влияния. Известно, что старение ПВХ-пластиката в конструкции кабеля происходит значительно быстрее, чем старение непосредственно самого полимера [3]. Поэтому встает вопрос о поведении ТЭП в процессе эксплуатации кабельных изделий, выполненных с использованием данных материалов.

Объектами исследования выбраны кабели марок:

- ЦЛFLEX®440P (изоляция – термоэластопласт; оболочка – полиуретан) кабель управления гибкий, маслостойкий на напряжение 450 В. Применяется в станко-, машино- и аппаратостроении;

- ЦЛFLEX®500P (изоляция – полиуретан; оболочка – полиуретан) кабель управления гибкий на номинальное напряжение 450 В.

Применяется для присоединения приборов в сухих влажных помещениях при средних механических нагрузках;

- ЦЛFLEX®ROBUST 200 (изоляция – термоэластопласт; оболочка – термоэластопласт) кабель силовой, гибкий на номинальное напряжение 450 В. Применяется для присоединения электрических приборов и оборудования к электрическим сетям переменного тока в помещениях и на открытом воздухе. [2]

Целью данной работы является исследование поведения термопластичных полимерных материалов, таких как термоэластопласт и полиуретан, в процессе теплового старения в конструкции кабельных изделий.

Эксперимент, включает:

1. Тепловое старение образцов самих кабелей и оболочки данных кабелей. Температура старения 130°C. Образцы кабелей длиной 20 см подвешиваются вертикально и преимущественно в середине термостата на расстоянии не менее 20 мм друг от друга. По завершении периода старения и испытываемые образцы и забирают из термостата и выдерживают при температуре (25±10)°C, избегая попадания прямых солнечных лучей, не менее 16 ч. Затем кабель раздвигается производится измерение механических характеристик оболочки (относительное удлинение ϵ , %).

2. Подготовка образцов и проведение измерений механических характеристик оболочки. Для данных испытаний от кабельного изделия отбираются три отрезка, отстоящие на расстоянии не менее 1 м друг от друга. С отрезков удаляются наружные и внутренние конструктивные элементы без повреждения оболочки. Из отобранных отрезков подготавливаются образцы в виде двусторонних лопаток. На каждом испытуемом образце в его центральной части непосредственно перед испытанием отмечается рабочий участок длиной 20 мм.

Для испытаний отбираются по два образца от каждого от резка к абеля (всего ш есть образцов) [4].

Испытание материалов на от носительное удлинение п роводилось н а разрывной машине ИР-5040-5.[5]

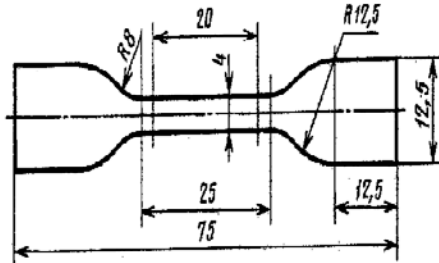


Рис. 1. Образец для испытаний на разрывной машине

Для об работки рез ультатов э ксперимента используется фо рмула д ля среднего арифметического значения величин $X_1, X_2, \dots, X_n$:

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i$$

По результатам всех опытов, проведенных на д анный момен т времени п остроены характеристики относительного удлинения (ε , %) в з ависимости от в ремени с тарения при температуре 130°C (рис.2; рис.3; рис. 4).

Из по лученных ха рактеристик в идно, ч то относительное удлинение для всех кабелей в зависимости от в ремени старения уменьшается. ТЭП состоят из жестких и аморфных блоков. С увеличением в ремени старения в материале начинается деструкция макромолекул. Скорость деструкции молекул в аморфной фазе ТЭП выше, чем в жесткой фазе, поэтому с у величением в ремени старения относительное удлинение при разрыве будет уменьшаться.

Для кабеля марки ЦЛFLEX®500P с изоляцией и об олочкой и з п олиуретана скорость с низжения ε оболочки старенного в конструкции кабеля со временем выше, чем у оболочки кабеля старенной отдельно.

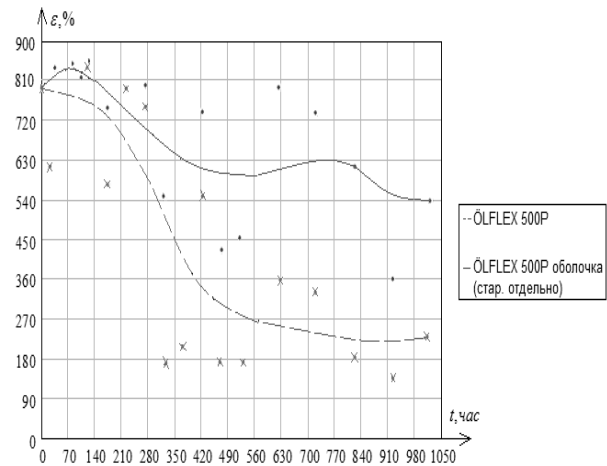


Рис. 2. Зависимость относительного удлинения от времени старения для ЦЛFLEX®500P

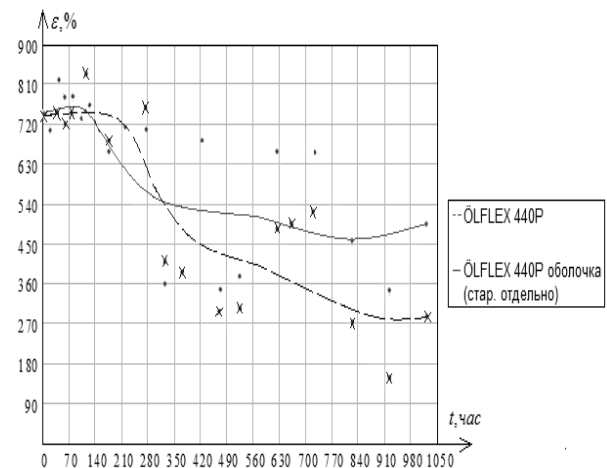


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения от времени старения для ЦЛFLEX®440P

Для кабеля марки ЦЛFLEX®440P с изоляцией и з т ермоэластопласта и оболочкой из полиуретана скорость снижения ε оболочки старенного в конструкции кабеля со в ремнем т акже в ыше, чем у оболочки кабеля старенной отдельно.

Согласно О СТ с рок службы к абелей определяется и сходя и з срока с лужбы полимерных материалов изоляции и оболочки. Из зависимостей (рис. 2 и 3) видно, что оболочка в конструкции кабеля будет стареть быстрее, ч ем о тдельный мат ериал. Т.е. к абель в ыйдет и з с троя б ыстрее, ч ем заявлено.

Для кабеля марки ЦЛFLEX®ROBUST 200 с изоляцией и оболочкой и з термоэластопласта скорость с низжения ε оболочки старенного в конструкции кабеля до 420 ч асов п римерно о д инакова. После э того времени от носительное у длинение оболочки

старенной в конструкции кабеля начинает резко снижаться. В то время как для оболочки кабеля старенной отдельно наблюдается небольшое увеличение ϵ . Такое поведение кривых для данного кабеля, скорее всего, связано с высокой гигроскопичностью материала. Поэтому в настоящий момент значения удлинения уточняются.

Обнаруженные отличия в ходе изменения механических характеристик для разных кабелей, скорее всего, связаны с различным соотношением гибких и жестких сегментов в материале.

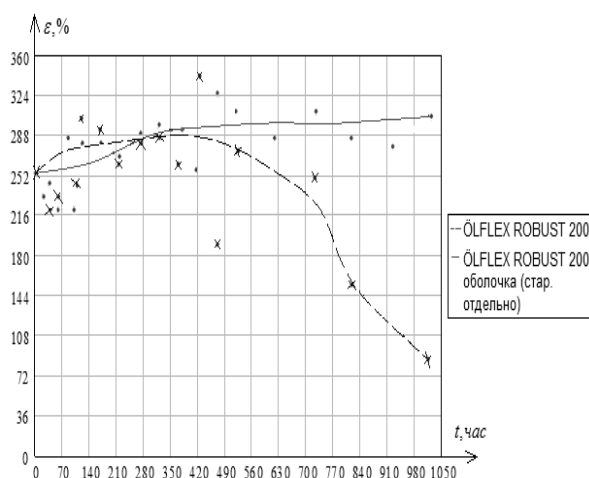


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения от времени старения для ЦЛФЛЕКС® ROBUST 200

Список литературы

1. Инновации в области полимерных материалов для кабельной и индустрии. Аблеев Р.И., Ги маев Р.Н. // Башкирский химический журнал. 2007. Том 14. №2. с. 5 – 14;
2. Каталог продукции Соединяющие мир, Lapp Group, 2000.- 2300с;
3. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях, - М.: Химия, 1982.- 224с;
4. ГОСТ Р МЭК 8111 – 1 – 1;
5. ГОСТ Р 25018-81.

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 20

Корниенко Е.Е., Ромашова Ю.Н, Савенко Т.И.

Научный руководитель: Корниенко Е.Е., ассистент

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,

630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20

E-mail: kornienko_ee@mail.ru

Достоинства сварки (снижение веса конструкций, высокая производительность, низкая трудоемкость процесса) объясняют широкое ее применение в различных отраслях современного промышленного производства. В свою очередь, формирование грубой кристаллической структуры сварных швов с большим количеством дефектов литой структуры оказывает негативное влияние на трещиностойкость сварных соединений. Полностью избавиться от структурных

дефектов, и зменяя только технологические режимы сварки, невозможно. В данной работе, в качестве методов дополнительного воздействия, позволяющих снизить вредное влияние от вредных факторов, предложено использовать поверхностную пластическую деформацию и последующую термическую обработку.

При выполнении работ объектами исследования служили пластины из стали 20 размерами 200x50 мм и толщиной 3 мм, которые соединяли встык при помощи

электродуговой сварки с двух сторон без разделки кромок. Сила тока при этом составляла 160...200 А, напряжение – 15...25 В. В качестве сварочного материала использовали покрытые электроды УОНИИ 13/55. Пластическую деформацию второго валика сварных швов и зон термического влияния в холодном состоянии осуществляли на установках, и изготовленной на базе модифицированного фрезерного станка МШ-2.2. Обработку проводили индентором из твердого сплава диаметром 8 мм. Частота ультразвуковых колебаний составляла 22 кГц, амплитуда колебаний индентора была равной 20 мкм. Индентор прижимался к обрабатываемой поверхности с силой 98 Н. Продольная подача индентора составляла 0,3 м/мин, шаг между дорожками был равным 0,1 мм. После поверхностной деформации проводили дополнительный отжиг при температурах 500, 550, 600 и 650 °С в течение 30 мин, охлаждение образцов осуществляли вместе с печью.

Металлографические исследования проводили на растровом микроскопе Carl Zeiss EVO50 XVP и оптическом микроскопе Carl Zeiss Observer A1m. В качестве показателей, характеризующих сопротивление развитию усталостных трещин, использовали параметры, которые определяются при построении кинетических диаграмм усталостного разрушения (КДУР).

Известно, что процессы усталостного разрушения в значительной степени определяются качеством поверхностного слоя, а именно, структурным состоянием. Металлографически было показано, что во втором валике формируется литая структура. Длинные оси дендритов ориентируются в направлении теплоотвода, а в междендритном пространстве выделяется преимущественно видманштеттов феррит и незначительное количество пластинчатого перлита. Проведённые в работе [1] структурные исследования свидетельствуют о том, что пластины видманштеттова феррита имеют слоистое строение, толщина отдельных слоёв не превышает 1 мкм. Наличие дефектов, расположенных по границам многочисленных слоёв, снижает пластичность сварных швов и способствует распространению усталостных трещин (рис. 1). При сварке пластин с обратной стороны первый валик подвергается повторному тепловому воздействию, в результате чего происходит рекристаллизация материала. Феррит в первом валике выделяется в основном по границам аустенитных зёрен, формируя сетку.

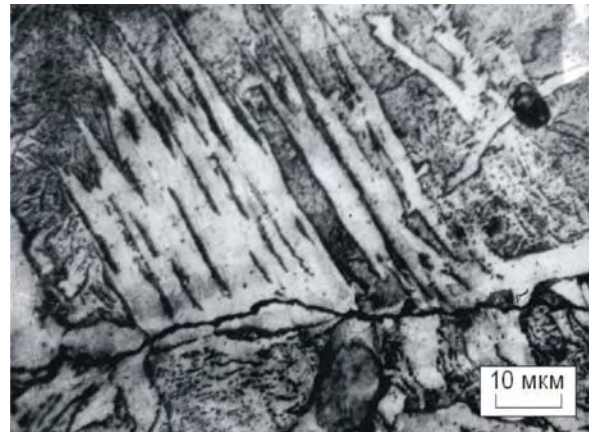


Рис. 1. Распространение усталостной трещины по сварному шву стали 20.

Испытания на трещиностойкость подтвердили отрицательное влияние структуры видманштеттова типа на показатели циклической трещиностойкости. В качестве эталона и использовали горячекатаную сталь 20 без сварных швов с ферритом полиэдрического типа и перлитом. Циклическая трещиностойкость сварных швов ниже по сравнению с основным металлом. Пороговое значение размаха коэффициента интенсивности напряжений образцов после сварки на 15...20 % меньше, чем у сходных образцов и соответствует 7 МПа м^{1/2}.

Пластическая деформация сварных швов приводит к возникновению характерной ориентированной структуры в поверхностных слоях глубиной до 50...100 мкм. Карбиды пластинчатой формы под действием инструмента ориентируются в поверхностном слое, дробятся и снижают устойчивость с формированием однообразных построений (рис. 2). В поверхностных слоях не наблюдается литой структуры и феррита видманштеттова типа.

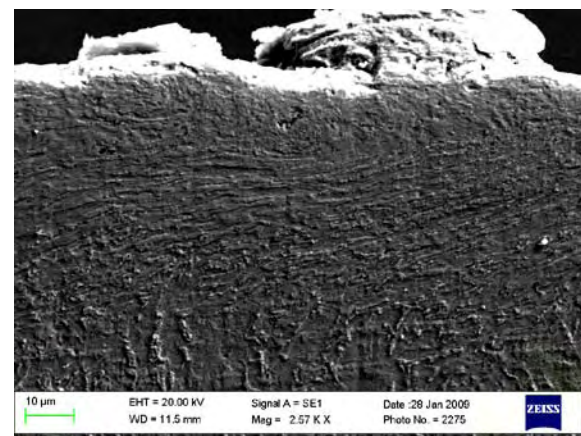


Рис. 2. Поверхностный слой сварного шва после поверхностной пластической деформации.

Испытания на циклическую трещиностойкость показали, что усталостная трещиностойкость пластически деформированных швов выше. Величина порогового значения размаха коэффициента интенсивности напряжений ΔK_{th} сварных швов после ультразвуковой обработки (рис. 3, кривая 2) увеличивается по сравнению с необработанными сварными образцами (рис. 3, кривая 1) ~ в 2 раза и достигает $14 \text{ МПа м}^{1/2}$. Полученные данные свидетельствуют о том, что ультразвуковая обработка эффективно препятствует образованию дефектов в поверхностных слоях: трещины в упрочненных областях возникают при более высоком уровне механических напряжений. В то же время скорость распространения трещины в объеме образцов сопоставима со скоростью распространения трещин в сварных швах без дополнительной ультразвуковой обработки.

Влияние последующего нагрева сварных соединений на показатели усталостной трещиностойкости отражено на рис. 3. Анализ представленных зависимостей свидетельствует о нецелесообразности увеличения температуры нагрева стали выше 500°C (рис. 3, кривая 3). Величина порогового значения размаха коэффициента интенсивности напряжений, по сравнению с образцами, подверженными интенсивной пластической деформации, снижается. Увеличение температуры нагрева упрочненных сварных соединений до 650°C еще в большей степени снижает уровень ΔK_{th} (рис. 3, кривая 4).

Объясняется такое поведение материала развитием процессов рекристаллизации деформированного феррита, которые надежно проявляются после нагрева до 550°C . В условиях

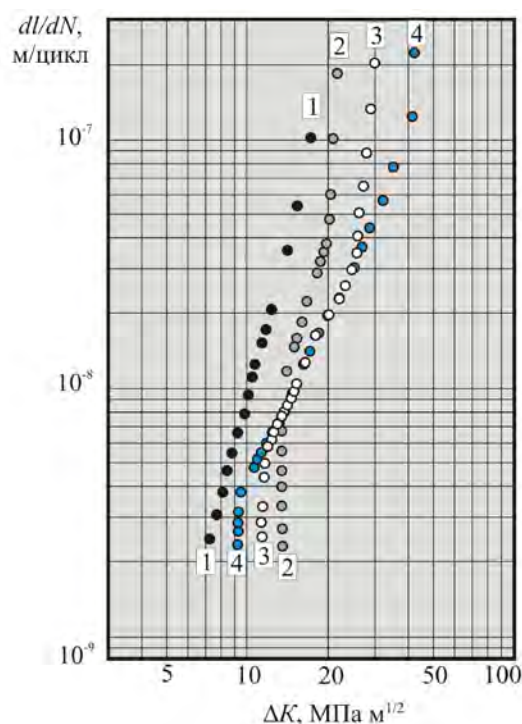


Рис. 3. Кинетические диаграммы усталостного разрушения сварных швов стали 20 без дополнительной обработки (1), после интенсивной пластической деформации (2) и последующего нагрева при 500°C (3) и 650°C (4).

выдержки материала при этой температуре формируется субмикроструктура ферритная структура с размером зерен $\sim 300\text{--}500 \text{ нм}$. Повышение температуры нагрева приводит к укрупнению зеренной структуры. Отжиг при 650°C обеспечивает рост зерна α -фазы до $3\text{--}5 \text{ мкм}$ и более, глобулы цементита укрупняются. Уменьшение количества дефектов дислокационного происхождения в упрочненном поверхностном слое снижает способность материала сопротивляться зарождению трещины.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что способ заготовки сохранения эффекта интенсивной поверхностной пластической деформации нагрев сварных соединений до температуры выше $500\text{--}550^\circ\text{C}$ нецелесообразен. В свою очередь, повышение температуры нагрева сварных соединений из стали 20 до $600\text{--}650^\circ\text{C}$ способствует резкому повышению вязкости материала и снижению скорости распространения усталостных трещин на прямолинейных участках кинетических диаграмм усталостного разрушения. Процесс разрушения обработанного таким образом материала является весьма энергоемким.

Список литературы

1. Особенности строения кристаллов видманштеттова феррита и цементита / И. А.

Батаев, А. А. Батаев, В. Г. Буров, Я. С. Лизункова, Е. Е. Захаревич // Сталь. – 2008. – № 8. – С. 99–102.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Котляр В.Д., Братский Д.И., Котляр А.В.

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_kvvd@mail.ru

Актуальными задачами в области производства стеновой керамики являются: снижение энергоемкости изготовления изделий, улучшение их теплотехнических свойств, ускорение технологического процесса, снижение производственных затрат, улучшение внешнего вида, расширение ассортимента выпускаемой продукции. Выполнение этих задач возможно лишь в случае использования высококачественного сырья. К сожалению, во многих регионах России, и особенно в Южном Федеральном Округе, запасы традиционного качественного глинистого сырья практически отсутствуют. Следствием этого является то, что около 80 % в выпускаемого керамического кирпича не удовлетворяет требованиям ГОСТ 530-2007. Работы, проводимые в Ростовском государственном строительном университете, совместно с региональными геологическими организациями показали, что кремнистые опал-кристаллитовые породы – опоки и их разновидности (опоковидные породы), могут стать серьезной сырьевой базой промышленности стеновой керамики.

Опоки – лёгкие плотные тонкопористые породы, состоящие в основном из мельчайших (менее 0,005 мм) частиц кремнезёма. Средняя плотность составляет 1100-1600 кг/м³, пористость достигает 55 %. Постоянной составляющей опок являются глинистые минералы, присутствующие в том или ином количестве. Типичными или «нормальными» опоками по У.Г. Дистанову, являются опоки, содержащие 5-4-80 % опалового кремнезёма, 10-40 % глинистых минералов и до 10 % песчаных частиц, представленных в основном кварцем [1]. Гораздо более широкое распространение в природе имеют опокovidные породы – глинистые, карбонатные разновидности опок. Данные породы имеют широкое распространение в Западной Сибири,

районах Поволжья и Дона, восточных и южных склонов Уральского хребта, в центральных и западных областях России, Ленинградской области, Дальнем Востоке, на о. Сахалин, на Камчатке, Кольском полуострове, Северном Кавказе и в других районах. Проведённые многочисленные изучения вещественного состава и лабораторно-технологические исследования, подтверждённые опытовыми испытаниями, нами была разработана геолого-технологическая классификация опокovidных пород как сырья для производства стеновой керамики [2]. Исходя из этой классификации, по содержанию глинистого компонента выделяется три группы опок – опоки малоглинистые или опоки типичные, с содержанием глинистой составляющей 10-20 %, опоки среднеглинистые, с содержанием глинистой составляющей 20-35 % и опоки глинистые, содержащие глинистых минералов от 35 до 50 %. Для промышленности стеновой керамики большой интерес представляют среднеглинистые и глинистые разновидности опок. Этому благоприятствует ряд предпосылок – вполне удовлетворительные дообжиговые свойства сырья, относительно низкая температура обжига, высокие физико-механические показатели обожжённых изделий и т. д. Месторождения опокovidных пород отличаются большой мощностью, выдержанностью состава, располагаются на непахотных землях.

В ГОСТе 530-2007, опоки и опокovidные породы не указываются как потенциальное сырьё для производства керамического кирпича. Одной из причин этого является низкая технологическая и зрелость данного сырья, а также особенности свойств опок. Трепела и диатомиты, так же как и глины, хорошо размокают в воде, опоки являются не размокаемыми и ли трудноразмокаемыми (размокают при измельчении). В связи с этим

при испытании опоковидных пород, как сырья для стеновой керамики, необходима своя методика, а также технологические схемы производства, разработанная с учетом свойств опок.

Принципиальной разницы в химическом составе между среднеглинистыми, глинистыми опками и типичным глинистым сырьем для стеновой керамики – суглинками нет. В суглинках кремнезем в основном представлен кварцем, в опках – опалом, опал-кристобалитом разной степени кристалличности.

Глинистые минералы, содержащиеся в опоковидных породах, в результате процессов диагенеза и катагенеза (растворение, перераспределение кремнезема и раскристаллизация) находятся в прочном контакте с опаловым кремнеземом. Проявлять свои свойства, прежде всего, пластичность, глинистые минералы могут только при достаточном измельчении исходного сырья. Пластичность и связность формовочных масс на основе опок, зависит в свою очередь, от степени измельчения, количества и вида глинистых минералов, содержащихся в исходном сырье. Глинистая составляющая опоковидных пород представлена в основном гидрослюдами, смешанно-слоистыми образованиями и монтмориллонитом [1]. Это благоприятствует спеканию при обжиге опок.

Выделить и оценить количественно содержание глинистых минералов в кремнистых породах, а также их вид, является весьма трудной задачей. На практике этот показатель можно оценивать по содержанию Al_2O_3 , т. е. глинозем, содержащийся в кремнистых породах входит в состав глинистых минералов. Учитывая, что для опоковидных пород характерны монтмориллонит-гидрослюдистая и гидрослюдисто-монтмориллонитовая глинистые ассоциации, у многих количественное содержание глинозема на 3–3,5, получим примерное количественное содержание глинистых минералов. По этому показателю к среднеглинистым относятся опки с содержанием Al_2O_3 7–11 %, к глинистым опкам – более 11 %.

Проведенные многочисленные лабораторные исследования и ползаводские испытания, показали, что для большинства глинистых опок более приемлемым является полусухой способ прессования изделий и сухая (полусухая) подготовка пресс-порошка. В зависимости от свойств сырья измельчение должно производиться до зернового состава 0 – 1–2,5 мм. Как показал опыт многочисленных ползаводских и опытных, весьма желательно, чтобы влажность

измельчаемого сырья была такой, при которой исключается пыление. Для глинистых опок этот показатель составляет от 12 до 20 %. Формовочная влажность пресс-порошков находится в пределах от 10 до 20 %. Этот интервал влажности соответствует максимальной плотности сырьца, и соответственно, максимальной прочности, как сырьцовых изделий, так и обожженных изделий. На рисунке 1 показана зависимость плотности прессовки в пересчете на твердую фазу, что является более информативным, от влажности пресс-порошка и давления прессования для типичной глинистой опки А лексеевского месторождения (Ростовская область) измельченной до фракции 0–2,5 мм. Оптимум влажности обусловлен в основном составом и структурными особенностями конкретного месторождения. Удельные давления прессования составляют от 10 до 30 МПа. Превышение этого интервала не приводит к существенному увеличению прочности, однако, резко увеличиваются риски проявления дефектов прессования. Обожженный черепок на основе опок обладает достаточно высокими прочностными показателями (рис. 2), что позволяет прогнозировать выпуск пустотелых изделий. Средняя плотность черепка на основе глинистых опок колеблется в пределах от 1500 до 1800 кг/м³, что несколько ниже, чем у черепка на основе глинистых. Водопоглощение от 12 до 22 % и обусловлено как свойствами исходного сырья, так и технологическими факторами. Кирпич со сквозными пустотами (пустотность 12–22 %) выдерживает 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Разработанные нами новые технологические схемы производства керамического кирпича на основе опоковидных пород подтверждены патентами на полезные модели.

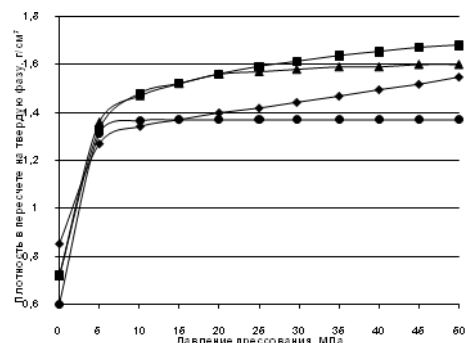


Рис. 1 Влияние давления прессования на плотность прессовок из порошка различной влажности

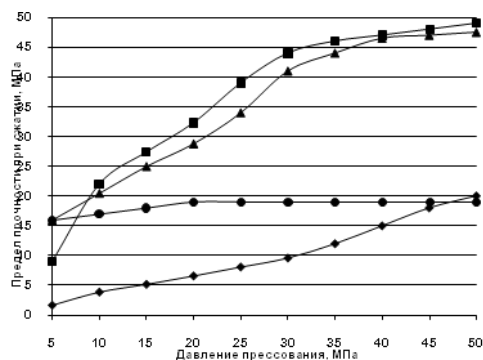


Рис. 2 Влияние давления прессования и влажности пресс-порошка на прочность обожженных образцов (температура обжига 1000 °С)

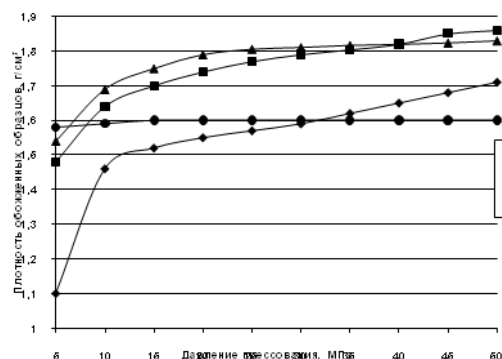


Рис. 3 Влияние давления прессования и влажности пресс-порошка на плотность обожженных образцов (температура обжига 1000 °С)

В настоящее время спроектирован и построен завод по производству керамического кирпича на основе опок. Вовлечение в оборот опоковидных пород позволит существенно расширить сырьевую базу стеновой керамики.

Список литературы

1. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. – Татарское книжное издательство, 1976. – 412 с.
2. Котляр В.Д. Классификация кремнистых опоковидных пород как сырья для производства стеновой керамики // Строительные материалы. – 2009. – № 3. – с. 24-27.

О ХАРАКТЕРЕ ВЛИЯНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕДИ РЕЖИМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА

Котова Н.В.

Научный руководитель: Громов В.Е., д.ф.-м.н., профессор
Сибирский государственный индустриальный университет,
654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова. 42
E-mail: nataly.kot@mail.ru

Известно, что механические свойства материалов чувствительны к состоянию тонких поверхностных слоев [1], поэтому можно ожидать, что изменение плотности поверхностной энергии, вызванное электрическим потенциалом, может существенно сказаться на такой характеристике металла, как микротвердость. Ранее подобный эффект наблюдался, например, авторами [2] при измерениях микротвердости металлов (Ti, Pb, Zn, Te) в растворах электролитов (NaCl, KBr, Na₂SO₄, Na₂CO₃).

Медь занимает второе место (после серебра) по тепло- и электропроводности медь имеет широкое применение в электротехнике является важным

основанием для исследования влияния электрических и магнитных полей на свойства этого материала.

Цель исследований в настоящей работе - установить влияние электрического потенциала на микротвердость поликристаллической меди в зависимости от режима его подключения.

Испытания проводились при комнатной температуре и низкой влажности. С остав выбранной меди условия испытаний позволили уменьшить толщину окисного слоя на поверхности металла, влияющего на его пластичность, до минимума. Образцы предварительно отжигались при температуре 420 °С в течение 2 часов, затем медленно охлаждались вместе с печью.

Микротвердость меди определялась стандартным способом с помощью микротвердомера ПМТ-3, и использовался пирамидальный индентор Виккерса [3]. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами 50х15х15 мм. Испытания проводились при нагрузках на индентор 30 г (0,3 Н).

Микротвердость рассчитывалась по формуле [3]

$$H_{\mu} = \frac{18540P}{d^2}, \text{ МПа}$$

Правильность результата, получаемого при испытании на микротвердость, во многом зависит от скорости его проведения. При этом необходимо учитывать возможный рост ошибки и измерений из-за появления дополнительных факторов, влияющих на деформацию образца. Условия нагружения должны быть приближены к статическим.

С учетом заложенного были заданы интервалы времени для выполнения в сек необходимых

операций, входящих в рабочий цикл:

- поворот предметного столика 2х2 с=4 с
- нагружение (снятие нагрузки) 2х6 с=12 с;
- выдержка под нагрузкой 10 с;
- выбор места для отпечатка 4 с.

Суммарное время 1 рабочего цикла – 30 с.

Суммарное время 1 серии – 10х30 с=300 с (5 мин).

Измерения выполнялись после проведения всей серии экспериментов, начиная с первого. В ряде экспериментов измерения делались после некоторой выдержки. Было принято считать время, превышающее суммарное время 1 серии (5 мин), временем выдержки до измерения.

Воздействие на образец осуществлялось следующим способом. К изолированному образцу, подвергаемому испытанию, от внешнего стабилизированного источника питания подводился положительный или отрицательный потенциал. Абсолютное значение подключаемого потенциала изменялось в ходе проведения эксперимента.

Исследовался характер влияния на микротвердость режима подключения потенциала, его величины и времени выдержки. При этом варьировались:

- порядки подключения (с возрастанием или убыванием по модулю);
- порядки наращивания потенциала по модулю (с различным шагом);
- порядки измерений (с различными выдержками).

Полученные при указанных режимах испытаний кривые и значения микротвердости приведены далее на рис. 1 - 4. На рис. 1 и 2 представлен обратный порядок подключения. Подводился сразу

наибольший (по модулю) потенциал. Далее он уменьшался до нуля с шагом 0,5 В. Измерения производились сразу после подключения потенциала, без выдержки. Исходная микротвердость составляла 590 МПа.

Характер зависимостей на рис. 1 и 2 практически одинаковый. Это подтверждает, что изменение микротвердости зависит лишь от порядка подключения потенциала по модулю, независимо от его знака. На обоих графиках отмечается рост микротвердости с максимумом при 1 В, что соответствует 20 мин от начала воздействия. Однако неясно, связано ли это с уменьшением модуля потенциала или с ростом времени подключения.

На рис. 3 и 4 представлен эффект для случая прямого порядка подключения. Потенциал

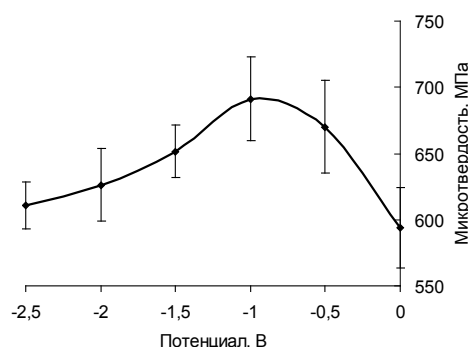


Рис. 1. Зависимость микротвердости от потенциала при его изменении от -2,5 до 0 В (шаг 0,5 В, без выдержки)

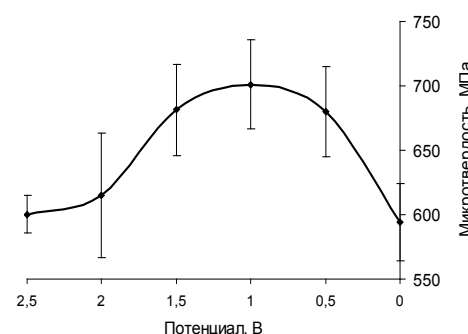


Рис. 2. Зависимость микротвердости от потенциала при его изменении от +2,5 до 0 В (шаг 0,5 В, без выдержки)

увеличивался от 0 до 3,5 В с шагом 0,5 В. Проверялось влияние времени выдержки до измерения на характер зависимости. Измерения производились сразу после подключения потенциала без выдержки (время воздействия 5 мин) либо с 5-минутной выдержкой (время воздействия 10 мин.).

Из рис. 3 следует, что микротвердость растёт, достигая максимума при 2 В. Далее наблюдается насыщение эффекта, и микротвердость остаётся почти постоянной. Сходные результаты демонстрирует и рис. 4: микротвердость растёт, достигая максимума уже при 1 В, с дальнейшим насыщением.

Сравнивая рис. 1-4, можно отметить, что время выдержки, при котором микротвердость достигает максимального значения, во всех случаях одинаково и составляет 20 мин.

Таким образом, установлено, что изменение микротвердости связано не только с величиной приложенного потенциала, но и с порядком подключения, с временем его действия. При произвольном порядке проведения эксперимента сложно выделить влияние перечисленных факторов. Особенно неоднозначно эффект проявляется при обратном порядке подключения, так как уменьшение потенциала по модулю сопровождается ростом времени воздействия. Из полученных данных следует, что существование

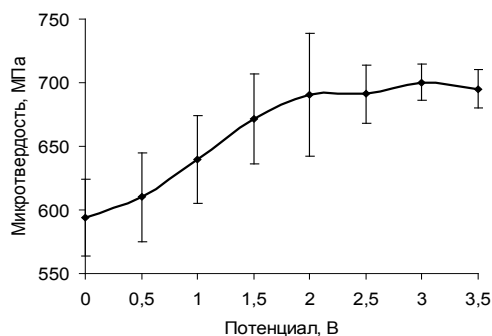


Рис. 3. Зависимость микротвердости от потенциала при его изменении от 0 до 3,5 В, (шаг 0,5 В, без выдержки)

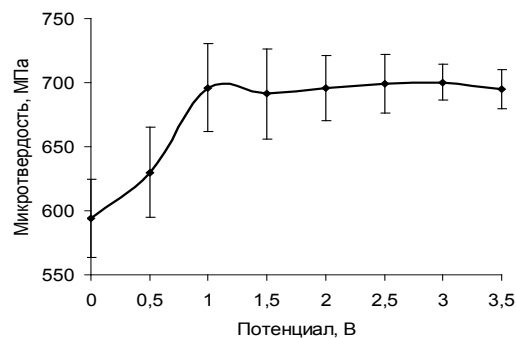


Рис. 4. Зависимость микротвердости от потенциала при его изменении от 0 до 3,5 В, (шаг 0,5 В, выдержка 5 мин)

электрического эффекта не вызывает сомнений, но его величина характеризуется большим коэффициентом вариации (разбросом данных), что вообще характерно для методики измерения микротвердости. По этой причине трудно однозначно оценить характер влияния электрического потенциала.

Для уточнения необходимо определить оптимальный режим электрического заряжения меди, и исследовать зависимость микротвердости от времени выдержки. Это необходимо, чтобы установить время стабилизации эффекта воздействия потенциала, при котором будет наблюдаться наименьший разброс значений микротвердости, и повысить достоверность количественной оценки.

Список литературы

1. Лихтман, В.И. Влияние поверхностно-активной среды на процессы деформации металлов [Текст] / В.И. Лихтман, П.А. Ребиндер, Г.В. Карпенко // М.: Изд-во АН СССР, 1954. - 207 с.
2. Венстрем, Е.К. Электрокапиллярный эффект облегчения деформаций растяжения металлов [Текст] / Е.К. Венстрем, П.А. Ребиндер // ЖФХ. - 1952. - Т. 26. - № 12. - С. 1847-1852
3. Глазов, В.М. Микротвердость металлов [Текст] / В.М. Глазов, В.Н. Вигдорович // М.: Металлургиздат, 1962. - 224 с.

ИЗУЧЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Е.В. Мельников^{1,2}, Г.Г. Захарова²

Научный руководитель: Е.Г. Астафурова² с.н.с., к.ф.м.н. ИФПМ СО РАН

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: astafe@ispms.tsc.ru

Введение

В 1882г. Роберт Гадфильд открыл уникальную по своим свойствам сталь, которая и используется в разных отраслях промышленности: угольной, нефтяной, горной и др. Сталь Гадфильда обусловлено рядом её ценных качеств: высокая износостойчивость при трении с давлением и ударами, высокая вязкость и пластичность, склонность к упрочнению при деформации. Свойства стали Гадфильда широко изучались на поликристаллах [1], работ с монокристаллами мало. Монокристаллы в чистом виде позволяют исследовать анизотропию механических свойств и механизмов деформации материала.

В данной работе представлены экспериментальные данные по исследованию ориентационной зависимости стадийности пластического течения, механизма деформации и эволюции следов деформации на поверхности образцов при сжатии <113>, <111>, <1510>, <144> <123> монокристаллов аустенитной стали Гадфильда Fe-13Mn-(1.0-1.3)C (мас. %) при комнатной температуре.

Материалы и методы исследования

Монокристаллы выращивали методом Бриджмена. Образцы для механических испытаний вырезали в форме параллелепипедов с размерами 3*3*6 мм³. После травления и механической шлифовки образцы электролитически полировали в растворе 25 мл Cr₂O₃ + 210 мл H₃PO₄ при комнатной температуре. Механические свойства изучали на электромеханической установке INSTRON 3369 при комнатной температуре со скоростью $\dot{\varepsilon} = 4 \times 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$. Металлографические наблюдения эволюции линий скольжения поверхности деформируемых образцов проводили на оптическом микроскопе OLYMPUS GX71.

Дислокационную структуру и исследовали на электронном микроскопе Philips CM 30. Для обнаружения следов деформированного кристалла использовали опыты с переполировкой и травлением. Фотографии для электронно-микроскопических исследований готовили из образцов, подвергнутых пластическому течению деформации на нужную степень $\varepsilon = \Delta l / l$.

Результаты исследования

Экспериментально установлена ориентационная зависимость критических скалывающих напряжений $\tau_{кр} = m \cdot \sigma_{0.2}$ (m-фактор Шмида) [2] и механизма деформации <113>, <111>, <1510>, <144> <123> монокристаллов стали Гадфильда при сжатии. В ориентациях <144>, <1510> $\tau_{кр}$ имеют наименьшие значения, а в <111> наибольшие (таб. 1). В монокристаллах <111> деформация развивается с ползанием, сопровождается образованием полос локализованной деформации, а в <113>, <1510>, <144> <123> монокристаллах – однородно по всему объему образца. На первой стадии при сжатии <113>, <1510>, <144>, <123> монокристаллов пластическое течение происходит с низким упрочнением и реализуется за счет развития механического двойникования.

Таблица 1. Ориентационная зависимость предела текучести, пластичности и коэффициентов деформационного упрочнения монокристаллов стали Гадфильда.

	<111>	<113>	<144>	<1510>	<123>
m	0.27	0.45	0.42	0.49	0.45
$\sigma_{0.2}$, МПа	520	300	300	250	300
$\tau_{кр}$, МПа	140	135	126	123	135
$\varepsilon_{пл}$	0.25	0.25	0.25	0.45	0.25

$\Delta\sigma$, МПа	350	390	310	400	550
$\theta_{общ.}$	1400	1600	2000	900	2200

Металлографические и электронно-микроскопические исследования $\langle 111 \rangle$ монокристаллов показали, что с предела текучести развивается сдвиг. На первой стадии упрочнения происходит образование полос локализованной деформации. Образование таких полос делит весь объем кристалла на деформированные и недеформированные области (рис. 1). При деформации решетка внутри полос поворачивается, а вне полос сохраняет свою ориентацию. С ростом степени деформации угол разориентировки между деформированной и недеформированной частями образца растет и составляет 3–4°. Решетка внутри полосы с деформацией поворачивается в направлении полюса [011] таким образом, что фактор Шмида в полосе непрерывно растет, вызывая эффект геометрического упрочнения в ней. Полосы не имеют

четкой границы, состоят из сегментов, которые существенно разориентированы друг относительно друга (рис. 1). Рентгенографические исследования и двухследовый анализ показывают, что границы этих сегментов отклонены от плоскостей типа $\{111\}$ на угол 12° . Опыты с переполровкой и травлением поверхности образца подтвердили тот факт, что полосы деформации не имеют четкой кристаллографической ориентации и, следовательно, являются макроскопическими полосами локализованной деформации. Пластическая деформация сосредоточена в полосах и происходит как сдвиг, так и двойникованием. При деформировании $> 15\%$ пластическое течение становится устойчивым, характеризуется большой скоростью упрочнения по сравнению со стадией образования полос сдвига и происходит во всем объеме материала.

В $\langle 113 \rangle$, $\langle 1510 \rangle$, $\langle 144 \rangle$, $\langle 123 \rangle$ монокристаллах локализации деформации не обнаружено.

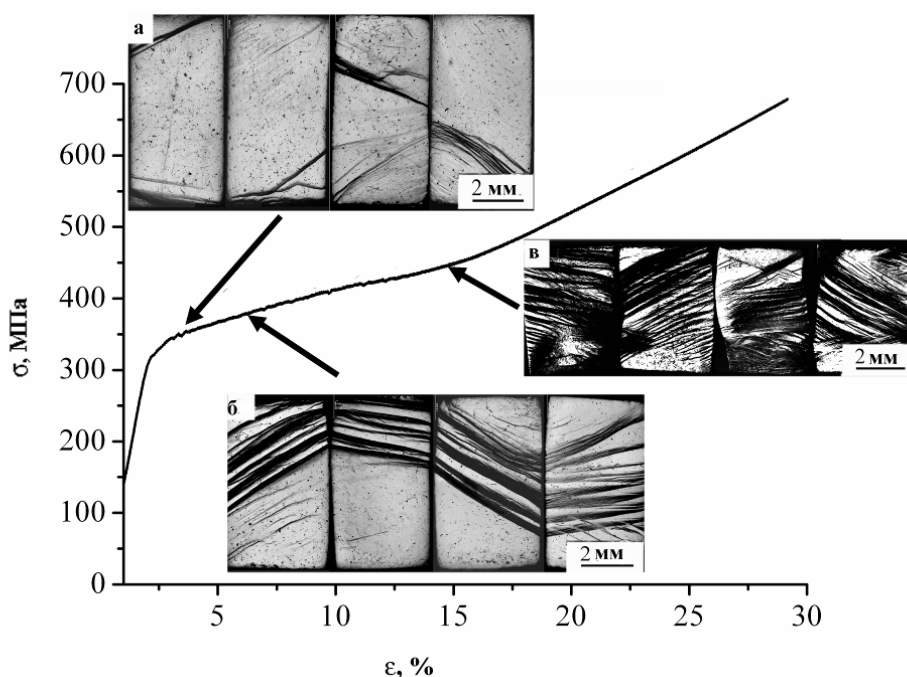


Рис. 1. Кривая течения и металлографические картины поверхности деформированного $\langle 111 \rangle$ монокристалла стали Гадфильда при одноосном сжатии: $\varepsilon = 3\%$ (а); $\varepsilon = 6\%$ (б); $\varepsilon = 15\%$ (в).

Выводы

1. Экспериментально показано, что при сжатии монокристаллов стали Гадфильда наблюдается ориентационная зависимость критических сдвигающих напряжений и механизма деформации.

2. Металлографические и электронно-микроскопические исследования показали, что в ориентации $\langle 111 \rangle$ деформация

происходит за счет образования и развития полос локализованной деформации, а в $\langle 113 \rangle$, $\langle 123 \rangle$, $\langle 1510 \rangle$, $\langle 144 \rangle$ деформация с предела текучести повсюду развивается однородно.

3. Установлено, что ориентационная зависимость

локализации деформации связана с

ориентационной зависимостью механизма деформации. Множественное скольжение с предела текучести способствует образования полос локализованной деформации, а механическое взаимодействие подавляет их развитие.

Список литературы

1. Raghavan K.S., Sastri A.S., Marcinkowski M.J. // Trans. of the Met. – 1969. – V.245. – P.1569–1575.
2. Бернер Р., Кронмюллер Г. Пластическая деформация металлов. – М.: Мир, 1969 – 272с.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД КРОВЛИ ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЯ

Кузнецова А.В., Смолин И.Ю.

Научный руководитель: Смолин И. Ю., д.ф.-м.н., доцент

Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36

E-mail: KuznetsovaA@sibmail.com

Введение

В современных условиях применения высокопроизводительного горного оборудования и значительного увеличения скоростей продвижения забоя угледобывающих шахт актуальной для обеспечения безопасности поведения подземных работ стала проблема пересмотра основ расчета напряженно-деформированного состояния в окружающем выработку полезного ископаемого горном массиве при высокопроизводительной выемке угольных пластов. Например, наблюдаемые шаги обрушения кровли не соответствуют показателям, рассчитанным по действующим нормативным документам. Для объяснения и описания этого явления в работе [1] предлагается использовать экспериментально установленную зависимость прочности горных пород от скорости и нагружения. В данной работе предлагается другой подход.

Цель настоящей работы — продемонстрировать, что применение вязкопластических моделей позволяет описать и смоделировать численно увеличение шагов обрушения кровли очистных горных выработок при увеличении скорости продвижения очистного забоя.

Метод расчета и определяющие соотношения вязкопластической среды

Для расчета была использована программа Tochnog [2], которая позволяет решать широкий класс задач, в том числе и геомеханики, методом конечных элементов. Для описания реакции геоматериалов в ней имеются такие модели материалов, как

упругопластические модели Друккера–Прагера, Кулона–Мора, вязкоупругие и вязкопластические модели.

Используется неассоциированный закон пластического течения, являющийся развитием модели Друккера–Прагера [3] с функцией текучести (пластическим потенциалом):

$$f = \alpha J_1 + \sqrt{J_2} - Y$$

и пластическим потенциалом

$$g = \beta J_1 + \sqrt{J_2}$$

Здесь α — коэффициент внутреннего трения, β — коэффициент дилатансии, Y — сдвиговая прочность материала или сцепление, J_1 и J_2 — соответственно первый и второй инварианты тензора напряжений σ_{ij} .

При использовании такой модели компоненты тензора скоростей пластических деформаций имеют следующий вид:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \dot{\lambda} \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}} = \dot{\lambda} \left(\beta \delta_{ij} + \frac{s_{ij}}{2\sqrt{J_2}} \right)$$

Здесь $\dot{\lambda}$ — пластический множитель, который вычисляется из условия, что напряжения находятся на поверхности текучести, δ_{ij} — символ Кронекера, а s_{ij} означают компоненты девиатора тензора напряжений. Таким образом, пластическая деформация имеет не только сдвиговой, но и объемный характер.

Таким образом, скорость пластических деформаций не зависит от времени, материал является чувствительным к скорости нагружения.

Для того чтобы учесть скоростную чувствительность, и используются вязкопластические модели — модели пластичности с учетом влияния скорости деформации. Одним из вариантов построения вязкопластических моделей

является обобщение закона текучести путем замены пластического множителя на некоторую безразмерную функцию от функции текучести, умноженную на скоростной параметр.

В качестве примера приведем формулу для сжимаемой модели, которая имеется в программе Tochnog:

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \eta \left(\frac{f}{f^{ref}} \right)^p \frac{\partial g}{\partial \sigma_{ij}}$$

Здесь η – параметр текучести (величина обратно пропорциональная вязкости), f^{ref} – исходное значение функции текучести, p – параметр модели.

В отличие от чисто пластических моделей в этом случае напряжения могут превышать на некоторое время предел текучести. Возникающие при этом напряжения постепенно уменьшаются со временем по мере развития пластических деформаций.

Описание геометрических характеристик и физических свойств расчётной модели

Численное моделирование было проведено для модельного объекта, характерного для шахт Кузбасского региона. Расчетная схема представляет собой пространственно-геометрическую модель, включающую пласт угля и слои вмещающих пород, окружающие выработку полезного ископаемого. Разделение на слои обусловлено разным составом и физико-механическими свойствами слагающих их горных пород. Сверху полезного ископаемого выделяют непосредственную и основную кровли, а снизу — непосредственную и основные почвы.

Физико-механические свойства угля и вмещающих пород, использованные в расчетах в данной работе были выбраны на основе имеющихся в научной литературе данных. Поскольку значений для параметров выбранной вязкопластической модели найти не удалось, то величина параметра текучести была выбрана из условия соответствия результатов расчетов по ряду величин с данными по шагам обрушения кровли из практики работы угольных шахт, а параметра p был принят равным единице.

На верхней грани расчетной области прилагается давление вышележащих слоев пород, соответствующее заданной глубине залегания угольного пласта. Нагрузка задается также действием сил тяжести во всей области. Нижняя грань закреплена в вертикальном направлении. Боковые грани — вертикальные оси симметрии (запрещено смещение в горизонтальном направлении). Кроме того, в процессе расчета в пласте угля

появляется и растет в одном направлении горная выработка, что обуславливает изменение геомеханической обстановки в исследуемом объеме горного массива (рис. 1). В начальный момент времени выработка отсутствует. В процессе расчета часть конечных элементов убирается, и тем самым задается образование очистной горной выработки и изменение ее размеров за счет продвижения забоя. Примеры конечно-элементных аппроксимаций при разных размерах выработки показаны на рис. 1. Размер расчетной области составил 400×200 м². Расчетная сетка при отсутствии горной выработки — 134×200 ячеек. Использовались прямоугольные четырехугольные элементы. Каждый конечный элемент вдоль горизонтальной оси X имеет размер 3 м, поэтому минимальное расстояние, на которое может измениться размер горной выработки, также составляет 3 м.

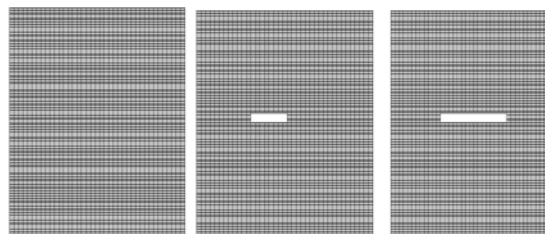


Рис. 1. Сетка конечных элементов в нетронутом горном массиве и при продвижении горной выработки

Результаты расчетов и их обсуждение

Хотя задача решается как квазистатическая, но расчет ведется с явным указанием шагов по времени и использованием их при интегрировании определяющих соотношений. Таким образом, изменяя это время можно варьировать скорость продвижения забоя. Расчеты были проведены для двух таких скоростей: 30 и 60 м/мес.

При такой постановке задачи и имеется возможность оценить влияние скорости продвижения забоя на шаг обрушения кровли. Для определения условия обрушения нужно выбрать соответствующий критерий. В нашем случае более подходящими кажется признать критерии, основанные на развитах неупругих деформаций со временем или работе напряжений на таких деформациях.

Результаты проведенных расчетов и сравнение их с данными работы угольных шахт показали, что за критическое значение накопленных неупругих деформаций можно принять значение порядка $2 \cdot 10^{-6}$.

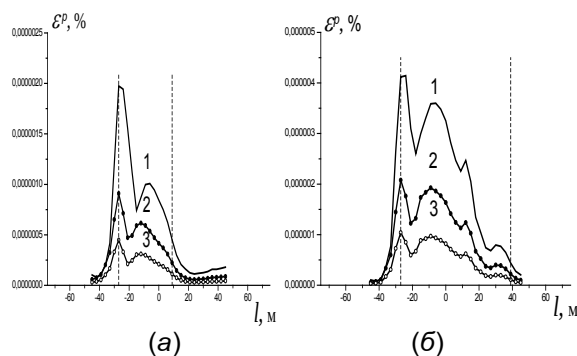


Рис. 2. Распределение интенсивности пластических деформаций в непосредственной кровле над выработкой (границы выработки показаны пунктирными вертикальными линиями) длиной 36 м (а) и 66 м (б) при разных скоростях продвижения забоя: 1 – 30 м/месяц; 2 – 60 м/месяц; 3 – 90 м/месяц

Заключение

Проведенные расчеты с применением вязкопластической модели с учетом ряда подтвердили возможность описать увеличение шага обрушения кровли при увеличении скорости продвижения забоя в угольных шахтах. Предложенный алгоритм оценки начального шага обрушения

непосредственной кровли после привязки параметров вязкопластической модели к данным экспериментального исследования вязких свойств вещающих пород и уточнения критерия обрушения кровли может быть использован в реальных условиях шахт Кузбасского региона.

Список литературы

1. Иванов А.С., Сдвижкова Е.А., Бабец Д.В. Численное моделирование влияния скорости обнажения горных пород на механические процессы вблизи сопряжения очистной и подготовительной выработки // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників – 2009". – Т. 3. – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – с. 37–44.
2. Руководство пользователя TOCHNOG [Электронный ресурс], 2004 – Режим доступа: <http://tochnog.sourceforge.net>, свободный.
3. Друкер Д., Прагер В. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2. Определяющие законы механики грунтов. – М.: Мир, 1975. – С. 166–177.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS ДЛЯ РАСЧЕТА НДС ОБРАЗЦОВ СПЛАВА Д16

Куприянов С.Н., Панин С.В., Бяков А.В.

Научный руководитель: Панин С.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30

ИФПМ СО РАН

E-mail: kupr14@rambler.ru

Введение

В настоящее время расчет многих научных задач проводится с помощью ЭВМ, что позволяет путем компьютерной имитации различных экспериментов снизить трудоемкость, дороговизну и временные затраты. Значительное удобство при разработке и проектировании деталей машин и элементов конструкций представляют системы автоматизированного проектирования (САПР), для которых в настоящее время основным недостатком является сложность создания адекватной компьютерной модели поведения нагруженного материала, учитывающей как особенности структуры материала, так и ее эволюцию при нагружении [1]. Отметим, что

САПР для проектирования деталей машин наиболее корректно работают для расчета их поведения в упругой области нагружения [2].

Материал и методика исследований

Для компьютерного моделирования эксперимента был использован учебный программный пакет ANSYS/ED 5.5. В качестве материала для исследования был выбран алюминиевый сплав Д16АТ.

Граничные условия: с одной стороны образцы были закреплены идеально жестко, а с другой подвергались воздействию распределенной нагрузки от 0 до заданного значения (условия одноосного статического

растяжения). У словием прекращения испытания являлось достижение нагрузки, при которой начинается разрушение образцов в реальном эксперименте.

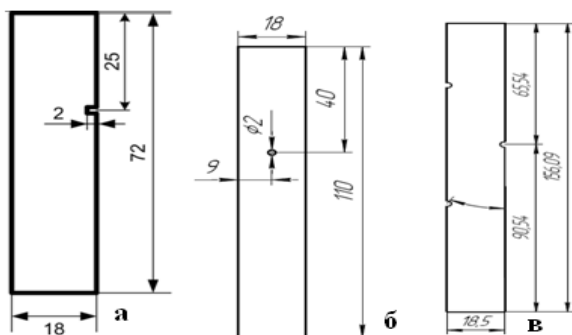


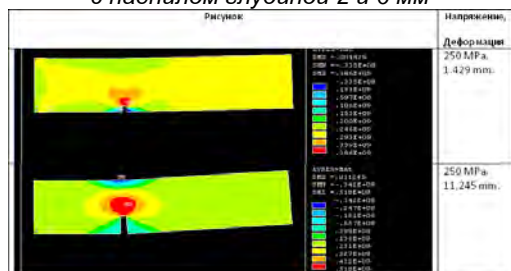
Рис. 1. а) Образец с надпилем (глубина надпила меняется от 2 до 6 мм с шагом 1 мм); б) Образец с отверстием (диаметр отверстия меняется от 2 до 5 мм с шагом 1 мм); в) Образец с 3-мя надрезами (угол принимает следующие значения 30, 45, 60, 70°).

Д16 имеет модуль упругости $E \approx 15 \cdot 10^9$ Па. Испытания проводились на образцах в форме пластин, имеющих толщину 1 мм. Схематическое представление образцов показано на рисунке 1.

1. Надпилы

При проведении расчетов рассматривали поведение образцов с различной глубиной надпила 2÷6 мм. Данные о величинах напряжений и деформации для образцов с надпилем глубиной 2 мм и 6 мм приведены в таблице 1.

Таблица 1. Распределение напряжений в образцах с надпилем глубиной 2 и 6 мм



В ходе растяжения образцов с надпилем наибольшее напряжение формировались в области его вершины. При нагрузке 250 МН/м² максимальное напряжение в образце с надпилем 2 мм составило 386 МПа, максимальная деформация равна 1,429 мм. В образце с надпилем 6 мм напряжение составило 510 МПа, деформация равна 11,245 мм. Полученные на основании данных экспериментальных исследований

диаграммы нагружения приведены на рисунке 2.

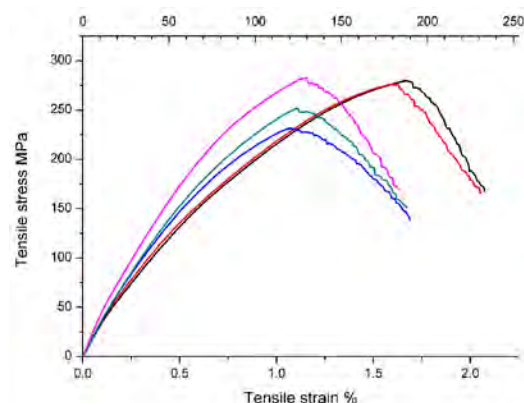
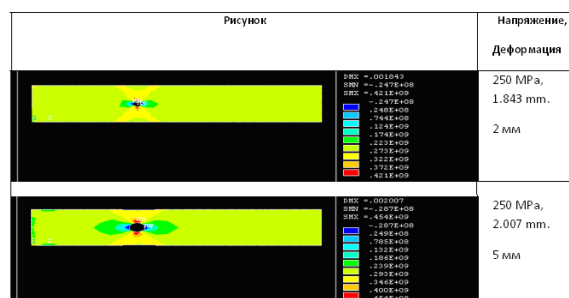


Рис. 2. Кривая напряжение-деформация для образцов с надпилем.

2. Отверстия

Во второй серии расчетов в образцах варьировали диаметр отверстия от 2 до 5 мм. Значения напряжений и деформаций для образцов с отверстием диаметром 2 мм и 5 мм приведены в таблице 2.

Таблица 2. Распределение напряжений в образцах с отверстиями диаметром 2 и 5 мм



В ходе растяжения образцов с отверстием наибольшие напряжения сформировались в окрестности отверстия. При нагрузке 250 МН/м² максимальное напряжение в образце с отверстием 2 мм составило 421 МПа, максимальная деформация равна 1,843 мм. В образце с отверстием 5 мм напряжение составило 454 МПа, деформация равна 2,007 мм. Экспериментально полученные диаграммы нагружения приведены на рисунке 3.

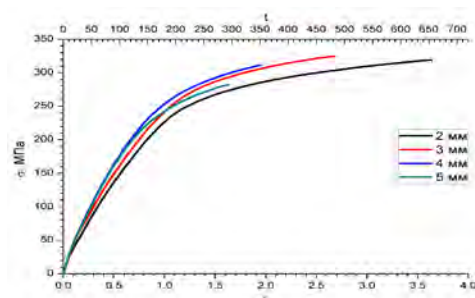


Рис. 3. Кривая напряжение-деформация для образцов с отверстием.

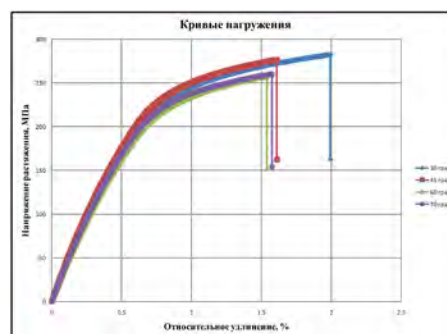


Рис. 4. Кривая напряжение-деформация для образцов с надрезами.

3. Надрезы

В ходе испытаний угол между надрезами принимал значения 30° , 45° и 60° . Значения напряжений и деформаций для образцов с углами 30° , 45° и 60° приведены в таблице 3.

В ходе растяжения образцов с 3-мя надрезами наибольшие напряжения сформировались в областях вершин надрезов. При нагрузке 200 МН/м^2 при всех углах сформировалось напряжение около 376 МПа , максимальная деформация составила около $2,107 \text{ мм}$. В области между надрезами при нагрузке свыше 150 МПа образуется участок с повышенным напряжением до 245 МПа , с вызывающий надрезы линиями, расположенными под углом $\sim 45^\circ$ к направлению действия внешней нагрузки. Экспериментальные кривые для образцов с тремя надрезами на графике на рисунке 4.

Таблица 3. Распределение напряжений в образцах с надрезами, расположенными под углом 30° , 45° , 60°

Рисунок	Напряжение, Деформация
	200 МПа , $2,106 \text{ мм}$, 30°
	200 МПа , $2,107 \text{ мм}$, 45°
	200 МПа , $2,107 \text{ мм}$, 60°

Заключение

Различия в характере развития деформации в образцах с отверстиями и надпилем связано с изменением характера локализации деформации и ее более ранним выходом на макромасштабный уровень в образцах с диаметром отверстия 5 мм и глубиной надпила $4\text{--}6 \text{ мм}$.

В образцах с 3-мя надрезами при приложенной распределенной нагрузке свыше 150 МПа формируется характерное поле повышенных напряжений, представляющее собой макрополосы локализованной деформации, ориентированные под углом 45° к направлению действия нагрузки и соединяющее соседние надрезы.

В ближайшее время запланированы исследования указанных образцов с учетом разрушения материала.

Список литературы

1. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справочное пособие, М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
2. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Орефьева М.А. ANSYS в руках инженера: практическое руководство. М.: Едиториал УРСС, 2004. – 272 с.

ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СОДЕРЖАЩИЙ В КАЧЕСТВЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ

Лаптев И.С., Огнев А.Ю., Теплых А.М.

Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
Россия, 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: ilya_laptev_nstu@mail.ru

Разработка композиционных материалов на основе различных форм углерода является актуальной с современной задачей. Развитие в ведущих отраслях промышленности напрямую зависит от того, в какой степени будет решена проблема разработки и обеспечения этих отраслей новыми конструктивными и функциональными материалами, обладающими свойствами, недостижимыми при использовании материалов предыдущих поколений. Установленные факты изменения механических свойств композитов, модифицированных наноразмерными наполнителями, свидетельствует о перспективности использования данных материалов в авиационной, ракетно-космической отрасли машиностроения, автомобилестроении и др.

В связи с этим целью данной работы является повышение комплекса механических свойств композиционных материалов на полимерной основе. Одним из способов достижения этой цели может являться введение в полимерную матрицу углеродных нанотрубок.

При решении поставленной задачи были проделаны следующие этапы:

- 1) получение углеродных нанотрубок;
- 2) структурные исследования исходного углеродного материала;
- 3) получение опытных образцов композиционного материала;
- 4) структурные и исследования полученных образцов;
- 5) обобщение полученных результатов и формирование направлений дальнейших исследований.

Полимеры являются довольно распространенными материалами и их существует огромное множество. В качестве матрицы для композиционного материала были выбраны типичные, часто встречающиеся полимеры – полистирол, каучук и эпоксидная смола. Композиционные материалы на основе полистирола применяются в узлах трения, строительной индустрии, бытовой сфере. Эпоксидные смолы нашли широкое применение при производстве строительных полимерных композиционных материалов (ПКМ) – полимеррастворов, полимербетонов, клеев,

защитных покрытий и др. Каучук применяется при производстве резин для автомобильных и авиационных шин.



Рис. 1. Фотография установки электродугового испарения графита.

Данная работа проводится совместно с Институтом неорганической химии СО РАН, в котором накоплен большой опыт по получению и исследованию углеродных нанотрубок. На фотографии (рис. 1) представлена установка для дугового синтеза углеродных нанотрубок. Принцип действия установки заключается в том, что в рабочей камере происходит испарение графита в плазме, возникающей между электродами. Рост нанотрубок происходит на водоохлаждаемых стенках камеры и на одном из электродов.

В ходе работы методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии, а также рентгеноструктурного анализа исследовано исходное структурное состояние углеродных нанотрубок и их конгломератов.

Рентгеновская дифракция показала наличие в углеродном материале графита, а если точнее, графитоподобных структур. Фактически, структуры графита и углеродных

нанотрубок аналогичны и представляют собой атомы углерода, образующие шестигранники. Поэтому на дифрактограмме графит и углеродные нанотрубки выглядят одинаково. Так как данный метод анализа не позволяет точно установить наличие в образцах углеродного материала нанотрубок, были проведены исследования методами электронной микроскопии.

Фотографии (рис. 2, 3), полученные растровой микроскопией, свидетельствуют о том, что в исследуемом порошке присутствуют как углеродные нанотрубки, так и аморфный углерод в виде скопления сажи. Длина нанотрубок достигает нескольких микрометров.

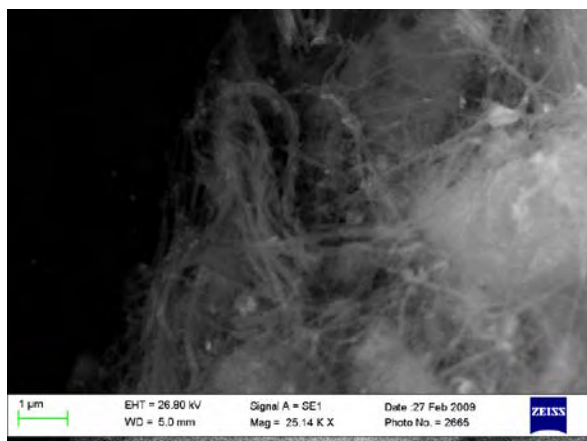
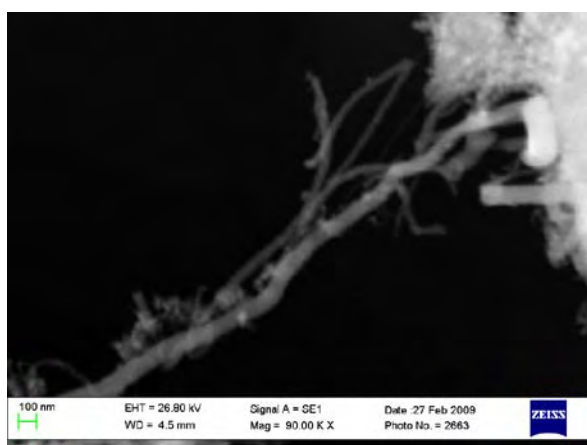


Рис. 2, 3. Растровая электронная микроскопия (РЭМ) исходных конгломератов углеродных нанотрубок, полученных методом CVD.

Следующим этапом работы была подготовка образцов. Так как материалы различны, то и образцы для испытаний подготавливались различными способами.

На полученных образцах с помощью электронной микроскопии выявлено влияние морфологии конгломератов нанотрубок на качество их соединения с полимерной матрицей. Введение углеродных нанотрубок

в эпоксидную смолу приводит к появлению в материале электрической проводимости, что делает возможным исследование образцов композиционного материала на растровом микроскопе. Для того чтобы выявить строение материала, производилось разрушение образцов. Нагружение осуществлялось по схеме сжатия на установке Instron модели 3369. Электронномикроскопическому исследованию подвергались образцы с образовавшимися в процессе сжатия трещинами.

Интересная особенность заключается в том, что в тех местах трещин, где зафиксированы отдельные трубки, наблюдаются утолщения, в виде нароста эпоксидной смолы. Это свидетельствует о том, что трубка вытягивается из материала матрицы и вытягивает за собой материал матрицы. И это, безусловно, говорит о прочной связи между нанотрубкой и материалом матрицы (рис. 4).

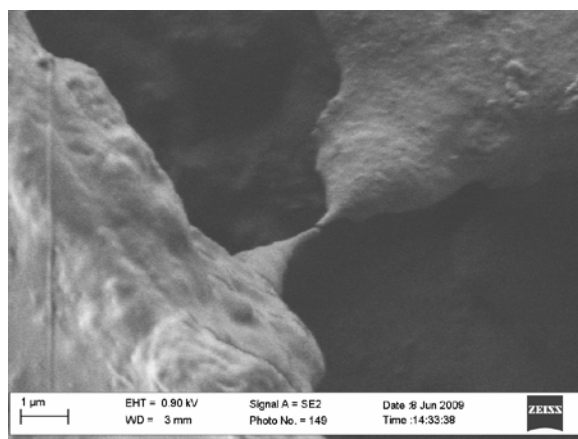


Рис. 4. Изображение, полученное на РЭМ. Углеродная нанотрубка в эпоксидной матрице, закрепленная в обеих стенках трещины.

В качестве итога можно предположить, что на уровне одной трещины, вливание агломерата существенно. Трещина в нем эффективно заживает. Однако в этом случае теряется роль углеродных нанотрубок как уникального наполнителя. Если же вокруг каждой нанотрубки образуется связанный с ней слой смолы, это может существенно изменить механические свойства композита.

Таким образом, на данном этапе отработаны технологические процессы разделения углеродных нанотрубок, ввода их в полимеры, получения композиционных материалов с использованием матричных материалов двух типов. Предполагается продолжить изучение механизмов разрушения полимерных

углероднаполненных композитов, изучить прочностные и триботехнические свойства материалов.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТАКТОРОВ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

Дробяз А.А., Ложкин В.С.

Научный руководитель: к.т.н, профессор Буров В.Г.
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»,
Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: logkaa@mail.ru

В последние годы широкое распространение в мировой практике получили вакуумные коммутационные аппараты. В период эксплуатации в вакуумных дугогасительных камерах наблюдается возможность коммутационных перенапряжений при отключении малых индуктивных токов. Состав материала контактов в вакуумных камерах не обеспечивает быстрой конденсации плазмы паров металла в камере, вследствие чего существует высокая вероятность повторного зажигания дуги с сопутствующей эрозией и скачком напряжения при отключении неразвернутых или заторможенных электродвигателей.

Новосибирский электровакуумный завод, занимающийся производством коммутационного оборудования, в частности вакуумных выключателей. При их производстве используют контакторы зарубежного производства, так как отечественная продукция является неудовлетворительного качества. Ведущие специалисты завода обратились, на кафедру «Материаловедение в машиностроении» НГТУ за помощью в разработке отечественного аналога контактора. Будущий контактор должен состоять из печенной порошковой композиции серебра и карбида вольфрама, в процентном соотношении 40:60 соответственно. Заказчик, также, строго определил допустимое содержание газов и физические свойства композиции материала, который необходимо получить.

В работе решалась задача разработки технологии изготовления контактного материала с заранее заданными свойствами. Анализ литературных данных показал, что на сегодняшний день предложено большое количество технологий оплавления порошковых композиций, которые позволяют получить материалы различные по структуре и свойствам [1, 2]. В работе использовались две технологии: спекание порошковых смесей в вакуумной печи и спекание с применением вневакуумной электронно-лучевой обработки.

В качестве материала исследования использовалась печенная металлическая смесь порошков карбида вольфрама и серебра. Спекание осуществлялось на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6 Института ядерной физики (г. Новосибирск), при силе тока 8, 10, 14 мА, при этом состояние образца составляло 350 мкм, время воздействия 1-2 минуты. Порошки карбида вольфрама и серебра смешивались в ультразвуковой установке, затем прессовались с усилием 20 тонн. Полученные после прессования таблетки в форме цилиндров диаметром 50 мм и высотой 12 мм, помещались в стеклянный стакан, на полость которого была нанесена термостойкая керамическая обложка, для предотвращения химического взаимодействия карбида вольфрама со сталью.

Электронно-микроскопические исследования полученных образцов показали, что в процессе вневакуумного электронно-лучевого оплавления образуются неоднородная структура композиции материала, представляющая собой обособленные конгломераты частиц карбида вольфрама, окруженные островками серебра (рис. 1). Микротвердость частиц карбида вольфрама составляет 23000 – 24000 МПа. Более детальный анализ композиции материала показал, при этом наличие значительного количества пор (рис. 2). При проведении электронно-лучевой обработки температура расплава была достаточной для образования эвтектики, смеси карбидов WC-W₂C, называемой релит. Литературные данные по влиянию этой структурной составляющей на свойства карбидо-вольфрамовых композиций неоднозначны [3, 4]. В одних случаях указывается на положительное влияние, в частности, на износостойкость композитов, в других - на негативное.

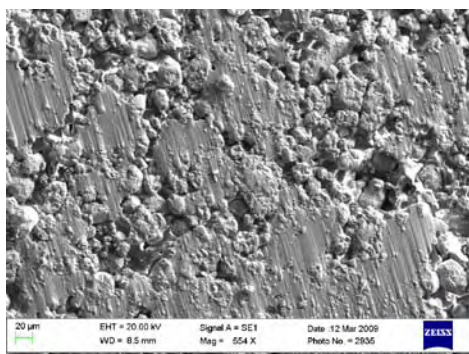


Рис. 1. Конгломераты частиц WC, окруженные островками серебра.

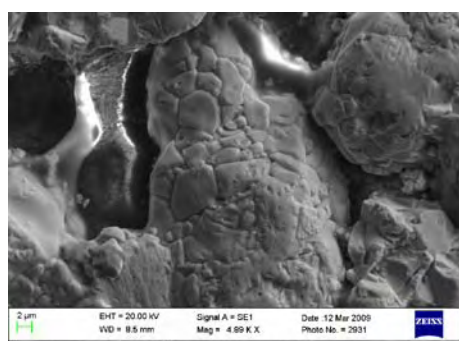


Рис. 2. Структура композиционного материала

Заключение

На данный момент исследования спечённых композиционных образцов WC-

Ag40, полученных методом электронно-лучевой обработки, показало, что эта технология является несовершенной с позиций подбора режимов получения композиции с требуемыми свойствами. В дальнейшем предполагается и использовать технологию традиционного вакуумного спекания, в которой возможно плавное регулирование параметрами процесса получения композита.

Список литературы

1. Батаев А. А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение / Учебник. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 384 с.
2. Анциферов Г.В., Бобров Г.В., и др. Порошковая металлургия и напыленные покрытия / Учебник для вузов - М.: Изд-во Металлургия, 1978. - 792 с.
3. Косолапова Т. Я. Карбиды. - М.: Металлургия, 1968. - 300 с.
4. Денисова Н. Е., Шорин В. А. Триботехническое материаловедение и триботехнология / Учебное пособие. - Пенза.: Изд-во Пенза. гос. ун-та, 2006. - 248 с.

ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬТОВОГО ВОЛОКНА

Лубнина А.Ю.

Научный руководитель: Кондратюк Е.В., к.т.н., доцент
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, Россия, г.Барнаул, пер. Некрасова, 64
E-mail:lubnina.alisa@mail.ru

Проблема очистки артезианских вод в Сибири стоит весьма остро, так как часто они являются основными и источниками водоснабжения. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 содержание ионов марганца и железа в питьевой воде должны составлять соответственно 0, 1 и 0,3 мг/л, требование многих производств по концентрации этих ионов значительно жестче [1]. Существующие материалы, используемые в качестве загрузки в фильтрах различного вида, имеют свои недостатки, а именно: высокую насыпную плотность, и стираемость, ограничения по содержанию вредных веществ, растворенных газов, и сходным

концентрациям железа и марганца, содержащимся в очищаемой воде. Большинство используемых фильтровальных материалов в качестве основы имеют зернистые материалы различной степени дисперсности. При изготовлении современных материалов для очистки воды наблюдается тенденция перехода от зернистых материалов к волокнистым, которые имеют более развитую поверхность в единицу массы, что позволяет получить загрузку нужной высоты, но значительно меньшей массы.

Волокнистым материалом, который служил матрицей для изготовления

композитного материала, в рамках данной работы было выбрано базальтовое волокно. Базальтовое волокно отличается высокой прочностью, химической и механической стойкостью. Его получают раздуванием с труи расплава горных пород (базальта) с жатым воздухом. Оно представляет собой супертонкое штапельное волокно, скрепленное между собой с илами естественного сцепления без связующего.

Средний диаметр волокна от 6 до 8 мкм, плотность от 2,5 до 35 кг/м³, теплопроводность 0,042 В·К). т/(мВ зависимости от способа получения в волокно может быть промасленным и воздушным [2]. Химический состав базальтового волокна представлен следующими соединениями: SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, TiO₂, Fe₂O₃ и Na₂O.

Являясь природным материалом, он распространен повсеместно. При покрытии волокон каталитической пленкой на основе оксидов марганца, получили материал со свойствами нехарактерными для самого волокна.

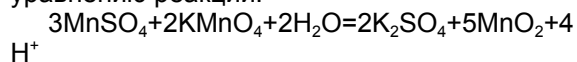
Целями данной работы являлись:

- разработка способа получения композитного материала на основе базальтового волокна, покрытого каталитической пленкой из оксидов марганца и исследование свойств и характеристик полученного материала;
- определение эффективности работы материала при проведении процессов водоподготовки и водоочистки.

В практике водоочистки от ионов марганца и железа используется множество методов очистки, которые выбираются в зависимости от объема вод, подвергающихся очистке, исходных концентраций данных ионов, содержания в звешенных веществах т.д. Весьма распространен метод фильтрации через различные зернистые загрузки. Такие материалы могут представлять собой песок различной крупности, угли, куски различных пород опрделенной фракции, покрытые каталитической пленкой на основе оксидов переходных металлов. Оксиды марганца весьма разнообразны и обладают высокой способностью к катализировать реакции окисления железа и марганца растворенным в воде кислородом. Образовавшиеся гидроксиды этих металлов при фильтровании через загрузку задерживаются на ее поверхности и являются дополнительными катализаторами, а так как и имеют развитую поверхность, то и сорбентами.

Согласно осуществленному в начале работы патентному поиску, существует множество способов получения каталитической оксидной пленки, в качестве основного был выбран следующий способ.

Навеска волокна подвергалась выщелачиванию с лабам раствором соляной кислоты для подготовки поверхности волокон. После перемешивания в течение 30 минут волокно отмывали. Затем отмытое волокно заливали раствором сульфата марганца и встряхивали в течение часа, после чего добавляли раствор перманганата калия. В волокно ставляли в одной реакционной смеси для проведения реакции образования оксидов и осаждения их на поверхности в волокна. После проществии нескольких часов в волокно и звлекали из реакционной среды и отмывали. Отмытое волокно помещали в сушилку до полного высыхания. Для получения наиболее качественной пленки было проведено три серии опытов, в которых использовали растворы сульфата марганца и перманганата калия различных концентраций. Согласно уравнению реакции:



был рассчитан теоретический массовый выход каталитической пленки. Полученный в каждой серии опытов материал использовался в эксперименте для проверки эффективности работы. Материал загружали в колонку диаметром 33 мм и пропускали через него воду с исходной концентрацией марганца 1 мг/л со скоростью 6 м/ч. Эффективность работы каждого из материалов отражена на рисунке 1.

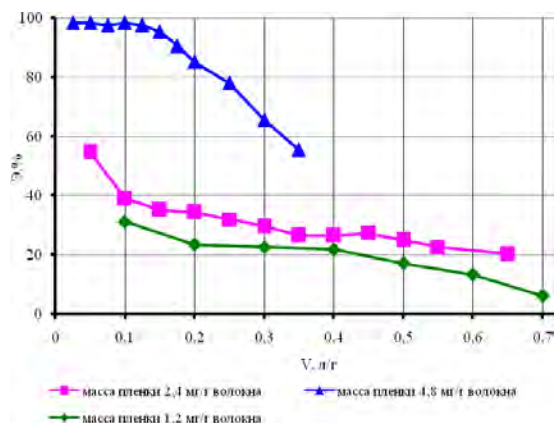


Рис. 1. Зависимость эффективности очистки марганецсодержащей воды от объема раствора, пропущенного через полученный материал раствора

Для закрепления пленки на поверхности волокна материал, полученный в последней серии опытов, прокаляли в печи при температуре 400 °С в течение 1 часа. Оценку эффективности процесса дегидратации проводили при тех же условиях, что и в предыдущих экспериментах. По его результатам сделали вывод, что прокаливание не способствует улучшению

закреплению, по этому провели 2 серии опытов по химическому закреплению пленки на поверхности волокна.

Оксидная пленка на поверхности волокна образуется благодаря окислению ионов марганца, которое идет более быстро и полно при повышении pH. При проведении четвертой серии опытов в реакционную смесь добавляли соду. Таким образом, был получен материал, на котором пленка была более темная, что говорит о преобладании в ней диоксида марганца среди прочих его оксидов.

Добавление соды и сульфата (фосфата) натрия к ранее используемым смесям растворов способствует разованию оксидов марганца и их более быстрому и полному осаждению на поверхности волокна, а также закреплению образовавшейся оксидной пленки.

Механическую прочность определяли истиранием в шаровой мельнице. В барабан загружали навеску материала массой 5 г и 10 керамических шариков и барабан вращали в течение 10 минут. После все содержимое барабана выгружали на чистый, сухой лист, считая все оставшееся со стенок барабана и поверхности шариков. Из получившейся массы отбирали неистертые волокна и определяли истираемость по разности масс исходного и истертого материалов. Наибольшую механическую прочность 89,2% по результатам исследования имеет материал, полученный без использования методов закрепления пленки, то есть масса пленки на волокне была наименьшей. Наибольшей истираемостью 14,0% обладает материал, полученный с прокаливанием. Прокаливание делает пленку и волокна базальта более хрупкими и ломкими. Истираемость материала, на котором пленка получена с добавлением соды, 13,3%, что говорит о большем массе пленки, но слабом ее сцеплении с поверхностью волокна. Истираемость материала, на котором пленка осаждена с помощью сульфата натрия, составила 11,5%, согласно проведенным исследованиям и теоретическим расчетам масса оксидной пленки у этого материала наибольшая, но сцепление с волокном более качественное.

Для определения физических масс пленок на материалах провели с ледующий эксперимент. Навеску каждого из материалов в 1 г помещали в раствор азотной кислоты,

встряхивали до полного растворения пленки. Определяли содержание марганца в растворе с помощью известной методики определения марганца с персульфатом калия [3]. Для исследования возможности срыва пленки с поверхности волокна при фильтровании через загрузку пропустили водопроводную воду, в которой измеряли концентрацию марганца, которая не повышалась, а понижалась на протяжении фильтрования, что говорит об отсутствии срыва пленки.

Метод ик-спектроскопии позволил изучить состав каталитической пленки, в зависимости соединений, входящих в состав пленки, а главное, в состав пленки и в волокна, входящих в состав композита.

Полученный материал исследовали на сжатие при различных скоростях и массах загрузки. Загрузку различных масс свободно распределенном состоянии загружали в колонку для фильтрования со скоростями 5, 10 и 15 м/ч, и измеряли высоту слоя к концу фильтрования.

Таблица 1.
Зависимость высоты слоя от нагрузки.

Удельная масса, кг/м ²	Скорость фильтрования, м/ч		
	5	10	15
	Изменение высоты слоя загрузки, см		
7,08	20	16	12
21,23	32	27	23
35,39	39	32	29

Таким образом, полученный материал можно рекомендовать для использования в практике водоочистки.

Список литературы

1. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. – М.: Делипринт, 2004. – 301 с.
2. Денбовецкая Е. Н. Волокнистые материалы и базальтов Украины. Киев: Техника, 1971. – 114 с.
3. Унифицированные методы анализа вод, под ред. Ю. Ю. Лурье, изд. 2-е и справ. М.: Химия, 1973. – 376 с.

ДЕГРАДАЦИЯ ПЛЕНОК Cu/ПОЛИИМИД В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА

Лязгин А.О.¹, Козельская А.И.²

Научные руководители: Панин А.В., д.ф.-м.н., Шугуров А.Р., к.ф.-м.н.

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

634021, Россия, г. Томск,

пр. Академический, 2/4

E-mail: lyazgin@list.ru

Высокие термостойкость, химическая стабильность, а также механические свойства полиимида (PI) обусловили его широкое применение в качестве конструктивных элементов микроэлектромеханических систем [1], гибких печатных плат [2] и др. В процессе их производства и эксплуатации металлические пленки, нанесенные на полиимид, часто подвергаются термомеханическим воздействиям. В результате таких воздействий в пленках развиваются сильные напряжения, приводящие к их деформации и разрушению, а в конечном счете к выходу из строя микроэлектронных устройств. Цель данной работы – исследовать механизмы деградации тонких пленок Cu на полиимидном подслое в процессе термического отжига.

Тонкие пленки Cu/PI наносили на подложки Si. После ионной очистки пластин Si в вакуумной камере в атмосфере Ar при давлении 5 Па нанесли методом центрифугирования осаждали слой полиимида толщиной 3 мкм. Затем методом магнетронного распыления наносили пленки Cu толщиной 0,5 мкм. Отжиг композиций Cu/PI/Si проводили в вакууме и в комнатной атмосфере в интервале температур 100 – 440 °C. Время отжига варьировали от 2 до 30 минут. Морфологию поверхности пленок до и после термического нагружения исследовали с помощью оптического микроскопа Zeiss Axiovert 25C, оптического профилометра NewView 6200 и атомно-силового микроскопа (АСМ) Solver HV. Рентгенографические исследования пленок выполняли на дифрактометре ДРОН-7 с фокусировкой по Брэггу-Брентано.

С помощью атомно-силового микроскопа было выявлено, что исходные пленки Cu обладают однородной мелкозернистой структурой. Средний размер зерна исходных пленок Cu составлял 70 нм (рис.1,а). Отжиг пленок Cu в вакууме привел к росту среднего размера зерна до 350 нм после отжига при температуре 440 °C в течение 30 минут (рис.1,б). При этом поверхность пленок осталась ровной.

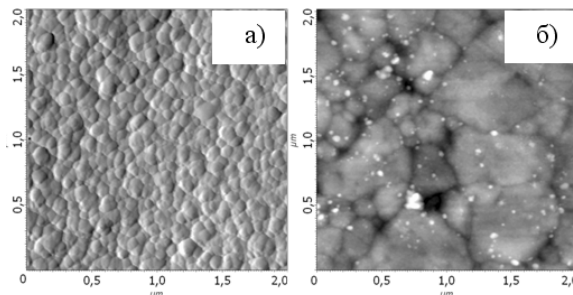


Рис. 1. АСМ-изображения поверхности пленок Cu до (а) и после отжига в вакууме при 440 °C в течение 30 мин (б)

Отжиг на воздухе вызвал окисление пленок Cu и формирование на их поверхности оксидных слоев. Как показали рентгеновские исследования уже после отжига при температуре 370 °C в течение 30 мин на рентгенограммах отсутствуют пики Cu, наблюдаются только рефлексы различных оксидов меди.

Вплоть до температуры отжига 300 °C пленка оксида меди имеет однородную гладкую поверхность. Однако после отжига при 370 °C в течение 30 минут на поверхности пленки возникали многочисленные области коробления (рис.2). У пленок, отожженных при 440 °C, кроме коробления не наблюдалось также гофрирование поверхности (рис.3,а). Высота складок гофра после отжига в течение 2 минут составляла 0,37 мкм, а длина волн 9,7 мкм. При увеличении времени отжига высота и длина волн складок постепенно увеличиваются и после отжига в течение 30 минут достигают 0,55 и 12 мкм соответственно (рис.3,б). На поверхности полиимидного подслоя наблюдается аналогичный гофр (рис.3,в).

Наблюдаемые изменения рельефа обусловлены термическими напряжениями, возникающими при нагреве системы Cu/PI/Si до температуры отжига и из-за различия коэффициентов термического расширения (КТР) пленки Cu и подложки Si. В величину которых можно оценить и следующее выражения:

$$\sigma = M \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где M – биаксиальный модуль упругости пленки, $\Delta\alpha$ – разность коэффициентов

термического расширения Cu и Si, ΔT – разность температур. Из (1) следует, что величина сжимающих

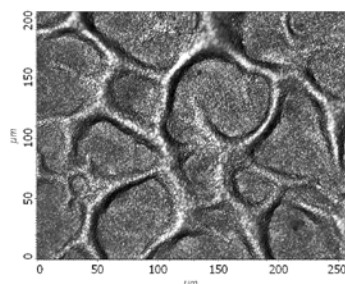


Рис.2. Оптическое изображение поверхности оксидной пленки после отжига при 370 °C в течение 30 мин

напряжений в пленках Cu может достигать $\sigma \approx 0,8$ ГПа при нагреве до температуры 370 °C и ~ 1 ГПа при нагреве до 440 °C.

Как показали проведенные исследования, коробление пленок Cu начинается при более низких температурах, чем и х гофрирование. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, медь обладает недостаточной адгезией к полиимиду, что может приводить к формированию областей отслоения пленки от подложки. Во-вторых, при температурах до 400 °C (температура термостойкости полиимида) полиимид недостаточно податлив для когерентной деформации с подложкой. В этих условиях релаксация сжимающих напряжений в пленках Cu происходит за счет изгиба отслоившихся участков.

Гофрирование пленок Cu происходит при температурах, превышающих температуру термостойкости полиимида. Поэтому можно полагать, что при этом полиимид испытывает не только упругую, но и вязкую деформацию. Результатом гофрирования является возникновение в олистой границы раздела

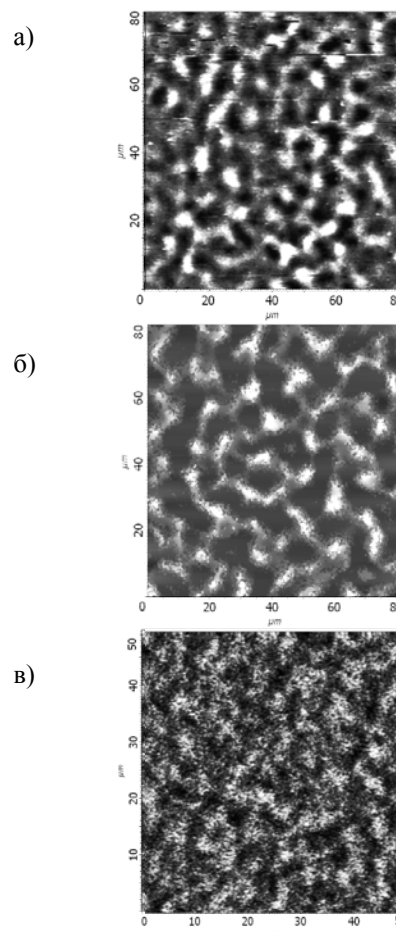


Рис.3. АСМ-изображения поверхности оксидной пленки после отжига на воздухе при 440 °C в течение 2 (а) и 30 мин (б), а также подложки полиимида после отжига при 440 °C в течение 2 мин (в)

пленка-подложка. При дальнейшем сжатии пленки вдоль такой границы раздела формируется периодическое распределение нормальных и касательных напряжений: в вершинах складок возникают нормальные растягивающие напряжения, а в областях впадин – нормальные сжимающие напряжения [3]. На начальном этапе данные напряжения способствуют увеличению амплитуды гофра. Однако после того как амплитуда складок становится равна толщине пленки, дальнейшая релаксация напряжений в случае вязкоупругой подложки происходит также вследствие роста их длины волны [4]. Таким образом вязкоупругая деформация полиимидного подложки обеспечивает с начала роста только амплитуды, а затем и длины волн гофра, что и наблюдается при увеличении длительности отжига при температуре 440 °C от 2 до 30 минут.

Проведенные исследования выявили два вида деформации пленок Cu, являющихся следствием релаксации сжимающих термических напряжений: коробление и

гофрирование. Подобная деформация пленок наблюдается только после отжига на воздухе, в то время как поверхность пленок, отожженных в вакууме, остается ровной во всем исследованном диапазоне температур. Это связано с тем, что как при короблении, так и при гофрировании пленка деформируется упруго. Поэтому в процессе последующего охлаждения от температуры отжига у пружа деформация, возникшая во время отжига пленок в вакууме, и исчезает. Отжиг на воздухе, приводит к формированию сверху пленки Si оксидного слоя, КТР которого близок к КТР Si. Поэтому в процессе охлаждения оксидный слой сжимается в одинаковой степени с подложкой, что позволяет сохранить рельеф, образовавшийся во время отжига.

Список литературы

1. Стогний А.И., Ореховская Т.И., Тимошков Ю.В., Корякин С.В. О формировании объемных элементов микроэлектромеханических систем // Письма в ЖТБ – 2001. – Т. 27. – №3 – С. 7-13.
2. Iwamori S., Miyashita T., Fukuda S., Nozaki S. Changes in the peeling surfaces of copper thin films deposited on polyimide substrates after heat treatment // Adhesion – 1997. – V. 63. – P. 309-321.
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.
4. Huang R., Lim S.H. Dynamics of wrinkle growth and coarsening in stressed thin films // Phys. Rev. E. – 2006. – V. 74. – P. 026214-1-026214-12.

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗОНАХ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ТОНКОЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20

Макарова Е.Б., Журавина Т.В.

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

Из материалов конструктивного назначения следует выделить металлические слоистые композиционные материалы. Эффективным технологическим процессом, позволяющим получать высококачественные композиты, является сварка взрывом. Основными особенностями этого технологического процесса при сварке феррито-перлитных сталей являются деформационное упрочнение ферритной составляющей, а также образование мартенситных зон, охрупчивающих материал композита. Цель данной работы заключалась в изучении влияния сварки взрывом на особенности строения и микротвердость сварных швов.

В качестве объектов исследования использовали тринадцатислойные заготовки, полученные в процессе сварки взрывом пластин толщиной 1 мм из стали 20. Сварка композита выполнялась в два этапа (рис.1). На первом этапе получали пятислойный пакет. На втором этапе к получившемуся пакету с боков приваривали еще по четыре пластины.

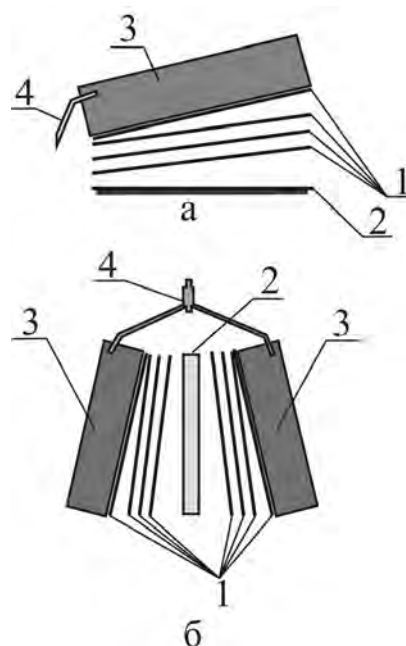


Рис.1. Схема сварки стальных пластин: а – сварка пяти пластин; б – приваривание к пятислойному пакету по 4 пластины с боковых сторон. 1 – метаемая пластина, 2 – неподвижная пластина, 3 – заряд ВВ, 4 – детонатор.

В состоянии после сварки взрывом образцы имеют слоистую структуру с характерной волнообразной формой сварных швов (рис. 2). Геометрические параметры сварных швов (длина волны λ и амплитуда A) представлены в таблице 1. Для разных швов эти параметры отличаются, что обусловлено различием условий сварки каждой конкретной пары пластин.

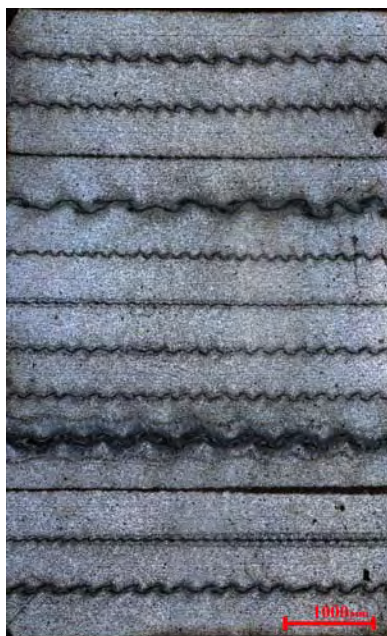


Рис. 2. Структура многослойного композита в поперечном сечении.

Для проведения структурного анализа из 12 сварных швов были выбраны швы №2, №4 и №6 (рис. 3). В состоянии после сварки взрывом можно отметить следующие особенности строения сварных швов. Наиболее интенсивно деформированные ферритные зерна, расположенные в непосредственной близости от сварного шва, имеют вытянутую форму, свидетельствующую о высокой степени деформации приповерхностных слоев соединяемых пластин. Благодаря энергии, выделяющейся при ударе одной пластины о другую и трении соприкасающихся поверхностей, происходит интенсивный нагрев некоторых локальных зон сварных соединений. Температура нагрева может превышать не только критические точки A_{C1} и A_{C3} , но и даже температуру плавления. В процессе ускоренного охлаждения нагретых таким образом зон, обусловленного отводом тепла в ненагретые зоны, происходит закалка материала и формируется структура тонкодисперсного мартенсита.

Таблица 1. Количественные показатели волн.

№ шва	Длина волны (λ), мкм	Амплитуда волны (A), мкм
1	475,5	194,25
2	356,75	128,75
3	350,6	67
4	1838	299,5
5	605,75	180,75
6	293,75	95,25
7	348	125,5
8	403	150
9	1229	420,5
10	281,75	87,5
11	277,75	100,5
12	552,25	198,5

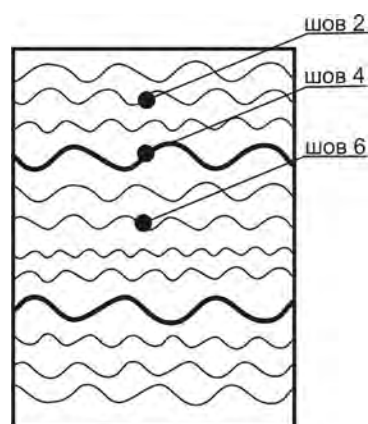


Рис. 3. Схема расположения сварных швов в стальном тринадцатислойном композите.

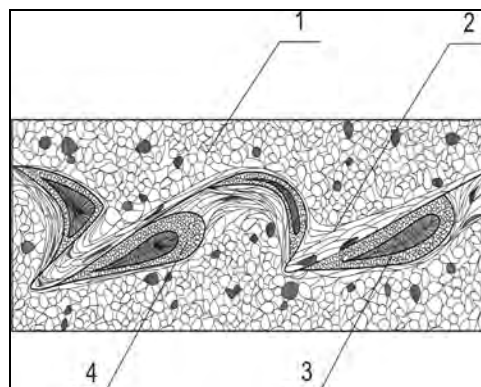


Рис. 4. Схема строения зон, наблюдаемых в сварных швах.

Схематически структура сварных швов и прилегающих к ним зон отражена на рис. 4. На представленной схеме выделены четыре характерные зоны. Первая зона соответствует материалу с исходной феррито-перлитной структурой, в которой металлографически не фиксируются заметные изменения формы зерен α -фазы. В то же время влияние высокоскоростной пластической деформации проявляется в

образовании двойников внутри ферритных зерен. Эти характерные дефекты выглядят в виде параллельных линий, распространяющихся через ферритное зерно, как правило, от одной границы до другой (рис. 5). В зоне 2 присутствуют пластически деформированные зерна α -фазы, вытянутые в вдоль сварного шва (рис. 6). В третьей зоне наблюдаются характерные для сварки взрывом островки мартенсита, имеющие эллипсообразную, вихреподобную или пластинчатую форму. Прилегающие к островкам мартенсита зоны в процессе сварки взрывом были нагреты до температуры ниже критической точки A_{C1} . Аустенит в этих зонах образован не был, но температура нагрева была достаточно высокой для развития рекристаллизационных процессов в интенсивно деформированном феррите. Таким образом, в зоне 4 рекристаллизация феррита вокруг мартенситных островков успела пройти, даже, несмотря на кратковременность пребывания материала в нагретом состоянии.

Проведенные исследования свидетельствуют о формировании в зонах сварных швов с ложной неоднородной структуры. Наиболее заметные структурные преобразования, обусловленные взаимодействием с соединяемыми пластинами, имеют место в слое толщиной 10...50 мкм.

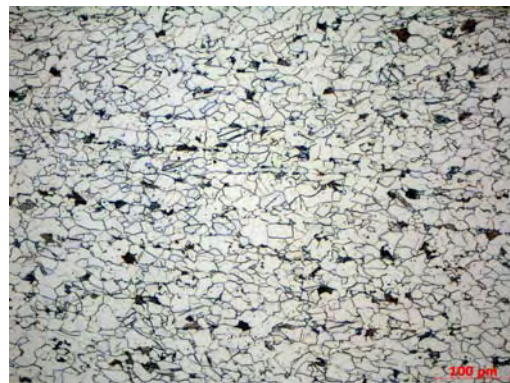


Рис. 5. Ферритно-перлитная структура первой зоны.

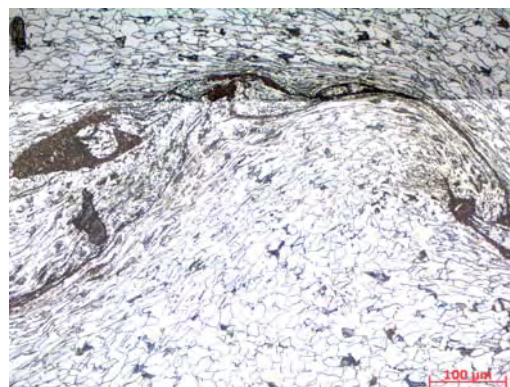


Рис. 6. Пластически деформированные зерна феррита в приграничных к сварному шву зонах.

СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Машкарова О. В.¹

Научные руководители: Герасимов С. А.¹, д. т. н., профессор, Овечкин Б. Б.², к. т. н., доцент
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
105005, Россия, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5¹

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30²
E-mail: gerasimov s@list.ru

Введение

Свойства металла зависят от создаваемой структуры, которая может в значительной степени определяться процессами деформирования и термической обработки. Происходящие при этом изменения механических свойств играют большую роль при изготовлении, как полуфабрикатов, так и готовых деталей. Создание новых технологий обработки, для сложнообработываемых деформируемых алюминиевых сплавов типа Д16, А6, В95 их освоение в производственных условиях

открывают возможность в широком формате избежать брака на предприятиях страны. В частности эта задача актуальна для обработки деталей, изготавливаемых в «КБ «ТочМаш» им. А. Э. Нудельмана.

Целью данной работы является исследование особенностей механизма деформационной стабилизации заготовок и деформируемого термоупрочняемого алюминиевого сплава типа В95, приводящего к повышению механических свойств, уменьшению остаточных внутренних напряжений и как следствие стабильности

точных размеров после окончательной механической обработки.

Материалы и методика исследования

Деформации подвергались цилиндрические заготовки (наружный диаметр 78 мм, внутренний 44,7 мм, высота 185 мм) изготовленные из алюминиевого сплава марки В95 (рис.1).

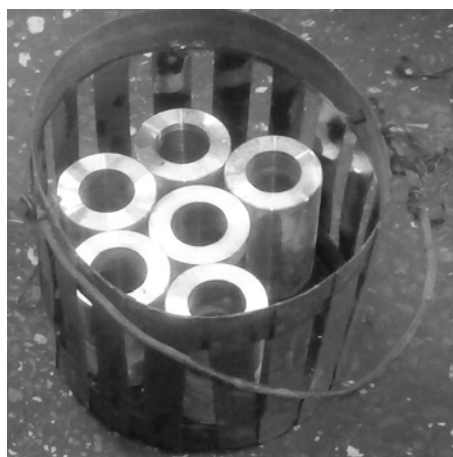


Рис.1. Внешний вид заготовок

Перед деформацией заготовки подвергались закалке в электропечи «СНОЛ» при температуре 465...475°C с последующим охлаждением в воде до комнатной температуры. После охлаждения детали переносили на участок прессования. Разрыв между операциями закалки и прессования не превышал 40 мин. Затем заготовки подогревали до $t = 30 \dots 50^\circ\text{C}$ в соответствии со схемой, рассчитанной по программе «ANSYS».

Деформирование проводили путём сжатия цилиндров на гидравлическом прессе усилием 150 т, степень деформации составляла 1,5... 2%. Для избежания потери устойчивости в цилиндр помещали штифт. В процессе прессования отслеживалась температура заготовок с помощью портативного тепловизора, с записью картин измерений и последующей их обработкой по программе «Testo».

Цилиндрические образцы для механических испытаний (по ГОСТ 1479-84) вырезали вдоль длинной стороны цилиндра. Затем для снятия эффекта с края, возникшего в результате резки, полученные образцы подвергали механической шлифовке.

Испытания на одноосное статическое растяжение проводили при комнатной температуре на установке FPZ/100 со скоростью $v = 1.3 \times 10^{-6}$ м/с.

Результаты исследований

Закалкой фиксируется структура сплава с пересыщенным твердым раствором. Основной эффект закалки сплавов зависит от полноты растворения упрочняющих элементов в твердом растворе алюминия. Величиной температуры закалки определяется процент растворённых упрочняющих фаз и равномерность их распределения элементов в кристаллической решетке твердого раствора. При этом количество вакансий в кристаллической решетке увеличивается [1]. Во многих случаях описана польза операции закалки на эффект последующего искусственного старения сплава В95 [1 – 4]. Однако данная схема термообработки не всегда позволяет добиться требуемого результата и из-за наличия в объёме заготовок в высоких значений остаточных напряжений, в связи с чем появляется необходимость дополнительного воздействия на структуру и свойства.

Процесс холодного деформирования позволяет изменить не только геометрические параметры деталей, но и структуру на макро- и микромасштабных уровнях. При холодной деформации каждое зерно испытывает воздействие со стороны зерен, составляющее его и менять с вою форму в соответствии со схемой деформации в данном изделии, а в случае незначительного подогрева (рис.2) облегчается вероятность миграции и схода границ.

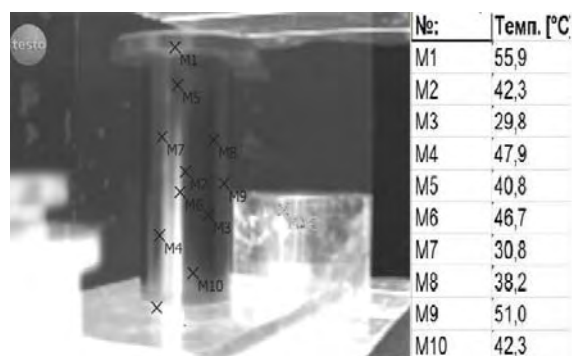


Рис.2. Распределение температуры по поверхности заготовки

Эти процессы приводят к росту плотности дислокаций и сопровождаются изменением (измельчением) структуры, что в свою очередь приводит к росту напряжений в объёме материала [2–4]. Однако процесс холодного деформирования способствует как увеличению скорости генерирования, так и аннигиляции дислокаций, что благоприятно

влияет на релаксацию в внутренних напряжениях, так как при небольших процентах деформации дислокации распределяются в объеме металла равномерно (рис.3).

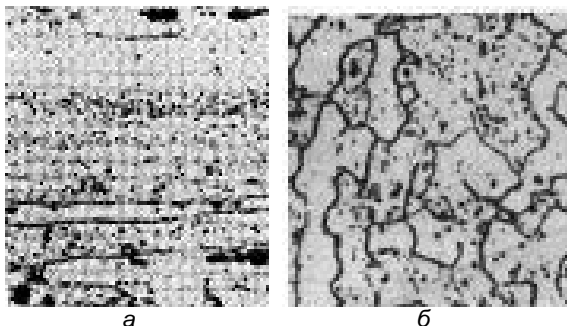


Рис.3. Микроструктура сплава В95 после закалки (а) и деформирования на 2% (б)

Выводы

Процесс термомеханической обработки (ТМО), заключающийся в введении между операциями закалки и старения деформационной стабилизации посредством прессования позволяет добиться отличных результатов за счет положительного влияния деформирования на эффект последующего старения.

Создание данной технологии направлено на максимальное снижение остаточных напряжений. Выбор нижнего предела температуры под закалку не может гарантировать достаточную степень перехода упрочняющих компонентов в твердый раствор. Данный аспект в свою очередь может послужить серьезным препятствием на пути создания процентной доли локальных несовершенств кристаллической решетки твердого раствора, способных обеспечить наличие необходимого порядка после старения. Поэтому совместное действие оптимального режима закалки и деформирования способствует получению высоких прочностных свойств $\sigma_b = 65 \text{ кгс/мм}^2$ (рис.4) и релаксации напряжений после

окончательной термообработки, за счет дополнительного модифицирования структуры закалки прессованием.



Рис.4. Кривые «прочность- пластичность» сплава В95 подвергнутого закалке и последующей деформации на 2 %

Благодаря данной схеме ТМО стало возможным существенно снизить остаточные внутренние напряжения, величина которых определяет последующее поведение металла при окончательной механической обработке.

Список литературы

1. И. Ф. Колобнев. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1966. - 394 с.
2. Алюминий (Металловедение, обработка и применение алюминиевых сплавов). Перевод с английского под редакцией: А.Т. Туманова, Ф.И. Квасова, И.Н. Фридляндера. М.: Металлургия, 1972. - 663 с.
3. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов. М.: Металлургия, 1969. - 432 с.
4. И. Н. Фридляндер, В. И. Добаткина, Е. Д. Захарова. Деформируемые алюминиевые сплавы (Сборник статей). Оборонгиз, 1961. - 235 с.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III) С ХЛОРИДОМ АММОНИЯ

Петлин И.В., Чегринцев С.Н.

Научный руководитель: Крайденко Р.И., к.х.н., с.н.с

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
chesen@sibmail.com

Хлорид аммония с оксидами металлов взаимодействует с образованием соответствующих хлоридов [1]. В результате взаимодействия оксида железа с хлоридом аммония получаются продукты с отличными от хлорида железа физико-химическими показателями. Было предположено, что при взаимодействии оксида железа с хлоридом аммония образуются комплексные соединения железа.

Термодинамические расчеты возможности хлорирования оксида железа хлоридом аммония представлены в таблице 1. При расчетах учитывалось, что хлорид аммония при 611 К полностью разлагается на аммиак и хлороводород. Термодинамические расчеты показали, что равновесие процесса хлорирования оксида железа хлоридом аммония возможно при температуре выше 691 К, хлороводородом при температуре ниже 404 К.

Таблица 1. Энергия Гиббса реакции хлорирования оксида железа хлоридом аммония

T, K	400	500	600	700	800
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{NH}_4\text{Cl} = 2\text{FeCl}_3 + 6\text{NH}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ (до 600 К, включительно)					
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} = 2\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ (выше 600 К)					
ΔG (кДж/моль)	374	244	116	104	138

Взаимодействие оксида железа (III) с хлоридом аммония исследовано с помощью кинетических и термических экспериментов.

Кинетический эксперимент проводился методом непрерывного взвешивания реагирующей смеси с автоматической регистрацией массы. Степень превращения определяли по потере массы, которая обусловлена образованием газообразных соединений. Предварительно экспериментально определили скорость разложения хлорида аммония при этих же условиях, соответствующие поправки внесены в конечные результаты. Температура поддерживается постоянно 2°.

Термогравиметрический (ТГА) анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) проводились на совмещенном ТГА/ДСК/ДТА анализаторе марки SDT Q600 с программной обработкой данных TA Instruments Universal V 4.2E, чувствительность весов -0,1 мкг, шум ДСК не

превышает 4 мкВт. В интервале температур 20 – 600 °С, в токе атмосферного воздуха, при скорости нагрева 5 °/мин в корундовых тиглях. Для анализа использовали

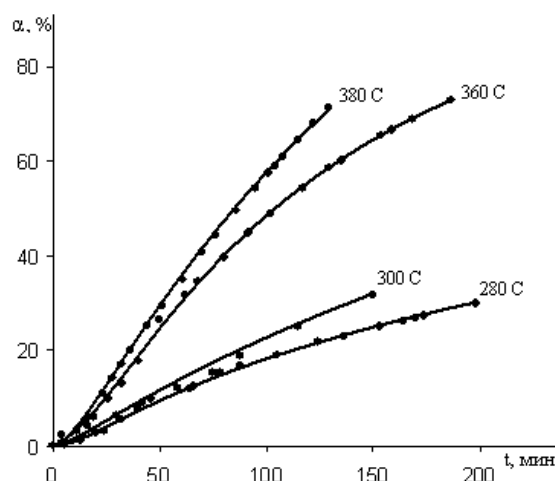
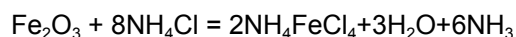


Рис. 1. График зависимости степени превращения от времени при различных температурах для процессов гидрохлорирования оксида железа (III)

смесь 0, 50 г Fe_2O_3 и 4,05 г NH_4Cl . Масса навески составляла 20 мг.

Синтез продукта взаимодействия хлорида аммония с оксидом железа (III): спекали смесь 50г Fe_2O_3 и 205 г NH_4Cl при 300° С в течение двух часов.



Математическая обработка кинетических данных по взаимодействию оксида железа с хлоридом аммония проведена по уравнениям Гистлинга, с окрашающей сферы и Яндера [2]. Экспериментальные данные процессов (Рис. 1.) описывали уравнением с окрашающей сферы. Выведена зависимость степени превращения (α) от времени (τ) и температуры (T) для взаимодействия хлорида аммония с оксидом железа (III):

$$\alpha = 1 - \left(1 - 0,09 \cdot e^{-\frac{41600}{8,31 \cdot T}} \cdot \tau \right)^3$$

Энергия активации процесса хлорирования Fe_2O_3 составила 41,6 кДж/моль.

По результатам термических исследований (Рис. 2) процесс гидрохлорирования оксида железа (III) начинается при температуре 200 °C. Происходит разложение хлорида аммония с выделением газообразного аммиака и хлороводорода, а также образование комплексного соединения железа NH_4FeCl_4 . При 270 °C комплекс разлагается с образованием хлорида железа FeCl_3 . При 310 °C заканчивается основная реакция гидрохлорирования, выше 310 °C хлорид подвергается пирогиролизу.

На основании термических анализов можно представить следующую последовательность протекания реакции хлорирования оксида железа хлоридом аммония:

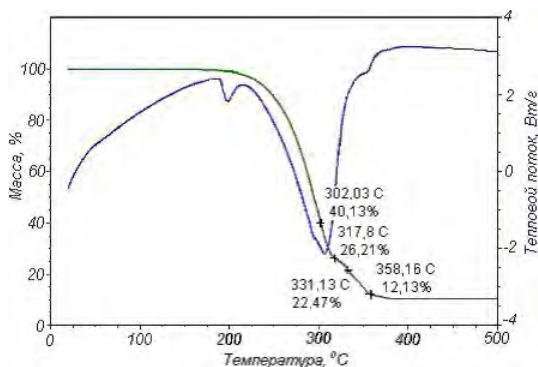
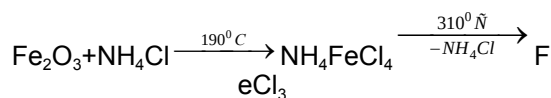


Рис. 2. Термические исследования взаимодействия хлорида аммония с оксидом железа (III)

По данным рентгенофазового анализа (Рис. 3) продукт реакции находится в рентгенноаморфном состоянии. Основным компонентом продукта взаимодействия оксида железа (III) с хлоридом аммония является аммиакат пентахлороферрата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5$, присутствует $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и избыточный хлорид аммония NH_4Cl .

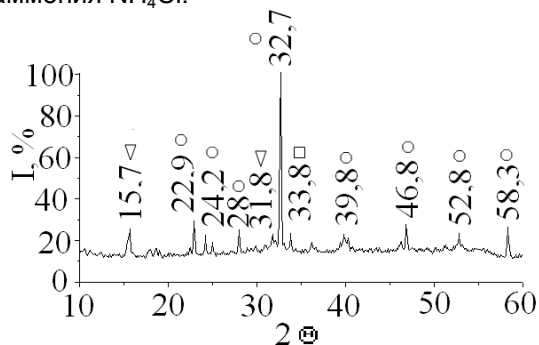
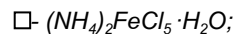


Рис. 3. Рентгенограмма продукта
 $\nabla - (\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5$; $\circ - \text{NH}_4\text{Cl}$



На ИК-спектрах продукта и NH_4Cl (рис. 4) в области 4000-400 см^{-1} присутствуют характерные для аммония пики при 669 см^{-1} , 2800 см^{-1} , 3000 см^{-1} и 3100-3300 см^{-1} . Общий для них пик 1400 см^{-1} вследствие деформации аммония в NH_4Cl хлорид-ионом расщепляется и уширяется. По причине деформации при 1755 и 2000 см^{-1} у хлорида аммония наблюдаются пики характерные для колебаний кристаллической решетки, которые проявляются при наличии небольшого ан иона, а у продуктов взаимодействия с соединением железа с NH_4Cl – нет.

На ИК-спектрах в области 400-50 см^{-1} продукта присутствуют пики 378 см^{-1} , 136 см^{-1} и 114 см^{-1} характерные для тетраэдрического иона FeCl_4^- . Так же присутствуют пики 68,7 и 113,8 см^{-1} характерные для молекулы FeCl_3 [3].



Рис. 4. ИК-спектры продукта и NH_4Cl

Химический анализ показал, что образующийся при взаимодействии хлорида аммония с оксидом железа (III) продукт имеет состав $\text{FeCl}_3 \cdot 0,92\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 0,84\text{NH}_3$ (Табл. 2).

Таблица 2. Данные химического анализа продукта взаимодействия NH_4Cl с Fe_2O_3

	Брутто – формула	Содержание, %		
		Fe	Cl	NH_4
Продукт	$\text{FeCl}_3 \cdot 0,9\text{NH}_4\text{Cl} \cdot 0,84\text{NH}_3$	20,3	59,7	19,98

На основе полученных данных можно сделать вывод, что при взаимодействии хлорида аммония с оксидом железа (III) образуются комплексные соединения железа $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5$, при недостатке NH_4Cl образуется NH_4FeCl_4 . Образующееся комплексное соединение железа начинает разлагаться при 310 °C. При повышении температуры выше 310 °C выделяется газообразный хлорид железа. Лимитирующая стадия процесса – кинетика химической реакции, способ ускорения процессов – повышение температуры.

Список литературы

1. М.Х. Карапетянц, С.И. Дракин. Общая и неорганическая химия. М.: «Химия». 1992. – 588с.

2. Б.Д. Ельмон. Кинетика гетерогенных реакций. М.: «Мир». 1972. – 554 с.

3. К. Накамото. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: «Мир». 1991. – 536 с.

СОЗДАНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ В СТАЛИ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Мочалина Н.С.

Научный руководитель Тушинский Л.И., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, Пр. К. Маркса 20
E-mail: kapriz.ru@mail.ru

Большинство современных технологий, занимающихся изменением свойств материалов, вызывают свои успехи с созданием в материале наноразмерных структурных составляющих. К настоящему времени разработано несколько методов получения таких материалов (компактирование порошков, деформация кручением под высоким давлением, равноканальное угловое прессование). Различные методы получения наноструктурных материалов вносят определённый вклад в формирование структуры, а следовательно, и свойств наноструктурных материалов.

Пластическая деформация, оказывая существенное влияние на структуру и свойства материалов, например, интенсивная прокатка, приводит к измельчению микроструктуры и формированию ячеек, субзерен и фрагментов. Это способствует определённому повышению прочностных характеристик. Однако материалы, подвергнутые деформации этими традиционными методами, обычно обладают пониженной пластичностью [1]. Очень низкой пластичностью обладают и наноматериалы, получаемые компактированием порошков. Это является причиной растущего интереса к развитию методов, основанных на пластической деформации и рекристаллизации, позволяющих формировать ультрамелкозернистые и наноразмерные структуры с высокой конструктивной прочностью.

Исследования, представленные в данной работе, были ориентированы на решение актуальной задачи современного материаловедения, которая заключается в создании структуры с наноразмерными структурными составляющими, обладающей высокой конструктивной прочностью, т.е. оптимально сочетающая высокие показатели

прочности и трещиностойкости. Исследована возможность создания в стали наноразмерной структуры с высокой конструктивной прочностью и используя метод термопластического упрочнения.

Воснову работы положены в выводы структурной теории конструктивной прочности [2], устанавливающей взаимосвязь между структурой материала, его прочностью и трещиностойкостью.

Главное уравнение структурной теории конструктивной прочности включает 5 наиболее важных дислокационно-дислокационных моделей упрочнения материала:

$$\sigma_T, K_{IC} = (\sigma_n, \sigma_d, \sigma_p, \sigma_{\phi}, \sigma_3),$$

где σ_n – упрочнение Пайерлса-Наббарро, σ_d – упрочнение в взаимодействии дислокаций, включающее упрочнение дислокациями леса ($\sigma_{д.леса}$) и дислокационно-дислокационными построениями ($\sigma_{д.п.я.}$), σ_p – упрочнение растворёнными чужеродными атомами, σ_{ϕ} – упрочнение дисперсными фазами, зонами, кластерами, σ_3 – упрочнение структурными барьерами (границами зерен, фаз).

Из них, как наиболее эффективные дислокационно-дислокационные модели упрочнения, повышающие конструктивную прочность материала выделяются: $\sigma_{д.п.я.}$, σ_{ϕ} , σ_3 . Упрочняющее действие этих механизмов увеличивается с уменьшением размеров структурных составляющих.

Как показали проведённые ранее под руководством Л.И. Тушинского исследования, структура как тивизированными эффективными механизмами упрочнения позволяет создавать технология термопластического упрочнения [3].

Исследования проводились на стали У8 микролегированной карбидообразующими элементами – титаном или ниобием. Количество микролегирующего элемента составляло 0,06%. Термопластическая

обработка осуществлялись при следующих режимах:

1. Нагрев до температуры 1200°C и выдержка в течение 20 мин.
2. Деформация со степенью обжатия 30 %.
3. Изотермическая выдержка в течение 30 секунд при температуре окончания прокатки.
4. Повторная деформация со степенью обжатия 15 %.
5. Изотермическая выдержка в течение 30 секунд при температуре окончания прокатки.
6. Деформация со степенью 5 %.
7. Охлаждение на воздухе.

Сочетание деформации и рекристаллизации способствует формированию ультрамелкого зерна аустенита ($1 - 3\text{ мкм}$). В процессе заключительной деформации создается развитая дислокационная наноразмерная структура, наноплазмоты. При регламентированном охлаждении структуры распадаются, следуют развинутой дислокационной наноструктуре аустенита, формируя наноразмерную структуру в феррите.

Температура аустенитизации 1200°C выбрана для активизации процессов растворения в аустените карбидов тугоплавких элементов, присутствующих в исходной структуре и в выделении их в наномасштабном размере при последующем охлаждении. Размер частиц Ti(CN) , Nb(CN) в исходной структуре составляет $10 - 1,5\text{ мкм}$ (рис. 1).

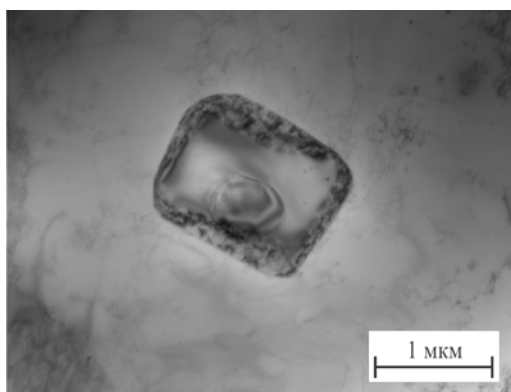
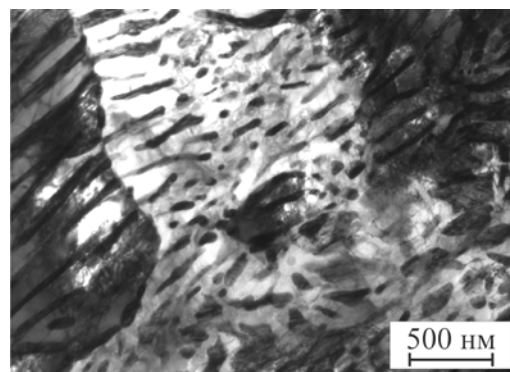


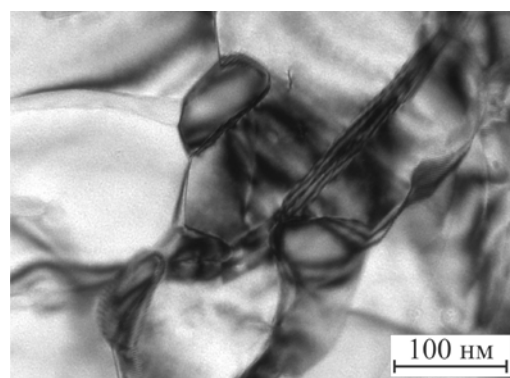
Рис. 1. Частица TiCN в ферритной матрице в исходной структуре.

Карбидные частицы микролегирующих элементов существенно влияют на процессы рекристаллизации, протекающие при термопластической обработке, способствуя формированию наноразмерных фрагментов. Выделяясь преимущественно по границам рекристаллизованных зерен, нанодисперсные частицы карбонитридных фаз закрепляют структуру, делают её более

стабильной и замедляют протекание дальнейшего процесса рекристаллизации.



а



б

Рис. 2. Структура стали У8 микролегированной титаном после термопластического наноструктурирования.

На рисунке 2а представлена структура, образовавшаяся при термопластическом наноструктурировании стали У8 микролегированной титаном. Наблюдаются ультрамелкие фрагменты перлитных колоний ($d = 1 - 3\text{ мкм}$). В ферритных участках (рис. 2 б) наблюдаются наноразмерные фрагменты ($d = 100 - 200\text{ нм}$), закрепленные наноразмерными выделениями карбидов титана ($d = 20 - 70\text{ нм}$).

Таким образом, термопластическое наноструктурирование микролегированной стали позволило активизировать дислокационные механизмы упрочнения дисперсными фазами $\sigma_{\text{ф.нано}}$, дислокационно-дислокационными построениями $\sigma_{\text{д.п.нано}}$ и границами зерен $\sigma_{\text{з}}$. Для того, чтобы оценить вклад, вносимый этими факторами в общее упрочнение, была проведена обработка по тем же режимам на стали У8 без микролегирования. Результаты механических испытаний двух видов стали показали, что прочностные показатели микролегированной стали с активизированными механизмами

$\sigma_{ф.нано}$ и $\sigma_{з.нано}$ выше (рис. 3) при том же уровне пластичности и трещиностойкости.

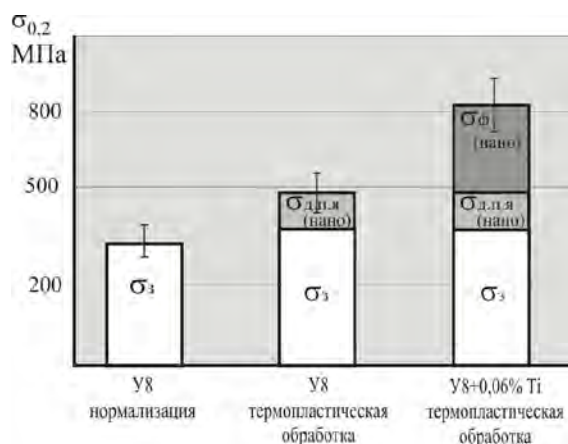


Рис. 3. Вклад эффективных механизмов в упрочнение.

На основании результатов исследований, представленных в данной работе, можно говорить о возможности создания методом термопластической обработки объемной

нанокристаллической структуры с повышенными показателями пластичности и трещиностойкости.

Список литературы

1. Валиев Р.З. Создание наноструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами, и используя интенсивные пластические деформации / Р.З. Валиев // Российские нанотехнологии. – 2006. – Том 1. – № 1-2. – С. 208 – 216.
2. Тушинский Л.И. Структурная теория конструктивной прочности / Л.И. Тушинский. – 2004. – 400 с.
3. Тушинский Л.И. Макро-, мезо- и наноструктурные основы создания оптимальных структур углеродистых сталей при регулируемом термопластическом упрочнении / Л.И. Тушинский, А.В. Плехов, Н.С. Мочалина // Материаловедение. – 2008. – № 5. – С. 31–35.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16

Мошняков М.Г., Быкова Н.В.

Научный руководитель: Амосов Е.А.,

СамГТУ, 634050, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 8

E-mail: Mihdeath@mail.ru

Термическая обработка дюралюминов (в частности, Д16) основана на переменной растворимости меди и магния в алюминии. В равновесном состоянии сплавы содержат твердый раствор и включения в твердой фазе Θ (CuAl_2). После закалки получается пересыщенный твердый раствор в высоком содержании меди, соответствующем ее содержанию в сплаве. Распад твердого раствора, происходящий при старении, приближает фазовое состояние к равновесному. Основными параметрами старения являются температура и продолжительность выдержки. Физическая классификация основана на процессах, происходящих при старении, и с этой точки зрения старение следует делить на зонное и фазовое. Для дюралюминия естественное старение и зонное, как и искусственное и фазовое, одно и то же.

Главной особенностью старения является то, что распад твердого раствора происходит несколькими стадиями. При увеличении продолжительности выдержки последовательно возникают следующие образования: зоны Гинье-Престона (зоны ГП),

кристаллы метастабильной фазы, кристаллы стабильной фазы. Зоны ГП в сплавах Al с Cu представляют собой небольшие участки (в форме дисков диаметром 20 нм, толщиной 1 нм) твердого раствора, обогащенные медью. Их кристаллическая структура такая же, как у твердого раствора, но с меньшим периодом решетки, так как атомный радиус меди меньше (~10%), чем атомный радиус алюминия. Вокруг каждой зоны ГП возникают упругие искажения кристаллической решетки. Упрочнение при зонном старении (образовании зон ГП) обусловлено торможением дислокаций при их прохождении через упруго искаженную матрицу и при перерезании с ними зон (рис. 1.).

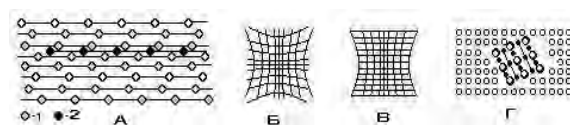


Рис. 1. Типы выделений из пересыщенного твердого раствора: а - зона ГП (1 - атомы растворителя, 2 - растворенные атомы); б - кристаллы метастабильной фазы (когерентное

выделение); в - кристаллы метастабильной фазы (полукогерентное выделение); г - кристаллы стабильной фазы (некогерентное выделение)

Метастабильная фаза Θ' по составу приближается к стабильной (CuAl_2), имеет отличную от Θ кристаллическую решетку. Фаза Θ' с опрЯжена к когерентной и ли полукогерентной г раницей с решеткой твердого раствора. Нарушение когерентности устраняет у пругие и скажения м атрицы. Торможение д ислокаций п ри фазовом старении (выделение ф азы Θ' или Θ) связано с те м, ч то д ислокации н е перерезают, а обходят частицы оставляя вокруг них дислокационные петли, ч то также повышает прочность сплава.

Стабильная Θ -фаза с оответствует составу CuAl_2 , имеет с обственный ти п решетки, от личный от решеток Θ -фазы и матрицы приводит к полному нарушению конгерентности. Г раница р аздела ф аз становится н екогерентной. П олностью утрачивается и скажение мат рицы, ч то приводит к раз упрочнению. О днако высокодисперсные выделения Θ -фазы обеспечивают б олее в ысокую п рочность сплава п о сравнению с о тожженным состоянием, когда ч астицы Θ -фазы получаются крупными.

При з онном с тарении п реодолевается только э нергия ак тивации об разования з он ГП, т.е. распад твердого раствора начинается и з аканчивается н а э той с тадии. Снижение прочности при таком старении не наблюдается. При ф азовом с тарении упрочнение сплавов наблюдается н а первых стадиях распада пересыщенного твердого раствора: п ри образовании з он ГП, выделении некогерентных частиц Θ' -фазы.

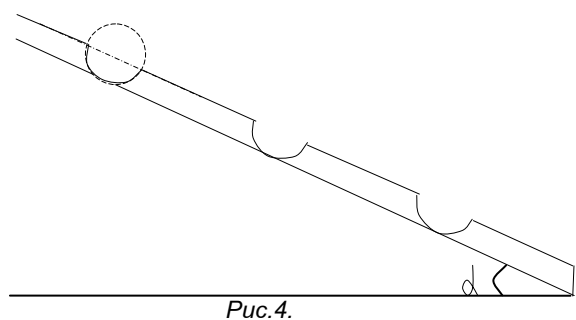
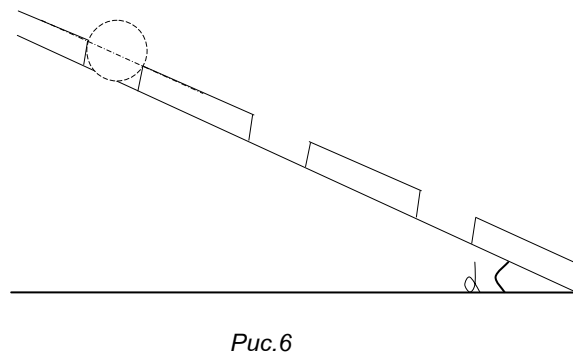
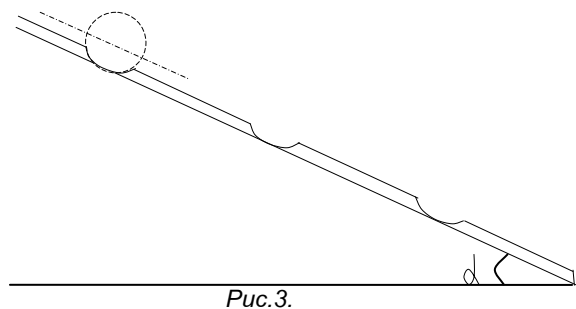
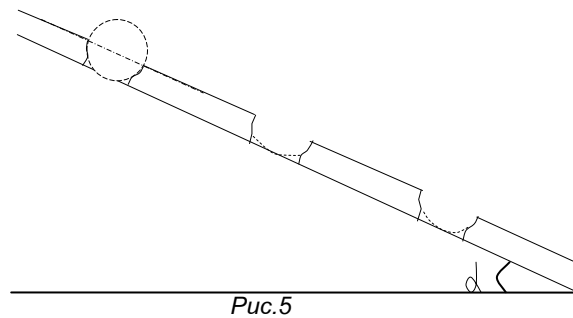
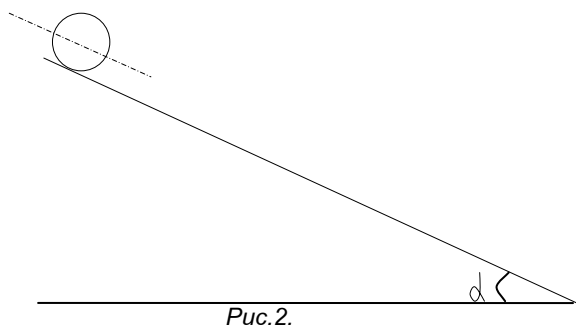
Нами п редложена мо дель у прочнения сплава Д16 при старении. Модель состоит в следующем: мы ра ссматриваем д вижение твёрдого т ела с трением по плоской наклонной поверхности (аналог д вижения дислокации ч ерез препятствия в м еталле). Чем б ольше у гол н аклона Θ , т ем б ольше напряжение, з аставляющее те ло д вигаться. Площадь с оприкосновения т вердого т ела и листа о пределяет в еличину силы тр ения (Рисунок 2). Площадь соприкосновения твердого т ела и листа определяет величину силы тр ения, пр епятствующей д вижению т ела. Когда значение напряжения превзойдет определенную критическую величину (аналог предела те кучести, п ри котором д ислокации начинают двигаться, т.е. собственно пластическая деформация) тело начнет двигаться вниз.

Будем сч итать, ч то за с чет з онного старения лист коробится, т.е. появляются

неровности (аналог зон Г инье-Престона, упрочнение п роисходит за счет уп ругих напряжений в следствие и скажения реш етки алюминия в ысоким содержанием ат омов меди). Вследствие этого увеличится площадь соприкосновения и , с оответственно, адгезионная составляющая силы трения, т.е. сопротивление движению тела возрастает соразмерно (увеличивается с опротивление движению дислокаций и прочность тела). Зонное старение заключается в образовании зон Г-П, а т.к. этот процесс носит диффузионный характер, то в т ечении времени ч исло з он Г -П б удет р асти до тех пор, п ока н е д остигнет м аксимального количества. Процесс увеличения их числа вплоть до максимального можно преподнести как постепенное изменение геометрии листа, как п оказано н а р исунках 2 ,3,4. В соответствии с этим меняется (увеличивается) пл ощадь с оприкосновения т ела и л иста, ч то з начительно у величивает трение и п овышает п рочность с плава Д 16, что соответствует э кспериментальным данным разных авторов.

При фазовом старении после образования максимального к оличества з он Г -П, происходит в ыделение н овой фазы, н а первых э тапах в ыделяется м етастабильная фаза (с когерентными или полукогерентными границами), а потом стабильная фаза (с некогерентными границами). Этот процесс носит т акже д иффузионный х арактер и зависит от в ремени. В н ашей модели э то можно представить в виде изменения геометрии листа согласно рисункам 4,5,6. Как видно, пл ощадь с оприкосновения уменьшается, у меньшается ад гезионная составляющая с илы тр ения. Э то о значает, что для движения тела необходимо меньшее напряжение. Следовательно, при фазовом старении прочность сплава та кже повышается, н о не та к значительно, как при зонном, ч то т акже н е п ротиворечит действительности. Т аким образом, предложенная н ами мод ель от ражает особенности повышения прочности дуралюмина Д16 при зонном и фазовом видах старения.

В пр едставленной м одели площадь соприкосновения т ела и листа за висит о т когерентности г раниц в с лучае ф азового старения и от количества з он Г -П в случае зонного. Рис.6 отображает с тацию, н а которой в ыделение стабильной ф азы (с некогерентными г раницами) з авершено, ч то соответствует м еншьему уп рочнению. Р ис.5 соответствует в ыделению мет астабильной фазы с когерентными или полукогерентными границами.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ

Муленков А.Н., Зиганшин А.И., Кондратюк А.А.

Научный руководитель: Кондратюк А.А., к.т.н., доцент кафедры ММС

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: man23@sibmail.com

Создание приборов и машин нового поколения с высокими технико-экономическими характеристиками, отличающихся в высокой надежностью и долговечностью, тесно связано с применением новых конструктивных материалов, в том числе полимерных на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). СВМПЭ устойчив к воздействию радиации и вакуума, сохраняет конструктивные характеристики при температуре до -180°C , имеет низкий коэффициент трения, износостоек.

Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) имеет молекулярную массу до 10^5 .

Увеличение молекулярной массы до 10^6 и выше, резко меняет многие свойства ПЭНД поэтому данная группа полиэтиленов обозначается СВМПЭ. При нагревании СВМПЭ выше температуры плавления, он не переходит в вязкотекучее состояние характерное для термопластов в том числе ПЭНД, а лишь в высокоэластическое.[1] В связи с этим наиболее перспективным видом переработки СВМПЭ является горячее прессование (ГП).

Существующие экспериментальные данные показывают следующие зависимости прочности от количества введенных наполнителей рис.1. [1]

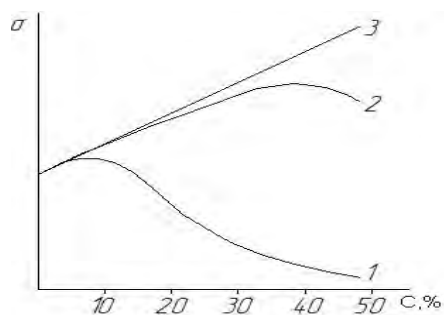


Рис. 1 Принципиальная зависимость прочности (σ) полимерного материала от содержания ($C, \%$) наполнителя: 1-дисперсного; 2-волокнистого рубленого; 3-армирующего (непрерывное волокно, тканый наполнитель)

Рассмотрим теоретические аспекты данной тематики. Если образец из ненаполненного полимерного материала подвергается испытанию на растяжение, то в координатах относительная деформация (ε) — приложенное усилие (N) можно получить графическую зависимость, представленную на рис. 2. На кривой OB выделяется ряд участков.[2]

Участок OA — зависимость $N \neq (\varepsilon)$ практически пропорциональна, характер участка близок к прямолинейному. Такая ситуация соответствует упругому поведению материала.

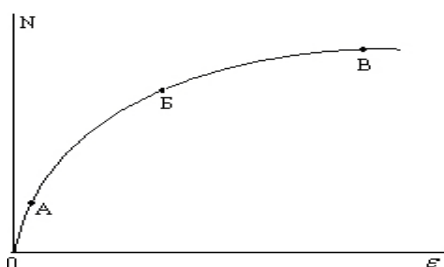


Рис. 2 Зависимость усилие - относительная деформация при растяжении образца из пластмассы (без разрушения)

Участок AB — графическая зависимость приобретает криволинейный характер с увеличением относительной деформации. Это объясняется тем, что кроме упругой отчетливо проявляется и пластическая деформация.

Участок BC — пластическая деформация преобладает. Поэтому общая деформация (ε) увеличивается интенсивно, в то время как приращение усилия (N) незначительно.

Приведенный общепринятый и неконкретизированный поведенческий пример показывает, что при нагружении пластмасс в них одновременно развивается

не один, а, по крайней мере, два вида деформаций — упругая и пластическая.

У жестких полимерных материалов преобладает упругая с оставляющая (полиметилметакрилат и аналоги), у пластмасс с развитой деформативностью — пластическая (полиэтилен низкой плотности, поливинилхлорид-пластикат). У большинства промышленных термопластов соотношение ε — N не носит, так сказать, антагонистического характера (полиэтилен высокой плотности и линейный полиэтилен низкой плотности).

Таким образом, полимерные материалы являются вязкоупругими физическими телами.

Для описания феноменологии, то есть поведения полимеров под нагрузкой, используют формализованные модели, описывающие тот или иной вид деформирования и действующие при этом напряжения.

Впервые поведение вязкоупругого тела моделировал Максвелл с помощью последовательно соединенных пружины (упругая деформация) и поршня, движущегося в вязкой среде (необратимая деформация течения) (рис. 3, а). Кельвин, а позднее Фойгт моделировали поведение вязкоупругого тела поведением системы, состоящей из пружины и вязкого элемента, соединенных параллельно (рис. 3, б).

В модели Максвелла постоянное напряжение при заданной постоянной скорости растяжения устанавливается не сразу, как в вязкой жидкости, а постепенно.[2]

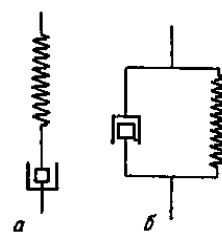


Рис. 3 Элементы Максвелла (а) и Кельвина (б).

Для исследования жесткости по модели Максвелла и Фойгта полимерных материалов на основе СВМПЭ, авторами были изготовлены плоские образцы из 4 различных композиций и один образец из чистого СВМПЭ «ТНХК» без добавок:

1 - СВМПЭ «ТНХК»; 2 - СВМПЭ «ТНХК» + 3% Cu; 3 - СВМПЭ «ТНХК» + 7% Cu; 4 - СВМПЭ «ТНХК» + 10% Cu; 5 - СВМПЭ «ТНХК» + 13% Cu

Жесткость по модели Максвелла и Фойгта описанная выше исследовались с помощью универсальной установки «Импульс — 1Р»

(рис. 4). Расчет характеристик проводился с использованием программного обеспечения, входящего в комплект измерительного комплекса.

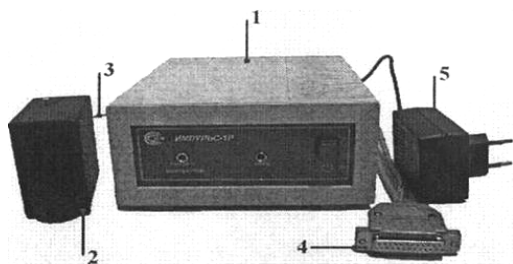


Рис. 4 Общий вид установки «Импульс-1Р». 1 - блок АЦП, 2 - датчик, 3 - измерительный кабель, 4 - интерфейсный шлейф, 5 - сетевой шнур



Рис. 5 График зависимости вязкости по модели Максвелла от процентного содержания наполнителя

По результатам исследований и последующей математической обработки были получены численные значения вязкости и жесткости представленные в виде графиков на рис. 5-7.



Рис. 6 График зависимости вязкости по модели Фойгта от процентного содержания Наполнителя

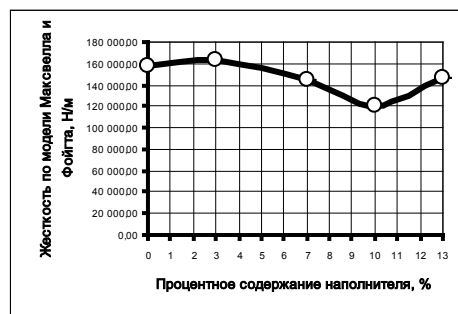


Рис. 7 График зависимости жесткости по модели Максвелла и Фойгта от процентного содержания наполнителя

Вывод:

Анализ графиков показывает общее уменьшение значений вязкости и жесткости композиционных полимеров при увеличении содержания наполнителя до 10%, что соответствует существуем данным представленным на рисунке 1. Однако у композиционного полимера и меньшего содержания наполнителя 3% наблюдается увеличение абсолютных значений как вязкости так и жесткости, что можно предположительно объяснить началом изменения структуры слоев полимера граничащих с частицами наполнителя, и как следствие изменение свойств композита в целом.

Список литературы

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности/ Под ред. И.Н. Андреевой, Е.В. Веселовской, Е.И. Наливайко и др.—Л.: Издательство Химия, 1982.—80с.
2. Тагер А.А. Физико — химия полимеров./М, и издательство «Химия», 1968г. - 536с.

ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЛОГО ЧУГУНА ПОСРЕДСТВОМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Мусатов И.Л.

Научный руководитель: Добрынина А.В., к.т.н., доцент
Хакасский технический институт – филиал «Сибирского Федерального Университета»
655017, Россия, г. Абакан, ул. Щетинкина, 27
E-mail: ilmotor@mail.ru

Развитие научно-технического прогресса неразрывно связано с повышением надежности и долговечности машин и механизмов, что достигается на основе постоянного улучшения качества металлов и сплавов, неуклонного повышения их прочностных и пластических характеристик, роста сопротивления распространению трещин. При этом улучшение качественных характеристик материалов должно достигаться за счет постоянного совершенствования и создания новых прогрессивных экономичных и энергосберегающих технологий их обработки.

Одним из направлений в создании новых технологических процессов является разработка способов термоциклической обработки (ТЦО) металлов и сплавов. Созданные к настоящему времени процессы ТЦО позволяют регулировать зеренное строение металлов и сплавов, размеры и распределение частиц избыточных фаз, что увеличивает их пластичность, прочностные свойства, повышая надежность работы машин, в том числе в условиях Крайнего Севера. При применении ТЦО достигается сокращение длительности цикла термической обработки. В ряде случаев несколько операций термической обработки оказывается возможным заменить единственной операцией термоциклирования. Это в ряде случаев уменьшением трудоемкости приводит к существенному уменьшению энергоемкости процессов.

Воснове такой обработки лежат известные представления о фазовых и структурных превращениях, описываемых фазовыми и структурными диаграммами состояния металлических систем, кроме того, учитывающие наиболее тонкие структурные эффекты, малозначимые при обычной термической обработке, но принимающие новое значение при многократном осуществлении превращений при термоциклировании.

Одним из важнейших структурных эффектов при ТЦО является микропластическая деформация фазовых составляющих сплавов, накопление которой от цикла к циклу повышает уровень свободной энергии фаз, что становится

термодинамическим стимулом всех развивающихся в дальнейшем самопроизвольных процессов, приводящих к коренному изменению структуры сплава, повышению комплекса его физико-механических свойств.

Развитие фазовых и структурных превращений в белом чугуне при термической обработке, а также других видах воздействия на структуру чугуна, связанных с применением высокотемпературных нагревов, в основном определяется термической стабильностью ледебурита (эвтектика: цементит + аустенит). Цементитная составляющая ледебурита в эвтектическом белом чугуне контролирует его комплекс механических свойств, определяя практически нулевую пластичность при комнатной температуре и невысокие значения прочностных свойств чугуна. Такие свойства ограничивают применение белого чугуна в качестве конструкционного материала.

Повышение пластичности белого чугуна можно достигнуть путем замены цементитной основы на аустенитную (перлитную) с относительно равномерным распределением в ней изольированных цементитных кристаллов. Высокотемпературный нагрев до 1123-1323K с длительной выдержкой при этих температурах способствует повышению пластичности чугуна в связи с наблюдавшимся формированием аустенитной матрицы взамен цементитной [1]. Исследовано влияние высокотемпературного нагрева и термоциклирования в интервале температур переменной ограниченной растворимости углерода в аустените на структуру и свойства белого чугуна, в результате чего был создан способ ТЦО белого чугуна.

Процессы, протекающие при термоциклировании, с использованием высокотемпературных нагревов повышают пластичность чугуна преимущественно за счет ускорения процессов графитизации, которые обеспечивают распад цементита в ледебуритную эвтектику, в результате чего уменьшается доля химически связанного углерода, уменьшается число хрупких кристаллов цементита и увеличивается объем относительно пластичных перлитных

участков в структуре чугуна. Однако, значительное уменьшение количества кристаллов цементита за счет графитизации часто является нежелательным явлением, поскольку это уменьшает твердость и износостойкость чугуна. И излишнее количество графита, особенно, в неблагоприятной хлопьевидной форме, не позволяет получать высокую пластичность чугуна.

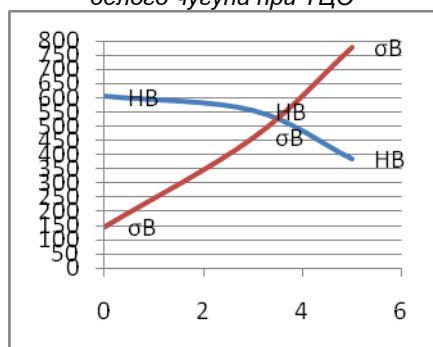
Термоциклической обработке по предложенному способу подвергали чугун с содержанием углерода 4,29%, обработку проводили в интервале температур от 1073K до 1393K. Изменяли верхнюю и нижнюю температуры термоциклирования, длительность выдержек, число циклов.

Результатами механических испытаний сведены в таблицу 1 и представлены на графике 1.

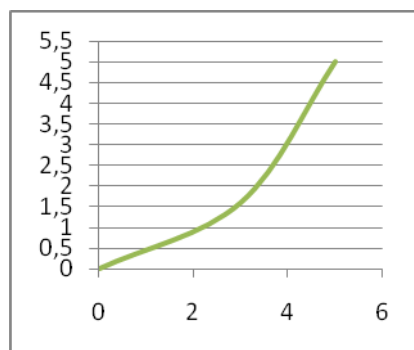
Таблица 1. Изменение механических свойств белого чугуна при ТЦО

Число циклов	НВ	σ_B , МПа	δ , %
Исходное состояние (литье)	605	147	0
3	555	461	1,6
5	387	780	5

График 1. Изменение механических свойств белого чугуна при ТЦО



а) зависимость твердости НВ и предела прочности σ_B , МПа от числа циклов ТЦО



б) зависимость относительного удлинения δ , % от числа циклов ТЦО

При длительностях выдержек при верхней температуре термоциклирования более 180 секунд и количестве циклов более 5 в чугуне появились зародыши графита. Были получены образцы с точечным графитом, образовавшимся при графитизации точечных сфероидизированных цементитных кристаллов после предварительной термоциклической обработки чугуна по приведенному выше оптимальному режиму. Кроме того, при некоторых условиях предварительной термической обработки графит имел форму чешуек. Его образование связано с графитизацией цементита, выделившегося при ТЦО по границам зерен.

Металлографическими исследованиями показано (рис. 1, 2: светлые пятна - цементит, темные пятна - ледобурит), что термоциклирование вызывает деление цементитного кристалла в случае ледобурита, изменение формы эвтектического цементита, сфероидизацию и коагуляцию цементитных частиц.



Рис. 1. Структура белого чугуна до ТЦО

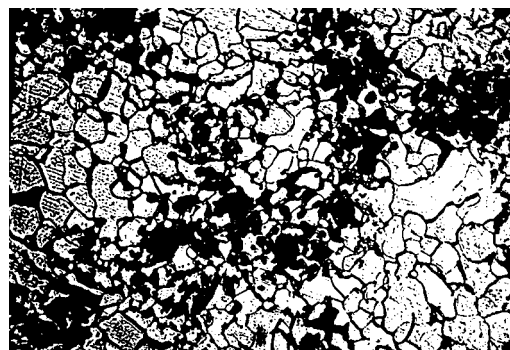


Рис. 2. Структура белого чугуна после ТЦО

Белый чугун, прошедший ТЦО, оказалось возможным подвергать горячей пластической деформации в том случае, если графитизация цементита по-прежнему полностью и лишь она завершается образованием точечного графита.

Список литературы

1. Биронт, В. С. Основы теории и технологии термоциклической обработки металлов и сплавов / В. С. Биронт. – Красноярск, 1984 – 76с.

2. Дальских А. М. Технология конструкционных материалов / А. М. Дальских, Т. М. Барсукова, Л. Н. Бухаркин. – М.: Машиностроение, 2004 – 384 с.

3. Гуляев А. П., Металловедение / А. П. Гуляев. - М.: Металлургия, 1986 - 544 с.

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАННОГО СПЛАВА Cu+Fe ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА

Нефедьев А.А., Дубский Г.А., Егорова Л.Г.

Научный руководитель: Вдовин К.Н., д.т.н., профессор
Магнитогорский государственный технический университет,
455000, Россия, г. Магнитогорск, пр.Ленина 38
E-mail: egorov-lyudmil@yandex.ru

Рабочие медные стенки кристаллизаторов МНЛЗ, в процессе их эксплуатации подвергаются мощным механическим и тепловым воздействиям со стороны расплава и формируемого в них слитка, что приводит к их интенсивному износу, уменьшается время межремонтных периодов. Основным параметром, который снижает износостойкость и жаропрочность рабочих стенок кристаллизаторов, является температура рекристаллизации.

В чистой меди влиять на изменение этой характеристики практически невозможно, но как показывают последние исследования [1-

3], посредством микролегирования мед и некоторыми металлами удается достаточно существенно изменять и фазовый состав, и зерно-границную структуру, и температуру рекристаллизации.

Для исследования влияния концентрации железа в сплаве Cu+Fe на изменение его температуры рекристаллизации, нами было получено несколько сплавов с разной концентрацией, но не превышающей предел растворимости Fe в твердом растворе Cu+Fe. Химический состав полученных образцов представлен в табл.1.

Таблица 1
Содержание примесей в исследуемых образцах

№ образца	% содержание примесей химических элементов в Cu						
	Fe	Ag	P	Ni	Sn	Zn	Pb
1	0,065	-	0,001	0,002	0,001	0,003	0,003
2	0,086	-	0,005	0,003	0,001	0,002	0,002
3	0,097	0,0014	0,0004	-	-	0,0025	0,0004
4	0,17	0,0018	0,001	-	-	0,002	0,0004
5	0,28	0,0018	0,0008	-	-	0,005	0,0004
6	0,3	-	0,001	0,003	0,008	0,004	0,003

Из полученных сплавов было подготовлено несколько серий образцов. Каждая серия, состоящая из семи образцов, соответствовала одной и той же концентрации железа. Далее в выбранная серия отжигалась при 650°С в течение одного часа, а после охлаждалась в месте с печью. После этого каждый образец из этой серии (с одной и той же концентрацией железа) подвергался обжатию до заданной величины, а именно 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %. Подготовленная таким образом серия образцов подвергалась отжигу

и измерению твердости каждого образца. Отжиг осуществлялся с тупенчато, т. е. в каждой ступени температура увеличивалась на 20 °С, после чего серия образцов охлаждалась и измерялась их твердость. Таких ступеней было 25, что соответствовало максимальной температуре нагрева образцов – 500 °С. Подобная работа была проделана для всех серий образцов, с различной концентрацией железа.

Полученная зависимость твердости от температуры отжига для разных величин

обжатию одной серии образцов (Cu + 0,17% Fe) приведена на рис. 1.

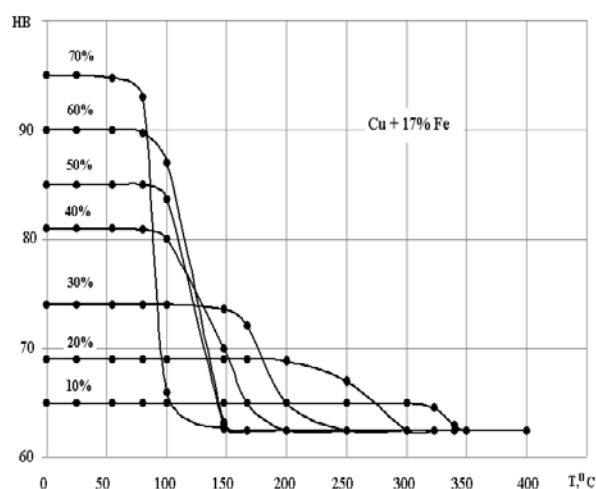


Рис. 1 Зависимость твердости от температуры отжига для разных величин обжатия серии образцов (Cu + 0,17% Fe)

Каждая серия кривых зависимости твердости образцов от температуры отжига для разных обжатий позволяла построить зависимость температуры рекристаллизации от величины деформации. Эти зависимости представлены на рис. 2.

Температура рекристаллизации определялась по наибольшей скорости

$$V = \frac{dH}{dT}$$

сброса дислокаций при отжиге, т.е. Эта точка соответствовала точке перегиба кривой $H = f(T_{om})$.

Из кривых, приведенных на рис. 2, следует, что температура рекристаллизации с ростом концентрации железа в пределах растворимости в меди для разных величин обжатия растет.

Зависимость температуры рекристаллизации от концентрации железа в сплаве Cu+Fe показана на рис. 3.

Из приведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. С ростом концентрации железа в меди в пределах ее растворимости в твердом растворе $0 \leq C \leq 0,3\%Fe$ твердость полученных сплавов растет (следует из кривых $H = f(T_{om})$ для каждой серии образцов).

2. Температура рекристаллизации исследованных образцов с ростом величины обжатия нелинейно уменьшается, а с ростом концентрации железа в пределах растворимости в твердом растворе нелинейно растет (рис. 2, рис. 3).

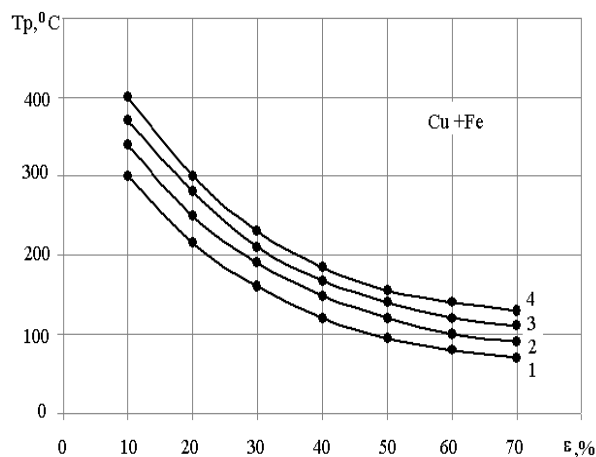


Рис. 2 Зависимость температуры рекристаллизации

от величины деформации образцов для разных концентраций железа в меди (1 - 0% Fe, 2 - 0,17% Fe, 3 - 0,28% Fe, 4 - 0,3% Fe)

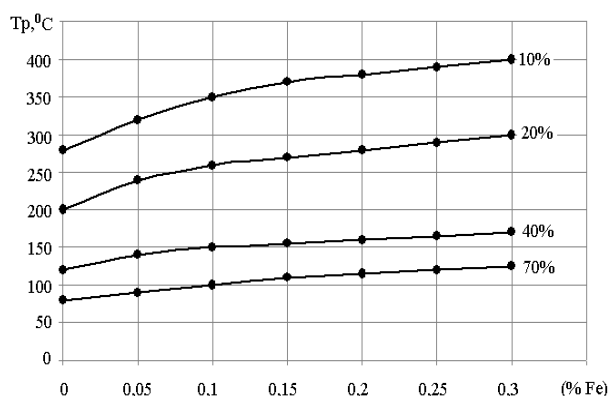


Рис. 3 Зависимость температуры рекристаллизации

сплава Cu+Fe от концентрации железа для разных величин деформаций

Какова же природа поведения указанных в выводах свойств, исследованных сплавов? Основными факторами, влияющими на характер поведения твердости и температуры рекристаллизации, являются:

1. наличие растворимых атомов железа;
2. число и распределение дислокаций в единице объема сплава;
3. число зерен на единицу площади исследуемых образцов;
4. зерно-границная структура сплава.

Как было показано Моттом и Набарро [1] для очень малых концентраций растворенного в растворителе вещества величина упрочнения при образовании твердого раствора в первом приближении может быть определено так:

$$\sigma_T = G\varepsilon^2 C \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{r_{Fe} - r_{Cu}}{r_{Cu}}$$

где ε – размерный коэффициент, определяемый от соотношением разности атомных радиусов растворенного вещества и растворителя, C – концентрация растворенного вещества, образующего твердый раствор, G – модуль сдвига.

Формула (1) показывает, что величина упрочнения с ростом C линейно растет для малых C . На величину упрочнения также влияет число зерен, их плотность на единицу площади и их структура. Холлом и Петчем [2] было установлено, что зерно-границное упрочнение равно:

$$\sigma_T = \sigma_0 + kd^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

где k – масштабный коэффициент упрочнения, d – эффективный диаметр зерна.

Наши исследования показали, что при росте концентрации железа в мед и в пределах образования твердого раствора зерна в полученных сплавах зерна уменьшаются. А это должно приводить согласно (2) к увеличению упрочнения. Таким образом, перечисленные выше факторы должны приводить к росту упрочнения и твердости и следующим образом, что подтверждается приведенными нами исследованиями.

Теперь что касается температуры рекристаллизации исследованных сплавов. Исследования показали, что:

1. Изменение концентрации железа в меди, в пределах образования твердого раствора приводит к тому, что температура рекристаллизации с ростом концентрации растет.

2. С ростом величины деформации сплавов, которая приводит к росту числа дислокаций и к изменению их распределения температура рекристаллизации уменьшается.

Чтобы понять по какому и какому изменению температуры рекристаллизации (T_p) необходимо выяснить какой из двух основных процессов (процесс формирования центров рекристаллизации путем перераспределения дислокаций или их рост, в связи с миграцией границ зерен) более подвержен влиянию малых концентраций мигрирующей добавки и является определяющим в повышении T_p .

Согласно Котереллу при растяжении примесных атомов должно быть тем сильнее, чем больше величина напряжений вокруг дислокаций. Примеси диффундируя к дислокациям образуют примесные облака, тем самым уменьшая ее подвижность. В том случае, когда такое взаимодействие происходит между примесными атомами и индивидуальными дислокациями или дислокационными сетками, оно должно сказаться на перераспределении дислокаций, т.е. привести к задержке формирования центров рекристаллизации, увеличивая тем самым температуру рекристаллизации. Подтверждение такого факта является то, что торможение рекристаллизации малыми примесями вызвано, прежде всего, их упругим взаимодействием с дислокациями [3]. Наша работа также может служить подтверждением предложенного механизма роста T_p .

Список литературы

1. Набарро Ф. Р., Базинский З. С., Холт Д.Б. Пластичность чистых металлов и сплавов: пер. с англ., / М., 1967. 216 с.
2. Металлургия и материаловедение. Р.Циммерман, К.Гюнтер. Перевод с немецкого Б.И.Левина и Г.М.Ашмарина под редакцией П.И.Полухина и М.Л.Бернштейна / М.: Металлургия, 1982. 480 с.
3. Бублик В.Г., Горелик С.С. // ФММ. 1964, Т18, №1, С. 62-68, №3, С. 416-422.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕЖОГА АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ

Олейникова О.С.

Научный руководитель: Самборук А.Р., д.т.н., профессор
Самарский государственный технический университет,
443100, [Россия](#), [г.Самара](#), ул.Молодогвардейская, 244
E-mail: oleynikovaolesya@mail.ru

Вопрос изучения процесса пережога, уточнения верхнего предела температур нагрева под закалку промышленных алюминиевых сплавов является актуальным в практике металлографических лабораторий, при разработке режимов термообработки, исследованиях структуры.

Пережог в алюминиевых деформируемых сплавах может наблюдаться в процессе гомогенизации слитков, при нагреве их перед деформацией, в очаге деформации, нагретых полуфабрикатов под закалку и при различных технологических и эксплуатационных нагревах. Его можно избежать правильным назначением температурных интервалов термической обработки с учетом химического состава сплава и структурного состояния слитков и полуфабрикатов и жестким контролем за их соблюдением.

Основной задачей при этом является умение надежно выявлять наличие пережога, в частности его ранние трудно выявляемые стадии, чтобы не пропустить дефектный металл к дальнейшей обработке и на изделия.

Структурные изменения, вызываемые оплавлением (пережогом) и последующей кристаллизацией расплавленных микрообъемов, сопровождаются развитием пористости, оказывают влияние на физико-механические, технологические, коррозионные свойства. Начальные стадии пережога полуфабрикатов при закалке, не ухудшая механических свойств, уменьшают ударную вязкость, работу разрыва образца с трещиной, усиливают чувствительность материала к образованию закалочных трещин. Более сильный пережог вызывает резкое снижение механических свойств, а в отдельных случаях приводит к полному разрушению материала, авариям при работе изделий.

Алюминиевые сплавы подвергаются трем видам термической обработки: отжиг, закалка и старение. Основными видами отжига являются: диффузионный (гомогенизация), рекристаллизационный и отжиг термически упрочненных сплавов.

1. Пережог в полуфабрикатах и з

алюминиевых сплавов приводит к оплавлению эвтектических составляющих и избыточных легкоплавких фаз.

2. Температура начала пережога в зависимости от химического состава сплава, степени деформации может изменяться в широких пределах.

3. Пережог может иметь место:

а) в слитках - в процессе гомогенизации, - при нагреве перед деформацией;

б) в полуфабрикатах и деталях:

- при медленном повышении температуры равновесного (неравновесного) солидуса в процессе деформации;

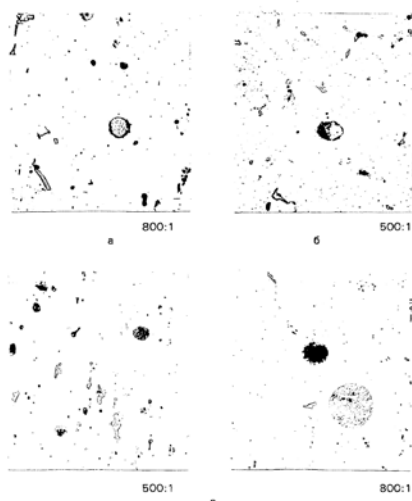
- при различных межоперационных и эксплуатационных нагревах.

В соответствии с этим следует различать пережог гомогенизационный, деформационный, закалочный и другие виды пережога.

Процесс пережога в многокомпонентных сплавах протекает в интервале температур и времени, зависящем от природы сплава и степени отклонения от литков и литых полуфабрикатов от равновесного состояния. Последняя определяется химическим составом сплава, условиями плавки и литья, степенью деформации, температурой и продолжительностью пребывания в нагревательных печах, характером структуры (рекристаллизованная, нерекристаллизованная), дисперсностью структурных составляющих и т.д.

Для деформируемых алюминиевых сплавов пережог характеризуется общими металлографическими признаками, к основным из которых относятся:

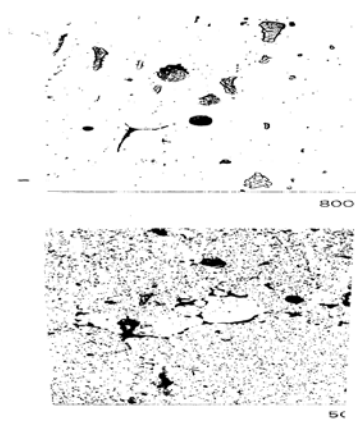
1. Внутризеренные сферические глобулы с тонким эвтектическим строением, которые появляются в результате оплавления частиц растворимых фаз, не перешедших в твердый раствор к моменту нагрева до температуры солидуса показаны на рисунке 1, а, в.



а, б – начало образования ободков вокруг фаз;
б – усадочно – водородная пористость вокруг
глобуля; в – эвтектический глобуль

Рис. 1 – Отдельные структурны элементы,
образующиеся при пережоге деформированных
полуфабрикатов (начало)

2. Эвтектические дисперсные выделения на границах зерен и субзерен, образовавшиеся в результате процессов оплавления в микро- и макрообъемах при нагреве выше температуры солидуса и последующей их неравновесной кристаллизации при охлаждении можно рассмотреть на рисунке 1, г.

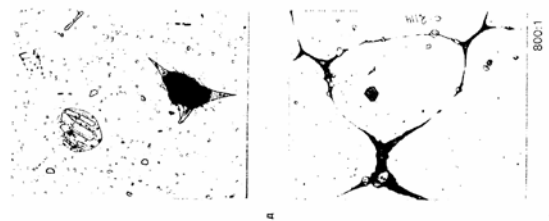


г- дисперсные выделения эвтектики на
границах зерен

Рис. 2 – Отдельные структурны элементы,
образующиеся при пережоге деформированных
полуфабрикатов (начало)

3. Эвтектические образования в округ включений нерастворимых интерметаллидных фаз.

4. Усадочно – водородная пористость, образовавшаяся при кристаллизации оплавленных объемов и изображена на рисунке 1, д.



д - усадочно водородная пористость в глобуле и
стыках зерен, е-оплавление зерен изменение
огранки первичных интерметаллидов

Рис. 3 – Отдельные структурны элементы,
образующиеся при пережоге деформированных
полуфабрикатов (начало)

Пережогу могут сопутствовать:

1. микропористость;
2. изменение в величине и формы структурных составляющих;
3. изменение в величине и формы зерен, образование "светлых" зерен, обусловленные процессом их роста при наличии жидкой неравновесной фазы;
4. пузыри на поверхности полуфабрикатов (деталей);
5. закалочные трещины.

В практике металлургических лабораторий остается актуальным вопрос изучения процесса пережога, уточнения верхнего предела температур нагрева перед закалкой промышленных алюминиевых сплавов.

Контроль полуфабрикатов на пережог путем измерения электропроводности не выявляет его начальные стадии и не применим при межоперационных нагревах.

В практике металлурга при возможных отклонениях от технологии возникает необходимость идентификации пережога на самых различных операциях. К тому же при общей, в целом, сходимости структурных признаков закалочного пережога различные сплавы и имеют свои особенности на чальной стадии оплавления.

Пережженный металл и исправить нельзя, заготовка идет обычно в брак, а сохранившийся металл может быть использован только путем переплавки в мартеновской печи. Для предупреждения пережога металла необходимо при нагреве соблюдать следующие основные условия:

1. Сжигать топливо с наименьшим коэффициентом избытка воздуха так, чтобы в печных газах не было свободного кислорода.

2. Не загружать заготовки на (под) печи «навалом», а располагать их таким образом, чтобы они по возможности омывались

печными газами, а факелы горелок и лифорсунок не били бы (лизали) по поверхность нагреваемых заготовок.

3.3 загружать в печь металл можно столько, чтобы ковочный агрегат мог его проковать за время, которое необходимо для нагрева заготовки до ковочной температуры. Лучше загружать печь поштучному способу, т.е. одна-две нагретые заготовки выдаются из печи, а на их место их подаются холодные заготовки и т.д. Приштучной загрузке продолжительность пребывания металла при высоких температурах будет такой, какая требуется для его нагрева. Это даст

возможность избежать перегрева и пережога металла.

Список литературы

1 Колобнев Н.И. Начальные стадии пережога в полуфабрикатах из сплава Д16. // ТЛС, 1996, NQ 6, С.37-40.

2 Кочаев Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: 2001, 416с.

3 Акулич Н.В. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учебное пособие. 2008 - 272 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КАРБИДОСТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТИГЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Оспанов Е.С.

Научный руководитель: Сизова О. В., д.т.н. профессор

Томский политехнический университет

E-mail: gektor_88_88@mail.ru

Карбидосталь [carbonized (carburized, cement) steel] – композиционный термоупрочненный материал, содержащий 30-35 об.% мелкодисперсных частиц карбида или карбонитрида титана, равномерно распределенных в матрице (основе) и инструментальной, теплоустойчивой стали, преимущественно и быстрорежущей (табл. 1).

Таблица 1.
Химический состав карбидосталей

Марка стали	C	Cr	W	Mo	V	Co	Ti
P6M5K5-КТ20 (КСТ-1)	4,5–5,0	3,0–3,5	4,8–5,8	3,8–4,3	1,3–1,8	3,8–4,3	15–17
6Х3ВЗМФС-КТ 20 (КСТ-2)	4,0–4,5	4,4–5,3	2,0–2,6	0,4–0,7	0,4–0,7	-	15–17

Анализ литературных данных показывает, что с оставы наиболее распространенных карбидосталей содержат в качестве связки малоуглеродистые и легированные стали. За рубежом для повышения износостойкости карбидостали используют в водят в место карбида титана карбиды ниобия и ванадия [1]. Поуровню режущих свойств карбидосталь занимает промежуточное положение между быстрорежущими сталями повышенной теплоустойчивости (Р6М5К, Р9М4К8) и W-Co-сплавами (типа ВК8), превосходя последние по прочности при изгибе на 600–800 МПа. [2] (например

Р6М5К5-КТ20, 6Х3ВЗМФС-КТ20 материал при обработке) (табл.2).

Таблица 2.
Режимы термической обработки и основные свойства карбидосталей

Марка стали	Твердость Нгсэ после отжига	Tз, °С	Tотп, °С	Твердость / HRA	σ _{изг} , МПа
P6M5K5-КТ20 (КСТ-1)	40–44	1190–1210	540–560	88–89	1400–1700
6Х3ВЗМФС-КТ 20 (КСТ-2)	38–42	1060–1075	перв. 550–560 втор. 480–520	86–88	2000–2500

Примечание. Режимы отжига: КСТ-1 — нагрев до 850–860 °С, выдержка 2–3 ч, охлаждение до 730–740 °С со скоростью 20–30 град/ч, выдержка 4–6 ч, охлаждение со скоростью 30–40 град/ч до 600 °С, охлаждение с печью до 300 °С, далее — на воздухе; КСТ-2 — нагрев до 860–880 °С, выдержка 3–5 ч, охлаждение со скоростью 20–30 град/ч до 760–780 °С, выдержка 4–6 ч, охлаждение со скоростью 30–40 град/ч до 550 °С, далее — на воздухе.

Одной из разновидностей карбидосталей можно считать композиционные материалы,

которые представляют собой металлическую матрицу (основа) с заданным распределением в ней упрочнителей (например, дисперсных частиц и др.) Как выше указывалось о связях в карбидостаях, исследовано содержание легирующих элементов в различных микрообъемах материала, содержащих частицы титанового соединения. Здесь можно выделить несколько зон (рис.1).

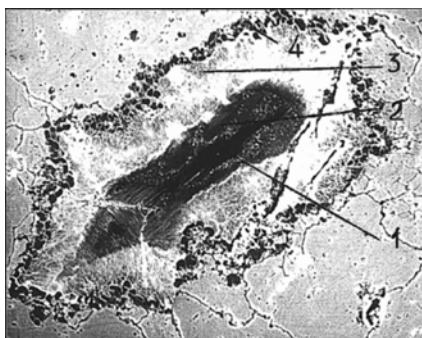


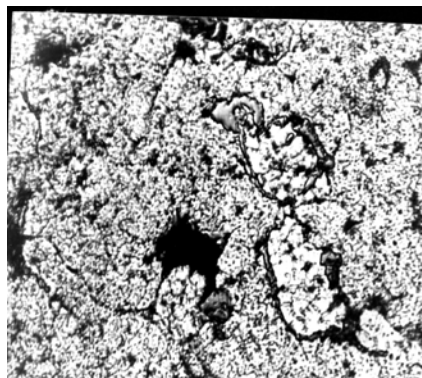
Рис.1. Упрочняющая фаза в спеченном материале.

Первая из них представляет собой карбид титана, обедненный углеродом по сравнению с составом TiC.

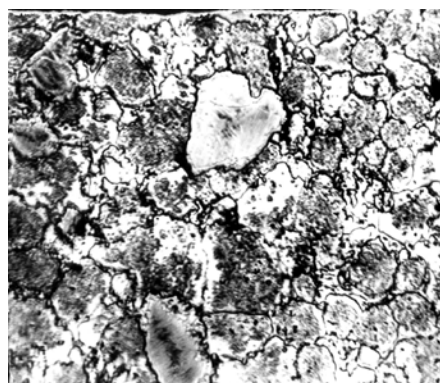
Во второй несколько увеличивается содержание

вольфрама и молибдена, которое резко возрастает в третьей области. Обнаружены следы хрома и железа. В переходной зоне 4 между матрицей и упрочняющей фазой концентрация атомов титановых соединений уменьшается до уровня ниже их концентрации в матрице и значительно ниже уровня наблюдаемого в зоне 3. Повышается содержание железа при сохранении содержания титана. По-видимому, в данной области происходит образование интерметаллидных соединений титана и железа в результате диффузии и их атомов через жидкую прослойку, а также в твердой фазе. Вероятно, образование интерметаллидов такого типа способно оказать ограничивающее влияние на диффузионный перенос атомов вольфрама и молибдена через переходную зону.

Интенсивное образование жидкой фазы и частичное заполнение порового пространства с сегрегацией на поверхности мелких карбидов наблюдается в местах залегания частиц титана. Однако в структуре материала сохраняется значительная пористость, что свидетельствует о недостаточной для уплотнения [2] температуре спекания (рис 2).



а



б

Рис.1. Упрочняющая фаза в спеченном материале. При температурах 1050 °C (а), 1180 °C (б), х500

При этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции. Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами. В настоящее время существующие промышленные способы получения карбидосталей основаны в большинстве случаев на методах порошковой металлургии с последующим их прессованием. Недостатком этой технологии является высокая стоимость карбидов и карбонитридов титана и большие затраты, связанные с измельчением и смешиванием материалов. Исследовано изменение структуры материала на основе порошков быстрорежущей стали, упрочненного частицами карбида титана, при жидкофазном спекании. Показано влияние температурных режимов на микроструктуру и распределение легирующих элементов. Установлено снижение степени обезлегирования матрицы при использовании комбинированных

режимов спекания, что способствует повышению эксплуатационных характеристик. Образуется жидкая фаза при спекании значительно усиливается диффузионный массоперенос атомов легирующих элементов. При спекании [1] порошковых систем на основе быстрорежущих сталей, содержащих частицы карбида титана, наблюдается интенсивная диффузия атомов тугоплавких элементов и частиц порошка быстрорежущей стали в области расположения частиц карбида титана. Это приводит к ослаблению стальной матрицы, так и к уменьшению твердости в водимой карбидной фазе. В результате снижаются механические свойства карбидостали и не реализуется ожидаемый уровень вторичной твердости. Актуальной также является проблема повышения вязкости разрушения и износостойкости карбидосталей.

Задачей данного исследования является разработка технологии получения карбидосталей системы Fe-карбид-легирующий элемент методом сплавления исходных компонентов, предназначенной для получения износостойких деталей

дробебетного оборудования. Последние исследования свойств карбидосталей показали ведущую роль матрицы в обеспечении пластичности материала [3]. В настоящей работе основное внимание будет уделено как выбору состава матрицы, которая обеспечит высокий уровень пластичности и прочности изделий, а также выбору упрочняющей фазы. В основу работы положены результаты исследований, выполненные за последнее десятилетие на кафедре технологии металлов ТПУ и лаборатории физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН.

Список литературы

1. Н. Berns "Comparison of wear resistant MMC and white cast iron". –wear-254/(2003) p.47-54.
2. Гурьевич Ю.Г., Нарва В.К., Фраге Н.Р. "Карбидостали" М.: Металлургия, 1988.-142с.
3. С. Н. Кульков, С. Ф. Гнусов, "Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама". Изд-во научно-технической литературы. – Томск. -213с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ

Батаев И.А., Павлюкова Д.В.

Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор

Новосибирский государственный технический университет, 630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20

E-mail: pavlyukova_87@mail.ru

Эффективным технологическим процессом соединения разнородных металлов в твердом состоянии является сварка в взрыве. Сварное соединение получается в результате высокоскоростного наклонного соударения пластин, вызванного направленным в взрывом зарядом взрывчатого вещества. Данный метод позволяет получать высококачественные сложные композиционные материалы с высоким комплексом механических свойств.

В данной работе исследовались структура и свойства девятислойных композитов, полученных методом сварки в взрыве листовых заготовок из сталей 20 и 60Г толщиной 1 мм. Сталь 20 в исходном состоянии имела феррито-перлитную структуру с перлитом пластинчатого типа. Сталь 60Г находилась в феррито-цементитном состоянии. Цементитные частицы имели форму глобул и

равномерно распределялись в ферритной матрице.

Сварка образцов выполнялась по схеме, представленной на рис.1. Для изготовления каждого образца было использовано 4 пластины из сталей 20 и 5 пластин из стали 60Г.

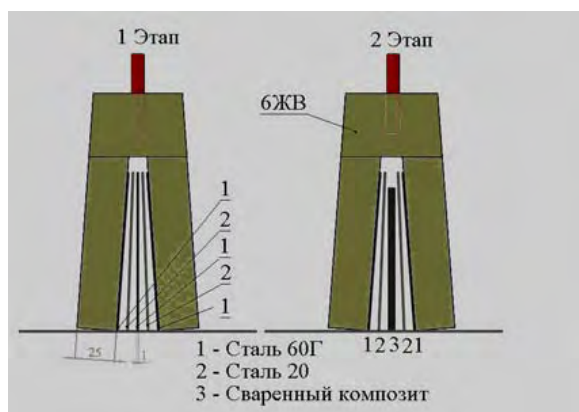


Рис.1. Схема сварки пластин.

Структурные особенности применяемых для сварки сталей позволили металлографически надежно выявить особенности пластической деформации материала в зоне соединения. Установили, что границы соединения в сечении пластин в композитах имеют характерную волнообразную форму (рис.2). Длина и амплитуда волн определяются технологическими параметрами сварки взрывом, геометрическими параметрами соединяемых пластин и свойствами сталей [1]. Данные об этих характеристиках представлены в таблице 1.



Рис.2. Структура композита в поперечном сечении, ориентированном вдоль линии продвижения точки контакта.

Таблица 1. Количественные показатели волн

№ шва	λ , мкм	A, мкм
1	544	264
2	1489	453
3	510	233
4	534	281
5	2750	1155
6	629	299
7	2017	701
8	517	239

На основании анализа результатов исследования были сделаны выводы о наличии эффектов строения сварных соединений в виде межшовных трещин, формирующихся преимущественно со стороны гребней волн, что свидетельствует о различных прочностных характеристиках даже в пределах отдельно взятой границы раздела (рис.3). В работе также производилась оценка микротвердости отдельных участков сваренных пластин. Различные значения микротвердости были зафиксированы в сходной микроструктуре сталей 20 и 60Г, в деформированных областях и зонах завихрений. Твердость закаленных зон в их стали 20 по Виккерсу достигает 725. Микротвердость закаленных микрообъемов материала в зонах стали 60Г составляет 761. Высокая твердость в их объясняется наличием в них закаленных объемов материала (рис.4).

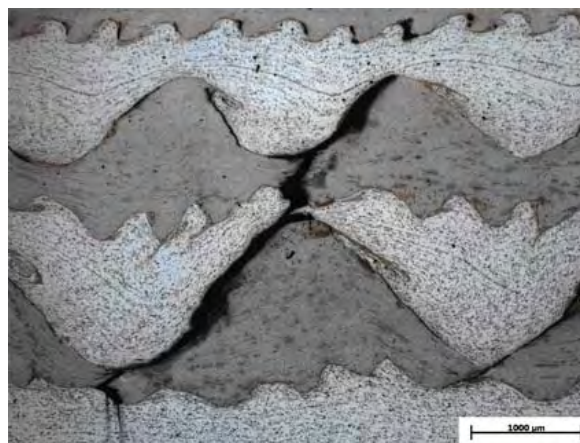


Рис.3. Образование межшовных трещин на границе раздела свариваемых пластин.

Вдоль границы раздела пластины подвержены сильной пластической деформации. Структура стали 20 позволяет наблюдать процессы, происходящие в зоне сопряжения соединяемых пластин. Зерна феррита, расположенные в непосредственной близости к границе раздела пластин, в результате интенсивной

деформации приобретают характерную для процесса обжатия вытянутую форму (рис.4). Тонкодисперсное строение феррито-цементитной смеси пластин из стали 60Г не позволяет средствами металлографического анализа надежно зафиксировать структурные изменения, обусловленные пластической деформацией марганцовистой стали. Частицы глобулярного цементита при воздействии сжимающих напряжений практически не деформируются. Для наблюдения и изменений в ферритной составляющей стали 60Г необходимо использовать метод просвечивающей электронной микроскопии.



Рис.4. Интенсивная пластическая деформация ферритных зерен.

Произведена оценка толщины деформированного слоя различных участков свариваемых швов. Показано, что отношение толщины интенсивно деформированного слоя в зоне гребня волны к толщине слоя в зоне впадины составляет около 0,5-0,6 мкм (табл. 2).

Таблица 2. Отношение толщины деформированного слоя к амплитуде волны (b/a).

2 шов		3 шов		4 шов		8 шов	
a	b	a	b	a	b	a	b
260	212	116	99	174	84	110	109
240	145	130	77	139	103	157	75
254	137	137	74	228	107	147	83
284	186	169	79	161	104	142	69
252	165	209	106	348	148	190	120
310	175	140	71	391	128	149	75
252	179	149	141	161	70	151	71
262	156	156	114	160	71	164	78
322	207	124	95	146	52	194	53
301	165	122	66	151	85	119	87

336	179	138	61	143	106	156	51
362	151	129	79	145	90	142	91
Среднее значение							
286	171	135	82	196	96	152	80
Отношение b/a							
b/a=171/286=0,6	b/a=82/135=0,6	b/a=96/196=0,5	b/a=80/152=0,53				

Деформация, имеющая место при сварке материалов взрывом, реализуется с высокими скоростями нагружения при относительно низких температурах, в результате чего реализуется механизм двойникования [2]. Образование двойников можно наблюдать в ферритной составляющей композиционного материала (рис. 5).

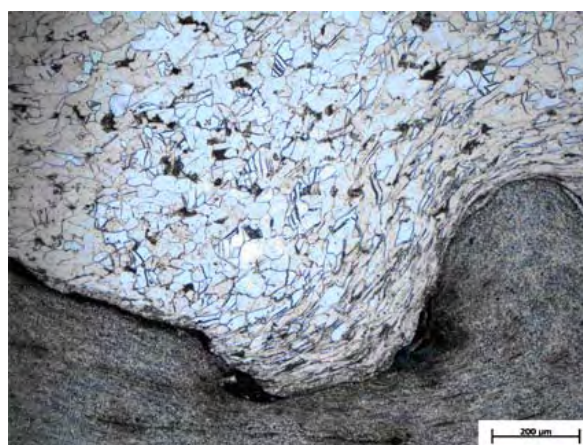


Рис.5. Двойники в феррите стали 20.

Список литературы

- Захаренко И.Д., Сварка металлов взрывом.- Минск.: Наука и техника, 1990. – 205с.
- Лившиц Б. Г., Металлография. – М.: Металлургия, 1990.- 236 с.

КАПИЛЛЯРНАЯ ПРОЧНОСТЬ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

О.Л. Парамонова, И.В. Панов

Научные руководители: Дерябин В.А., д.т.н., профессор, Фарафонтова Е.П., к.т.н.

Уральский государственный технический университет-УПИ

имени первого Президента России Б.Н.Ельцина

E-mail: htss@fsm.ustu.ru

Самоорганизация структуры дисперсных сыпучих материалов играет важную роль в процессах подготовки силикатного, в частности, стекольного сырья. В смесителях создаются условия для перераспределения первоначально неравноценного порционного распределения порошкообразных сырьевых материалов к их достаточно среднему расположению. Непрерывная от носительная переориентация частиц, их подвижность в условиях механического перемешивания создают условия для проявления адгезионных способностей парных контактов. Однако, для сухих шихт с илы молекулярного притяжения твердых частиц настолько малы, что они не вызывают агрегацию компонентов. Сухие контакты не могут привести к фиксации прикоснувшихся частиц. Непрерывно соприкасающиеся частицы сухой шихты лишь после увлажнения начинают собираться в конгломераты. Смеситель с малым динамическим воздействием позволяет фиксировать и сохранять капиллярно образованные контакты. Разрушить такие жидкостные мостики способны лишь сильные перегрузки.

Для дополнительного предотвращения сегрегации частиц подготовленной однородной шихты необходимы условия, при которых будут создаваться группировки сильно притягивающихся зерен. В случае частиц одинаковой формы капиллярная жидкость равномерно распределяясь, не будет создавать подобной неоднородности. Лишь в случае нехватки капиллярной жидкости возможно формирование отдельных капиллярно упрочненных областей, окруженных сухими частицами.

Для формирования структуры частиц, неспособных к сегрегации, необходимо создавать неравноценные капиллярные контакты частиц. Подобная задача может решаться за счет использования:

- а) частиц разных размеров, но одинаковой формы;
- б) частиц одинакового размера, но различной формы;
- в) разного смачивания частиц.

Так, для частиц одинаковой формы и разных размеров есть понятие зародышеобразователей. Ими будут частицы, вес которых превышает

капиллярную силу сцепления с подобными же частицами. Следовательно, сами по себе частицы такой фракции не создают капиллярно упрочненную систему. Однако такие крупные зерна будут притягивать к себе более мелкие частицы, для которых крупная частица играет роль зародышеобразователя [1].

Для частиц одинакового размера и различной формы зародышеобразователями будут выступать граненые зерна. Это обусловлено значительной капиллярной силой притяжения частиц в системе «шар-плоскость». При малом объеме капиллярной жидкости капиллярная сила может быть оценена через выражение $f_{\text{кап}} = 4\sigma\pi R$, в то время как для контакта двух шаров эта сила не превышает значение $2\sigma\pi R$, где R – радиус шарообразной частицы, σ – поверхностное натяжение манжеты (рис. 1).

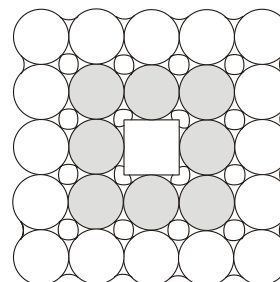


Рис. 1. Схема формирования капиллярно упрочненной области около граненой частицы шихты в приближении плоской модели

В результате одними из приемов противодействия сегрегации можно считать внесение в шихту из шарообразных частиц 5-10 % граненых частиц, обладающих повышенной способностью консолидировать окружающие зерна в присутствии капиллярной влаги. Достаточно просто показать, что кубическая частица собирает около себя до 26 шарообразных частиц. Этот конгломерат снижает подвижность шихты и способствует закреплению и сходной структуры частиц.

В реальности, частицы собираются около зерен, кривизна поверхности которых незначительна. Зародышеобразователи из частиц увеличенного размера наряду с гранеными частицами могут специально

вводиться в однородную шихту и мелких зерен.

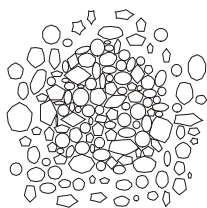
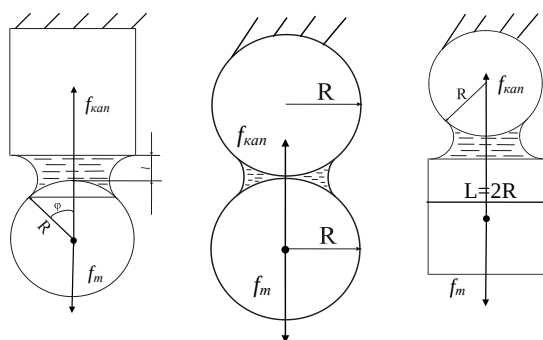


Рис. 2. Схема капиллярно-уплотненной группы частиц

Область капиллярно-закрепленных частиц окружена сухими контактами. У зким з веном является нижний фронт конгломерата, где возможен отрыв отдельных частиц под действием силы тяжести. Этому отрыву противодействует капиллярная сила. Рассмотрим возможность отрыва частиц, как в статическом, так и динамическом состоянии. Будем считать верхнюю частицу закрепленной в области капиллярно-уплотненной группы. Дальнейший анализ относится к нижней частице, отрыв которой и обуславливает сегрегацию шихты.

Проведем анализ возможности сегрегации с учетом сил капиллярного взаимодействия частиц и их силы тяжести (рис. 3)



а) куб-шар б) шар-шар в) шар-куб

Рис. 3. Схемы капиллярного контакта

На рис. 4 показано влияние гравитационного поля на суммарную силу сцепления, когда сила тяжести f_t и капиллярное усилие f_{kap} направлены в противоположные стороны для трех типов контактов: кубическая частица-сферообразная частица (рис. 3, а), шар-шар (рис. 3, б) и шар-кубическая частица (рис. 3, в).

Для контакта «закрепленная кубическая частица-сферообразная частица» и контакта из двух сферообразных частиц выражение для силы сцепления примет вид

$$\Delta f = k \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R \cdot (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2) - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot g \cdot d \cdot R^3$$

для контакта «закрепленная сферообразная частица-кубическая частица»

$$\Delta f = k \cdot \sigma \cdot \pi \cdot R \cdot (\cos \Theta_1 + \cos \Theta_2) - g \cdot d \cdot L^3$$

где σ – поверхностное натяжение, Дж/м²

d – плотность нижней частицы, кг/м³

g – ускорение свободного падения, м/с²

L – размер кубической частицы (рис. 3, в), м.

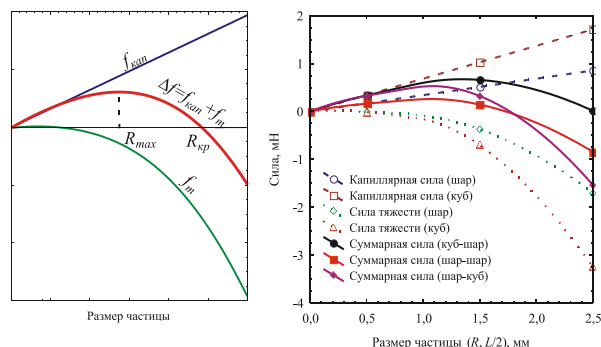


Рис. 4. Зависимость сил, действующих на прилипающую снизу частицу, от ее размера: а) общая схема капиллярно-гравитационного взаимодействия; б) изменение суммарной силы сцепления для разных контактов.

В реальной структуре шихты капиллярные контакты образуются, как правило, частицами разной природы, учитываемой углом смачивания и плотностью. Рассмотрение прочности таких капиллярных структур позволяет выявить особенности сцепления частиц, представленные на рисунке 5.

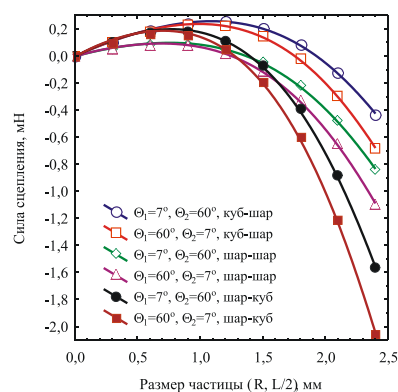


Рис. 5. Капиллярно-гравитационное взаимодействие частиц различной формы с разным смачиванием

ВЫВОДЫ: проведен анализ капиллярно-гравитационного взаимодействия изомерных частиц применительно к процессам сегрегации, возникающим при подготовке стекольной шихты. Показано, что

капиллярная сила с пособна
противодействовать сегрегации частиц.

Список литературы

1. Дерябин В.А., Попель С.И. Окомкование у влажненных порошков. Сообщение 1/ // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 1979. № 10. с. 5-10.

2. Дерябин В.А. Капиллярные силы в дисперсных системах. Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ, 1997. 64 с.

3. Дерябин В.А., Малыгина О.Л., Фарафонов Е.П. Капиллярное противодействие сегрегации частиц в процессах подготовки стержневой шихты // Стекло и керамика. 2006. №1. С.3-5.

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ ОБЛЕГЧАЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР

Семёнов В.С.

Научный руководитель: Орешкин Д.В., д.т.н., профессор.
Московский государственный строительный университет,
129337, Россия, г. Москва, Ярославское ш., 26
E-mail: science-isa@yandex.ru

В последние годы полые стеклянные микросферы, используемые в основном образом, при производстве сложных заливочных пен и композиционных материалов для авиа- и судостроения, нашли своё применение и в строительстве (для приготовления облегчённых цементных растворов, лакокрасочных материалов, шпаклёвок, мастик, герметизирующих материалов). В частности, одной из областей применения полых стеклянных микросфер (далее ПСМС) в строительстве являются облегчённые цементные растворы, в первую очередь, тампонажные.

Цементный тампонажный раствор применяется при строительстве нефтегазовых скважин для их крепления и исключения перетоков из пласта в пласт. Тампонажный камень в скважине воспринимает и сгибающие и растягивающие нагрузки, в сестороннее сжатие в округ стальной обсадной трубы, а также подвергается воздействию различных агрессивных сред. Все вышеперечисленные факторы могут привести к появлению и развитию трещин в цементном камне [1].

Специфика нефте- и газодобычи не позволяет использовать тампонажный материал с трещинами, хотя такое утверждение не регламентировано ни одним нормативным документом. Нередко допускается даже с амое кратковременное раскрытие трещин, которое может привести к снижению дебита скважины, а также перетокам из пласта в пласт, что запрещено охраной недр. А в условиях многолетних мёрзлых пород появление трещин ещё и ухудшает теплоизолирующие свойства

тампонажного камня, что может привести к растеплению горных пород, окружающих скважину.

Поэтому вопрос трещиностойкости облегчённых тампонажных материалов является довольно актуальным.

При рассмотрении понятия трещиностойкости авторы работ [1-4] сходятся на необходимости рассмотрения следующих его составляющих:

1. Собственно трещиностойкость — способность материала сопротивляться образованию магистральной трещины. Трещиностойкость можно оценивать до старта магистральной трещины. В процессе трещиностойкости участвует структура в сего сечения образца в целом.

2. Сопротивление материала росту магистральной трещины после её образования и ли вязкость разрушения. На вязкость разрушения после старта локальной трещины будут оказывать влияние величины прочности цементной матрицы, наполнителя и их контактной зоны.

В процессе образования магистральной трещины разрушение материала может произойти по цементной матрице, наполнителю и контактной зоне. Было установлено [3], что разрушение цементного камня с ПСМС происходит по цементной матрице контактной зоны благодаря высокой прочности при объёмном сжатии микросфер. Этот факт говорит о том, что в цементных системах с достаточным прочным наполнителем наиболее слабым звеном является контактная зона.

На трещиностойкость облегченного цементного тампонажного материала может оказывать влияние ряд факторов.

Почти все свойства и структура цементного камня зависят от водоцементного отношения. Как известно, высокое водосодержание ухудшает физико-механические характеристики цементного материала: прочностные, трещиностойкость, а также повышает водопоглощение, различную проницаемость.

Введение ПСМС, а также претированных кремнийорганическим препаратом (АПСМС), модифицирует структуру облегченного материала с ПСМС, уплотняет её, поэтому увеличивается прочность на растяжение при изгибе. Это приводит к значительному росту затрат энергии на инициирование (старт) локальной трещины. Применение гидрофобизованного наполнителя АПСМС приводит к снижению его поверхностных сил и, соответственно, к уменьшению водопотребности раствора, а также к упрочнению контактной зоны, т.е. к улучшению структуры. Таким образом, облегченный тампонажный камень с АПСМС обладает улучшенной трещиностойкостью.

Довольно интересным с научной точки зрения является вопрос коррозии ПСМС в среде цементного камня и влияния данного процесса на трещиностойкость материала. При помощи микроструктурного, химического и рентгенофазового анализа было выяснено, что полые стеклянные микросферы имеют тонкую оболочку из натрийборосиликатного стекла. Известно, что натриевое стекло обладает стойкостью к кислотам, но менее стойко к воздействию щелочной среды, которая имеет место в цементных системах. Микросферы, обладая более высокой адсорбционной активностью по сравнению с более крупными частицами цемента, адсорбируют ионы и продукты гидратации цемента и являются центрами кристаллизации в материале с ПСМС [1]. В результате на поверхности микросферы образуются плотный контактный слой. Введение АПСМС создаёт в цементной матрице равномерно распределённую ячеистую структуру, в которую полые микросферы окаймляют поры.

Следует отметить, что полые стеклянные микросферы необходимы только для операции по цементированию затрубного пространства для набора цементным камнем требуемой прочности.

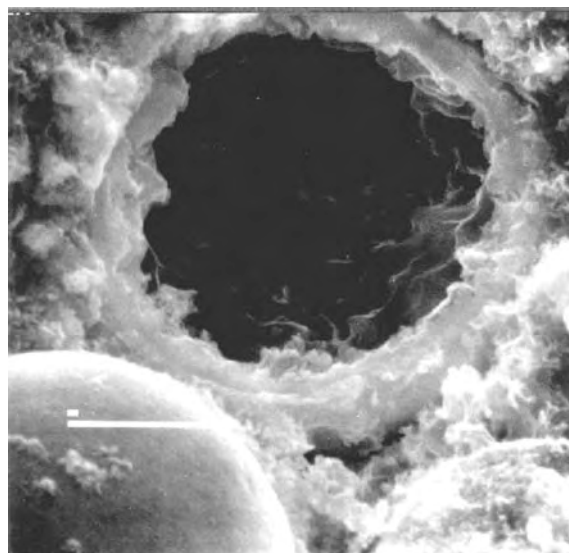


Рис. 1. Микроструктура цементного тампонажного камня с АПСМС в возрасте 18 лет, сформированного при давлении 30 МПа. САМЕВАХ. Стенка микросферы.

На рис. 1 явно прослеживается наличие коррозии стенки микросферы.

Однако, микроструктурный, химический и рентгенофазовый анализы констатируют наличие коррозии стеклянных микросфер в среде цементного камня, проявляющейся только внутри повреждённых микросфер при их перемешивании, производстве и/или повышенном давлении. Видимо, это связано с повышением порности вокруг повреждённой микросферы за счёт адсорбции на ней большего количества воды, нежели на целой. По данным микроструктурного анализа, через 18 лет разрушению подверглось лишь 10 % микросфер. На поверхности целых микросфер коррозия не наблюдается.

Анализ данных, представленных в табл. 1, позволяет утверждать, что у повреждённых микросфер произошло значительное уменьшение содержания оксидов натрия, калия, бора и отдельных участков — кремния. Произошло образование соединений с серой, которая может быть привнесена только из гипса ПЦТ. Существенное увеличение количества кальция говорит об образовании новых соединений.

Расшифровка полученных рентгенограмм свидетельствует о наличии среди новообразований в контактной зоне «микросфера — цементная матрица» соединений, имеющих более высокие плотности и, соответственно, прочности. Повышению прочности контактной зоны способствуют ещё и образовавшиеся бораалюминаты и боросиликаты кальция, натрия и калия с включениями железа.

Таблица 1. Химический анализ стенки целых и повреждённых микросфер в среде цементного камня, сформированного под давлением 30 МПа, в возрасте 18 лет.

Оксид	Содержание, %	
	АПСМС	Повреждённые АПСМС
Na ₂ O	2,97...5,1	0,4...1,5
SiO ₂	78,78...85,99	39,86...77,98
K ₂ O	до 2,4	0,6...0,81
FeO	—	0,32...0,425
MgO	5...6	0,35...0,52
B ₂ O ₃	1,25...4,23	2,5...3,6
CaO	—	53,2...3,6
SO	—	0,273...1,89
Al ₂ O ₃	—	0,108...1,2

Коррозия с тонких микросфер может привести к разрушению и даже полному растворению полой микросферы. Контактная зона «цементный камень – микросфера» из-за коррозии с течением времени приобретает размывтую форму и поэтому становится более плотной и прочной.

Более того, даже полное растворение стенок микросфер не оказывает никакого влияния на снижение прочности цементного камня. Такой камень будет и метель засчёт равномерно распределённых микросфер и воды такую же пористость с упрочнёнными стенками. Поры с упрочнёнными стенками являются с воеобразными «ловушками» для трещин. При этом происходит ликвидация слабого звена – контактной зоны «цементная матрица – полая стеклянная микросфера».

Следовательно, процесс коррозии стеклянных микросфер в цементном камне, проанализированный в данном случае, оказывает положительное влияние.

Список литературы

1. Первушин, Г.Н. Проблемы трещиностойкости облегчённых цементных материалов [Текст] / Г.Н. Первушин, Д.В. Орешкин. – Ижевск, Издательство ИжГТУ, 2003. – 212 с. – Библиогр.: с. 194-210. – 500 экз. – ISBN 5-7526-0161-4.
2. Беляев, К.В. Трещиностойкость тампонажных материалов [Текст] / К.В. Беляев, Д.В. Орешкин, Г.Н. Первушин. – Сб. докл. Межд. конф. посвященной 80-летию МИСИ – МГСУ. – М.: МГСУ, 2001.
3. Первушин, Г.Н. Научные основы формирования технико-эксплуатационных параметров сверхлегкого и трещиностойкого тампонажного камня [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.15 / Первушин Григорий Николаевич. – Ухта, 2006. – 296 с. – Библиогр.: с. 275-296.
4. Беляев, К.В. Повышение трещиностойкости облегченного тампонажного камня конструкции нефтегазовой скважины [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.15 / Беляев Константин Владимирович. – Ухта, 2003. – 118 с. – Библиогр.: с. 109-118.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЛИТОВОГО И МУЛЛИТОКОРУНДОВОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Погребенкова В.В., Грехова М.В., Горбатенко В.В.
 Научный руководитель: Вакалова Т.В., д.т.н., профессор
 Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: Valeriev84@mail.ru

Техническая керамика включает в себя обширный класс искусственно синтезированных при определенных условиях термической обработки керамических материалов самого различного химического и фазового состава, отличающихся в каждом отдельном случае специфическими эксплуатационными свойствами.

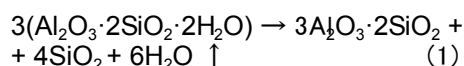
Муллитовая и муллитокорундовая керамика принадлежит к классу

высокоглиноземистых керамических материалов, обладающих повышенными механической прочностью, термостойкостью, огнеупорностью, химической стойкостью, что позволяет использовать ее в качестве огнеупорного теплоизоляционного материала.

Современный рынок керамических материалов непрерывно расширяется и требует создания новых способов производства муллитовых и

муллитокорундовых конкурентоспособных материалов. Сдерживающим фактором расширения производства муллита является высокая себестоимость его получения из исходных соединений – оксидов алюминия, кремния, фторида алюминия и т.д.

Известен способ получения муллитовой и муллитокорундовой керамики, основанный на обжиге глинистых минералов и дополнительно вводимого оксида алюминия при температуре 1400-1500°С. В результате реакции образуются муллит и кристобалит (реакция 1), к которому связывается оксидом алюминия в муллит (реакция 2). Недостатком этого способа являются повышенные температуры обжига и использование технического глинозема, имеющего высокую стоимость.

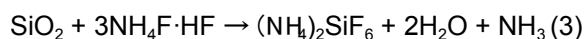


Известен способ получения муллита из топазового концентрата, включающий измельчение и сжигание варц-топазового сырья, отделение примесей выщелачиванием слякой изслотой, отделение избыточного оксида кремния в виде гексафторосиликата аммония и прокалывание полученного продукта при температуре 130 °С. Недостатками данного способа являются необходимость использования в качестве сырья достаточно редкого варц-топазового концентрата и необходимость его предварительной очистки от примесей.

Целью данной работы является разработка способа получения муллитового и муллитокорундового огнеупорного теплоизоляционного материала и обогащенного каолина и гидрофторида аммония.

Известно, что при нагревании каолина до температуры выше 1200 °С получается смесь муллита и кристобалита, содержащая до 36% избыточного оксида кремния, присутствие которого в готовом изделии снижает механические и теплофизические свойства полученного материала.

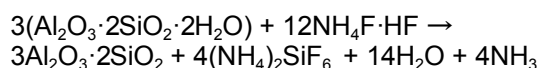
Удаление избыточного оксида кремния возможно проводить с помощью гидрофторида аммония, который связывает его в гексафторосиликат аммония согласно реакции:



Гексафторосиликат аммония при температуре выше 320°С является газообразным веществом и в процессе предварительного прокалывания удаляется из реакционной смеси.

Для достижения поставленной цели, необходимо рассчитать количество гидрофторида аммония для получения муллита, после чего проверить опытным путем расчетные данные и подобрать составы для получения муллитовых и муллитокорундовых материалов с различным соотношением муллитовой и корундовой фаз.

Теоретические расчеты проводились согласно бурто-реакции получения муллита из каолинита с использованием в качестве фторидующего агента гидрофторида аммония:



Согласно расчетным данным для получения в качестве продукта чистого муллита необходимо использовать смесь каолина и гидрофторида аммония в соотношении 1 : 0,9. Для проверки расчетных данных на практике нами были выбраны составы, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Компонентный состав исследуемых смесей

Индекс масс	Массовое соотношение каолин : гидрофторид аммония	Содержание компонентов в смеси, мас. %	
		каолин	гидрофторид аммония
M1	1 : 1,1	47,62	52,38
M2	1 : 0,9	52,63	47,37
M3	1 : 0,7	58,82	41,18
M4	1 : 0,5	66,67	33,33

Для проведения экспериментальных исследований навеску и сходного каолина шихтовали с соответствующей навеской гидрофторида аммония и нагревали в открытой системе при атмосферном давлении в различных температурных режимах (650, 800-1400°С).

Процессы фазообразования при обжиге продуктов фторирования каолинита изучались при помощи рентгенографического анализа. Рентгенографическое исследование проводилось на дифрактометре ДРОН – 3М в CuKα-излучении, при напряжении на трубке 35 кВ и токе 25 мА, скорость вращения гониометра 4 градуса в минуту, предел измерения (чувствительность сэмки) 2000 имп/с.

Рентгенографическое изучение процессов синтеза муллита нетрадиционным способом (по фторидной технологии) путем обработки обогащенных каолинов гидродифторидом аммония в исследуемом температурном диапазоне (от 650 до 1400 °С) показало, что воздействие фторидного компонента на каолинит меняет традиционную схему образования муллита и структуры каолинита. Выявлено, что синтез муллита из каолинита осуществляется через промежуточный этап низкотемпературного распада фторированной структуры (топаза) на корунд и кристобалит.

Процессы синтеза муллита за счет разложения топаза и формирования корунда в процессе термофторирования каолиновой структуры протекают по твердофазовому механизму с участием газообразной фазы, что определяет игольчатый габитус муллита с длиной и глы до 10 мкм и пластинчатый корунда в виде хорошо окристаллизованных пластин неправильной огранки с размером 6 – 8 мкм.

В зависимости от количества вводимого фторагента возможно регулирование соотношения фторирующихся кристаллических фаз (игольчатого муллита и пластинчатого корунда). Это создает предпосылки для повышения качества алюмосиликатных керамических материалов на основе огнеупорного глинистого сырья за счет управления процессами получения алюмосиликатной керамики с определенным фазовым составом и предсказуемой микроструктурой.

В частности установлено, что в случае использования смеси с соотношением каолина к гидродифториду аммония как 1:0,5 (состав М4) обеспечивает получение уже при температуре 1400 °С чистого муллитового керамика (таблица 2). Повышение доли фторирующего компонента до соотношения каолина к гидродифториду как 1:0,7 (в смеси М3) обеспечивает появление наряду с муллитом появления второй кристаллической фазы – корунда в количестве 70 и 30%

соответственно. В смеси стехиометрического по муллитовому составу М2 доля образующегося корунда повышается до 50%, а применение избыточного содержания фторида (состав М1) обеспечивает получение корундомуллитового керамического материала с содержанием корунда не менее 80%.

Таблица 2 – Свойства муллитокорундовых изделий

Индекс масс	М4	М3	М2	М1
Фазовый состав, муллит:корунд, мас. %	100:0	70:30	50:50	20:80
Плотность, г/см ³	0,50	0,54	0,61	0,76
Коэффициент теплопроводности при 600 °С, Вт/м·К	0,31	0,35	0,40	0,42
Дополнительная усадка при T=1600 °С и выдержке 2ч, %	0,6	0,6	0,6	0,5
Предел прочности при сжатии, МПа	4,5	4,8	5,3	6,2

Особенностью эксплуатационных свойств керамических материалов, полученных при температуре 1400 °С, и в смеси исследуемых смесей является их

Таким образом, исследование процессов термофторирования каолинита показало, что термообработка смеси каолина с гидродифторидом аммония в температурном интервале 1350–1400 °С обеспечивает получение высокопористых керамических материалов с плотностью 0,5–0,8 г/см³ и с механической прочностью до от 4,5–6 МПа, что определяет перспективы их использования в качестве теплоизоляционного огнеупорного керамического материала.

РАЗРАБОТКА ОСНОВ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА

М. А. Полтаранин

Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: panzerturm@mail.ru

Традиционно, для проведения неразрушающего контроля / мониторинга состояния деталей машин и линий нагруженных элементов конструкций используют методы, основанные на измерении и анализе параметров одного физического явления (например, 9 традиционно применяющихся методов неразрушающего контроля [1]). Поскольку деформация и разрушение являются многоуровневыми и многостадийными процессами необходимо использовать либо комбинирование нескольких методов, способных одновременно фиксировать (производить мониторинг) процессов на различных масштабных уровнях, либо разрабатывать новые датчики состояния с высокой неравновесной (нано)структурой, способные регистрировать достаточно надежно выявляемые и измеряемые параметры, четко и однозначно связанные с эволюцией/деградацией структуры.

Исследование поведения материалов в условиях приложения в них силовых полей позволяет оценить и спрогнозировать его поведение в реальных условиях эксплуатации. В экспериментальной механике известны различные методы определения малых деформаций – тензометрия, фотоупругость, муар, каустики, голографический, лазерный спеклоинтерферометрия и др. Однако, они имеют те или иные ограничения для практического использования по диапазонам измеряемых смещений, раз решающей способности, сложности проведения и измерений. Значительную перспективу в данном направлении представляет метод корреляции цифровых изображений, предложенный в университете Южной Каролины [2]. В настоящее время он активно развивается и в России в виде оптико-телевизионной измерительной системы TOMSC и многочисленных результатов его использования для изучения поведения при нагружении структурно-неоднородных материалов [3]. Известны успешные попытки его применения в технике [4].

Вот ношении с современного состояния научно-технических работ в области неразрушающего контроля/контроля состояния технических объектов следует

отметить следующие основные тенденции. Известны производители оптоволоконных кабелей, свойства которых в весьма чувствительны к деформации (Smart Fibers Ltd., UK). Последние показали весьма высокую эффективность для оценки состояния конструкций типа мостов и трубопроводов, но имеют ограничение по диапазону температур (от 0 °C до 50 °C). Принцип их действия заключается в регистрации Брэгговских дифракционных картин, возникающих в волокнах в результате испытанных деформаций и изменений коэффициента преломления оптоволокна. Для этого в оптоволоконные кабели должны быть уложены совместно (внутри) с эксплуатируемым оборудованием и испытывать те же нагрузки. Чувствительность подобного оборудования чрезвычайно высока по сравнению с традиционно используемыми тензорезистивными датчиками, однако лимитированы перечень объектов и условия эксплуатации, деформации которых они способны фиксировать.

В рамках данного проекта с целью разработки датчиков для встроенного метода оптического контроля и изготавливались образцы из сплава Д 16АТ для проведения последующих испытаний по схеме циклического изгиба. В качестве датчиков состояния и использовались фольги различных толщин, закрепляемые на образцы различными клеями, а так же тонкие покрытия (~2-6 мкм) наносимые на поверхность образца.

Анализ полученных данных и результатов проведенных исследований показал, что нанесение тонких пленок из высококачественного материала, близкого по составу к материалу подложки, крепление которых к элементам конструкций не требует (и более того исключает) необходимость формирования адгезионного (клеявого) слоя толщиной несколько десятков микрон, является предпочтительным методом создания датчиков состояния. Проведены предварительные исследования по подбору толщины напыляемых алюминевых пленок на поверхности сплава Д 16АТ для лучшей знакопеременной циклической и изгибной, при работе в области малой цикловой усталости (число циклов до разрушения ~ 30-50 * 10³).

При этом формирующиеся на поверхности пленки элементы деформационного рельефа (складки) проявляются практически с самого начала нагружения (их формирование фиксируется уже при 300 циклах нагружения), постепенно заполняя всю поверхность пленки. Более того, подобные складки имеют преимущественную ориентацию и размер (длину), что позволяет для их детектирования и расчленения информативных характеристик использовать оптические методы наблюдения, а также разработанные авторами алгоритмы сегментации изображений и расчленения динамических информативных признаков, оценки состояния нагруженной детали.

Помимо этого, проведен анализ литературных данных в идеях деформационных дефектов, формирующихся на поверхности образцов или тонких пленок, наклеенных на металлические подложки при механическом и циклическом нагружении. Полученные результаты проанализированы с позиции применимости при проведении исследований и разработки метода оптического контроля в данном проекте. Сделано заключение о существенном влиянии кривого сдвига между фольгой монокристаллического материала и металлической подложкой на время начала зарождения и характер первоначальной складчатой структуры на поверхности первой, а также отсутствии полного соответствия деформационных процессов в подложке и фольге. Последнее обстоятельство является дополнительным подтверждением необходимости поиска альтернативных методов формирования металлических датчиков состояния, в частности напыления

тонких пленок. Также, среди основных, использованных в работах методов количественной аттестации, особое внимание уделяется фрактальному анализу, основанному на многомасштабной характеристике поверхности. В работе делается заключение, что данный подход является весьма перспективным в условиях экспериментальных лабораторных исследований, однако при создании макета прибора в строенного оптического контроля должны быть использованы альтернативные методы количественной оценки, в частности, основанные на выделении объектов на изображении при фиксированном (заранее подобранном увеличении) и последующем получении их количественной оценки (с проведением тарировки при заданных условиях и режимах нагружения).

Список литературы

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т./под общ. ред. В.В.Клюева. М.: Машиностроение, 2006 г.
2. Sutton M. A., Cheng M. Q., Peters W. H., Chao Y. J. and McNeill S. R. A application of an optimized digital correlation method to planar deformation analysis. // Image and vision computing, Vol. 4, No. 3, 1986, pp. 143-151.
3. Панин С.В., Сыряткин В.И., Любутин П.С. Оценка деформации твердых тел по изображениям поверхности // Автометрия – 2005. – Т.41. – №2. – С. 44-58
4. Barron J.L., Fleet D.J. and Beauchemin S.S. Performance of optical flow techniques. // International Journal of Computer Vision, Vol. 12, No. 1, February 1994, pp. 43-77.

ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

М.В. Пономарева⁽¹⁾, А.К. Казак⁽²⁾,

Научный руководитель: О.Р.Лазуткина, к.т.н., доц.

⁽¹⁾Уральский государственный технический университет-УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, ⁽²⁾Уральский институт металлов

E-mail: lor@fsm.ustu.ru

В России сегодня эксплуатируется около 2 млн. км наружных и около 15 млн. км внутридомовых, в одопроводных, канализационных и тепловых сетей. При этом стальные трубы подвержены интенсивной коррозии, которая составляет в системах водоснабжения более 0,05 м/год. Активная хозяйственная деятельность крупных городских и промышленных агломераций

вызывает появление в пределах техногенных физических полей (вибрационных, блуждающих, температурных и пр.), под действием которых разрушение стальных трубопроводов ускоряется в 10-15 раз, достигая в наиболее опасных зонах 0,9 мм/год.

Существенным недостатком повсеместно применяемых стальных труб является их

подверженность к коррозии, к которой в едет к огромной бесполезной трате металла, сокращению срока службы трубопроводов, увеличивает шероховатость и зарастание внутренней поверхности, существенно снижая пропускную способность труб, что сопряжено с дополнительными затратами энергии на передачу транспортируемой среды. Значительно ухудшается качество воды, по данным специалистов о бластной СЭС, по сле промывания от трубам городских коммуникаций в Верх-Исетском районе 30%, в Октябрьском районе 50%, в Кировском районе 60% проб воды не соответствует нормам, причем превышение по содержанию железа составляет 8 – 10 раз.

По оценке специалистов количество стальных трубопроводов, ежегодно выходящих из строя в следствие коррозии, составляет 10–12% объема их производства, а порядка 80% аварий на трубопроводах происходит по причине коррозионных разрушений, и из них 90% – по причине внутренней коррозии. За 2–4 года эксплуатации на внутренней поверхности труб образуются отложения – продукты коррозии, в т.ч. микробиологической, снижающие пропускную способность водопроводов в 1,3–2 раза и увеличивающие потери напора в 2–4 раза. Образующийся при этом подвижный осадок резко ухудшает качество транспортируемой воды и делает сырую воду непригодной для питья.

Все известные методы очистки воды не позволяют полностью избавиться от микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности, требуют значительных капитальных вложений, а также затрат на обслуживание, так как одним только катодным станциям для крупного промышленного города требуется 200–700 штук.

Довольно широкое применение получили полимерные трубы, прежде всего из термопластичных материалов (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид). Однако термопласты из-за низкой прочности и жесткости, непригодны к работе при высокой температуре, и не применимы при прокладке на опорах [1]. При эксплуатации систем из полимерных трубопроводов возникли проблемы, из-за макромолекулярного строения искусственные материалы являются диффузионнопроницаемыми [2], т.е. газы (в особенности кислород), через стенки труб могут в бесконечном порядке проникать внутрь и насыщать протекающую в трубе воду. Трубы из ПВХ и ПЭВП выходят из строя под воздействием растягивающего

напряжения в течение периода времени, обратного пропорционального интенсивности напряжения. Уязвимость полиэтиленовых трубопроводов также заключается в склонности к ломкоподобному растрескиванию, что в сочетании с интенсификацией напряжений от внешних воздействий (осадка грунта, чрезмерный изгиб трубы, перепады давления, гидравлические удары, повышение температуры эксплуатации и т.п.) приводит к аварийным разрушениям. Наряду со многими положительными свойствами, трубы из полимеров со временем стареют и теряют свои прочностные свойства (явление релаксации). Это качество характерно для всех полимеров. Отличительная особенность полимерных труб в том, что они стареют по всей массе, в то время как коррозия стальных труб начинается с поверхности. Пластмассовые трубы разрушаются сразу и полностью, а металлические образуются свищи, которые можно заделывать (например, сваркой). По мере старения и разрушения структуры полимера, продукты распада взаимодействуют с транспортируемой жидкостью и частично уносятся ею к потребителю, а частично откладываются на стенках трубы, приводя к ее «зарастанию».

Из существующих видов покрытий металлических изделий наиболее надежными и универсальными являются силикатно-эмалевые покрытия, сочетающие прочностные свойства металла с высокой химической устойчивостью силикатных эмалей.

Силикатно-эмалевое покрытие отличается высокой химической, термической, коррозионной и абразивной стойкостью, не допускает отложений на стенках труб, надежно работает при температурах от –50 до + 350°C, обеспечивая защиту трубопроводов от внутренней коррозии при транспортировке продуктов а также уменьшает гидравлическое сопротивление трубопроводов, увеличивая их пропускную способность.

Защитные силикатно-эмалевые покрытия отнесены к усиленному типу и обеспечивают противокоррозионную защиту трубопроводов не менее 50 лет.

Трубы, покрытые силикатными эмалями, позволяют уменьшить потери давления и энергетические затраты в 1,55 раза ниже соответствующей величины для стальных труб, а с учетом «зарастания» стальных труб по мере эксплуатации это соотношение возрастает. Эмалированные трубы высоко гигиеничны, т.к. практически не взаимодействуют с транспортируемой

жидкостью и не растрескиваются в ней. Пропускная способность эмалированного трубопровода возрастает в 1,29 раза, что эквивалентно снижению диаметра трубопровода на 10-12%. Применение труб с силикатно-эмалевыми покрытиями позволит снизить суммарную стоимость сети не менее чем на 5-8% (с учетом разных сроков эксплуатации этих труб) [1].

Марку эмали подбирают в зависимости от вида транспортируемых сред, наличия в них кислот, щелочей, солей и механических примесей. Толщина покрытия составляет 300-500 микрон, эксплуатационный температурный интервал от -150°C до $+400^{\circ}\text{C}$.

По сравнению с применяемыми сегодня черными трубами, эмалированные трубы выгодно отличаются с экологической точки зрения: гладкая твердая поверхность труб не позволяет образовываться отложениям и органическим наростам, что позволяет сохранить и исходный состав воды, значительно снизить процент вводимых в нее добавок при водоподготовке; хорошие теплоизоляционные свойства эмали (теплопроводность эмали ниже, чем стали в 80 раз) позволяют уменьшить тепловые потери при транспортировке и снизить начальную температуру воды, для нагревания которой потребуются меньшие количества топлива. Трубы с двусторонним силикатно-эмалевым покрытием и внутренним силикатно-эмалевым покрытием находятся в эксплуатации на действующих тепловых сетях водоснабжения в Москве, Пензе, Рязани, Казани, Оренбурге и т.д.

Общее количество использованных труб составляет приблизительно 500 км. Трубы с двусторонним и внутренним антикоррозионным и гладкостенным силикатно-эмалевым покрытием находятся в эксплуатации на нефтяных, газовых месторождениях и орошаемых сельскохозяйственных полях в Алтайе, Хакасии, Тамбовской, Пензенской, Ростовской и Саратовской областях, а также в Башкортостане и Татарстане и других регионах России.

Большие перспективы имеет применение эмалированных труб при бурении артезианских скважин и для обустройства систем водоснабжения в индивидуальной малоэтажной застройке. При незначительном

увеличении стоимости скважин, применение эмалированных труб позволяет потребителям быть уверенными в качестве потребляемой воды, не содержащей продукты коррозии, соли тяжелых металлов и органические соединения даже при длительных перерывах в эксплуатации скважины.

Специалистами ГНЦ РФ «Уральский институт металлов» совместно с рядом промышленных предприятий Свердловской области разрабатывается комплексная программа обеспечения жилищно-коммунального хозяйства трубами и соединительными элементами со стеклоэмалевым покрытием согласно следующей технологической схеме: производство труб на трубных предприятиях – внутреннее эмалирование труб – нанесение тепловой и звукоизоляции из пенополиуретана (ППУ-изоляция) на наружную поверхность труб. В совокупности это позволит увеличить срок эксплуатации систем трубопроводов до 50-60 лет, а также значительно снизить тепловые потери, уменьшить затраты на ремонт и обслуживание в десятки раз.

Государственный научный Центр РФ ОАО «Уральский институт металлов» совместно с кафедрой технологии стекла УГТУ-УПИ готовы взять на себя обеспечение организации производства труб с силикатно-эмалевыми покрытиями объемом 300 км в год, диаметром от 50 до 730 мм, а также необходимую техническую и технологическую документацию (разработка технологии, материалов, оборудования, НТД и технологическое сопровождение освоения производства).

Список литературы

1. Казак К.В., Казак А.К., Диденко В.В. Силикатно-эмалевые покрытия труб // Энергетика региона. – 2004. – Т.67. – №2. – С.31-33.
2. Казак К.В. Преимущества силикатно-эмалевого покрытия // Жилищно-коммунальный комплекс Урала. – 2004. – №2. – С.21.
3. Синевич И.С. Использование синтетического аморфного кремнезема для варки силикатных стекол // Стекло и керамика. – 1981. – №10. – С.27-28.

МЕХАНИЗМ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЕРШИНЕ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Попкова Ю.Ф.¹, Елсукова Т.Ф.²

Научный руководитель: Елсукова Т.Ф., д.ф.-м.н., профессор

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 2/1

E-mail: yusik_p@mail.ru

В литературе опубликовано множество исследований зон пластической деформации в вершине трещины в плане и в дислокационной структуре, т.е. на микромасштабном уровне деформации. Хорошо известно, что трещина не способна распространяться в сплошном стабильном материале, но ее известные конкретные механизмы ее дестабилизации.

В настоящей работе исследованы закономерности и характерные особенности пластического течения на мезоуровне в вершине развивающейся усталостной трещины и вдоль ее берегов при интенсивной пластической деформации (ИПД). При традиционных методах ИПД исследование формирующегося в процессе нагружения поверхностного рельефа невозможно. Поэтому в настоящей работе разработан специфический способ ИПД: знакопеременный изгиб двухслойных образцов, полученных наклеиванием мягкой фольги высококачистого алюминия А999 на значительно более прочные образцы технического алюминия и лития. При напряжениях, близких к пределу текучести фольги, в ней развивается пластическая деформация при упругой деформации подложки. Это позволяет реализовать в фольге с верхвысокой степени пластической деформации. Нагружение двухслойных образцов проводили знакопеременным изгибом при комнатной температуре в режиме многоциклового усталости. Структурные исследования выполняли методами оптической, электронной растровой микроскопии и лазерной профилометрии.

Использованные способы закрепления и нагружения фольги обеспечивают постепенное увеличение в ней плотности деформационных эффектов от нормальной на начальных этапах знакопеременного изгиба до верхвысокой на поздних его этапах. Подчеркнем, что монолитные образцы А999 с площадью поперечного сечения 8 мм² выдерживают до разрушения в данных условиях нагружения ~ 10⁵ циклов. С учетом поперечного сечения фольги ее усталостная долговечность в свободном состоянии должна быть ничтожно малой (~10³

циклов). Тогда как в двухслойном образце фольга нагружалась до N=2x10⁷ циклов. Это свидетельствует о с верхвысокой степени пластической деформации фольги, наклеенной на упругодеформирующуюся подложку, и, как следствие, о сильнонеравновесном ее состоянии на поздних этапах пластической деформации при данных условиях нагружения.

Рассмотрим последовательно развитие структурных изменений в поверхностном слое фольги по мере увеличения числа циклов знакопеременного изгиба.

Лицевая (свободная) и обратная (закрепленная) поверхности фольги, наклеенной на жесткую подложку, деформируются в существенно различных граничных условиях. Это должно обуславливать различие механизмов ИПД в них. Изменение деформационного рельефа на различных стадиях усталости изучали, естественно, на лицевой поверхности.

Как установлено в [1] на начальной стадии нагружения в зернах фольги развиваются обычные кристаллографические сдвиги дислокационной деформации. Однако, при большом числе циклов нагружения (до 1,7x10⁷) на лицевой поверхности фольги выявлены эффекты, несвойственные квазиравновесным кристаллам: сильно выраженные эффекты экструзии материала в виде грубых мезополос деформации и крупной клеточной структуры в сопряженных направлениях максимальных касательных напряжений (τ_{max}); эффекты аномального массопереноса (высокая пористость, локальное «холодное растворение» материала фольги, формирование тонкой поверхностной пленки химического соединения Al-S-O-C); некристаллографическая самоорганизация полос локализованной деформации.

При с верхвысоких температурах деформации фольгу отклеивали и сразу же начинали изучение деформационного рельефа, формирующегося на ее обратной поверхности под действием упругих напряжений, накопившихся в ней в процессе нагружения. Здесь ИПД развивается только путем формирования изоготообразных мезополос локализованной пластической

деформации, ориентированных по сопряженным направлениям $\tau_{\max}$. На фоне этой недислокационной сдвиговой деформации развиваются усталостные трещины, имеющие также зигзагообразную траекторию.

На рис.1 показана оптическая картина поверхностного рельефа в зоне усталостной трещины на обратной поверхности фольги, отклеенной от титановой подложки после $2,5 \times 10^4$ циклов нагружения. Они демонстрируют типичную структуру в окрестности вершин и берегов трещин.

В процессе нагружения на этой же жестко закрепленной поверхности возникли мощные сжимающие напряжения. Последние после отклеивания фольги сформировали в зерне А (рис.1а) складчатую структуру, поверхность зерен перепелась ильно в выраженное гофрирование. На фоне этой сложной системы одиночных сдвигов в приграничной зоне зерен А и В образовалась трещина KL, как поворотная мода при повороте-изгиб-кручении как целого участка А поверхности, что привело к релаксации скачка напряжений на границе зерен А и В. Отчетливо видно, что трещина распространялась не по границе зерен, а параллельно ей в приграничной зоне, и имеющей форму двугранного угла (по его углублению, т.е. в зоне востороннего растяжения).

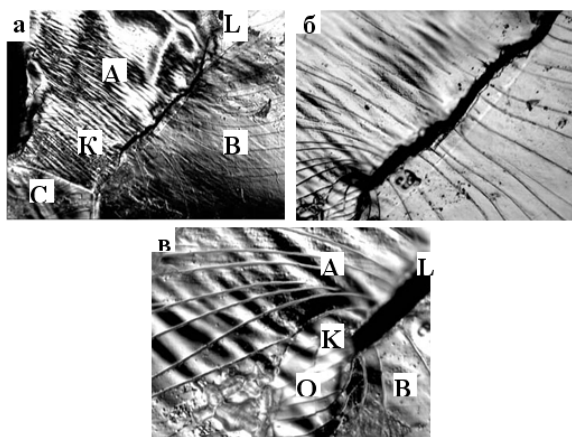


Рис. 1. Композит А999/Тi. Поверхностный рельеф в вершине усталостной трещины, DIC, $N=2,5 \times 10^4$ ц.: а) $\times 60$; б) $\times 150$; в) $\times 300$

Усталостная трещина раскрывается на полуциклах растяжения. Системы мезополос и микротрещин на рис.1 при растяжении развиваются в сопряженных направлениях $\tau_{\max}$. Эти сдвиги дают нормальные к трещине компоненты τ_n , которые раскрывают её.

На полуциклах сжатия сдвиги меняют своё направление на сжатые $\tau_{\max}$ под действием встречных полей в окружающем материале. Продольные составляющие $\tau_{\max}$

как при растяжении, так и при сжатии генерируют в головке трещины мощное встречное поле. Это поле сформировало в вершине трещины К (рис.1б) локализованный мезовихрь. Мезовихрь сформировал замкнутый эллипсоид О (рис.1в), внутри которого развивается система микротрещин в направлении $\tau_{\max}$, о существующих материальный поворот. На эти сдвиги накладывается развитее системы поверхностных микротрещин в сжатом направлении $\tau_{\max}$. Взаимодействие этих двух систем (сдвигов и микротрещин) приводит к интенсивной фрагментации зоны пластической деформации перед вершиной трещины. Особенно ярко это проявилось в зоне эллипсоида — она вся «разделена» на плоские ламели. Через эту зону «разрыхленного» фрагментацией материала затем распространяется трещина, как поворотная мода деформации, релаксируя вихревое упругое поле в подложке, созданное мезовихрем в наклеенной фольге. При повороте замкнутого эллипсоида мезовихря в его вершинах формируются макро КН, которые по теории [2] обуславливают распространение трещины через фрагментированный мезовихрь.

Однако наиболее важным результатом настоящих исследований является экспериментальное доказательство возникновения в вершине трещины локальной зоны гидростатического растяжения, полученное методом лазерной профилометрии и представленное на рис.2а. Это объемная картина зоны мезовихря криволинейных мезополос локализованной пластической деформации в вершине трещины на обратной стороне фольги. Она убедительно демонстрирует, что зона мезовихря в вершине трещины представляет собой «воронку» вдавленного материала, который интродуцируется в сторону лицевой поверхности фольги. «Воронка» есть ничто иное, как зона гидростатического растяжения, которая сформировалась между интродуцируемым мезовихрем и подложкой. Сильное углубление поверхности в зоне вершины трещины отражает профилограмма этой зоны на рис. 2б — глубина вдавливания 10-12мкм.

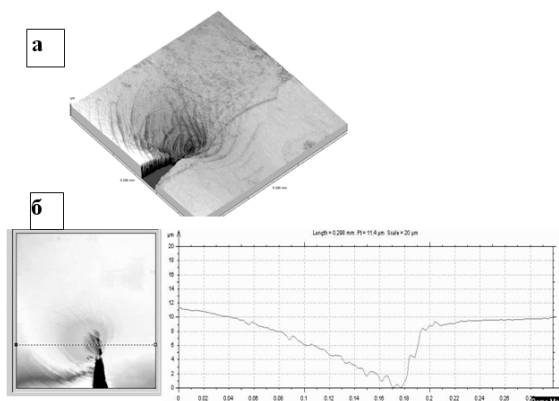


Рис. 2. Композит A999/A7. $N=1,8 \times 10^7$ ц.:
а) профилометрическая картина локальной зоны
гидростатического растяжения в вершине
трещины; б) профилограмма - заглупление
поверхности в зоне вершины трещины

Таким образом, разработанный и использованный в работе метод ИПД позволил и следовать на мезомасштабном уровне характер пластического течения поликристалла в процессе его нагружения, в том числе и на стадии разрушения.

Показано, что зона пластической деформации перед вершиной усталостной трещины является сильно фрагментированной, «разрушенной» областью гидростатического растяжения, что

обеспечивает возможность продвижения трещины. Установленные эффекты проанализированы на основе неравновесной термодинамики деформируемого твердого тела.

Список литературы

1. Попкова Ю.Ф., Елсукова Т.Ф. Исследование механизмов мезомасштабного уровня деформации и разрушения поликристаллов при накопериодической интенсивной пластической деформации // Труды XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых С ТТ-2009, Томск. – 2009. – С. 115-116.

2. Бушманова О.П., Ревуженко А.Ф. О пластическом деформировании в условиях локализации сдвигов на дискретной системе линий // Физ. мезомех. – 2002. – Т.5. - №3. – С. 9-16.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА, НАВЕДЕННЫЕ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 660 НМ

Попугаева В.В., Акрестина А.С.

Научный руководитель: Кистенева М.Г., к.ф.-м.н., доцент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: aka_83@mail.ru

Облучение фоторефрактивных кристаллов титаната висмута ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$) светом из видимой и ближней ИК-областей приводит к обратимому и изменению оптического поглощения, что связано с фотовозбуждением носителей заряда с глубоких уровней в запрещенной зоне [1]. Так при облучении легированных Ca, Cd, Fe+Cu кристаллов титаната висмута светом из видимой области спектра (470-660 нм) наблюдалось увеличение коэффициента поглощения [2-4]. Последовательное облучение зеленым и ИК-светом кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Ca}$ увеличивало оптическое поглощение в области 500-880 нм и уменьшало его в области 880-1000 нм [5].

В настоящей работе показано, что облучение непрерывным лазерным излучением ($\lambda = 660$ нм) легированного алюминием кристалла титаната висмута $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ приводит к заметному изменению спектра его оптического поглощения.

В эксперименте был исследован кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ толщиной $d = 6,6$ мм, вырезанный вдоль кристаллографического направления [100]. Фотоиндуцированные изменения оптического поглощения вводились непрерывным лазерным излучением ($\lambda = 660$ нм) с интенсивностью $\sim 25,5$ мВт/см² в течение 45 минут. Спектры при опускании кристаллов $T(\lambda)$ регистрировались до облучения и непосредственно после облучения спектрофотометром Genesys2 в

диапазоне 460 – 880 нм с шагом измерения 1 нм. В этих эксперименты проводились при комнатной температуре в отсутствие внешнего освещения.

На рис. 1 представлены экспериментальные спектральные зависимости коэффициента поглощения $k(\lambda)$ кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ до облучения (кривая 1), после облучения светом с $\lambda = 660$ нм в течение 45 минут (кривая 2). Как видно из рис. 1, облучение лазерным пучком с длиной волны $\lambda = 660$ нм приводит к уменьшению оптического поглощения кристалла во всем исследованном спектральном диапазоне. Наведенные изменения в спектре оптического поглощения сохраняются в течение более чем 100 часов.

Спектральная характеристика наведенных изменений в поглощении $\Delta k(\lambda)$, полученная вычитанием из коэффициента поглощения кристалла в исходном состоянии коэффициента поглощения после облучения в течение 45

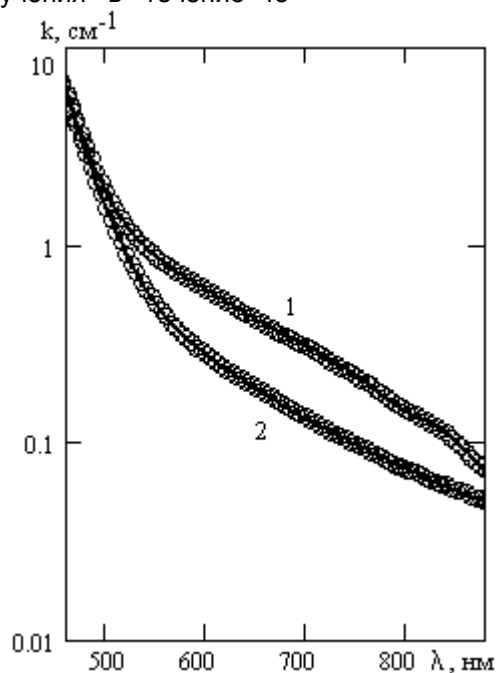


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные спектральные зависимости коэффициента поглощения в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$: 1 – до облучения; 2 – после облучения светом от непрерывного лазера ($\lambda = 660$ нм) в течение 45 минут.

Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетные зависимости.

минут представлены на рис. 2. Из рис. 2 видно, что и изменения в оптическом поглощении имеют выраженный резонансный характер с максимумами при $\lambda_m = 550, 700, 765$ и 830 нм. Максимальное изменение оптического поглощения Δk_m наблюдалось на длине волны $\lambda_m = 550$ нм после облучения в течение 45 минут и составило $\sim 0,36 \text{ см}^{-1}$ при

значении коэффициента поглощения для исходного состояния $0,86 \text{ см}^{-1}$.

Аппроксимация спектральных зависимостей коэффициента поглощения в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ была проведена в рамках модели, учитывающей вклад в примесное поглощение как фотовозбуждения электронов в зону проводимости с глубоких донорных центров с нормальным законом распределения концентраций по энергии ионизации [6], так и

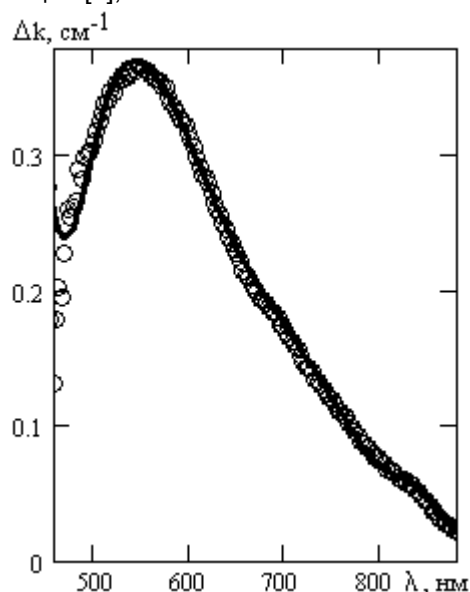


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные спектральные зависимости наведенных изменений в поглощении в кристалле $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$: после облучения светом от непрерывного лазера ($\lambda = 660$ нм). Кружки – экспериментальные данные, сплошные линии – расчетные зависимости

внутрицентровых переходов [7]. Представленные на рис. 1 расчетные зависимости (сплошные кривые) учитывают переходы электронов в зону проводимости в рамках модели [6] с трех глубоких донорных центров со средними энергиями ионизации 1,18; 2,05 и 2,71 эВ, а также пять внутрицентровых переходов со спектральными характеристиками в виде функций Гаусса с максимумами на длинах волн 550, 700, 765, 830 нм,

$$\Delta k(\lambda) = \sum_{m=1}^5 \Delta k_m \exp\left(\frac{-(\lambda_m - \lambda)^2}{\Delta \lambda_m^2}\right),$$

где λ_m и $\Delta \lambda_m$ соответствуют параметрам нормального распределения для центров m -типа, а Δk_m определяет изменения в поглощении при $\lambda = \lambda_m$. Эти пять внутрицентровых переходов соответствуют квантам света с энергией 1,48; 1,6; 1,77; 2,17 и 2,44 эВ.

В результате численной аппроксимации было получено, что облучение кристалла лазерным излучением с $\lambda = 660$ нм приводит к увеличению заполнения электронами центра с энергией ионизации $E_2 \sim 2,05$ эВ и уменьшению заполнения центров с $E_1 \sim 1,18$ эВ и $E_3 \sim 2,71$ эВ. При этом уменьшается вклад внутрицентровых переходов, соответствующих квантам света с энергией 1,6, 1,77, 2,17 и 2,44 эВ, а внутрицентровый переход, инициируемый квантами с энергией, близкой к 1,48 эВ становится невозможным. Это приводит к приосветлению кристалла в диапазоне 460- 880 нм.

Таким образом, облучение кристалла $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}:\text{Al}$ излучением с $\lambda = 660$ нм приводит к приосветлению кристалла, что связано, в основном, с уменьшением вклада в примесное поглощение в внутрицентровых переходах; наведенные изменения в спектре оптического поглощения демонстрируют резонансный характер.

Работа выполнена при поддержке программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

Список литературы

1. Малиновский В.К., Гудаев О.А., Гусев В.А., Демченко С.И. Фотоиндуцированные явления в силленитах. – Новосибирск: Наука.

1990. 160 с

2. Акрестина А.С., Вишнев А.С., Киселев Р.В., Кистенева М.Г., Шандаров С.М., Каргин Ю.Ф., Толстик А.Л. XI Всероссийская школа-семинар «Физика и применение микроволн», Звенигород, Московская область, 21-26 мая, 2007. - LFJ20. – CD-ROM.

3. M.Kisteneva, S.Shandarov, A.Vishnev, R.Kiselyov, A.Surtsev, V.Kljajm, Yu.Kargin, A.Tolstik. Proc. of SPIE, 2007, V.6733. P.25-1 – 25-6.

4. Басько Н.С., Аверкина М.Ю., Гриднева Е.С., Кистенева М.Г. Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современная техника и технология», 2008. Т.-2. С.18-19.

5. Кистенева М.Г., Шандаров С.М., Вишнев А.С., Каргин Ю.Ф., Толстик А.Л. Химия высоких энергий.- 2008. Т.42. №4 (приложение). С. 55-57.

6. А.Л. Толстик, А.Ю. Матусевич, М.Г. Кистенева и др. // Квантовая электроника. 2007. Т. 37, № 11. С. 1027-1032.

7. С.М. Шандаров, М.Г. Кистенева, А.С. Акрестина, А.Л. Толстик // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Квантовая электроника – 2008». Минск, 13 – 16 октября 2008 г. С. 40.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

Роман Н.В.

Научный руководитель: Смолин А.Ю. к. ф.-м. н., с.н.с. ИФПМ СО РАН
Томский государственный университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36,
E-mail: romannv@sibmail.com

В работе представлены результаты трехмерного компьютерного моделирования механического поведения образцов хрупкого пористого материала при одноосном сжатии с различным значением пористости.

Моделирование выполнялось в рамках метода подвижных клеточных автоматов [1]. Функция отклика автоматов соответствовала механическим свойствам керамики ZrO_2 со средним размером пор, измеримым размером зерна. Размер автоматов, в соответствии с диаграммой распределения пор по размерам, составлял 1 мкм. Нагрузка прикладывалась путем задания скорости в вертикальном направлении верхнему слою автоматов при жестком закреплении

автоматов нижнего слоя образца. На начальном этапе нагружения скорость движения автоматов в верхнем слое нарастала по синусоидальному закону от 0 до 1 см/с, а затем оставалась постоянной.

Пористость задавалась удалением одиночных автоматов из исходной структуры автоматов, расположенных в ГЦК-упаковке. Генерировались образцы с значениями пористости от 0 до 50% с шагом 5%. Заметим, что максимальная пористость, которую можно получить удалением одиночных автоматов из двумерной плотной упаковки при условии изолированности «пор», составляет 1/3 ~ 33,3%. Соответствующая максимальная пористость

для ГЦК упаковки в трёхмерном случае равна $1/4=25\%$. В этом случае поры располагаются регулярно. При случайном удалении одиночных автоматов и з п лотной у паковки, максимальное значение пористости, которое можно получить без «слияния» пор в кластеры, в трехмерном случае наступает при пористости приблизительно 17,6%. Заметим, что предел перколяции в трехмерной ГЦК структуре для задачи узлов составляет 19,8% [2].

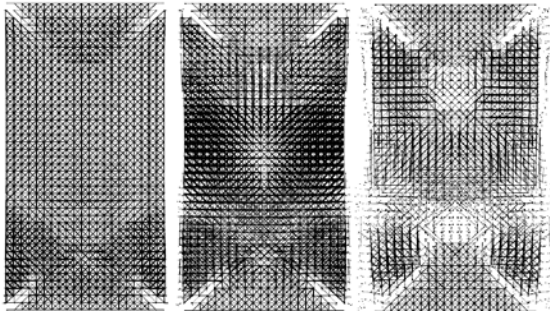


Рис. 1. Развитие трещин в сплошном керамическом образце (вид с боковой грани, перпендикулярной оси X)

Таким образом, большинство рассматриваемых образцов (с пористостью 20% и более) всегда содержат кластеры сообщающихся пор. Согласно результатам работ [3, 4], структура пористого пространства может определять не только прочностные, но также и упругие характеристики образцов. Наличие кластеров сообщающихся пор представляет собой новый элемент структуры, вдобавок к одиночным порам. Следовательно, с увеличением пористости можно ожидать изменения зависимости упругих и прочностных свойств модельного материала от пористости при переходе предела перколяции.

На рис. 1 показано распространение трещин в сплошном образце при взгляде с боковой грани образцов. Хорошо видно, что трещины распространяются от концентраторов напряжений, расположенных в вершинах параллелепипеда, в направлении максимальных касательных напряжений под углом 45° к направлению сжатия. Это обусловлено тем, что в качестве критерия разрушения в данном случае использовалось достижение предела прочности интенсивностью касательных напряжений.

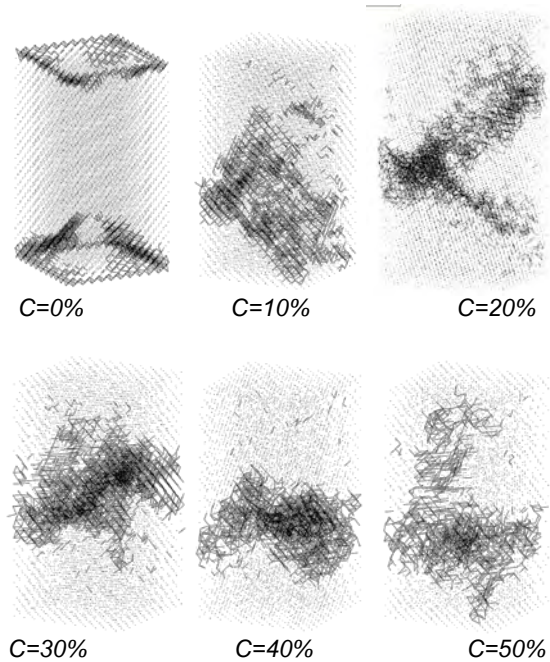


Рис. 2. Появление первых трещин в образцах с различным значением пористости C при сжатии

В случае пористых образцов наиболее мощные концентраторы напряжений не всегда находятся вблизи вершин и ли рёбер образца, и возникающие на них трещины могут распространяться под произвольными углами к оси нагружения в направлении, определяемом локальным распределением пор. Так, на рис. 2 показаны первые трещины в пористых образцах с различным значением пористости. Видно, что чем больше значение пористости в образце, тем меньше характер его разрушения похож на разрушение сплошных хрупких образцов.

Следует подчеркнуть, что в трёхмерном случае образцы со стохастически распределённой пористостью, так же как и в двумерных расчётах, способны демонстрировать квазивязкий характер разрушения. Из рис. 3 видно, что в трёхмерном случае величина пористости таких образцов должна превышать 40%.

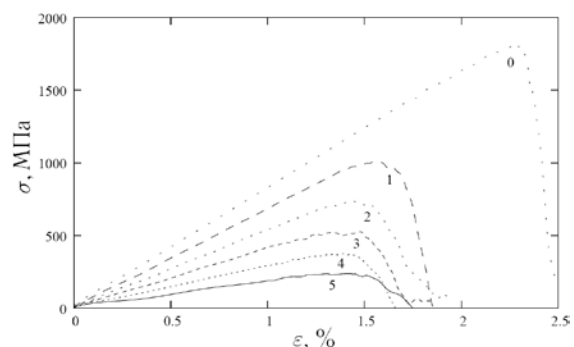


Рис. 3. Диаграммы нагружения керамических образцов с различной пористостью. Цифры

около кривых и соответствуют значениям пористости в десятках процентов ($C \approx 10\%$)

пористости: а) данные расчётов; б) экспериментальные данные

Рассмотрим зависимость эффективного упругого модуля исследуемого материала от его общей пористости. На рис. 4, а квадратами нанесены средние величины по пяти представительным образцам с различными вариантами размещения пор, рассчитанные методом МСА. На этой зависимости явно можно выделить два характерных участка, связанных со структурой пористого пространства: первый соответствует одиночным порам (5–20%), второй — кластерам сообщающихся пор (20–50%). На рис. 4, б для сравнения представлены экспериментальные данные, взятые из [5]. Видно, что рассчитанные данные хорошо соответствуют экспериментальным. Наклоны аппроксимирующих прямых, показывающие степень влияния пористости на упругие характеристики материала на характерных участках, несколько отличаются от экспериментальных. Это можно объяснить тем, что стохастический выбор элементов при генерации пор в образце, а следовательно, и ориентация кластеров сообщающихся пор, нивелирует влияние пористой структуры на механические свойства среды. Кроме того, по данным [5] перколяционные переходы в керамике ZrO_2 вызывают изменение микроструктуры, в частности при непрерывной пористой структуре напряжения, инициируемые в керамике, ограничивают рост кристаллитов.

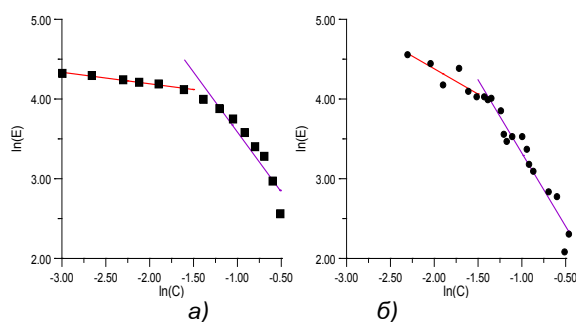


Рис. 4. Зависимости в логарифмических координатах упругого модуля керамики от

Следует отметить, что аналогичные представленные на рис. 4 зависимости были получены для предела прочности модельных образцов. Несмотря на то, что сами величины предела прочности отличаются от экспериментальных, излом на их зависимостях от пористости также совпадает с пределом перколяции.

Таким образом, моделирование методом подвижных клеточных автоматов одноосного сжатия хрупких пористых трехмерных образцов показало, что перколяционный переход в пористом материале от изолированных пор к сообщающимся приводит к изменению зависимости его упругих и прочностных свойств от общей пористости.

Список литературы

1. Псахье С.Г., Дмитриев А.И., Шилько Е.В., Смолдин А.Ю., Коростелев С.Ю. Метод подвижных клеточных автоматов как новое направление дискретной вычислительной механики. I. Теоретическое описание. // Физическая мезомеханика, Т.3, № 2, 2000, — С. 5–15.
2. Клеман М., Лаврентович О.Д. Основы физики частично упорядоченных сред. — М.: Физматлит, 2007. — 680 с.
3. Смолдин А.Ю., Коноваленко И.Г., Кульков С.Н., Псахье С.Г. О возможности квазивязкого разрушения хрупких сред со стохастическим распределением пор // Письма в ЖТФ. — Т. 32., №17, 2006. — С. 7–14.
4. Коноваленко И.Г., Смолдин А.Ю., Коростелев С.Ю., Псахье С.Г. О зависимости макроскопических упругих свойств пористых сред от параметров стохастического пространственного распределения пор // Журнал технической физики. — Т. 79, Вып. 5, 2009. — С. 155–158.
5. Буйкова С.П. Свойства, структура, фазовый состав и закономерности формирования пористых наносистем на основе ZrO_2 : дис. д-ра. тех. наук. Томск, 2008. — 309 с.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ

Руктуев А.А., Батаев И.А.

Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: Alex47@211.ru

Сварка взрывом — один из наиболее эффективных способов получения неразъемных соединений разнородных материалов. Метод позволяет получить высококачественное соединение между различными материалами за счет высокоскоростного соударения. Известно, что граница раздела между сваренными пластинами часто имеет волнообразную или вихреобразную форму (рис.1). Структура материала в этой зоне имеет большое значение в случае использования сварки взрывом для получения многослойных композиционных материалов. Несмотря на то, что исследованию механизма волнообразования посвящено много работ [1], структура материала, формирующегося на границе раздела свариваемых пластин, изучена недостаточно подробно.



Рис.1. Граница раздела между сваренными пластинами

Работа посвящена исследованию особенностей структуры, формируемой на границе раздела свариваемых пластин. Исследования проводились на образцах, представляющих собой пакеты из 9 пластин толщиной 1 мм, при этом в качестве свариваемого материала использовались пластины из стали 60Г и стали 20, которые чередовались между собой. Сварка производилась по схеме, изображенной на рис.2. Схема инициирования заряда взрывчатого вещества изображена на рис.3.

Для проведения структурных исследований использовались металлографический микроскоп Carl Zeiss AXIO Observer.A1m. Исследования

выполнялись на шлифах, приготовленных по стандартной методике. Микротвёрдость измеряли на приборе WolpertGroup 402MVD.

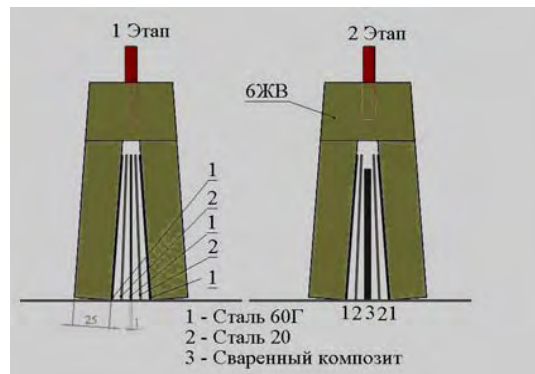


Рис.2. Схема сварки пластин

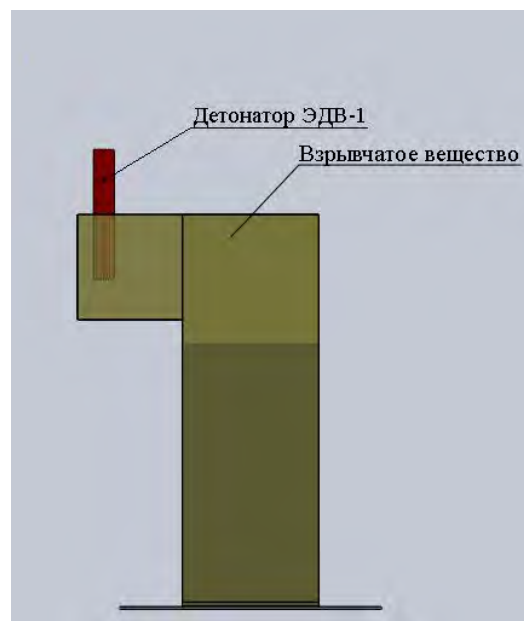


Рис.3. Схематическое изображение инициирования заряда взрывчатого вещества.

Металлографический анализ показал, что на полученных образцах в зоне соединения наблюдается вихреобразная структура, в которой можно выделить ряд характерных зон (рис.4).

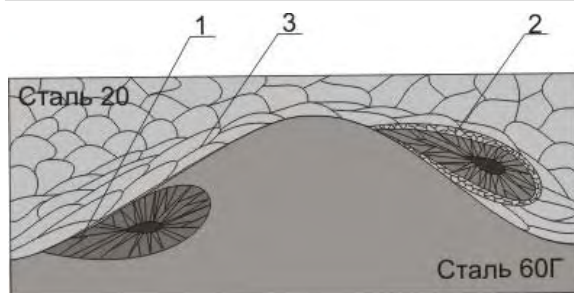


Рис.4. Схема расположения зон

Первая зона - зона вихрей, в которой наблюдается наличие мартенситной структуры, в центре которой располагаются поры (рис.5).



Рис.5. Мартенситная структура в зоне вихря

При исследовании шлифов, приготовленных параллельно границе раздела пластин, было обнаружено, что эти поры (рис.6), вероятно, образуются при закручивании кумулятивной струи, когда перед ней происходит деформация материала, что приводит к захвату газа и мелких частиц металла, вносимого кумулятивной струей.



Рис.6. Разрез волны параллельно границе раздела пластин

Вокруг мартенситной области можно выделить вторую зону, в которой формируются мелкие равноосные зерна, образованные в результате рекристаллизации, произошедшей при охлаждении мартенситной зоны. Средний размер рекристаллизованных зерен ~2,5 мкм (рис.7).

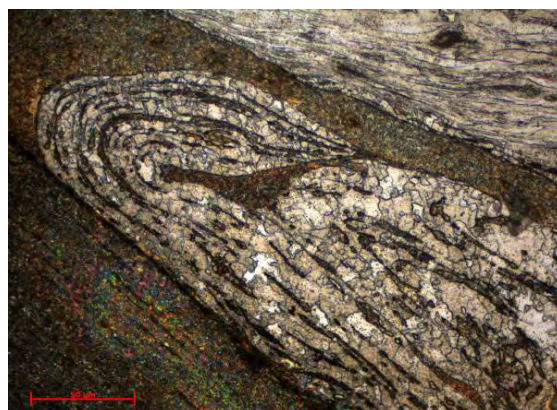


Рис.7. Рекристаллизованные равноосные зерна

Третий характерный участок — это зона сильнодеформированных зерен феррита и перлитных колоний (рис.8).

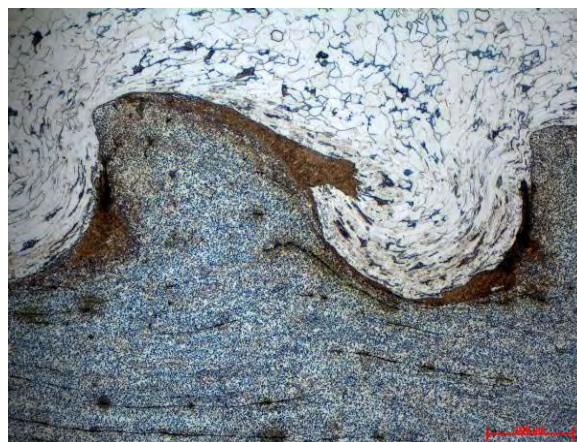


Рис.8. Сильнодеформированный участок вдоль границы раздела пластин

Интересно представляет и измерение микротвердости вдоль границы раздела. Данные исследования показали, что микротвердость вихрей, входящих в сталь 20 несколько ниже, чем вихрей, входящих в сталь 60Г. Сводные результаты по измерению микротвердости даны в таблице 1. В целом значения твердости превышают аналогичные значения для чистых сталей аналогичного состава и подвергнутых сварке взрывом. Вероятно, это обуславливается тем, что скорость охлаждения мартенситной зоны очень высока, что снижает вероятность

самоотпуска и уменьшает размер мартенситных кристаллов.

процессов происходящих в металлах при сварке взрывом.

Таблица 1. Результаты измерения микротвердости, HV

	Исходная	Деформированная	Вихрь
Сталь 20	155	198	491
Сталь 60Г	323	411	738

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что в зоне контакта наблюдаются три характерные зоны, структура и микротвердость которых различна, что отражает особенности

Список литературы

Захаренко И.Д., Сварка металлов взрывом.- Минск.: Наука и техника, 1990. – 205с.

ОСОБЕННОСТЬ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ИНОКУЛЯТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ

Савенко Т.И., Шелудько Н.В.

Руководитель: Головин Е.Д.

Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г.Новосибирск, пр.К.Маркса 20

E-mail: tisavenko@mail.ru

Сварные конструкции широко используются в самых различных областях человеческой деятельности. Значительную их часть составляют конструкции из углеродистых сталей. Механические характеристики сварных швов, как правило, сильно уступают характеристикам основного металла, что делает сварной шов наименее надежным местом всей конструкции. Получение сварных швов, не уступающих основному металлу по уровню механических свойств, является актуальной научной задачей[1].

Технология лазерной сварки позволяет получать сварные соединения, обладающие более высокими механическими свойствами, чем сварные соединения, полученные при помощи электрической дуги. Тем не менее, как традиционные виды сварки плавлением, так и лазерная сварка неизбежно приводят к образованию в сварном шве дефектной литой структуры.

Одним из активно разрабатываемых в технологии сварки направлений в настоящее время является применение мелкодисперсных порошковых добавок, влияющих на кристаллизацию сварного шва[2]. В данной работе исследовалось влияние нанодисперсного порошка TiCN+Cu на качество сварных соединений из листовой стали 20, полученных методом лазерной

сварки. Сварка производилась на автоматическом лазерном технологическом комплексе «Сибирь-2» производства Института теоретической и прикладной механики СО РАН. Толщина свариваемых пластин составляла 3 мм. Порошок TiCN+Cu наносился предварительно на кромки свариваемых пластин. Сварка осуществлялась в атмосфере гелия. Заготовки соединялись встык.

Для оценки качества сварных соединений были выполнены металлографические и фрактографические исследования полученных образцов, проведены измерения микротвердости шва и прилегающей зоны термического влияния (далее ЗТВ), осуществлены испытания на статическое растяжение и трехточечный ударный изгиб с V-образным концентратором, нанесенным по сварному шву.

Структура сварного шва, полученного при помощи лазерного луча, имеет грубое строение с крупными кристаллами (длина пластин достигает 600 мкм), вытянутыми в направлении отвода тепла. При добавлении инокулятора, длина кристаллов уменьшается до 300-400 мкм (рис. 1, 2).



Рис. 1. Структура шва после лазерной сварки.

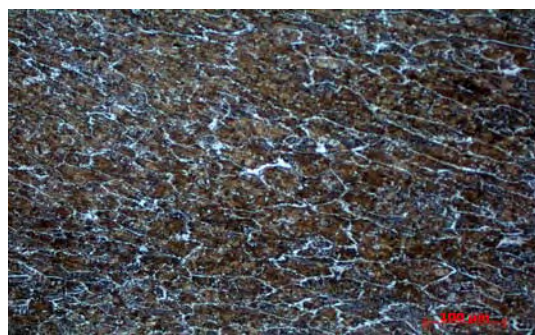


Рис. 2. Структура шва после лазерной сварки с применением инкулятора TiCN+Cu.

Измерение микротвердости сварного шва и ЗТВ показывает, что применение инкулятора приводит к сглаживанию скачков микротвердости, наблюдаемых при лазерной сварке (рис. 3). Этот факт указывает на повышение однородности структуры при добавлении инкулятора.



Рис. 3. Микротвердость сварных швов без инкулятора и с добавлением порошка TiCN+Cu.

Испытания сварных швов на статическое растяжение показали, что применение инкулятора привело к некоторому повышению относительного удлинения образцов (с 4 до 7%), в то время как предел прочности остался на прежнем уровне (рис. 4).

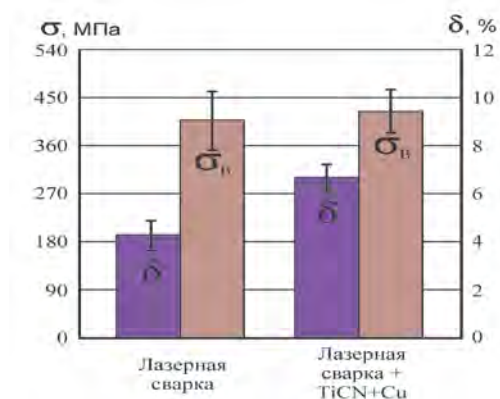


Рис. 4. Результаты испытаний сварных швов на растяжение.

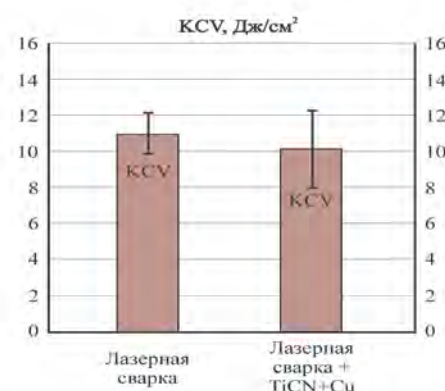


Рис. 5. Результаты испытаний сварных швов на ударный изгиб.

При испытании сварных соединений на трехточечный ударный изгиб, инкулированные сварные швы показали более низкие значения работы разрушения (рис. 5). Данный факт, вероятнее всего, вызван наличием пор в инкулированном сварном шве, имеющих размеры 200-300 мкм (рис. 6). В сварном шве, полученном без применения инкуляторов, подобных пор не обнаружено.

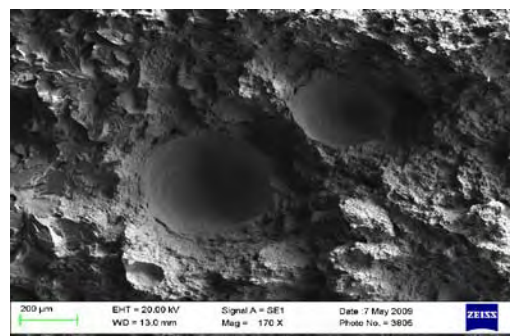


Рис. 6. Наличие пор в инкулированном сварном шве.

По результатам исследований можно сделать вывод о том, что добавка инкулятора типа TiCN+Cu благоприятно отражается на однородности структуры сварного шва. В то же время, необходимо решить проблемы по устранению пористости, вызванной использованием указанного выше нанопорошка.

Список литературы

1. Фролов В.А., Пешков С.В., Коломенский А.Б., Казанов В.А. Сварка. Введение в специальность. - М.: Машиностроение, 2004. 186с.
2. Гольдштейн Я.Е., Мизин В.Г. Инокулирование жидких легирующих сплавов. - М.: Металлургия, 1993. 416 с
3. M.H.Avazkonandeh-Gharavol, M.Haddad-Sabzevar, A.Haerian. Effect of copper content

on the microstructure and mechanical properties of multipass MMA, low alloy steel weld metal deposits // Materials and Design 30 (2009), pp 1902-1912.

4. Ana Ma. Paniagua-Mercado, Hector J.Dorantes-Rosales, Victor M. Lopez-Hirata, Paulino Estrada Diaz, Elvia Diaz Valdez. Effect of TiO₂-containing fluxes on the mechanical properties and microstructure in submerged-arc weld steels. Materials Characterization 60 (2009), pp 36-39.

5. Peiquan Xu, Xinhua Tang, ShunYao, Jianping He, Guoxiang Xu. Effect of Y₂O₃ addition on microstructure of Ni-based alloy+Y₂O₃/substrate laser clad. Journal Of Materials Processing Technology 208 (2008), pp 549-555.

ДИОКСИДСОДЕРЖАЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СУГЛИНКОВ РАЗЛИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА

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

E-mail: Tanya1082@mail.ru

Силикатные материалы и извести, содержащих диоксид, хорошо известны и привлекают пристальное внимание технологов. Диоксид может применяться как в производстве высокотемпературного типа керамики (фарфора, фаянса), так и низкотемпературного (керамической плитки, майолики). Во всех исследованных направлениях применения диоксида устанавливается существенный положительный эффект. Это снижение энергетических затрат, брака, снижение потребности в дорогих и дефицитных материалах, повышение качества изделий, улучшение их механических свойств [1,2].

Диоксид в шихте может играть роль как кристаллообразующей добавки, так и оказывать армирующее-упрочняющее действие. Ранее проведенные исследования показывают, что сочетание 10-20% диоксида с легкоплавкими глинами фракции менее 0,063 и 50-60% с тугоплавкими глинами той же фракции при температуре обжига 1000 - 1050°C приводит к образованию новой кристаллической фазы - анортита. Диоксид фракции 0,1-0,3 в количестве 50-60% в массах на основе тугоплавких глинистых

роль армирующего наполнителя [3]. Также в работе [4] отмечено, что образование анортита в массах на основе светложгущихся глинистых начинается при 1000 °C и идет более интенсивно, чем в массах с железосодержащими красными глинами.

Кроме тонкокерамических материалов и плитки диоксид может применяться и в производстве строительного кирпича. Ввод в шихту в количестве 3-5% приводит также к увеличению прочности изделий за счет образования новых фаз, что было показано ранее на примере неспекающихся легкоплавких суглинков Олонского и Тимлюйского месторождений [5].

Исследования влияния введения диоксида в шихту на основе железосодержащих глинистых масс показали, что к твердофазовой реакции с диоксидом происходит в сочетании не со всеми разножгущимися глинистыми веществами. Так, добавка диоксида в количестве 3-50% была опробована с глинами Чудинского и Шара-кундуйского месторождений Иркутской и Читинской областей (см. хим. составы в табл. 1).

Проба Ш ара-Кундуйской глины представляет собой грубодисперсное сырьё темно-желтого цвета с содержанием частиц размером менее 0,005мм – 9%, 0,05-0,005мм – 35%, 1-0,5мм – 54%. По числу пластичности (17) глину относят к среднепластичной. С помощью рентгенофазового анализа установлено присутствие в пробе иллита, каолинита, ректорита, кварца, полевых шпатов.

Таблица 1.
Химический состав компонентов

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %.							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
Шара-кундуйская глина	56,6	19,11	0,803	7,90	0,54	0,5	3,1	0,36
Чудничный аргиллит	57,94	17,45	0,778	7,77	0,763	3,51	4,91	0,285

Результаты по количественного анализа глинистой составляющей представлены в таблице 2. По степени огнеупорности шара-кундуйская глина относится к тугоплавкой. Водопоглощение образцов, обожженных без признаков пережога при температуре 1150°C составляет 1,04%, что классифицирует сырьё как среднеспекающееся.

Таблица 2.
Результаты количественного анализа глинистой составляющей

минералы сырьё	хлорит	иллит	каолинит	гекторит
Чудничный аргиллит	0.04	0.62	0.34	—
Шара-кундуйская глина	—	0.13	0.17	0.70

Глина Чудничного месторождения является аргиллитовой и относится к группе грубодисперсных. По пластичности природные аргиллиты это непластичное сырьё, но после мокрого помола и можно классифицировать как среднепластичные с числом пластичности 17-21 [1]. По огнеупорности относятся к легкоплавкому сырью. По спекаемости глины Чудничного месторождения относятся к сырью среднетемпературного спекания (водопоглощение образцов, обожженных при температуре 1150°C, составляет менее 5%). Рентгенофазовый анализ показал присутствие кварца, ректорита, каолинита, иллита.

Эффект добавления диопсида изучали по изменению прочности на сжатие и изгиб образцов, обожженных при разных

температурах. Образцы подготавливались по следующей методике: глинистые материалы измельчались в шаровой мельнице в течение 10 часов, просеивались через сито 0,224. Материал, не прошедший сквозь сито, измельчался в ручную в фарфоровой ступке, затем повторно просеивался, и так до полного прохождения материала через контрольное сито. Диопсид Бурутуйский измельчался в шаровой мельнице в течение 24 часов до прохождения без остатка через сито 0,063 и вводился в шихту в указанном в таблице 3 количестве. Компоненты тщательно перемешивались в ручную, пресс-порошок увлажнялся до 8%. Далее масса протиралась через сито № 1,0 для равномерного распределения в лаги. После этого масса вылеживалась в эксикаторе в течение суток. Образцы формовались двухступенчатым прессованием при давлении 15-30 МПа. Отформованные образцы сушили на воздухе в течение суток и далее в сушильном шкафу при температуре 100°C. После этого образцы обжигались в муфельной печи. Каждая партия образцов составляла 5 штук и обжигалась при температурах 950, 1000, 1050, 1100, 1150°C. Результаты исследований приведены в таблице 3.

По полученным данным можно сделать следующие выводы: при температуре обжига 900-1050°C введение диопсида в количестве 3-10 % не оказывает положительного влияния на прочность образцов на осевое сжатие глины Шара-Кундуйского и Чудничного месторождений, как это было в случае использования лонского и тимлюйского суглинков. В некоторых случаях добавка диопсида уменьшает прочность образцов. Скорее всего, реакция между диопсидом и глинистыми веществами не идет, о чем можно судить по результатам термического анализа.

Таблица 3.
Прочность испытуемых образцов с разным содержанием диопсида в шихте

Кол-во диопсида в массе, %		0	3	6	10	15	20	50
Температура обжига, °C	950	1	11		11	12		
		2	40	29	23			
	1000	1	14	14	11	13		
		2	34	26	17			
	1050	1	10*	4*	9*	12*	10*	
		2	56	47	35			
	1100	1	15*			23*	17*	
		2	61	48				
	1150	1	14*			43*		40*
		2						

Примечание *- прочность образцов на изгиб

- 1- Шара-Кундуйская
- 2- Чудничная

(различий в формах кривых ДТА образца с диопсидом и без него не наблюдается (рис.1)). В этом случае диопсид играет роль отощителя, ввод которого в данный материал не требуется. Прочность диопсидсодержащих образцов увеличивается, если только температура обжига близка к температуре появления расплава и при дообжиге не 3-5 %, а 15-50% минерала. Образцы, приготовленные из шихты с 15-50% диопсида и обожженные при температуре 1100-1150°C, обладают свойствами плитки для пола, что описано в источнике [6]. Следовательно, по вышению механической прочности образцов и шихты, содержащих 3-5% диопсида, и обожженных при температурах более низких, чем температура появления расплава, вызывает протекание твердофазовой реакции диопсида с глинистыми минералами.

Таким образом, при проектировке составов материалов для производства строительного кирпича, содержащих диопсид, подбирать глинистые материалы нужно учитывая не только такие свойства как огнеупорность, гранулометрический состав, содержание оксидов, но и проследивать способность составляющих глинистые минералы вступать в реакции при температурах, приемлемых для обжига строительного кирпича.

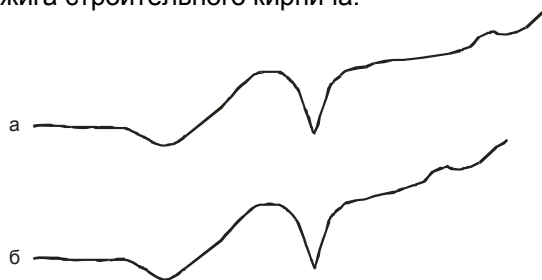


Рис.1. ДТА шара-кундуйской глины
а - без диопсида
б - с 5% диопсида

Список литературы

1. Азаров Г.М. /Строительная керамика на основе сухарных и непластичного сырья Байкальского региона//Г.М.Азаров, Т.И.Вакалова, В.И. Верещагин, А.В.Мананков, В.М.Погребенков. Часть 1. – Томск: изд. ТПУ, 1998. – 233 с.
2. Азаров Г.М. /Строительная керамика на основе сухарных и непластичного сырья Байкальского региона//Г.М. Азаров, Т.И. Вакалова, В.И. Верещагин, А.В.Мананков, В.М.Погребенков. Часть 2. – Томск: изд. ТПУ, 1998. – 248 с.
3. Вакалова Т.В./ Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях.// Т.В.Вакалова, В.М.Погребенков. Строительные материалы №4, 2007.
4. Погребенков В.М. / Тонкая и строительная керамика с использованием кальций-магневых силикатов и других видов нетрадиционного сырья// В.М.Погребенков. Диссертация на соискание ученой степени доктора наук. – Томск, 1998. – 453с.
5. Сафонова Т.В./Диопсид – эффективная добавка при производстве кирпича// Т.В.Сафонова, Ю.А.Зыкова. Вестник ИРГТУ №3, 2009.
6. Зыкова Ю.А./Плитка для пола на основе легкоплавких глилин// Ю.А.Зыкова, Т.В.Сафонова. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии» /Том 2. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 338 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Углинских М.Ю., Скоморохова И.В.

Научный руководитель: Дерябин В.А., д.т.н., профессор
УГТУ–УПИ им. первого президента России Б.Н. Ельцина
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17
E-mail htss@fsm.ustu.ru

Эмалируемые изделия находят широкое применение во многих областях народного хозяйства. Стеклянные покрытия используются для защиты от коррозии, а также для декоративно-художественной отделки изделий.

В настоящее время существует достаточно много технологий эмалирования. Несмотря на то, что до конца процессы эмалирования не изучены. Многие параметры технологических режимов подбираются эмпирически. В течение многих десятилетий оптимизировались составы эмалей, время, температура обжига, но данных по макроструктуре пока очень мало. Макроструктура неорганического силикатного покрытия определяется концентрацией, размерами и распределением газовых включений в толще покрытия. Процессы газообразования чрезвычайно сложны, а влияние на структуру и качество эмали неоднозначно. С одной стороны газовая фаза является источником многих дефектов, с другой – образование пузырьковой структуры способствует уменьшению теплопроводности и увеличению эластичности эмалевого слоя (при условии равномерного распределения дисперсных пузырьков).

На рис. 1 показано действие сил на газовый пузырек при обжиге. В процессе нагрева, при образовании в расплаве эмали газового пузырька на него действует сила Архимеда, выталкивающая пузырек в верх, а ей противодействует сила вязкого сопротивления [1].

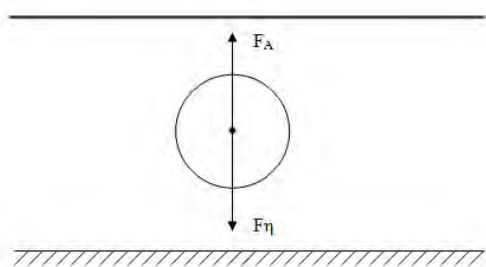


Рис.1. Схема действия сил на газовый пузырек при обжиге

На рис. 2 показано металлическое изделие, покрытое слоем эмали. Если рассматривать действие только архимедовой

силы, то пузырьки поднимаются вверх, и в зонах выделенных пунктиром должно наблюдаться скопление газовых включений. При таком подходе возникают противоречия. Известно, что макроструктура не зависит от ориентации эмалируемой поверхности, т.е. на распределение пузырьков влияют еще какие-либо силы.



Рис.2. Схема перемещения пузырьков под действием архимедовой силы при обжиге эмалируемого изделия

Существенный вклад вносит эффект Марангони – движение пленки свободной поверхности жидкости из-за разности поверхностных натяжений.

Такая разность $\Delta\sigma$ может возникнуть вследствие градиента концентраций и температур. Если поверхностное натяжение пузырька σ_1 в верхней части меньше σ_2 в тыльной части, то пленка опускается вниз, а сам пузырек поднимается вверх (рис. 3).

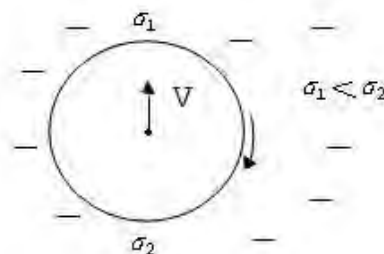


Рис. 3. Механизм движения газовых включений (эффект Марангони)

Ранее в литературе рассчитывалась скорость движения газовых пузырьков только по гидродинамическому механизму (с пренебрежением архимедовой силой). В случае расчетов по механизму пленочного перетекания по является величина глубины

капиллярного течения для границы «жидкость-газ» [1]. Для низкотемпературных жидкостей $\varepsilon \sim 10^{-5}$ м. Для оксидных расплавов, в частности, для эмали, величина параметра ε не известна. Поэтому в работе были проведены расчёты при различных значениях ε . В результате оказалось, что скорости перемещения газовых включений по этим двум механизмам для эмалей сопоставимы при глубине капиллярного течения ε от 10^{-4} до 10^{-5} м.

Полученные зависимости скорости движения газовых пузырьков от их размера R (при Δh – толщина слоя эмали) по двум механизмам получились подобными [2].

При $R = 3,5 \cdot 10^{-5}$ м скорости по термодинамическому механизму и механизму плёночного перетекания совпадают. По термодинамическому механизму с увеличением размера газовых включений

линейно увеличивается скорость движения пузырьков, по механизму плёночного перетекания (эффект Мarangoni) зависимость обратная, т.е. с увеличением размера пузырьков их скорость уменьшается [2].

Формирование стекловидного покрытия сопровождается изменением макроструктуры эмали, во многом связанной с поведением газовой фазы. Перемещение газовых включений зависит от множества факторов, среди которых определяющими являются разность поверхностных натяжений на границах с атмосферой и изделием, толщина покрытия, а также размер пузырьков. Однозначно можно утверждать, что смещение пузырьков под действием силы Архимеда в большинстве случаев не оказывает определяющего влияния на макроструктуру стекловидного покрытия. В.А. Дерябин // Огнеупоры. 1992. №5. С. 15-19.

2. В.А. Дерябин, М.Ю. Углинских, Е.Н. Короткова. Капиллярное движение газовых включений при обжиге стеклопокрытий. Стекло и керамика. 2007, № 8, с. 12-14.

Список литературы

1. Дерябин В.А. Влияние градиента температур на капиллярную миграцию компонентов шлака в огнеупорных изделиях /

ТЕРМОДИНАМИКА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАСТВОРОВ КИСЛОРОДА В СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗО-ХРОМ-КРЕМНИЙ

Сергунцова В.В., Рукавицин А.Н.

Научный руководитель: Коврига Е.В., к.х.н.

Армавирский механико-технологический институт

352905, Россия, г. Армавир Краснодарского края, ул. Кирова, 127

E-mail: ond.amti@yandex.ru

Как известно, хром и кремний являются наиболее распространенными элементами, присутствующими в стали, а также, входящими в состав некоторых ферросплавов, и используемых для ее производства. Добавки кремния в углеродистые стали, а также в хромистые нержавеющие стали, увеличивает их жаростойкость при повышенных температурах. Введение кремния в сталь способствует также повышению ее стойкости в агрессивных средах. Вследствие этого сплавы с кремнием получили в настоящее время широкое распространение как коррозионно-стойкие при комнатной и повышенных температурах. Совместное влияние этих элементов друг на друга, а также на растворимость кислорода в расплавах железа изучено еще недостаточно и рассматривается в довольно ограниченном числе работ [1-5]. В связи с этим, представлялось актуальным проведение

дополнительных экспериментальных исследований для подтверждения описанных выше результатов и более подробного изучения термодинамики этого вопроса.

Изучение растворимости кислорода в данной системе осуществлялось как при постоянном содержании хрома (8.6%) и переменной концентрации кремния, так и при постоянном содержании кремния (1.0%) и переменной концентрации хрома. Полученные результаты для первого случая представлены на рис. 1 в сравнении с данными, приводимыми в литературе.

Анализируя данные, представленные на рис. 1, можно сделать заключение о том, что добавление хрома к Fe-Si расплаву, увеличивает концентрацию в нем кислорода, при одном и том же содержании кремния, что свидетельствует о снижении раскислительной способности Si в присутствии Cr.

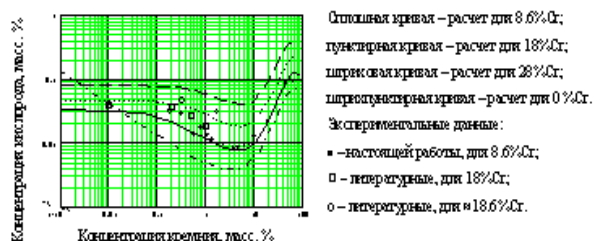


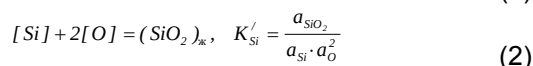
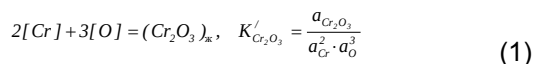
Рис. 1 Растворимость кислорода в системе Fe-Cr-Si при 1600°C

В настоящее время уменьшается раскислительная способность кремния в присутствии хрома объясняют наличием сильного межчастичного взаимодействия между этими элементами в расплавах на основе железа, приводящих к образованию группировок, близких по составу к силицидам типа Cr_3Si , Cr_5Si и др., что, естественно, ослабляет степень взаимодействия кремния с кислородом.

Исследования показали, что при постоянном содержании кремния в расплаве минимум на кривой растворимости кислорода отсутствует, и растворимость непрерывно возрастает, что связано с тем, что Si снизил содержание кислорода до такого уровня, что Cr ведет себя в этом случае как легирующий элемент, вносящий дополнительное количество кислорода.

Для теоретического обоснования экспериментально полученных результатов и для прогнозирования растворимости кислорода в изучаемой системе при различных соотношениях добавляемых к железу компонентов были проведены термодинамические расчеты, учитывающие возможность образования шлаковой фазы различных продуктов в соответствии с диаграммой фазовых состояний в системе "CrO-SiO₂".

Равновесие в расплавах системы Fe-Cr-Si-O, находящихся под слоем твердой шлаковой фазы переменного состава ($Cr_2O_3 + SiO_2$) определяется следующими реакциями и соответствующими им константами равновесия:



Считая, что оксиды хрома и кремния образуют совершенные растворы, и заменяя активности этих оксидов на мольные доли, можно после несложных манипуляций с уравнениями (1) и (2) получить зависимость состава шлаковой фазы от состава металла, обозначив отношение $(K'_{Cr})^2 / (K'_{Si})^3$ через "b":

$$N_{Cr_2O_3} = \left\{ \sqrt[3]{\left(0.5 - \frac{a_{Si}^3 \cdot b^{-1}}{27 \cdot a_{Cr}^4}\right) + \sqrt{0.25 - \frac{a_{Si}^3 \cdot b^{-1}}{27 \cdot a_{Cr}^4}}} + \sqrt[3]{\left(0.5 - \frac{a_{Si}^3 \cdot b^{-1}}{27 \cdot a_{Cr}^4}\right) - \sqrt{0.25 - \frac{a_{Si}^3 \cdot b^{-1}}{27 \cdot a_{Cr}^4}}} - \frac{a_{Si}}{3\sqrt[3]{b \cdot a_{Cr}^4}} \right\}^3$$

При расчете мольной доли $N_{Cr_2O_3}$ в оксидном расплаве и использовали температурные зависимости констант равновесия реакций ($K_{Cr_2O_3}$) и (K'_{Si}), приводимые ранее. Концентрационные

зависимости γ_{Si} и γ_{Cr} были определены по предлагаемой нами методике:

$$\ln \gamma_{Cr(Fe-Si)} = -\frac{9278}{T} \cdot N_{Si} \cdot (1 - N_{Cr})^3$$

$$\ln \gamma_{Si(Fe-Cr)} = \left[-\frac{14336}{T} \cdot (1 - N_{Si})^3 + 0.84(1 - N_{Si})^2 \right] \cdot (1 - N_{Cr}) + \left[-\frac{15824}{T} \cdot (1 - N_{Si})^3 + 1.0(1 - N_{Si})^2 \right] \cdot N_{Cr}$$

Используя выражение для коэффициента активности кислорода:

$$\gamma_O = \gamma_O^0 \cdot \gamma_{Cr}^0 \cdot \gamma_{Si}^0 = \gamma_O^0 \cdot \exp[(\epsilon_O^{Cr} \cdot N_{Cr} + \rho_O^{Cr} \cdot N_{Cr}^2) + (\epsilon_O^{Si} \cdot N_{Si} + \rho_O^{Si} \cdot N_{Si}^2)]$$

можно получить формулу для расчета растворимости кислорода в области образования растворов переменного состава:

$$N_O = N_{Cr_2O_3} / \gamma_O \cdot \sqrt[3]{K_{Cr_2O_3} \cdot \gamma_{Cr}^2 \cdot N_{Cr}^2} \quad (3)$$

При достижении насыщения шлакового расплава оксидом кремния (IV) происходит его выделение в отдельную фазу и в этом случае равновесие в системе определяется только реакцией и уравнением (2), из которого можно определить растворимость кислорода:

$$N_O = 1 / \gamma_O \cdot \sqrt[3]{K'_{Si} \cdot \gamma_{Si} \cdot N_{Si}} \quad (4)$$

Растворимость кислорода в системе Fe-Cr-Si вычисленная по формулам (3) и (4) для 1600°C, приводится на рис. 1.

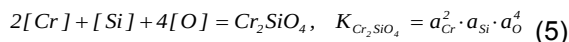
Наши экспериментальные значения растворимости кислорода хорошо совпали с расчетными, а спрогнозированные для 18%Cr – с литературными данными. Растворимость кислорода в сплавах с 28%Cr, так же как и в области существования растворов переменного состава равняется с тем, ввиду отсутствия их сведений в литературе.

В связи с тем, что экстраполяция формулы (3) на нулевую концентрацию Si приводит к растворимости кислорода в соответствующих Fe-Cr расплавах, прогнозируемую растворимость кислорода в области образования растворов переменного состава можно считать вполне достоверной.

Как видно из рис. 1, хром начинает проявлять свои раскислительные свойства только при его концентрациях, лежащих левее точки пересечения с соответствующих

кривых с кривой растворимости кислорода в системе *Fe-Si*.

В области концентраций хрома свыше 50% считали, что в шлаковой фазе образуются силикаты хрома. В этом случае равновесие определяется реакцией:



Константа равновесия реакции (5) (в мольных долях), была найдена термодинамически с использованием справочных данных:

$$\lg K_{Cr_2SiO_4} = -80350/T + 16.873$$

Растворимость кислорода при этом определяется из формулы:

$$N_O = \sqrt[4]{K_{Cr_2SiO_4}} / \gamma_O \cdot \sqrt[4]{\gamma_{Cr}^2 \cdot N_{Cr}^2 \cdot \gamma_{Si} \cdot N_{Si}} \quad (6)$$

Как показали расчеты по формуле (6) для расплавов с 60%Cr растворимость кислорода при 1650°С удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными, приводимыми в литературе.

Из рассмотренного можно сделать заключение, что в области образования растворов переменного состава растворимость кислорода целесообразно прогнозировать по формуле (3), до 50% Cr – по формуле (4), а выше – по формуле (6).

Выводы:

1. Предложены термодинамические уравнения (4) и (5) для определения коэффициентов активностей хрома и кремния в системе *Fe-Cr-Si*.

2. Теоретически определены пределы растворимости оксида кремния (IV) в оксиде хрома (III) в зависимости от состава металлической фазы.

3. Теоретически установлены области существования расплавов оксидов переменного состава и чистого оксида кремния (IV).

4. Термодинамическими расчетами подтверждено наличие на экспериментальных кривых "активность

кислорода – концентрация кремния" участков с относительно постоянной активностью кислорода вследствие образования в этих областях тугоплавких силицидов хрома.

5. Термодинамически обосновано некоторое снижение раскислительной способности кремния в присутствии хрома по сравнению с раскислением чистого железа.

6. Рекомендуется учитывать снижение раскислительной способности кремния в присутствии хрома, в следствие образования силицидов, при окончательном раскислении хромистых сталей и при производстве ферросплавов.

Список литературы

1. Коврига Е.В., Данилин В.Н., Шевцов В.Е., Бондаренко В.И. Равновесие в системе железо-кремний-кислород-жидкие силикаты железа // Объединенный научный журнал. – М.: Изд-во Тезарус, 2003. – № 6 (64). – С. 56-61.
2. Коврига Е.В., Данилин В.Н., Шевцов В.Е., Гусева Н.И. Термодинамика растворов кислорода в железо-хромистых расплавах. // Научный потенциал ВУЗа – производству и образованию: Сборник трудов профессорско-преподавательского состава АМТИ (Ф) КубГУ. Т. 1. – Армавир, 2005. – С. 181-190.
3. Шевцов В.Е., Бровков В.А., Штраух В.П. Термодинамика растворов кислорода в системе *Fe-Cr-Si*. – В кн.: Физико-химические основы процессов производства стали: Сборник трудов. М.: Наука, 1979. – с. 251-255.
4. Красильников В.С., Явойский В.И., Григорьев В.П. и др. К вопросу о раскислительной способности кремния в присутствии хрома. – Изв. ВУЗов. Черная металлургия, 1975. № 9. – с. 27-30.
5. Тараканов Ю.В., Черкасов П.А., Аверин В.В., Самарин А.М. Влияние хрома на раскислительную способность кремния в расплавах никеля и хрома. – Докл. АН СССР, сер. химическая технология, 1965. – т. 163, № 1. – с. 166-168.

СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СПЕКАНИЯ

Смачная О.В., Панин С.В., Степанова И.В.

Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н.

Томский политехнический университет,
634050, Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30

E-mail: 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. СВМПЭ используется там, где обычные марки ПЭНД и многих других полимеров не выдерживают жестких условий эксплуатации. СВМПЭ может выступать в качестве заменителя других, более дорогостоящих материалов (сталь, бронза, полиамид, фторопласт и др.), а может являться технически необходимым, т.е. единственно пригодным для данной цели материалом [1].

Пористые полимерные материалы на основе СВМПЭ и используются для приготовления 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 методика исследований

В работе для получения объемных пористых материалов на основе СВМПЭ был использован метод холодного прессования с последующим свободным спеканием.

Технология процесса изготовления пористых материалов на основе СВМПЭ: 1) холодное прессование порошкового полимера производится при давлении прессования 8-12 МПа; 2) сформированные заготовки спекают при температуре 140-150°C. Длительность процесса спекания зависит от массы изделия и его формы. За счет использования частиц определенного размера и контроля условий спекания можно задавать определенную пористость для различных областей применения материала:

от различного рода фильтров до демпфирующих изделий. Размер полученных брикетов составлял 7×15×41 мм³.

Испытания в условиях одноосного статического сжатия и запись кривых течения проводились на испытательной машине Instron-5582 с скоростью нагружения 0,5 мм/мин. Испытания на «сухое» трение по схеме «вал-колодка» проводили на машине трения МТ-1 (рис.1), размером образцов 7×7×10 мм³ [3]. Диаметр контртела составлял 62 мм. Испытания на трение проводили при скорости вращения вала 150 об/мин при увеличивающейся нагрузке. Продолжительность нагружения, как правило, составляла до 90 минут. Интенсивность изнашивания оценивали путем измерения площади дорожки трения, проводившегося с использованием программного обеспечения Rhinoceros v3.0 по оптическим изображениям, с помощью микроскопа Carl Zeiss Stemi 2000-C.

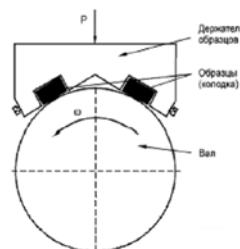


Рис. 1. Испытания на трение по схеме «вал – колодка» (стрелкой P указано приложение внешней нагрузки, ω - направление вращения контртела)

Оценку толщины несенного слоя проводилось по монотажам оптических изображений, снятых на поверхности трения, путем пересчета ее величины через измеренное значение ширины дорожки трения по формуле (1):

$$X = R - \sqrt{R^2 - \frac{l^2}{\pi}}, \quad (1)$$

где X – толщина несенного слоя, R – диаметр контртела, l – ширина дорожки трения.

3. Результаты эксперимента

В данной работе методом свободного спекания были получены пористые образцы на основе СВМПЭ. В качестве варьируемого параметра было выбрано время спекания, которое составляло 1÷2,5 ч.

Серия 1: время нагрева до $T = 145^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{н}} = 1$ ч, время выдержки при $T = 145^\circ\text{C}$ $\tau_{\text{в}} = 1$ ч, 2 ч, 2,5 ч., соответственно.

Серия 2: время нагрева до $T = 150^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{н}} = 0,33$ ч., время выдержки при 150°C $\tau_{\text{в}} = 0,66$ ч.

Табл. 1 Свойства пористых образцов СВМПЭ до и после спекания

№	Режим спекания	Плотность, ρ , г/см ³	Пористость, П, %
Серия 1			
0	$T=0^\circ\text{C}$, $\tau=0$ ч	0,48	48
1	$T=145^\circ\text{C}$, $\tau=1$ ч	0,438	53
2	$T=145^\circ\text{C}$, $\tau=2$ ч	0,560	40
3	$T=145^\circ\text{C}$, $\tau=2,5$ ч	0,550	41
Серия 2			
4	$T=150^\circ\text{C}$, $\tau=1$ ч	0,658	30

Показано, что при увеличении времени спекания до 2 ч. плотность полученных компактов увеличивается, соответственно их пористость снижается (табл. 1).

3.1. Сжатие

В табл. 2 представлены механические характеристики при сжатии пористых образцов на основе СВМПЭ, полученных методом свободного спекания при изменении времени и температуры спекания.

Табл. 2. Механические характеристики образцов пористого СВМПЭ

№	$\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности, МПа	Модуль упругости, МПа
1	0,66	3,34	27
2	1,69	18	62
3	2	17	71
4	2,52	22,3	90

При увеличении времени спекания от 1÷2,5 ч. образцы серии 1 наблюдается повышение механических характеристик (предел текучести, прочности, модуль упругости). Максимальной прочностью при сжатии обладают образцы серии 2, полученные при увеличении температуры спекания на 5°C и времени спекания 1 ч (табл. 2).

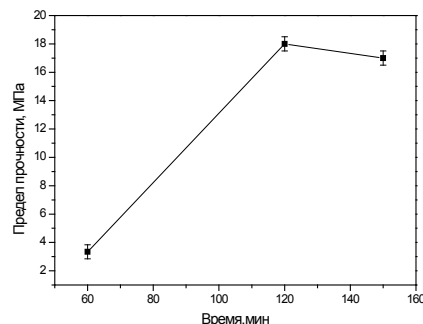


Рис. 1. График зависимости предела прочности от времени спекания пористых образцов СВМПЭ

На рис. 1 представлен график зависимости предела прочности от времени спекания пористых образцов на основе СВМПЭ (серия 1).

3.2. Трение

Сводные данные по результатам испытаний на «сухое» трение при увеличивающейся нагрузке пористых спеченных образцов на основе СВМПЭ представлены на рис. 4 и в табл. 3.

По данным испытаний на «сухое» трение видно, что интенсивность изнашивания образцов серии 1 при изменении времени спекания от 1 ÷ 2,5 ч. и изменяется незначительно, изнашивание таких образцов носит деформационный характер, максимальной износостойкостью по данным значений толщины унесенного слоя обладает образец, полученный при спекании в течение 2,5 ч.

При увеличении температуры спекания (образцы серии 2) интенсивность изнашивания и значение толщины унесенного слоя значительно снижаются, что свидетельствует о том, что при времени спекания 1 час образцы серии 2 обладают максимальной износостойкостью (рис. 4, табл. 3).

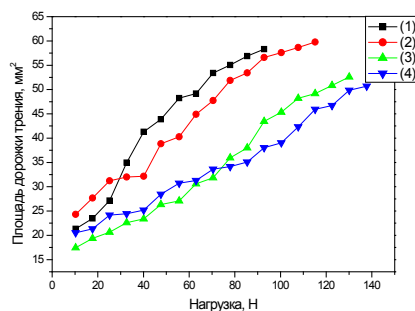


Рис. 2. График зависимости площади дорожки трения от нагрузки пористых образцов на основе СВМПЭ

Табл. 3. Триботехнические характеристики пористых спеченных образцов СВМПЭ

№ образца	1	2	3	4
$v_{изн}$, мм ² /мин	0,320	0,321	0,324	0,254
X, мкм	301	308	270	260

Заключение

В данной работе были исследованы свойства пористых компактов на основе СВМПЭ, полученных методом свободного спекания при изменении времени и температуры спекания.

В работе показано, что эффективным способом повышения комплексных механических и триботехнических характеристик пористых материалов на основе СВМПЭ является повышение либо температуры с 145 до 150 °C при спекании 1 ч., либо времени спекания до 2,5 ч при 145 °C.

Установлено, что 1) при увеличении времени спекания плотность, предел прочности, модуль упругости и износостойкость пористых образцов серии 1 на основе СВМПЭ увеличивается, пористость снижается незначительно, 2) при увеличении температуры спекания механические и

триботехнические характеристики возрастают, но резко снижается пористость образцов серии 2.

Список литературы

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.
3. Панин С.В., Панин В.Е., Овечкин Б.Б. и др. Научные основы формирования высокопрочных и износостойких полимерных покрытий с наноструктурными наполнителями // Физическая механика. – 2006. – №9. Специальный выпуск. – С. 141-144.

НЕОБЫЧНАЯ МЕХАНИКА КРИСТАЛЛА ХЛОРАТА НАТРИЯ

Соболева Э. Г.

Научный руководитель: Беломестных В. Н.

Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652000, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: sobolevaeno@mail.ru

В 1810 г. Симеон Дени Пуассон ввел важный физико-механический параметр твердого тела σ , который в последующем получил наименование коэффициента поперечной деформации или коэффициента Пуассона. В рамках линейной теории упругости однородно деформированного изотропного сплошного твердого тела, между атомами (молекулами) которого действуют центральные силы, Пуассоном установлены численные значения $\sigma = 0,25$ и отношений $B/G = 5/3$ (B – модуль всестороннего сжатия, G – модуль сдвига), $v_L/v_t = \sqrt{3}$ (v_L – скорость продольных упругих волн в «неограниченной» среде, v_t – скорость поперечных волн) [1].

Начальные сообщения об анизотропии акустических мод в монокристаллах (по

терминологии [2]) связаны с одним и тем же ученым – Фохтом (W.Voigt) и двумя объектами – пиритом (FeS_2 , 1887 г.) и хлоратом натрия (NaClO_3 , 1893 г.) [3]. Полученные Фохтом отрицательные значения недиагональной компоненты тензора упругой жесткости c_{12} (положительные значения упругой податливости s_{12}) свидетельствовали о $\sigma_{<100>} < 0$ для указанных кристаллов.

В обзоре по акустике [2] на основе экспериментальных данных Benbattouch et al. (1989 г.) о положительных значениях c_{12} при комнатных и низких температурах естественного минерала пирита физически указывается на то, что результат Фохта о $c_{12} < 0$ для FeS_2 не подтверждается. Однако нам представляется, что ситуация по этому вопросу для данного вещества все еще

остается дискуссионной. По крайней мере, в настоящее время с учетом с правочных сведений о c_{12} пирита [4] наблюдается следующая «арифметика»: $c_{12} > 0$ приходится восемь результатов $c_{12} < 0$.

Хронологию и зучения у пругих свойств кристалла NaClO_3 при стандартных условиях на протяжении века можно уложить в следующую схему. Фохт: 1893 г. – первая публикация; 1910 г. – $c_{ij}(s_{ij})$ в его авторской монографии [5]; метод – изгиб и кручение; $c_{12} < 0$ в обоих случаях. Мэзон: 1946 г. [6]; метод резонанса – антирезонанса тонкой пластинки; $c_{12} > 0$, указано на ошибку Фохта в отношении знака σ . Период от 1946 г. до настоящего времени: 16 различных публикаций (конкретный список литературы и сведения по c_{ij} приведены в [7]); методы – все известные динамические, в том числе дифракционные (света и ультразвуке, рентгеновских лучей, нейтронов); удивительно согласующиеся результаты по $c_{ij}(s_{ij})$, c_{12} только положительные.

Представляет интерес сопоставить при стандартных условиях акустические, упругие и ангармонические свойства моно- и поликристаллов NaClO_3 по данным $c_{ij}(s_{ij})$ Фохта, с одной стороны, и наиболее вероятным (усредненным) значениям этих постоянных по результатам в обеих более поздних публикациях, с другой стороны. Сами величины $c_{ij}(s_{ij})$ и выполненные на их основе расчеты ряда характеристик NaClO_3 , включая коэффициенты Пуассона и параметры Грюнайзена, приведены в табл. 1 и 2.

Коэффициент Пуассона в направлении $\langle 100 \rangle$ рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\langle 100 \rangle} = -\frac{s_{12}}{s_{11}}. \quad (1)$$

В направлении $\langle 110 \rangle$ кубического монокристалла определяются два коэффициента Пуассона с взаимно перпендикулярными направлениями поперечных деформаций по следующим выражениям:

$$\sigma_{\langle 110,001 \rangle} = -\frac{2s_{12}}{s_{11} + s_{12} + 0,5s_{44}}, \quad (2)$$

$$\sigma_{\langle 110,1\bar{1}0 \rangle} = -\frac{s_{11} + s_{12} - 0,5s_{44}}{s_{11} + s_{12} + 0,5s_{44}}. \quad (3)$$

Коэффициент Пуассона в направлении $\langle 111 \rangle$:

$$\sigma_{\langle 111 \rangle} = -\frac{s_{11} + 2s_{12} - 0,5s_{44}}{s_{11} + 2s_{12} + s_{44}}. \quad (4)$$

Как ориентационные, так и усредненные изотропные коэффициенты Пуассона NaClO_3 из экспериментов Фохта оказались отрицательными. И наоборот, $\sigma_{\langle hkl \rangle}$ и $\bar{\sigma}$ всех других авторов получились положительными, обычными по величине, близкими к соответствующим коэффициентам Пуассона кристалла NaCl .

Существенное отличие экспериментов Фохта от экспериментов других авторов только одно – статический режим деформирования, из которого получаются изотермические упругие характеристики кристалла в отличие от адiabатических в динамических экспериментах. Можно в этом случае предположить, что для хлората натрия, как и для пирита, отрицательные значения σ объясняются наличием незначительных трещин в образце при испытаниях на изгиб.

Однако в случае несогласия с результатом Фохта от носителя знака c_{12} кристалла NaClO_3 обращают на себя внимание два обстоятельства. Фохт特别注意 в свою необычность знака $c_{12} < 0$ и $\sigma < 0$ и сделал специальную по этому поводу оговорку [3]: новый результат для $\sigma \text{ NaClO}_3$... «следует рассматривать как точно (выделено автором) установленный научный факт». В другое важное обстоятельство: одновременно с NaClO_3 Фохт тем же методом изучал упругие свойства кристалла NaCl и получил для него постоянные $c_{ij}(s_{ij})$ и коэффициент Пуассона хорошо согласующиеся с современными табличными, в том числе $c_{12} > 0$.

Таблица 1
Анизотропия акустических, упругих и ангармонических свойств монокристалла NaClO_3

№	C ₁₁	C ₁₂	C ₄₄	направление в кристалле									ссыл-ка по C _{ij}
	S ₁₁	S ₁₂	S ₄₄	<100>			<110>			<111>			
				v _l	σ	γ	v _l	σ ₍₀₀₁₎	γ ₁	v _l	σ	γ	
1	63,30	-21,40	12,18	5042	-0,51	2,42	3648	-0,32	1,32	3044	-	-	[3]
	24,13	12,32	82,10	2212			4124	-0,06	-0,89	3601	0,06	1,03	
2	65,04	-20,99	11,97	5111	-0,48	2,48	3695	-0,28	1,40	3082	-	-	[5]
	22,20	10,58	83,54	2193			4156	-0,12	-0,88	3622	0,01	1,01	
3	50,50	14,71	11,78	4503	0,23	2,11	4222	0,17	1,90	4124	0,31	1,29	[7]
	22,80	-5,14	84,89	2175			2681	0,41	1,15	2524			

Примечание: c_{ij} в ГПа; s_{ij} в Па^{-1} ; v_l, v_t в м/с; $v_{l\langle 110 \rangle} = v_{\langle 100 \rangle}$

Таблица 2
Акустические, упругие и ангармонические свойства поликристалла NaClO_3

№	v_l	v_t	v_s	B	G	σ	γ_{ac}	γ_{td}
1	3714	3520	2879	6,83	20,64	-0,25	0,41	0,37
2	3758	3622	2877	7,69	20,61	-0,21	0,45	0,41
3	4261	3782	2366	26,63	13,94	0,28	1,64	1,43

Примечание: v_l, v_t (скорость продольных волн в «стержне»), v_s в м/с; B, G, в ГПа

В направлениях $\langle 110 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ кубического кристалла NaClO_3 скорости поперечных волн называются больше скоростей продольных волн (в $\langle 110 \rangle$ направлении речь идет только о поперечной волне, поляризованной по $\langle 1\bar{1}0 \rangle$). Этот результат можно было бы рассматривать как нонсенс (поскольку в кристаллах неауксетичных материалов для чисто продольных и поперечных мод всегда $v_t < v_l$), если бы не некоторые современные эксперименты.

Мера ангармонизма межатомных (межмолекулярных) колебаний и нелинейности сил межатомного взаимодействия – параметр Грюнайзена γ для изотропного NaClO_3 , определенный по акустическим данным (γ_{ac}), в пределах не более 10 % согласуется с его термодинамическим значением (γ_{td} , табл.2). Наиболее ангармоничны в кристалле NaClO_3 межатомные взаимодействия в плоскости куба (100), а замечательное соотношение $v_t > v_l$ в плоскостях ромбического додекаэдра и

октаэдра с отрицательными $\gamma_{\langle 110, 1\bar{1}0 \rangle}$ и $\gamma_{\langle 111 \rangle}$ может свидетельствовать о том, что с ростом амплитуды колебаний сила отталкивания между атомами при их сближении возрастает медленнее, чем сила притяжения при удалении одного атома от другого (при $\gamma > 0$ все наоборот) (табл.1). Результаты не противоречат выводу [7] о том, что

предельное значение $\sigma = -1$ соответствует «гармоническому» твердому телу ($\gamma = 0$).

Список литературы

1. Ляв А. Математическая теория упругости. М.-Л.: Гл. ред. Общетеchn. лит-ры и номографии, 1935. – 674 с.
2. 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.
3. Voigt W. Bestimmung der Elasticitätsconstanten für das chloresaurer Natron. // Annalen der Physik und Chemie. 1893. V. 49. S. 719 – 723.
4. Францевич И. Н., Воронов Ф. Ф., Бакута С. А. Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов. Справочник. Киев: Наукова думка, 1982. 286 с.
5. Lehrbuch der Kristallphysik: monographie / Voigt W, Leipzig, 1910. – 962 s.
6. Mason W. P. Elastic, piezoelectric, and dielectric properties of sodium chlorate and sodium bromate // Phys. Rev. 1946. V. 70, №7 – 8. P. 529 – 537.
7. Акустические, упругие и неупругие свойства кристаллов галогенатов натрия: монография / В.Н. Беломестных, Э.Г. Соболева – Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2009.-276 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 19ХГНМА

Соловьева Ю.Б., Клименко А.В.

Научный руководитель: Пугачева Т.М. д.т.н.,

Самарский государственный технический университет. 443100, Молодогвардейская, 133.

E-mail: JylSol@yandex.ru

Низкоуглеродистая малолегированная сталь 19ХГНМА предназначена для изготовления лопаток и эксплуатируется в чрезвычайно тяжелых условиях интенсивного абразивного изнашивания и изгибных нагрузок путем схватывания и смятия, ударных нагрузок и действия агрессивной среды. Это

обуславливает высокие требования к комплексу механических свойств лопатки стали. Требуемые эксплуатационные свойства лопаток достигаются после химико-термической обработки, включающей газовую цементацию, закалку и низкий отпуск.

Весь прокат, поступающий на предприятие, подвергается входному контролю на соответствие техническим требованиям. Для чего врезают заготовки для механических испытаний, которые подвергают двойной закалке. Реальная термообработка отличается от двойной закалки, поскольку включает азотную цементацию, закалку и низкий отпуск.

Целью исследования является анализ и обоснование режима термообработки заготовок об разцов для механических испытаний при входном контроле качества металла и определение наиболее информативных характеристик механических свойств для стали 19ХГНМА.

Восновным анализ было положено сравнение значения механических свойств трех образцов после двойной закалки (ДЗ – двойная закалка от 890 °С и 840 °С в масле, отпуск при 185 °С) и ложной цементации (ЛЦ – нагрев до 954 °С с выдержкой в течение 4 ч с последующим медленным охлаждением, закалка от 829 °С в масле, отпуск при 190 °С).

Испытания механических свойств проводили по соответствующим ГОСТам на стандартном оборудовании.

Анализ проводился с использованием методов описательной статистики, программы «Excel».

Было проанализировано по три-четыре плавки стали 19ХГНМА производства АО "ИЖСТАЛЬ", АО "ОЭМК", АО "ЭЛЕКТРОСТАЛЬ" и 3 АО МЗ "КРАСНЫЙ ОКТЯБРЬ".

Химический состав стали: 0,17-0,22 % С, 0,15-0,30 % Si, 0,6-0,95 % Mn, 0,35-0,65 % Cr, 0,35-0,75 % Ni, 0,2-0,3 % Mo, ≤0,02 % S, ≤0,02 % P, ≤0,3 % Cu.

Анализ значений механических свойств проката стали 19ХГНМА по каждому заводу-изготовителю с помощью пакета «Описательная статистика» показал:

- вариативность прочностных и пластических свойств разных плавков одного завода-производителя не велика: коэффициент вариации составляет 2-6 %.
- Вариативность ударной вязкости более заметна: коэффициент вариации составляет 13-29 %;

- размах значений и коэффициенты вариации после ЛЦ в подавляющем большинстве случаев меньше, чем после ДЗ

- средние значения одноименных механических характеристик после ДЗ и ЛЦ практически одинаковые (таблицы 1-3).

Таблица 1-Средние значения прочностных свойств

Завод изготовитель	$\sigma_{0,2}$ МПа		σ_B МПа	
	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ
Ижсталь	772	892	898	781,7
ОЭМК	805	694	907	803,3
Электросталь	788	898	900	786,7
МЗ КО	737	842	840	742,5

Таблица 2 –Средние значения пластических свойств

Завод изготовитель	δ , %		Ψ , %	
	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ
Ижсталь	17,2	17,6	53,3	53
ОЭМК	16,6	16,3	69,3	54,7
Электросталь	17,8	17,4	56	55,3
МЗ КО	19,6	18,8	54,2	54,8

Таблица 3- Средние значения ударной вязкости

Завод изготовитель	КСU, МПа		КСV, МПа	
	ДЗ	ЛЦ	ДЗ	ЛЦ
Ижсталь	193	190	108	107,9
ОЭМК	175,7	174,1	127	104,9
Электросталь	180,7	175,8	112,2	110,5
МЗ КО	203,5	198,7	119,7	118,7

Для того, чтобы усреднение результатов всех плавков не могло привести к нивелированию различий у конкретных плавков, провели сравнение значений механических свойств после ДЗ и ЛЦ по каждой плавке (рис. 1-6).

Из приведенных рисунков видно, что после ЛЦ величина предела текучести изменяется от 0% до 2,5% в сторону увеличения, предела прочности уменьшается от 0% до 1,7%, пластические характеристики – относительное удлинение и относительное сужение

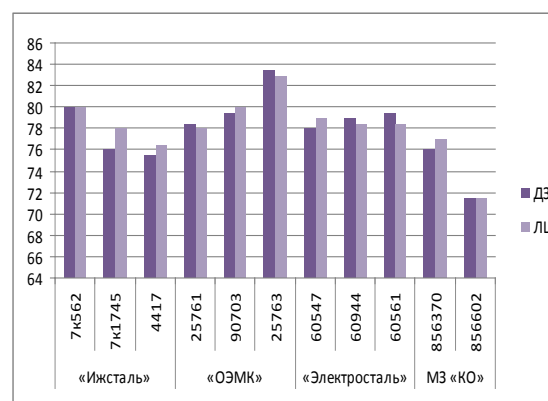


Рис. 1. Предел текучести

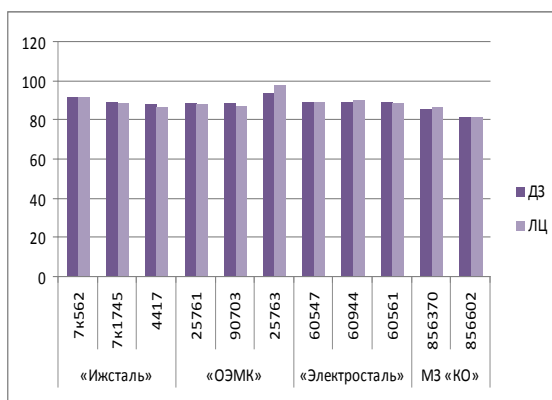


Рис 2 Предел прочности

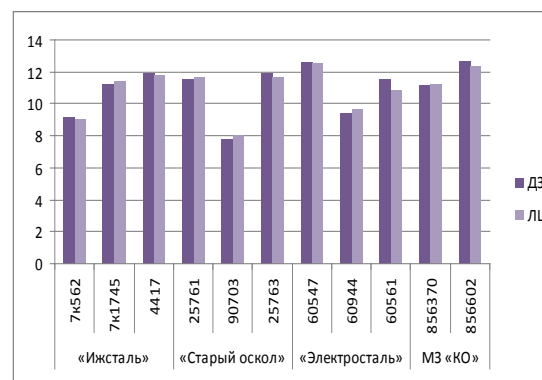


Рис 6. Ударная вязкость KCV

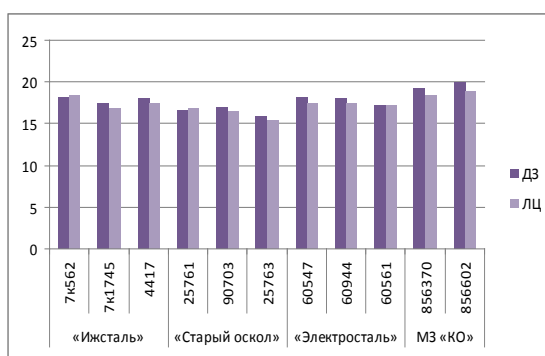


Рис 3. Относительное удлинение

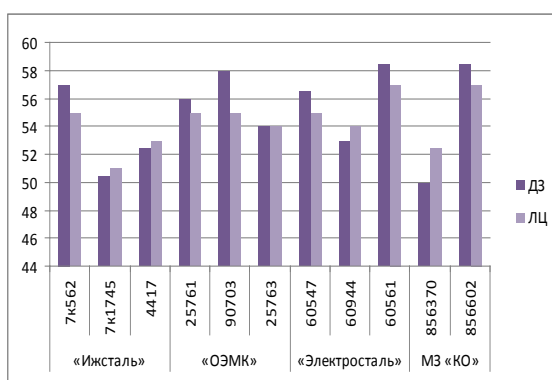


Рис 4. Относительное сужение

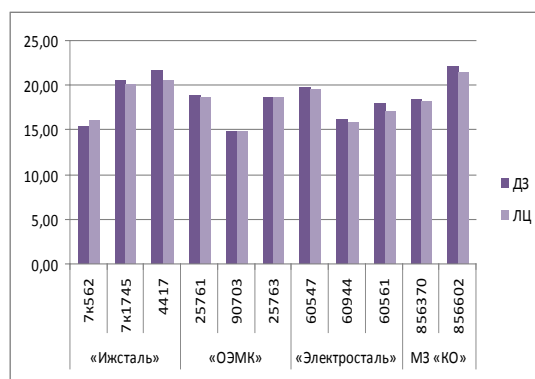


Рис 5. Ударная вязкость KCU

изменяются в пределах от 0% до 5% в сторону уменьшения. Ударная вязкость (KCU и KCV) уменьшается в пределах от 0,8% до 6%.

Установленные изменения абсолютных значений характеристик в большинстве случаев не превышают стандартных отклонений с войства при дублировании опытов. При этом, однако, наблюдается явная тенденция формирования более низких механических свойств после ЛЦ по сравнению с ДЗ.

В результате исследования можно сделать вывод, что ДЗ и ЛЦ по приведенным режимам формируют очень близкое структурно-фазовое состояние и близкие механические характеристики. Таким образом, при входном контроле качества металла можно вместо длительного и более затратного процесса ЛЦ, имитирующего реальную термическую обработку лап буровых долот, применять более технологичную термообработку – ДЗ. Однако, при этом нужно учитывать, что значения свойств будут немного выше, чем после цементации.

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА МЕДНОЙ, НИКЕЛЕВОЙ, МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ И ХРОМ-НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВАХ ВВЕДЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ ЧАСТИЦ ДИБОРИДА ТИТАНА

¹Степанова И.В., ²Корчагин М.А., ³Бондарь М.П.

Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., профессор

¹Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
630128, Россия, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

³Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика Лаврентьева, 15
E-mail: iris.stepanova@mail.ru

Композиты с металлической матрицей, содержащие мелкодисперсные включения диборида титана, привлекают значительный интерес благодаря своим уникальным свойствам. Диборид титана (TiB_2) по сравнению с другими диборидами переходных металлов I V-VI групп обладает наибольшей жесткостью решетки, что обеспечивает его высокую твердость и температуру плавления. Кроме того, присущие дибориду титана низкий удельный вес и высокая химическая стабильность делают его одним из наиболее перспективных материалов при создании деталей с высокой износ- и термостойкостью. Однако сильные ковалентные связи, присутствующие в TiB_2 , обуславливают его низкую пластичность и невысокую прочность на изгиб и разрыв, что в значительной степени ограничивает область применения этой керамики. Поэтому в настоящее время весьма актуальным представляется поиск путей создания композиционных материалов с пластичными матрицами, армированными частицами диборида титана.

Перспективным методом получения подобных композиционных материалов является проведение реакций синтеза частиц упрочняющей фазы в матрицах. Значительный вклад в развитие научных основ процессов твердопламенного горения с образованием тугоплавких бори- и карбидов, силицидов, нитридов представляют работы, выполненные под руководством академика А.Г. Мержанова. Преимущества этого способа заключаются в возможности равномерного распределения наноразмерных частиц упрочняющей фазы в матрице, а также управлении ее синтезом в известных пределах, реакцией ее синтеза. Если упрочняющая фаза образуется с значительным выделением тепла и содержится в композите в достаточном количестве, то появляется возможность получения композиционного материала в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Не

менее актуальными представляются исследования по разработке технологии получения пористых анокомпозиционных основ, основа которых заложена в ИХТТМ СО РАН в работах академика В.В. Болдырева. Метод заключается в кратковременной предварительной механической активации (МА) смесей порошковых реагентов в планетарной шаровой мельнице, последующим СВС и дополнительной МА продуктов СВС.

Другой важной научно-технической проблемой является разработка методов компактирования анокомпозиционных порошков с сохранением наноструктуры в объемном материале. При этом требование сохранения наноструктуры накладывает ограничение на температуру спекания. Поэтому для компактирования таких материалов используются модифицированные методы спекания, подразумевающие предварительную оптимизацию физико-химических режимов консолидации (давления и температуры компактирования и/или спекания, времени консолидации, скорости нагрева/охлаждения, среды консолидации - вакуум, инертные или химически активные газы). Аспекты, связанные с получением композиционных материалов с высокими механическими свойствами путем дополнительного механолегирования, в выборе методов компактирования, представлены в работах Н.З. Ляхова, О.И. Ломовского, М.А. Корчагина, В.А. Полубоярова, М.П. Бондарь, Е.С. Ободовского. Для получения объемных материалов в настоящей работе было предложено использовать методы спекания в плазме электроискрового разряда, а также квазидинамического прессования.

Перспективным направлением восстановления и повышения ресурса работы деталей металлургического оборудования (и, в частности, кристаллизаторов непрерывной разливки стали) является применение технологии электронно-лучевой наплавки в вакууме.

Вопросы формирования покрытий методом ЭЛН с заданными структурой и свойствами подробно изучаются в ИФПМСОРАН под руководством академика В.Е. Панина. В связи с этим разработана и создана высокопрочных, и износостойких композиционных материалов и покрытий, армированных мелкодисперсными тугоплавкими включениями диборида титана, является актуальной научно-технической задачей.

На примере модельной системы TiB_2 -Cu исследованы основные особенности реакции синтеза упрочняющей фазы в металлической матрице. Определены режимы и условия для получения композитов с частицами диборида титана размером 30-50 нм. Объемное содержание TiB_2 в композитах может изменяться в широких пределах (10 – 60 об.%).

Исследованы пути эволюции наноструктуры полученных композитов при различных способах компактирования (SPS, горячее прессование, электронно-лучевая порошковая металлургия). Определены методы и условия, обеспечивающие получение объемных наноструктурных материалов. Проведены механические испытания полученных композитов. Изучено влияние механической активации порошковых смесей, концентрации упрочняющей фазы наноструктурного диборида титана и состава материала матрицы на структуру и свойства композитов.

Полученные результаты на данном этапе позволили перейти к изготовлению нанокомпозитов с многокомпонентными металлическими и интерметаллическими матрицами (TiB_2 -Cu, TiB_2 -Cu-Ni, TiB_2 -(Ni,Cr)) [1].

На следующем этапе проведены исследования фазового состава, структуры, механических и триботехнических свойств покрытий на основе промышленно выпускаемых порошков на никелевой и хром-никелевой основах с добавлением СВ-композита (TiB_2 -ПГ-10Н-01, TiB_2 -ПХ20Н80), полученных электронно-лучевой наплавкой. Изучено влияние механической активации порошковых смесей и концентрации упрочняющей фазы наноструктурного диборида титана на структуру и свойства покрытий.

Исследованы структура и свойства объемных композитов, содержащих наноразмерные частицы TiB_2 , полученных различными методами компактирования/консолидирования. Показано, что метод ЭЛПМ не позволяет сохранить наноструктуру, но является недорогим и эффективным способом

получения композитов, содержащих повышенную прочность при сохранении удовлетворительной пластичности. Метод SPS обеспечивает формирование высокопрочных композитов с повышенной плотностью и однородной мелкодисперсной структурой и удовлетворительной пластичностью. Кинематическое прессование позволяет получить композит с квазиоднородным распределением дисперсных упрочняющих частиц по объему матрицы с повышенными характеристиками прочности и пластичности.

Показано, что при электронно-лучевой наплавке покрытий, дисперсно-упрочненных частицами TiB_2 , использование в качестве материала матрицы порошка ПГ-10Н-01 нецелесообразно, в силу наличия в нем изначально значительного количества легирующих элементов. Применение же порошка ПХ20Н80 в сочетании с обработкой наплавочной шихты в планетарной мельнице позволяет создавать покрытия с однородной мелкодисперсной структурой, содержащие высокие характеристики прочности, износостойкости и удовлетворительной пластичности покрытия.

Установлено, что при электронно-лучевой наплавке и шихты на основе ПХ20Н80 с добавлением наноструктурных частиц диборида титана, подвергнутых предварительной механической активации, происходит формирование покрытия с однородной мелкодисперсной структурой, протяженной переходной зоной и высоким сопротивлением и изнашиванию при трении в режиме граничной смазки. Исключение механической активации и процедуры подготовки порошковой шихты обуславливает уменьшение степени однородности структуры и снижение износостойкости в силу появления в характере изнашивания абразивной составляющей.

Для различных методов получения объемных материалов и покрытий (ЭЛПМ, SPS, ЭЛН), дисперсно-упрочненных частицами TiB_2 , выявлено, что оптимальным содержанием с точки зрения модификации структуры и свойств образцов является 10 мас.% диборида титана. Уменьшение его количества приводит к формированию дендритной структуры, снижению прочностных свойств, менее однородному распределению упрочняющих дисперсных частиц, в то время как увеличение содержания TiB_2 обуславливает повышение прочности, сопровождающееся значительным охрупчиванием.

Список литературы

1. V.E.Panin, M.A.korchagin, O.I.Lomovsky, D.V.Dudina, etc. Consolidation and mechanical properties of metal and intermetallic matrix

nanocomposites produced using high-energy ball milling // Phys. Mesomechanics. 2004. V.7. P.49-52.

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА И ПОЛУЧЕНИЕ НА ЕГО ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Сударев Е.А.

Научный руководитель: Лотов В.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sudarev@ngs.ru

Цементный камень и бетоны являются весьма сложными объектами исследования. Трудности их изучения обусловлены тем, что они полиминеральны по составу, и, кроме того, продукты гидратации и твердения цементов, составляющих основу цементного камня и бетона, тонкодисперсны [1]. В свою очередь эти тонкодисперсные продукты в результате протекания процессов гидратации и твердения переходят сначала в коллоидное (нанодисперсное) состояние, а затем в кристаллическое, формируя при этом структуру и прочность цементного камня. Изучение и понимание данных видов состояний необходимо для того, чтобы осознанно и обоснованно выбрать внешнее энергетическое воздействие на систему «цемент-вода», причем в воздействие и управление данной системой целесообразно на самых ранних стадиях структурообразования.

Выбор этих воздействий базируется на использовании уравнения Гиббса, которое является выражением объединенного уравнения первого и второго законов термодинамики:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S = \\ = P\Delta V + \sigma\Delta s + \mu\Delta n + \phi\Delta q - T\Delta S, (1)$$

где ΔG , ΔH , $T\Delta S$ – соответственно свободная энергия, энтальпийный и энтропийный факторы системы «цемент-вода»;

$P\Delta V$ – работа, совершаемая системой при изменении объема, или энергия, необходимая для производства этого изменения;

$\sigma\Delta s$ – работа, совершаемая системой при образовании новой поверхности, или энергия, выделяемая и ли поглощаемая при производстве этого изменения;

$\mu\Delta n$ – работа, совершаемая системой и ли энергия, выделяемая и ли поглощаемая при образовании новых химических соединений и

взаимопревращений количества вещества в системе, а также изменений ее фазового состава;

$\phi\Delta q$ – работа, совершаемая системой при изменении ее электрического потенциала и количества электричества в процессе изменения ионного состава жидкой и ли твердой фазы, при диспергировании и образовании новой поверхности.

Как видно из уравнения (1) на систему «цемент-вода» можно оказать 5 видов воздействий: механическое, тонкое измельчение, химическое, электрофизическое, тепловое. Наибольший интерес представляет комплексное механохимическое воздействие на систему «цемент-вода», которое приводит к изменению химического потенциала системы ($\mu\Delta n$) и величины ее поверхностной энергии ($\sigma\Delta s$).

Среди различных способов и измельчения цемента, наряду с такими энергозатратными, как дополнительный помол в шаровых и планетарных мельницах, был использован метод механического диспергирования исходного цемента в центробежном смесителе роторного типа.

Сущность этого способа заключается в том, что при поступлении цементно-песчаной смеси в смеситель, формируются два взаимонаправленных потока смеси, движущихся в противоположную 10-20 с м навстречу друг другу со скоростью 35-40 м/с, в котором частицы цемента и песка соударяются на скорости 70-80 м/с и измельчаются до более тонкого состояния. А так как частицы кварцевого песка обладают более высокой твердостью, то поэтому при скоростном смешении цементно-песчаной смеси, частицы песка выполняют роль абразивных мелющих тел.

Весьма важно, что при контакте влажного песка и цемента, вода начинает интенсивно взаимодействовать с частицами цемента с

образованием в поверхностном слое цементных частиц первичных продуктов гидратации – гидрооксида кальция, гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. За счет этого взаимодействия происходит аморфизация и дополнительное диспергирование поверхностного слоя частиц цемента, который легко сдвигается частицами песка и образует в цементно-песчаной смеси фракцию высокоактивных частиц нанодисперсного размера.

При интенсивном механическом воздействии на цементно-песчаную смесь происходит также удаление адсорбированного из воздуха с поверхности частиц и замещение его пленкой воды, особенно на сформированных плоскостях разрушения частиц. На этих пленках происходит конденсация преимущественно нанодисперсных частиц продуктов гидратации цемента за счет адгезионного взаимодействия и достигается весьма равномерное распределение цемента и воды на поверхности частиц песка во всех микрообъемах цементно-песчаной смеси.

Проверку вышеизложенных предположений при приготовлении бетонной смеси проводили с использованием портландцемента Топкинского завода марки 50 ОДО (ГОСТ 10178-85), гравия фракции 5-20 мм (ГОСТ 82690-97), песка для строительных работ с модулем крупности $M_{кр} = 2,6$ (ГОСТ 8736-93) и воды [2].

Мелкий заполнитель с естественной влажностью 3,5 % (абс.) и портландцемента подавали в смеситель и перемешивали в течение 1 и 2 мин. В процессе перемешивания смесь дополнительно увлажнялась до 8 % с целью достижения наиболее полного смачивания всех частиц смеси пленкой воды. Увлажнение смеси более 8 % нежелательно, так как при этом уменьшается сыпучесть смеси и увеличивается ее налипание на рабочие органы смесителя.

Далее цементно-песчаная смесь подавалась в бетоносмеситель и перемешивалась с гравием и остаточным количеством воды в течение 3-5 мин до получения однородной бетонной смеси, из которой формовали образцы-кубы размером 100×100×100 мм, у которых определялась прочность при сжатии после пропаривания по режиму 2 + 7 + 3 ч и после твердения в воздушно-влажных условиях в течение 28 суток.

Составы бетонных смесей и результаты испытаний, представленные в таблице, подтверждают целесообразность

предварительного смешения влажного песка с цементом.

Таблица 1. Составы бетонных смесей и результаты испытаний бетона

№	Состав бетонной смеси, кг/м³ бетона					Время перемешивания, мин		Прочность при сжатии, МПа	
	Цемент	Песок	Гравий	Вода	В/Ц	Песка и цемента в смесителе	Бетонной смеси	После пропар.	После 28-сут. твердения
1	320	610	1250	170	0,53	-	5	28,6	36,7
2	320	610	1250	170	0,53	1	3	29,4	58,4
3	320	630	1282	150	0,45	1	5	39,5	65,2
4	320	630	1282	150	0,45	2	3	37,5	64,5

Интенсивное и концентрированное механическое воздействие на цементно-песчаную смесь, содержащую небольшое количество воды, сопровождается быстрым ростом температуры смеси до 45-50°C в течение 1-2-х минутного перемешивания, что свидетельствует об интенсификации процессов гидратации цемента. Предварительное и равномерное распределение влаги в цементно-песчаной смеси увеличивает скорость смачивания, и распространения оставшейся воды при перемешивании всех компонентов бетонной смеси, и позволяет практически в два раза сократить время перемешивания в бетоносмесителе. Однородная, практически дегазированная цементно-песчаная смесь позволяет сформировать в процессе уплотнения плотную и прочную цементно-песчаную матрицу в составе бетона. Анализ поверхностей разрушения бетонных образцов показывает, что их разрушение происходит не только по цементно-песчаной матрице, но и по зонам крупного заполнителя. Использование более прочного заполнителя позволяет увеличить прочность бетона. Из данных таблицы следует, что использование предварительного смешения влажного песка с цементом, позволяет увеличить прочность рядового бетона на 59-77 % без применения каких-либо добавок.

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности предварительного смешения цемента и песка с небольшой влажностью в интенсивных смесителях перед приготовлением бетонной смеси и получение на ее основе бетонов повышенной прочности.

Список литературы

1. Ларионова З.М., Никитина Л.В., Гарашин В.Р. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного

камня и бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – 262 с.

2. Баженов Ю.М., Комар А.Г. Технология бетонных и железобетонных изделий. – М.: Стройиздат, 1984. – 672 с.

КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНОЕ ПОКРЫТИЕ, СФОРМИРОВАННОЕ МЕТОДОМ ВЧ-МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

М.А. Сурменева, Р.А. Сурменев

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н., зав.каф. ТиЭФ ЕНМФ ТПУ В.Ф. Пичугин

Томский политехнический университет,

634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: feja-mari@yandex.ru

Проблема совместимости поверхности медицинских имплантатов с биологическими тканями решается различными способами: изготовление имплантата из биосовместимого материала, формирование на поверхности имплантата биосовместимого покрытия. Изоморфные разновидности апатита остаются наиболее используемым биосовместимым материалом, как в виде стехиометрического гидроксилапатита (ГА), так и с различными замещениями [1]. В силу специфики использования материала в медицине выбор возможных замещений крайне ограничен. Анионы оксида кремния (SiO_4^{4-}) могут быть предложены в качестве возможного модификатора синтетического ГА, так как они являются естественной компонентой межтканевой жидкости. Объектом настоящего исследования являются покрытия на основе кремнийзамещенного ГА. В ряде методов при нанесении покрытия исходное вещество изменяется, и покрытие представляет собой новую, часто многофазную систему. Важно, чтобы применяемый метод позволял сохранять химический состав исходного материала при нанесении покрытия на имплантат. Метод ВЧ-магнетронного распыления [2] отвечает этому требованию. В данной работе реализован новый подход – синтезирование порошка Si-ГА и использование его в качестве мишени для ВЧ-магнетронного распыления, что позволяет получать однородные по составу покрытия.

В настоящей работе представлены результаты комплексного анализа физико-химических свойств материала мишени и Si-Ca-P-покрытия и исследовано поведение покрытия в SBF-растворе, идентичном по минеральному составу и концентрации ионов плазме крови.

Порошок $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{SiO}_4)_x(\text{HO})_{2-x}$ (Si-ГА), где $x=0; 0,25; 0,5$ и $1,72$ для приготовления мишени получен механохимическим методом [3]. В качестве подложек для напыления выбран широко представленный в медицине материал: технически чистый титан Вt1-0.

Для формирования покрытий использовалась установка 08ПХО-100Т-005 с магнетронным источником (рабочая частота ВЧ-генератора 5,28 МГц).

Данные рентгенофазового анализа (РФА, дифрактометр Shimadzu XRD – 7000 с медным $\text{CuK}\alpha$ (1,54 нм) антикатодом) показывают, что в отличие от исходного порошка, материал мишени представляет собой смесь двух фаз: ГА и трикальцийфосфата (ТКФ). С увеличением концентрации кремния происходит увеличение содержания ТКФ в материале мишени. Данный факт подтвержден результатами ИК-спектроскопии.

Результаты исследования морфологии (сканирующая электронная микроскопия, СЭМ) покрытий, сформированных методом ВЧ-магнетронного распыления, представлены на рисунке 1. Поверхность покрытий, является однородной, плотной, не содержит видимых дефектов, трещин и сколов по всей площади.

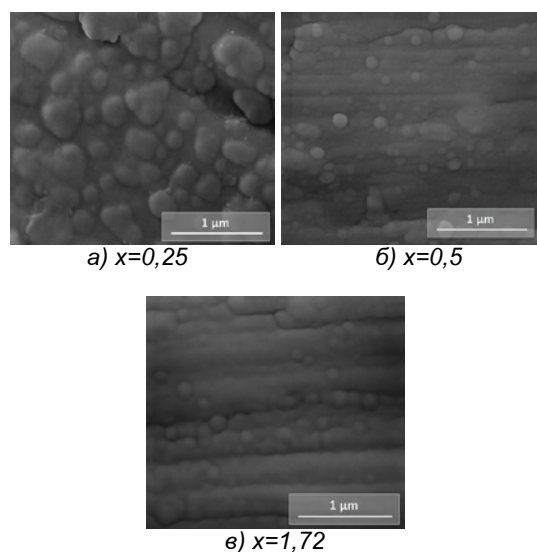


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности сформированных Si-CaP покрытий

Согласно Р ФА и ИК-спектроскопии покрытия, сформированные данным методом, имеют аморфную структуру, что согласуется с результатами других авторов [4]. В ИК-спектрах покрытий присутствуют полосы поглощения, соответствующие Si-ГА: валентные и деформационные колебания P-O связей. Однако отсутствие валентных колебаний OH⁻ групп означает, что процесс напыления приводит к частичной дегидроксидации материала покрытия. Причиной этому может служить ТКФ, присутствующий в материале мишени. С целью изменения структуры покрытий проводился нагрев на воздухе до температуры 700°C. На рисунке 2 представлены рентгенограммы и ИК-спектры отожженных покрытий.

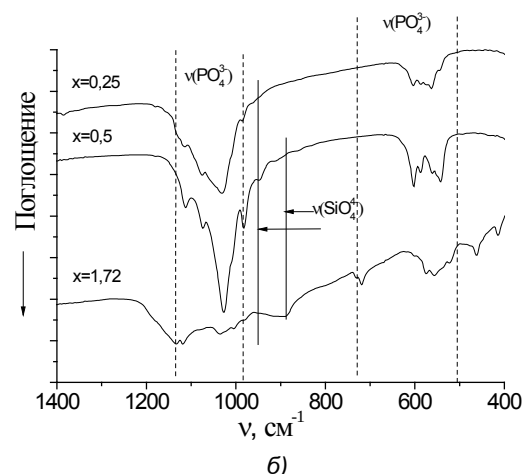
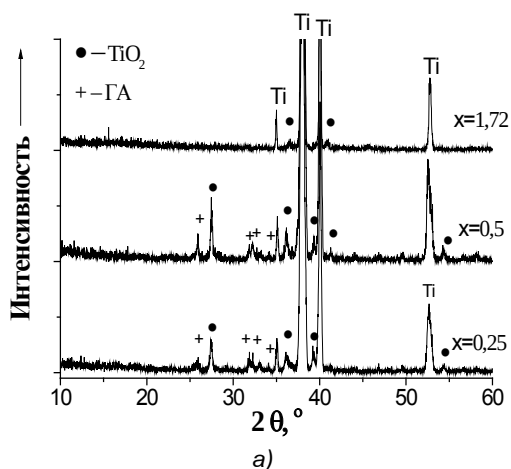


Рис. 2. Рентгенограммы (а) и ИК-спектры (б) отожженных Si-CaP покрытий на Ti

На рентгенограммах покрытия после нагрева присутствуют рефлексы, соответствующие ГА и Ti. Рефлексы иных кальций фосфатов (CaO и α -Ca₃(PO₄)₂) и кремнийсодержащих кристаллических соединений на рентгенограммах отсутствуют. Покрытия с замещением $x=1,72$ после нагрева остаются аморфными. На ИК-спектрах помимо полос поглощения, соответствующих ГА, обнаружены полосы P-O групп, относящиеся к ТКФ. Полученные результаты дают основание предполагать о присутствии в покрытии кремнийзамещенного апатита и кремнийсодержащей рентгеноаморфной фазы.

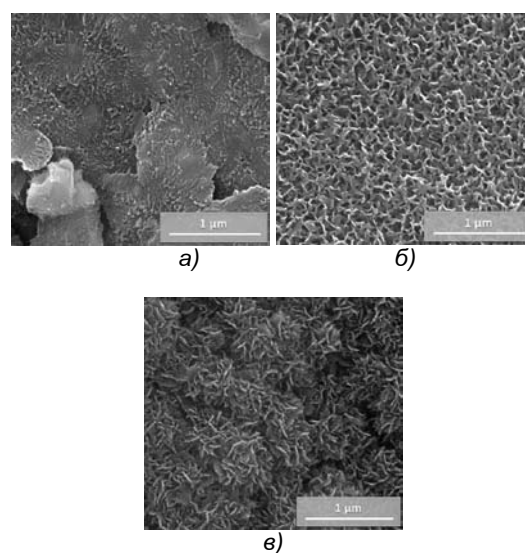


Рис. 3. СЭМ-изображения отожженных Si-CaP ($x=0,5$) покрытий после (а) 1, (б) 14, и (в) 28 дней погружения в SBF

Для исследования биоактивности покрытий *in vitro* отожженные образцы

помещались на срок от 1 до 28 дней в SBF-раствор при 37°С. Исследование морфологии поверхности показало наличие кристаллического слоя фосфата кальция на поверхности покрытий после 14 дней погружения в модельный раствор. Состав покрытий после погружения анализировали по данным РФА и EDS, количество Са в SBF-растворе определялся атомно-абсорбционной спектроскопией (ААС). При этом отмечено образование кристаллического слоя фосфата кальция на поверхности отожженных покрытий. По данным РФА фазовый состав образовавшегося слоя соответствует Г.А. Согласно EDS образование нового слоя (увеличение толщины кальций-фосфатного слоя) происходило по механизму «растворение-осаждение», что подтверждают результаты исследования ААС раствора после погружения покрытий. После 1 дня погружения количество Са в растворе увеличивается, что говорит о растворении покрытий. Уменьшение Са в растворе после первой недели свидетельствует о осаждении

кальций-фосфатного слоя и перенасыщенного соляного раствора.

Таким образом, методами ВЧ-магнетронного распыления были сформированы кальций-фосфатные покрытия на основе замещенного гидроксипатита. Показано, что отожженные покрытия обладают значительной биологической активностью.

Список литературы

1. V. Nelea, et al. //Appl. Surf. Sci., 2004, P. 346–356.
2. V.F. Pichugin, R.A. Surmenev, et al. //Surf. Coat. Tech. 202 (2008), P. 3913–3920.
3. М.В. Чайкина и др. //Химия в интересах устойчивого развития, 2009, 17: С. 513-520
4. Y. Y. Onggang, J. G.C. Wolke, et al. // J. Biomed. Mater. Research Part B. – 2006. – V. 76A. – N. 4. – P. 744-752.

Работа была выполнена при поддержке гранта ДААД «Научно-исследовательские стипендии для молодых ученых» и ФЦП (Гос. контракт № П2081 от 03.11.2009).

ПОЛУЧЕНИЕ ГЛАЗУРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАННОГО СВД – КАТАЛИЗАТОРА И НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА

Тодовьянская О.В., Недопекина Е.В.,

Научный руководитель: Седелникова М.Б., к.т.н. доц
Томский политехнический университет, г. Томск пр. Ленина, 30.
E-mail: vver@tpu.ru, kostet@sibmail.com

Изготовление художественных керамических, фаянсовых и изделий для внутренней облицовки зданий и сооружений требует новых недорогих защитно-декоративных покрытий. Глазури служат для придания изделиям водонепроницаемости, гигиеничности, оформления законченного внешнего вида изделий [1]. Существует большое многообразие декоративных глазурей. Для их получения и используют дорогостоящие компоненты - химически чистые оксиды и соли различных элементов, поэтому актуальной задачей является исследование возможности применения нетрадиционных сырьевых материалов – промышленных отходов для получения глазурей. Это также позволит решить экологические проблемы: создания безотходных производств, комплексного использования сырьевых материалов. Так, например, авторы [2] получили шихту для фриттованной окрашенной глазури с использованием отработанного ванадиевого

катализатора. В работе [3] использовали флотоотход медно-обогадательной фабрики Алма-Атского горнометаллургического комбината для получения бесциркониевых глушеных глазурей, также была рассмотрена возможность использования хромсодержащих отходов гальванических [4], при синтезе глазурных стекол применяли отход феррогидроолевого осаждения гальванических процессов научно-производственного объединения ИПО «РОТОН» [5].

В представленной работе исследовали возможность использования в качестве сырьевых материалов для получения декоративных глазурей отработанного СВД – катализатора - отхода Кемеровского ОАО «Азот» и нефелинового шлама Ачинского глиноземного комбината. СВД-катализатор (сульфованадат на диатомите), формула которого $35 \text{ SiO}_2 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{K}_2\text{O} \cdot 6\text{SO}_3$, 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 окрасшенных стекловидных покрытий.

Нефелиновый шлам – продукт с ложного, хорошо регулируемого технологического процесса переработки природных нефелинапатитовых руд и получения глинозема, шлам стабилен по своим свойствам [6]. 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 соотношению $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 2:1$ и составляющие в сумме 85 – 88 %. Остальные

оксиды (Al_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, двухвалцевым силикатом, в качестве второстепенных фаз присутствуют гидросиликаты кальция, гидроферриты и др.

Были разработаны шихтовые составы фритт для получения глазурей. Шихты фриттовали при температуре 1250 °С. Химический состав глазурей представлен в таблице 2. Полученные глазури использовали для глазурования керамических изделий, которые обжигали при температуре 1050-1100 °С.

Основные свойства полученных декоративных глазурей представлены в таблице 3.

Данные глазури могут быть рекомендованы в качестве защитно-декоративных покрытий для фаянсовых, майоликовых изделий, и вазоч, архитектурно-строительной керамики, изделий для внутренней облицовки зданий и сооружений.

Таблица 1. Химический состав нефелинового шлама

Вид нефелинового шлама	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	$\Delta m_{\text{прк}}$
Нефелиновый шлам Ачинского глиноземного комбината	29,12	3,67	4,55	53,20	1,45	2,16	0,90	4,96

Таблица 2. Химический состав глазурей

№ покрытия	Содержание оксидов, мас. %									
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	V_2O_5	NiO	Cr_2O_3
Г1	55.3	1.9	2.4	0.8	28.0	0.5	11.1	-	-	-
Г2	47.0	4.43	2.15	0.71	25.18	5.8	11.0	3.7	-	-
Г3	52.3	1.93	2.4	0.8	28.0	0.5	11.1	-	-	3.0
Г4	50.3	1.93	2.4	0.8	28.0	0.5	11.1	-	5.0	-
Г5	43.3	4.1	7.2	0.7	25.2	5.2	11.02	3.3	-	-

Таблица 3. Свойства глазурей

№ покрытия	Основные свойства			
	ТКЛР, град ⁻¹	Плотность, г/см ³	Коэффициент кислотности	Температурный интервал плавления, °С
Г1	$10.56 \cdot 10^{-6}$	2.774	1.15	1050-1100
Г2	$12.18 \cdot 10^{-6}$	2.892	0.89	1020-1070
Г3	$10.77 \cdot 10^{-6}$	2.878	1.00	1050-1100
Г4	$10.68 \cdot 10^{-6}$	2.954	0.96	1020-1070
Г5	$12.43 \cdot 10^{-6}$	3.070	0.75	1000-1050

Список литературы

1. Акунова Л.Ф., Крапивин В.А. Технология производства и декорирования художественных керамических изделий. Москва: Высшая школа 1984. С. 243.
2. Радченко С.Л., Радченко Ю.С., Орехова С.Е. Получение глянцевых покрытий на основе отработанных ванадиевых катализаторов. //Стекло и керамика. – 2009 – №4, с.29-31
3. Икрамова З. О., Мухамеджанова М. Т., Тухтаева Г. Г. Физико-химические свойства легкоплавких глянцевых аглутированных флотоотходом м единого-обогащительной фабрики // Стекло и керамика – 2008 – №11. С. 20-21.
4. Бобкова Н. М., Артемьева С. А., Трусова Е. Е. Цветная глазурь с использованием хромосодержащего отхода. // Стекло и керамика. – 2001 – №5 – с.21 – 22.
5. 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
6. Шморгунов Н.С., Корнев В.И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. М., «Металлургия», 1982., 128 с.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРЕГРАДЫ ПРИ ЕЕ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Туч Е.В., Кривошеина М.Н.

Научный руководитель: Радченко А.В., д. ф.-м.н., профессор
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4
E-mail: elenatuch@yandex.ru

Рассматривается задача ударного нагружения анизотропных алюминиевых преград с тальным ударником при скоростях нагружения 200м/с и 600м/с. Исследуется влияние анизотропии упругих, пластических и прочностных характеристик материала преграды на изменение вольтовой картины ее напряженного состояния.

Математическая модель

Система уравнений, описывающая нестационарные адиабатные движения сжимаемой анизотропной среды, включает в себя [1]: уравнение неразрывности, уравнения движения с плотностью, уравнение энергии. Упругое поведение материала описывается обобщенным законом Гука. Пластическая деформация определяется с помощью ассоциированного закона течения.

При определении гидростатического напряжения использовалась модель баротропной среды. Разрушение анизотропного материала преграды происходит при выполнении критерия разрушения Мизеса-Хилла. После разрушения деформирование анизотропного материала описывается с помощью образцов. Если критерий прочности

нарушается в условиях сжатия, то материал теряет анизотропные свойства, при этом материал сохраняет прочность только на сжатие, компоненты тензора напряжений определяются его шаровой частью. Если критерий прочности нарушается в условиях растяжения, то материал считается полностью разрушенным, и компоненты тензора напряжений считаются равными нулю.

Ударное нагружение анизотропной алюминиевой преграды с тальным цилиндрическим ударником моделировалось численно в трехмерной постановке методом конечных элементов, который модифицирован Г.Р.Джонсоном для задач удара. Начальные и граничные условия постановки задачи приведены в работе [1].

Материал преграды – трансформный сплав Д16Т со следующими характеристиками (направление 1 соответствует направлению ударного нагружения и особой оси материала

преграды ОХ)[1]: $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$, $E_1 = 86.7 \text{ ГПа}$

а, $E_2 = E_3 = 92.1 \text{ ГПа}$, $\nu_{12} = 0.32$, $\nu_{31} = 0.34$,

$\nu_{23} = 0.3$, $G_{23} = 31 \text{ ГПа}$ $G_{12} = G_{13} = 33 \text{ ГПа}$.

Здесь E_i – модули Юнга, G_{ij} – модули сдвига,

V_{ij} - коэффициенты Пуассона анизотропного материала.

Первый изотропный материал с о свойствами как у материала анизотропной преграды в плоскости проката со следующими характеристиками:

$$E = 92.1 \text{ ГПа}, \quad G = 33 \text{ ГПа}, \quad \sigma_s = 350 \text{ МПа},$$

$\sigma_\beta = 480 \text{ МПа}$. Тогда в материале не учитывались более нелинейные механические свойства прокатанного материала по сравнению с о свойствами в плоскости проката, а полагались такими же, как и в плоскости проката.

Второй изотропный материал с о свойствами как у материала анизотропной преграды в высотном направлении со следующими характеристиками:

$$E = 86.7 \text{ ГПа}, \quad G = 31 \text{ ГПа}, \quad \sigma_s = 290 \text{ МПа},$$

$$\sigma_\beta = 440 \text{ МПа}.$$

Толщина преграды составляла 30 мм. Ударник и мел высоту 3.75 мм и диаметр 30 мм. Материал ударника – Ст. 3. Предел текучести стали – 1 ГПа. На границе ударника и преграды было реализовано условие скольжения без трения.

На рисунках 1, 2 показаны кривые торможения ударника при использовании различных моделей деформирования алюминиевой преграды. В первом случае (кривая 1) использовалась модель упругопластического деформирования и разрушения преграды с учетом транстропии упругих, пластических и прочностных характеристик материала преграды. Во втором случае (кривая 2) использовалась также модель упругопластического деформирования и разрушения, при этом материал преграды полагался изотропным и свойства по толщине преграды полагались такими же, как и в плоскости проката. В третьем случае (кривая 3) использовалась модель упругопластического деформирования преграды с учетом анизотропии упругих и пластических характеристик материала преграды без учета разрушения. В четвертом случае (кривая 4) использовалась также модель упругопластического деформирования изотропного материала, при этом упругие и пластические свойства по толщине преграды полагались такими же, как и в плоскости проката. Наибольшие различия в кривых торможения соответствуют времени возвращения в олны сжатия, отраженной от тыльной поверхности преграды к контактной поверхности ударника и преграды. Кривая торможения ударника для случая

транстропной преграды в (8-9) мкс процесса проходит ниже, а после 10 мкс процесса выше кривых торможения ударников для случая ударного нагружения изотропных преград. Это отличие в конфигурации кривых торможения, соответствующих изотропным и анизотропной преградам, иллюстрирует влияние анизотропии упругих и пластических свойств материала преграды на его напряженно-деформированное состояние, выражающееся в некотором изменении волновой картины деформирования.

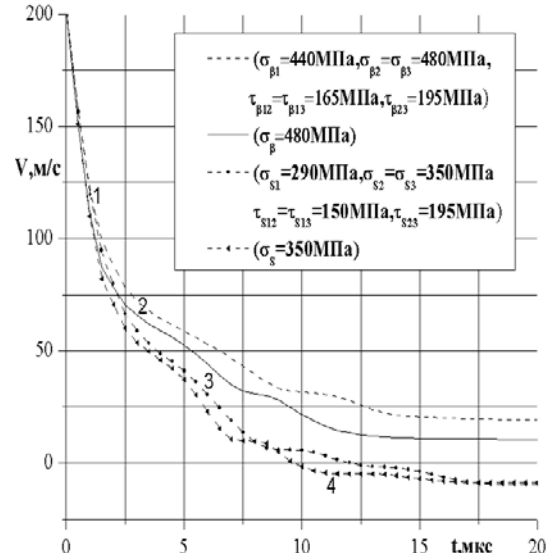


Рис. 1 Кривые торможения ударника при начальной скорости нагружения 200 м/с

Наименьшее торможение ударников получено для случая, когда материал преграды моделировался как анизотропный, имеющий наиболее слабые упругие, пластические и прочностные свойства по толщине преграды (кривые 1 на рис. 1 и 2). В случае, когда материал полагался изотропным и свойства по толщине полагались такими же, как и в плоскости проката, результаты расчетов получились следующими. При моделировании нагружения преграды со скоростью 200 м/с прочность ударника была меньше в любой момент времени на 10-15 м/с (кривые 1 и 2 на рис. 1). При увеличении скорости нагружения до 600 м/с кривые 1 и 2 пересекаются (рис. 2).

В данном случае степень анизотропии прочностных свойств невысока – 8%, а при использовании модели упругопластического деформирования с изотропным упрочнением и статическим критерием разрушения материала именно прочностные свойства оказывают наибольшее влияние на результаты расчетов. Подтверждением этого могут служить результаты расчетов, приведенные на рисунке 1 и рисунке 2. На

этих рисунках кривые 3-4 показывают торможение ударника для случаев, когда материал преграды деформировался упругопластически и не разрушался.

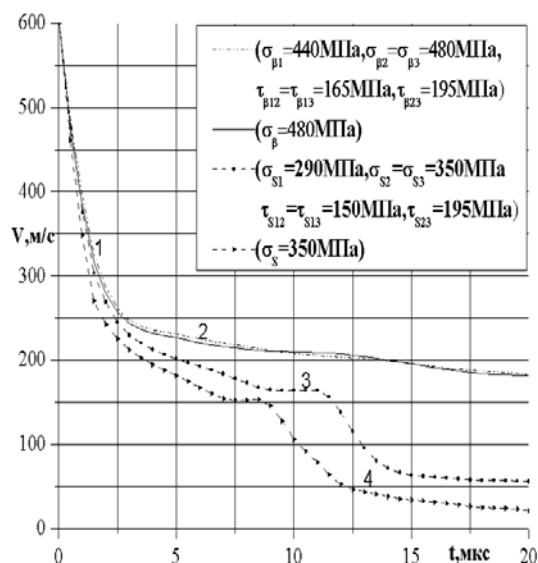


Рис.2 Кривые торможения ударника при начальной скорости нагружения 600м/с

Кривая 3 показывает торможение ударника для случая ударного нагружения анизотропной преграды, а кривая 4 – изотропной, без учета ослабления упругих и пластических свойств в высотном направлении преграды. Данные расчеты (кривые 3, 4) являются модельными, так как предполагалось, что материал преграды не

разрушается вплоть до 16% деформации (при начальной скорости ударника 600м/с). Анализ кривых показывает, что с увеличением скорости нагружения возрастает влияние анизотропии пластических свойств на напряженное состояние анизотропной преграды.

При условии меньшей степени анизотропии предел прочности материала преграды, чем пластичности, увеличение скорости нагружения преграды приводит к уменьшению влияния анизотропии механических свойств материала преграды на скорость внедрения ударника (при условии использования критерия разрушения Мизеса-Хилла).

1. При увеличении скорости нагружения (от 200м/с до 600м/с) влияние анизотропии пластических характеристик материала преграды на внедрение ударника в преграду увеличивается.

Список литературы

1. Кривошеина М.Н., Кобышева И.Ю., Козлова М.А. Разрушение и упругопластическое деформирование анизотропных материалов при динамическом нагружении // Механика композиционных материалов и конструкций, 2006, Т. 12, № 4, С. 502-512

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20 С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОДИСПЕРСНЫХ ИНОКУЛЯТОРОВ

Шелудько Н.В., Головин Е.Д., Павлюкова Д.В.

Научный руководитель: Батаев В.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: koliamba@yandex.ru

Титановые сплавы широко применяются в качестве авиационных материалов. В условиях эксплуатации в воздушных судах особенно важным свойством конструкций является их надежность [1,2]. Получение высококачественных соединений титановых сплавов методом сварки является актуальной научно-прикладной задачей. Одним из направлений исследований в этой области является применение тугоплавких

мелкодисперсных порошков (инокуляторов) в процессе сварки [3].

В Институте теоретической и прикладной механики СО РАН был поставлен эксперимент по сварке титанового сплава ВТ20 с применением инокуляторов TiN+Cr и Y₂O₃. Сварка производилась при помощи СО₂-лазера в защитной атмосфере гелия. В качестве образцов служили пластины ВТ20 толщиной 3 мм, свариваемые в стык, с

предварительно нанесенными на кромки свариваемых пластин частиц инкулятора.

Из полученных образцов были изготовлены шлифы для исследования микроструктуры сварных соединений, а также образцы для проведения испытаний на статическое растяжение и усталостную долговечность.

В результате металлографических исследований было установлено, что применение инкуляторов приводит к изменению геометрии сварного шва (рис. 1а, б), и к измельчению его структуры, что должно приводить к повышению качества сварного соединения по сравнению с образцами, сваренными без применения инкуляторов.



а



б

Рис. 1. Общий вид сварного шва титанового сплава BT20:

а - сваренного без применения инкуляторов;
б - сваренного с применением инкуляторов.

Результаты испытания на растяжение не указывают на явный эффект структурных изменений. Значения пределов текучести и прочности сварных швов, полученных с применением инкуляторов, приблизительно

одинаковы и находятся на уровне исходного материала: предел текучести 850-900 МПа, предел прочности 950-1000 МПа, у швов, полученных без применения инкуляторов значения несколько снижаются (рис. 3).

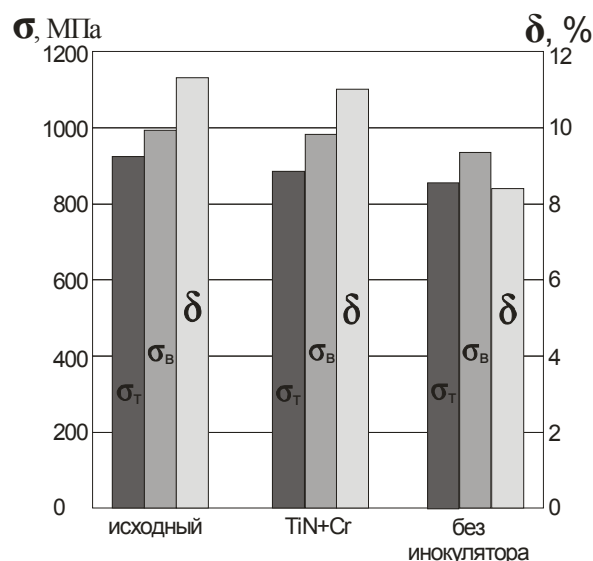


Рис. 3 Результаты испытаний на статическое растяжение.

Испытания сварных соединений на усталостную долговечность проводились по пульсирующему маятниковому циклу нагружения с частотой 5 Гц, нагрузка менялась от нулевого значения до величины 1500 Н. В процессе испытаний фиксировалось время до полного разрушения образца.

После проведения испытаний было установлено, что у образцов, свариваемых без добавления инкуляторов, происходит падение долговечности на 78% по сравнению с исходным материалом. В случае применения инкуляторов, падение усталостной долговечности не превышает 42%. Один из инокулированных образцов разрушился не шву. Результаты приведены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты усталостных испытаний.

№	Вид материала	Ресурс работы, мин
1	Исходный сплав BT20	220,7
2	Сплав BT20 без инкулятора	48,4
3	Сплав BT20 с добавкой TiN+Cr	129,6

Результаты проведенных исследований указывают на перспективность применения инкуляторов в процессе лазерной сварки титановых сплавов. Предполагается, что

добавление и нокуляторов в с варной шов и вызванные ими структурные преобразования приводят к повышению надежности с варных соединений, что подтверждается увеличением ресурса работы при испытаниях на усталостную долговечность.

Список литературы

1. Б.Б. Чечулин, С.С. Ушков, У.Н. Разуваева, В. Н. Гольдфайн // Титановые

сплавы в машиностроении / Л.: Машиностроение, 1977. - 248с.

2. Д.В. Мельников. Влияние с труктурных факторов на т рещиностойкость т итановых сплавов BT20 и OT4 // Диссертация кандидата т ехнических н аук / К омсомольск-на-Амуре, 2003 141 с.

3. В.В. Москвичев, Н.А. Махутов, А.П. Черняев и д р. / / Трещиностойкость и механические с войства к онструкционных материалов т ехнических систем / Новосибирск: Наука, 2002. – 334 с.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА BIFEVOX

Хисаметдинова В.В, Тарасова О.А., Морозова М.В.

Научный руководитель: Емельянова Ю.В., к.х.н., ассистент

Уральский государственный университет, Россия, г. Екатеринбург, пр. Ленина 51

E-mail: hisametdinova-vi@mail.ru

В последние десятилетия проводятся интенсивные исследования твердых электролитов на основе ванадата ванадата висмута $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$, получивших общее название BIMEVOX. Интерес к этим соединениям возник благодаря их высокой кислородно-ионной проводимости и значительной каталитической активности при относительно низких температурах. Однако однозначного мнения о механизме проводимости, влиянии состава, условий получения, структуры, термодинамических параметров среды на характер и величину электропроводности среди исследователей не существует. Не сформировано единого мнения о способе внедрения замещающего компонента, областях гомогенности твердых растворов различных составов, в возможности образования той или иной полиморфной модификации и их структурных особенностях.

Поэтому, целью настоящей работы является синтез твердых растворов BIFEVOX по стандартной керамической технологии, синтезом через жидкие прекурсоры и с помощью механохимической активации. Для структурной аттестации фаз, оценки дисперсности порошков были привлечены рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, лазерная дифракция. Уточнение кристаллической структуры твердых растворов проводили с помощью метода полнопрофильного анализа Ритвелда. Также выполнено исследование термической стабильности BIFEVOX в длительных циклах нагрева - охлаждения. Электропроводность синтезированных

соединений изучена как функции термодинамических параметров среды, структурных особенностей материала.

В работе представлены результаты исследования твердых растворов с состава $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{11-x}$, где $x=0.05-0.6$ ($\Delta x=0.05$).

Аттестацию порошкообразных образцов проводили с помощью РФА. Обнаружено, что образцы $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{11-x}$, $x=0.05-0.1$ полученные по стандартной керамической технологии обладают орторомбической структурой (Пр.гр. $Aba2$), образцы при $x=0.20-0.60$ отнесены к высокотемпературной γ -модификации $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ (Пр.гр. $I4/mmm$). Для BIFEVOX, синтезированных через полимерные прекурсоры, происходит расширение области существования высокотемпературной γ -модификации $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{11}$ ($x=0.10-0.60$). В соответствии с результатами РФА расчет параметров элементарной ячейки проводили в орторомбической и в тетрагональной установке. Параметры элементарных ячеек рассчитывались по результатам уточнения структуры методом Ритвелда.

Образец твердого раствора состава $\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$ был синтезирован не только по стандартной керамической технологии, с использованием жидких прекурсоров, но и методом механоактивации.

При механохимическом методе проводили изучение по следовательности фазообразования с использованием метода РФА при ступенчатом увеличении времени воздействия (0.5, 2, 4, 6, 13, 23 минуты).

В табл. 1 показано изменение фазового состава исследуемой порошковой смеси в зависимости от времени воздействия. Из таблицы видно, что конечный продукт – твердый раствор на основе ванадата висмута – начинает образовываться уже после 2 минут воздействия.

Таблица 1
Изменение фазового состава твердых растворов в зависимости от температуры и времени воздействия

t, мин	Состав
0.5	Bi_2O_3 ; V_2O_5 ; Fe_2O_3
2	$\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$; FeVO_4 ; $\text{Fe}_{0.07}\text{V}_{1.93}\text{O}_4$; $\text{Bi}_2\text{V}_{20}\text{O}_{23}$
4	$\beta\text{-Bi}_2\text{O}_3$; $\text{Bi}_{17}\text{V}_3\text{O}_{33}$; Bi_2VO_5 ; $\text{Bi}_{11}\text{VO}_{19}$; $\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$
6	$\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$; $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{10.5}$; $\text{Bi}_{12}\text{V}_{20}\text{O}_{23}$; $\text{Bi}_{11}\text{VO}_{19}$; Bi_2VO_5
13	$\text{Bi}_{12}\text{V}_{20}\text{O}_{23}$; $\text{Bi}_{11}\text{VO}_{19}$; $\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$
23	$\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$; $\text{Bi}_{12}\text{V}_{20}\text{O}_{23}$; $\text{Bi}_8\text{V}_2\text{O}_{17}$; $\text{Bi}_{23}\text{V}_4\text{O}_{44.5}$
Отжиг при 873 K	$\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$

На начальном этапе синтеза (до 6 минут воздействия) в смеси остается и сходный оксид Bi_2O_3 , содержание которого постепенно уменьшается. Обнаружено, что Bi_2O_3 присутствует в α - и β - модификациях. В качестве промежуточных фаз при механохимическом синтезе BIFEVOX образуются многочисленные разнообразные ванадаты висмута: $\text{Bi}_{12}\text{V}_{20}\text{O}_{23}$, $\text{Bi}_{17}\text{V}_3\text{O}_{33}$, Bi_2VO_5 , $\text{Bi}_{11}\text{VO}_{19}$, $\text{Bi}_4\text{V}_2\text{O}_{10.5}$, $\text{Bi}_8\text{V}_2\text{O}_{17}$, $\text{Bi}_{23}\text{V}_4\text{O}_{44.5}$, ванадаты железа FeVO_4 , $\text{Fe}_{0.07}\text{V}_{1.93}\text{O}_4$. Конечный продукт после механообработки и 3-часового отжига при 873 K представляет собой γ -модификацию твердого раствора.

Для определения размеров частиц синтезированных порошков использовали метод лазерной дифракции. Для образца $\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$, синтезированного методом механоактивации, средний размер частиц находится в пределах 1-50 мкм, полученного по стандартной керамической технологии и через жидкие прекурсоры, средний размер частиц находится в диапазоне 0.5-10 мкм.

Для образцов $\text{Bi}_4\text{V}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{10.7}$, синтезированного через жидкие прекурсоры, и $\text{Bi}_4\text{V}_{1.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{10.6}$, синтезированного по стандартной керамической технологии, провели исследование морфологии поверхности и объема таблетированного образца методом растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Общий вид фотографий образцов представлен на рисунке 1. Количественное

определение компонентов проведено по 10 точкам поверхности.

Показано, что формирующиеся образцы однофазные, определенный с помощью РЭМ состав $\text{Bi}_4\text{V}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{10.7}$, $\text{Bi}_4\text{V}_{1.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{10.6}$ совпадает с номинальной композицией с погрешностью не более 5%.

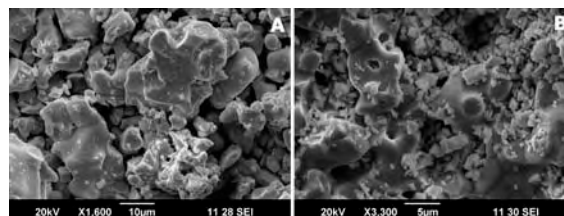


Рис. 1. Общий вид образцов в растровом электронном микроскопе, полученный на основе сигнала вторичных электронов. А - $\text{Bi}_4\text{V}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}\text{O}_{10.7}$ (порошок); В - $\text{Bi}_4\text{V}_{1.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{10.6}$ (таблетка).

Для подтверждения выводов по соотношению металлических компонентов, сделанных методом РЭМ, элементный состав образцов был исследован с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии. Результаты РЭМ и АЭС хорошо коррелируют как между собой, так и с расчетным соотношением металлических компонентов в продукте реакции, подтверждая правильный выбор условий синтеза и соотношения исходных реагентов.

Как ранее было сказано, данный класс керамических материалов может быть использован для создания керамических мембран. Важнейшей характеристикой мембраны является стабильность в используемых условиях.

На примере $\text{Bi}_4\text{V}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{11-x}$ ($x = 0.05; 0.1; 0.3; 0.4; 0.6$) была оценена термическая стабильность на воздухе. Образцы отжигались на каждой стадии в течение двух недель при температурах 723, 823, 923, 973, 1023 K.

При увеличении температуры до 823 K (2 недели отжига) на рентгенограммах $\text{Bi}_4\text{V}_{1.95}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_{10.95}$ и $\text{Bi}_4\text{V}_{1.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_{10.9}$ (отнесены к α -модификации), кроме основных твердых растворов BIMEVOX появляются примеси состава BiVO_4 порядка 4 % и с остатка $\text{Bi}_{3.5}\text{V}_{1.2}\text{O}_{8.25}$ около 1%. Смесью полностью трансформировалась обратно в BIFEVOX при 923K для обоих составов.

Для $\text{Bi}_4\text{V}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_{11-x}$ ($x=0.3; 0.4; 0.6$), находящихся в γ -модификации, во всем температурном диапазоне фазовых переходов не обнаружено, что говорит об устойчивости данной серии твердых растворов (рис.2).

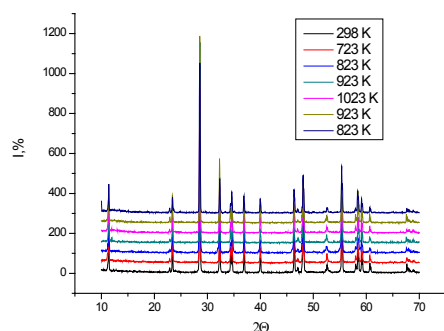


Рис. 2. Рентгенограммы $\text{Bi}_4\text{V}_{1.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{10.6}$ при разных температурах (снизу-вверх — цикл «нагрев-охлаждение»).

Исследования температурной зависимости электропроводности BIFEVOX проводили в интервале температур 1073–523 K методом импедансной спектроскопии.

Проводимость образцов, полученных по растворным технологиям для BIFEVOX в целом на порядок выше, чем для образцов, полученных твердофазным способом. Установлено, что они в наибольшей проводимостью среди изученных соединений обладают твердые растворы с добавкой железа $x=0.2$.

В настоящей работе также была сделана попытка провести сравнение работы твердых электролитов с платиновыми и $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{CoO}_3$ электродами.

Показано, что при использовании в качестве электродов — $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{CoO}_3$ электропроводность BIFEVOX во всем температурном интервале в среднем на порядок выше, чем при использовании платины в качестве электродов (рис.3).

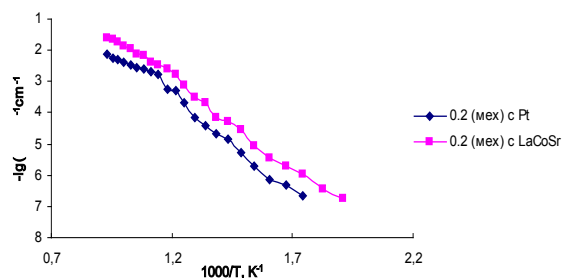


Рис. 3. Электропроводность $\text{Bi}_4\text{V}_{1.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{10.8}$ с различными электродами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГРАФИТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЕЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ Х13М2

Цовмина Н.В.¹, Алеутдинова М.И.², Фадин В.В.²

Научный руководитель: Фадин В.В., с.н.с., к.т.н.

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 2/1

E-mail: natalbya_@mail.ru

Износостойкость пары трения определяется прочностью поверхностных слоёв контактирующих материалов. В тяжёлонагруженных условиях трения необходимо применять материалы с высокой объёмной прочностью [1]. Основой триботехнического материала для работы при повышенных температурах и с лабо агрессивных средах целесообразно применять коррозионностойкую сталь. Матрицей должны служить медные сплавы, что позволяет эффективно отводить тепло из зоны трения и релаксировать возникающие напряжения. Графит должен присутствовать в качестве твёрдой смазки. Разработка таких композитов является актуальной и представляет научный и практический интерес. Возможным вариантом

основы композита может служить нержавеющая сталь Х13М2.

Целью настоящей работы является определение механических свойств и износостойкости отдельных композитов медь-графит-сталь Х13М2.

В качестве структурных составляющих модельных композитов выбраны порошки меди (ПМС-1), графита (ГК-3) и порошок стали Х13М2. Порошковая смесь приготовлена в смеси с мелким типом «пыляная бочка», прессовки получены при 550 МПа и спечены при температуре 1080 °С. Твёрдость по Бринеллю определена в давлении стального шарика диаметром 2,5 мм, под нагрузкой Р=150 кг с выдержкой 15 сек. Определение предела прочности при изгибе проведено на разрывной и испытательной

машине Instron-1185, по схеме трехточечного изгиба. Пористость и измерена методом гидростатического взвешивания.

В спечённых материалах механические свойства зависят от природы структурных составляющих и от прочности межфазных и межчастичных границ. Эта зависимость обусловлена, в первую очередь, содержанием графита в композите и температурой спекания. Спекание чистых друг с другом упрочняет композит, т. к. образуются участки стального каркаса. При увеличении содержания графита такое спекание затруднено. Поэтому твердость и предел прочности при изгибе уменьшаются при увеличении содержания графита (рис.1).

Обычным элементом структуры спеченного материала является пористость. Из рис. 1 видно, что при увеличении содержания графита кривая зависимости пористости проходит через максимум, но практически пористость имеет достаточно низкое значение в исследуемом диапазоне концентраций графита.

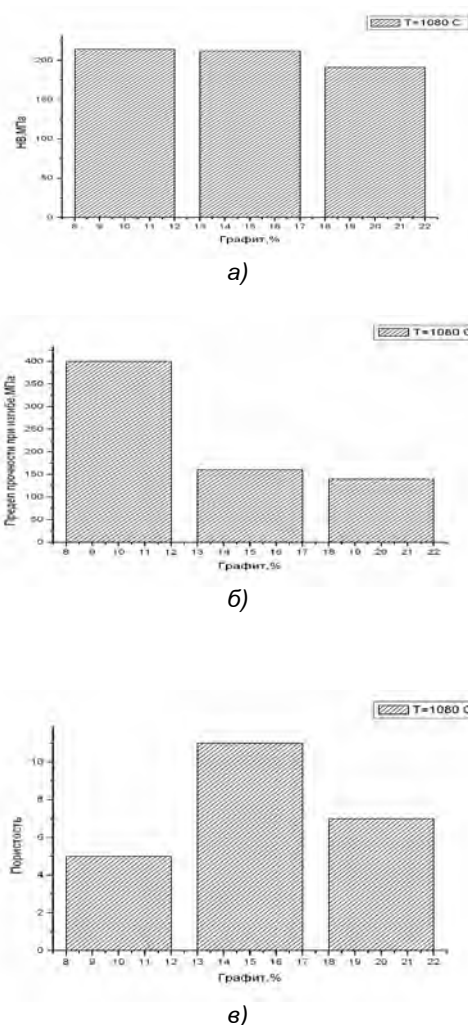


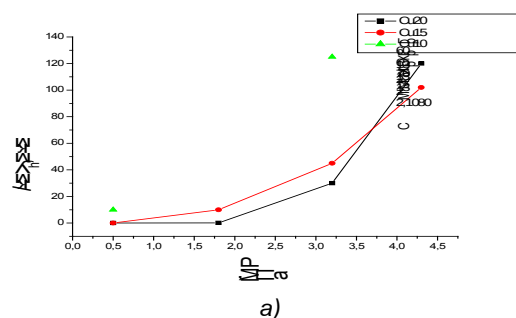
Рис.1. Изменение твердости (а), предела прочности при изгибе (б) и пористости (в) в

зависимости от содержания графита в композитах состава Cu-Гр.-Х13М2.

Вопрос о необходимости в ведении графита (Гр) в рассматриваемый тип композиции необходимо решать с привлечением данных по износостойкости.

В условиях трения с скольжения деформация поверхностных объемов приводит к образованию тонкопленочного объекта – вторичных структур (ВС), в которых локализованы все виды взаимодействия. ВС экранируют основную материю от разрушения, и имеют аномально высокие коэффициенты диффузии, скорости диффузии и химических реакций [2]. Механическая прочность ВС в процессе трения определяет износостойкость.

Можно ожидать, что отсутствие окислов в пятне фактического контакта с тали Х13М2 приведет к заметному адгезионному взаимодействию композита и контртела. Из рис.2 видно, что интенсивность изнашивания композита с содержанием 10% графита увеличивается пропорционально увеличению давления. Одновременно увеличивается коэффициент трения. Это может указывать на преимущественно адгезионный характер изнашивания согласно известной зависимости $I_n = kN/HB$, где k – коэффициент пропорциональности, N – нагрузка на образец, HB – твердость материала. Т.е. при невысокой прочности стали Х13М2 и небольшой разделительной пленки окислов и/или вторичных структур другой природы интенсивность изнашивания высокая. Увеличение содержания графита в композиции приводит к увеличению количества вторичных структур (ВС) и соответствующему уменьшению интенсивности изнашивания и коэффициента трения (рис.2). Можно утверждать, что при давлениях до 2 МПа композиции, содержащие более 15% графита являются вполне работоспособными в условиях сухого трения скольжения.



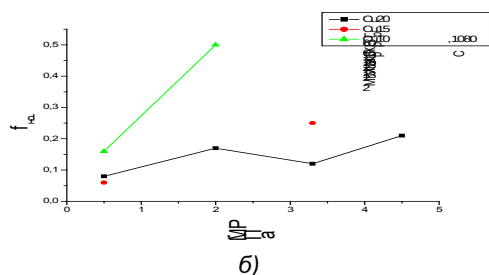
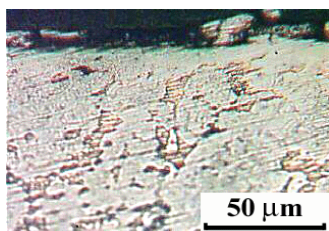


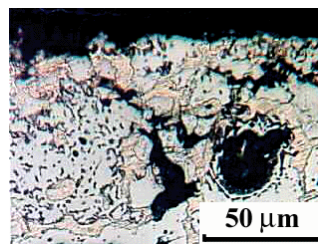
Рис.2. Зависимость интенсивности изнашивания (а) и коэффициента трения от давления при трении (б) композитов состава Cu-Гр-X13M2.

Предельно допустимыми значениями давления в трибоконтакте можно считать такие, при которых интенсивность изнашивания не превышает $100 \text{ мм}^3/\text{км}$. Из рис.2 видно, что исследуемые композиты можно эксплуатировать при давлениях до 4 МПа, но номинальное давление должно быть до 2 МПа.

Более полное представление о процессах в зоне трения можно получить при рассмотрении рис.3. Можно видеть, что поверхность трения композита, содержащего 10% графита, испытывает опухание неровностями контртела, а при увеличении давления до 2 МПа наблюдаются следы адгезионного взаимодействия, приводящего к повышению коэффициента трения и быстрому разрушению поверхностных слоёв (рис.3а,б).



а)



б)

Рис.3. Сечение поверхности трения композита Cu-10%Гр-70%X13M2 при 2,28 МПа (а) и композита Cu-20%Гр-60%X13M2 (б) при 4,5 МПа

Введение в композит 20% графита приводит к реализации другого механизма изнашивания при давлениях выше 3 МПа. Из рис.3б можно видеть расширение подповерхностной трещины, которая при выходе на поверхность создаст чашеобразную форму износа с большим размером.

Заключение

1. Интенсивность изнашивания уменьшается с увеличением содержания графита.

2. Предельно допустимым давлением в трибоконтакте композитов медь-графит-сталь X13M2 является 4 МПа.

3. Материалы, содержащие более 15% графита, имеют невысокие интенсивность изнашивания и коэффициент трения и могут быть в полной работоспособны в условиях сухого трения при давлении до 2 МПа.

Список литературы

1. И.М. Федорченко, Л.И. Пугина. Композиционные и печенные антифрикционные материалы — Киев: Наук. Думка, 1980.-404 с.
2. Б.И. Костецкий. Поверхностная прочность материалов при трении. Киев: Техника, 1976-292с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ТИТАНА ВТ1-0, ПОДВЕРГНУТОГО КОМБИНИРОВАННОМУ МЕТОДУ АВС-ПРЕССОВАНИЯ И МНОГОХОДОВОЙ ПРОКАТКИ

Чабанец А.А.¹

Научный руководитель: Ерошенко А.Ю.², к.т.н., м.н.с.,

²Учреждение Российской академии наук Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения РАН, 634021, г. Томск, пр. Академический 2/4

¹НИУ РЭТ «Томский политехнический университет»,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: chaa@sibmail.com

Развитие современной техники предъявляет все более возросшие 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 субмикроструктурного и/или 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. Значительные внутренние искажения кристаллической решетки, связанные с высокой плотностью дефектов, приводят к возникновению высоких внутренних напряжений [2]. Часто внутренние напряжения могут оказывать отрицательное влияние на прочностные свойства материала [3].

Титан и сплавы на его основе являются распространенными конструкционными материалами. Сочетание малой плотности, высокой коррозионной стойкости и прочности делает их привлекательными для многих областей, таких как авиация, космонавтика, химическая промышленность, медицина и др. Однако технический титан по сравнению с титановыми сплавами не всегда обладает требуемым уровнем прочностных свойств, хотя отсутствие легирующих элементов типа Al, V, Mo, токсичных для биологического организма, определяет его применение в медицине. Одним из возможных путей повышения прочностных свойств титана является формирование в нем наноструктурного и/или субмикроструктурного состояний методами интенсивной пластической деформации [1,2,4,5].

В данной работе представлены результаты исследования особенностей микроструктуры титана, сформированной в результате воздействия интенсивной

пластической деформации, включающей комбинированный метод а-бс-прессования с последующей многоходовой прокаткой. Данный метод позволяет получить в титане субмикроструктурное состояние.

В качестве объекта исследований был выбран технически чистый титан марки ВТ1-0. А-бс-прессование с поворотом оси деформации на 90° проводили со скоростью 10^{-2} – 10^{-1} с⁻¹ при последовательном понижении температуры в интервале 500–400°C [4]. Каждый цикл при заданной температуре включал однократное одностороннее прессование. Количество циклов прессования составило три и девять. Полученные заготовки после а-бс-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°C в течение 1 часа. На этапе а-бс-прессования суммарная деформация составляла 2,12 (три прессования) и 6,12 (девять прессований). Суммарную величину деформации считали как сумму натуральных логарифмов отношений начальной и конечной толщины образца на каждом этапе деформации [5].

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \Delta \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n \ln \frac{h_i}{h_{0i}}$$

где h_0 – высота заготовок до прессования;
 h – высота заготовок после прессования;
 i – число циклов прессования.

Электронно-микроскопические исследования были выполнены на просвечивающем электронном микроскопе ЭМ-125 К при ускоряющем напряжении 100 кВ. Для электронно-микроскопических исследований готовились тонкие «фольги». Фольги были вырезаны из поперечного и продольного сечений образцов.

Микроструктурные исследования включили анализ формы и размеров элементов структуры (зерна, субзерна, фрагменты) и измерения ширины и

расстояния между экстинкционными контурами.

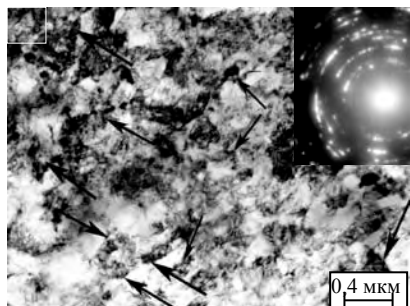
В и сходном состоянии структура титана состоит из равновесных зерен α -фазы. Средний размер зерна составил 15 мкм.

Электронно-микроскопические исследования показали, что после интенсивной пластической деформации, включающей трехцикловое абс-прессование ($e=2,12$) и прокатку, в заготовках титана формируется зеренно-субзеренная структура (рис. 1а, б). Явно видимые границы зерен часто отсутствуют. В структуре наблюдаются как фрагменты и субзерна, так и уже сформировавшиеся зерна. Структура по объему заготовки титана при $e=2,12$ неоднородна. Средний размер структурных элементов в продольном сечении составляет 400 нм, а в поперечном – 160 нм. Данное структурное состояние соответствует субмикрострукстурному состоянию.

Для титана с суммарной величиной деформации $e=6,12$ в продольном сечении образца микроструктура подобна микроструктуре образцов деформированных до $e=2,12$ (рис. 2). Однако наблюдается уменьшение среднего размера структурных элементов до 200 нм. Присутствие большого количества изгибных экстинкционных контуров на светловольных изображениях свидетельствует о высоком уровне внутренних напряжений (рис. 1, 2).



а)



б)

Рис. 1. Светловольное изображение микроструктуры с соответствующей микродифракцией титана после абс-прессования и прокатки ($e=2,12$) в различных сечениях образца: а – продольное сечение; б – поперечное

сечение. Стрелками обозначены экстинкционные контуры.

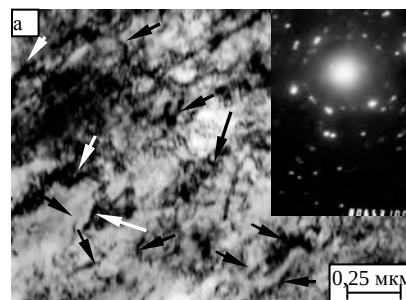


Рис. 2. Светловольное изображение с соответствующей микродифракцией титана в продольном сечении образца ($e=6,12$). Стрелками обозначены экстинкционные контуры.

По электронно-микроскопическим изображениям были измерены ширина экстинкционных контуров и расстояние между ними для образцов титана с накопленной деформацией 2, 12 и 6, 12. Результаты измерений среднего размера структурного элемента, средней ширины и среднего расстояния между изгибными экстинкционными контурами представлены в таблице 1. Результаты показывают, что с увеличением накопленной деформации от $e=2,12$ до $e=6,12$ в продольном сечении уменьшаются: размер структурных элементов (от 400 нм до 160 нм), ширина контуров (от 44 нм до 21 нм) и расстояние между экстинкционными контурами (от 300 нм до 73 нм). Отметим, что для образцов титана деформированных до $e=2,12$ в поперечном сечении средние значения размера структурных элементов, ширины экстинкционных контуров и расстояния между ними уменьшаются по сравнению с аналогичными значениями для продольного сечения. Этот эффект можно связать с различным напряженным состоянием по объему образца.

Таблица 1. Размер структурных элементов, ширины и расстояния между экстинкционными контурами титана после абс-прессования и прокатки

Абс-прессование с последующей прокаткой	Средний размер структурных элементов, нм	Средняя ширина изгибного экстинкционного контура, нм	Среднее расстояние между экстинкционными контурами, нм
$e=2,12$, продольное сечение	400	44	300
$e=2,12$, поперечное сечение	160	21	73

е=6,12, продольное сечение	200	11	75

Таким образом, в результате применения комбинированного метода абс-прессования с накопленной с тепенью деформации 2, 12 и 6,12 с последующей прокаткой в титане формируется субмикроструктурная структура с характерным размером структурных элементов 200 нм и 400 нм соответственно. Особенностью субмикроструктурной микроструктуры титана является присутствие большого числа экстинкционных контуров, свидетельствующие о высоком уровне внутренних напряжений, возникающих в образцах в результате интенсивной пластической деформации.

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические

материалы: получение, структура и свойства. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398с.

2. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. Новосибирск: Наука, 2001. С.232.

3. Биргер И.А. О статочные напряжения. М.:Машгиз, 1963.-32с.

4. Ерошенко А.Ю., Шаркеев Ю.П., Толмачев А.И., Коробицын Г.П., Данилов В.И. Структура и свойства объемного ультрамелкозернистого титана, полученного абс-прессованием и прокаткой / Перспективные материалы. –2009. – Спец. Выпуск.№7. –С.107-112.

5. Салищев Г.А., Галеев Р.М., Малышева С.П., Жеребцов С.В., Миронов С.Ю., Валиахметов О.Р., Иванисенко Э.В. Формирование субмикроструктурной структуры в титане и титановых сплавах и их механические свойства // МТМ. 2006. №2. С.19-26.

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СВС-ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ СЖИГАНИЯ В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ СОСТАВА «Zr-ZrO₂»

Чаплина Е.В., Строкова 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

Нитрид циркония является перспективным материалом во многих областях [1]. Он обладает высокой температурой плавления, высокой теплопроводностью, повышенной твердостью, низким электрическим сопротивлением [2]. Таким образом, представляет огромный интерес для промышленности.

Большое значение нитрид циркония имеет в технологии получения керамических материалов [3]. Керамика на основе нитрида циркония применяется в электротехнике, атомном материаловедении и в качестве защитных, износостойких покрытий, контактирующих с агрессивными средами [1]. Но традиционные технологии получения нитридов являются энергоемкими малоэффективными [3].

Широкое распространение получил метод СВС - метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза нитридов (Ti, Al, Zr и др.), как наиболее экономически целесообразный [4]. В данной работе

рассматривается получение нитрида циркония методом СВС из смесей микронных порошков циркония и оксида циркония в воздухе.

Эксперимент

Для получения нитрида циркония использовались грубодисперсные порошки циркония ($a=3-10$ мкм) и оксида циркония ($a=40-60$ мкм).

Синтез нитрида циркония осуществлялся с помощью горения свободно насыпанных навесок массой 5 г [1] на основе смесей промышленных порошков циркония и оксида циркония в воздухе (табл. 1).

Табл. 1 – Составы исходных смесей

Обозначение	Z-100	Z-90	Z-80	Z-70	Z-60
Zr	100	90	80	70	60
ZrO ₂	0	10	20	30	40
Обозначение	Z-50	Z-40	Z-30	Z-20	Z-10
Zr	50	40	30	20	10
ZrO ₂	50	60	70	80	90

Смешивание и сходных к компонентов проводилось в сухом виде механическим способом. Затем смеси свободно насыпались в форме конуса (рис.1) на подложку из нержавеющей стали. Процесс горения инициировался локальным нагревом образца.

Зависимость массовой скорости горения смеси состава «Zr-ZrO₂» от содержания циркония росла с увеличением массы циркония в образце (рис.2).

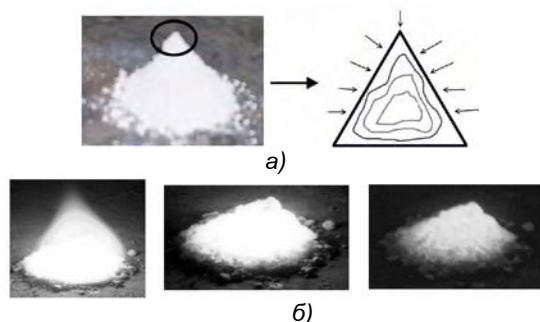


Рис. 1 а) Схема распространения волны горения
б) Стадийный процесс горения

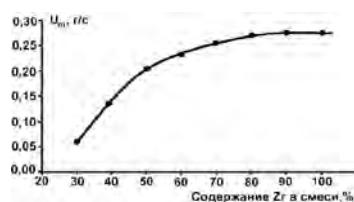


Рис.2 Зависимость массовой скорости горения (U_m) смесей состава «Zr-ZrO₂» от содержания циркония в исходном образце

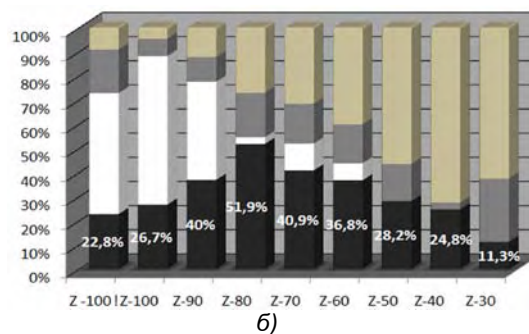
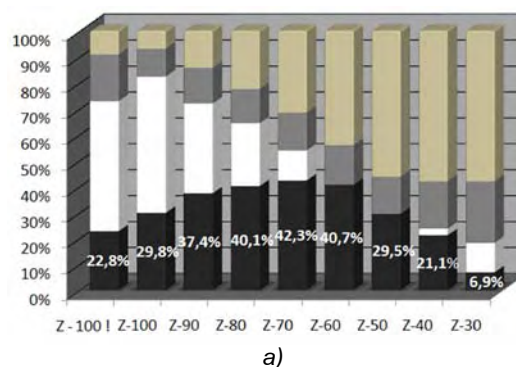
Продукты сгорания порошковых смесей состава «Zr-ZrO₂» в воздухе представляли собой пористые спекы (рис. 3) желто-коричневого и лилового цвета, что указывало на вероятное присутствие в образцах фазы ZrN [2].



Рис. 3 – Электронные микрофотографии продуктов сгорания промышленного порошка циркония в воздухе, а) $\times 2500$ б) $\times 1000$

На рис. 4 представлены фазовые составы продуктов сгорания образцов с различным содержанием циркония и оксида циркония. Расшифровку полученных данных проводили с помощью программы Crystallographica Search – March 1.1. По данным рентгенофазового анализа (РФА) с остатков продуктов сгорания микронного порошка состава «Zr-ZrO₂» представлены фазы: Zr (000-05-0665), ZrO₂ (моноклинный, 000-03-0640), ZrO₂ (кубический, 000-24-1165), ZrN (000-35-0753).

В продуктах сгорания образца микронного порошка циркония без добавления диоксида циркония (Z-100!) было обнаружено большое количество недогоревшего циркония (рис. 4). Кроме того процесс горения был довольно длительным и составил 11 минут.



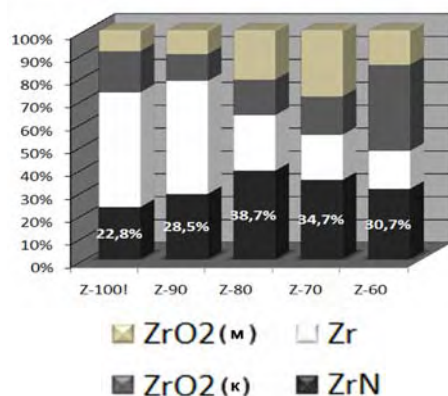


Рис. 4 - Относительный фазовый состав продуктов сгорания по результатам РФА
 а) время горения 12-15 сек
 б) время горения 1 мин
 в) время горения 2 мин

Поэтому был проведен ряд экспериментов с добавлением диоксида циркония. Чтобы не допустить окисления полученных продуктов, осуществлялось прерывание процесса горения сразу после высокотемпературной стадии, которая длилась в среднем 12 – 15 секунд с момента инициирования. Газение производили с помощью пластины из нержавеющей стали [1]. Выход нитрида циркония увеличился (рис.4а).

При увеличении содержания диоксида циркония от 10% до 30% в выход нитрида циркония увеличивался, но затем стал снижаться. С увеличением содержания в образце диоксида циркония количество недогоревшего циркония уменьшалось. Было сделано предположение, что возможно из-за прерывания процесса горения сразу после высокотемпературной стадии, время на образование целевого продукта недостаточно, вследствие чего был проведен ряд экспериментов с установкой процесса горения образцов через минуту с момента инициирования. Относительный фазовый состав продуктов сгорания представлен на рисунке 4б. В результате данного эксперимента удалось получить нитрид циркония с выходом $\approx 52\%$ при сжигании порошка состава Z-80.

Заключительным этапом стал ряд экспериментов с установкой процесса горения через 2 минуты с момента инициирования. Анализ рентгенограмм продуктов сгорания (рис.4в) показал, что выход нитрида циркония в сравнении с

предыдущими экспериментами снизился. Поэтому был сделан вывод о том, что оптимальное время для прерывания процесса горения – через 1 минуту после высокотемпературной стадии горения.

Из анализа рентгенограмм продуктов сгорания (рис.4) следует, что количество недогоревшего металла уменьшается с увеличением содержания оксида циркония в исходной смеси.

На всех рентгенограммах присутствует 100%-ый рефлекс нитрида циркония, его интенсивность и меняется в зависимости от состава образцов.

Заключение

В результате проделанной работы был получен нитрид циркония путем сжигания в воздухе смесей микропорошков циркония и оксида циркония (с содержанием $Zr = 10 \div 100\%$).

Максимальный выход целевого продукта нитрида циркония (52 % мас. ZrN) был получен при синтезе сжиганием исходных смесей с содержанием 80 % мас. микропорошка циркония и 20 % мас. диоксида циркония.

Для увеличения выхода целевого продукта эффективно прерывание процесса горения порошковых смесей состава «Zr-ZrO₂» для предотвращения окисления образовавшегося нитрида циркония, который имеет низкую теплопроводность; оптимальным временем горения для достижения наибольшей степени превращения исходных веществ и меньшего доокисления образующегося нитрида циркония оказалось время $\tau = 60$ секунд.

Список литературы

1. Горение нанопорошков металлов. / Под ред. Громова А.А. – Томск: Дельтаплан, 2008. – 382 с.
2. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений. Справочник / Под редакцией Косолаповой Т.Я. М.: Металлургия, 1986. 928 с.
3. Самсонов Г. В. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – 380 с.
4. P. Mossino. Some aspects in self-propagating high-temperature synthesis. // журнал. 2003, September.

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

Чумаевский А.В., Пугачева И.В.

Научные руководители: Лычагин Д.В., д.ф.-м.н., профессор, Беляев С.А., к.ф.-м.н., доцент
Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2
E-mail: Tch_AV@mail.ru

1. Введение

Электровзрывное нанесение металлических покрытий является одним из перспективных методов получения материалов триботехнического назначения [1]. Данный метод основан на явлении распыления материала проводника под воздействием прикладываемого к нему импульсного тока килоамперного диапазона. До настоящего времени в литературе мало имеется публикаций касающихся сведений о формировании структуры напыляемых покрытий [2]. Металлические покрытия имеющие нанокристаллическую структуру должны обладать высокой прочностью на сдвиг. Это свойство часто является главной причиной в уменьшении износа и трения. В частности медные покрытия с поликристаллической структурой имеют относительно низкую сдвиговую устойчивость, но при длительной эксплуатации такие покрытия начинают интенсивно и изнашиваться в следствии субструктурного упрочнения и последующего разрушения. Такое же явление происходит и в случае добавления медного порошка в смазку в качестве противоизносной и антифрикционной присадки [3]. В месте ожидаемого эффекта образования пластичного и мягкого слоя грубодисперсные частицы и наоборот абразивно воздействуют на трущиеся поверхности. Кроме того, в случае использования порошковых присадок следует учитывать их антифрикционную и дисперсионную стабильность. Нанесение покрытий позволяет избежать этих вопросов. Целью данной работы является изучение структуры и химического состава покрытия, полученного электровзрывным напылением проводника (медной проволоки) на стальную подложку.

2. Материал и методика эксперимента

Электровзрывная обработка в внутренней цилиндрической поверхности образцов проводилась при напряжении 4–4.2 кВ, ёмкости батареи 2,4*10⁻³ Ф, энергии разряда 19.2–21.2 кДж. В качестве распыляемого объекта и использовался проводник из меди М1 (Cu 99.9%) d=2 мм, в качестве подложки –

углеродистая сталь 45 (C 0.42–0.5%, Si 0.17–0.37%, Mn 0.5–0.8%, Cr<0.25%) в состоянии поставки. Образец был цилиндрической формы D_{внутр}=40 мм, L=10 мм. Для исследований были подготовлены образцы в форме сегментов путем радиального разрезания исходного кольца. Шероховатость стальной подложки до напыления R_z=0,87 мкм. Поверхность подготовленного шлифа перед структурными исследованиями была протравлена раствором, содержащим 4% HNO₃ и 96% этилового спирта. Определение химического состава покрытия и подложки и исследование их структуры проводили на растровом электронном микроскопе TESCAN VEGA II LMO совмещенного с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа (MPCA) при ускоряющем напряжении 20 кВ. Микрозондовый анализ производился в вдоль условно выбранных профилях, проходящих через область покрытия – переходная зона – подложка. Чувствительность прибора составляет 0.05 вес. %.

3. Результаты и обсуждение

Исследования показали что напыленное покрытие имеет мелкозернистую структуру, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [4].

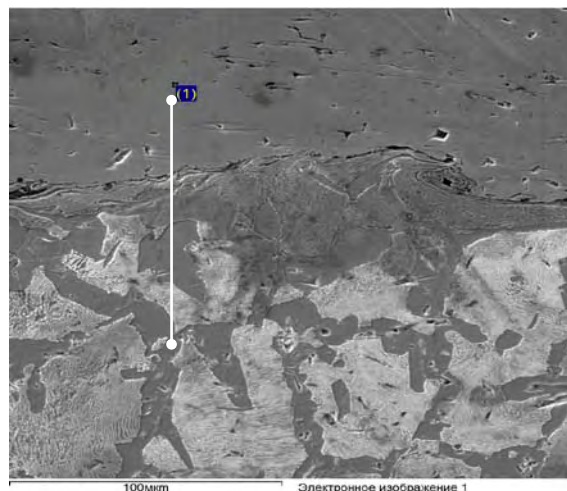


Рис.1 Микроструктура полированной
поверхности стального образца с медным
покрытием

(линия 1 показывает местоположение отбора МРСА анализа структуры покрытия)

Представленное изображение на рис. 1 также указывает на изгиб поверхности покрытия и изгиб доли пустот и других неметаллических включений.

Известно, что метод нанесения покрытия посредством электровзрыва проводника основан на протекании быстропроходящих физико-химических процессов [5]. Эти процессы следующие: быстрый нагрев и охлаждение проводника и подложки, высокая скорость соударения частиц паро-капельного потока с поверхностью подложки. Вследствие этих процессов возможно образование неравновесных фаз как в самом покрытии, так и на его границе с подложкой.

Полученные в ходе МРСА анализа данные представлены в виде графика на рис. 2.

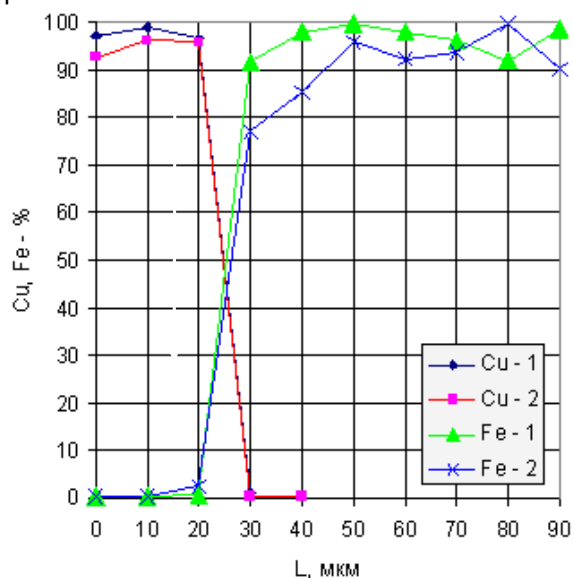


Рис. 2 Графики изменения содержания концентрации химических элементов (ат. %) в зависимости от расстояния до поверхности по 1 и 2 секундам

В ходе анализа графика было выявлено две особенности:

1 — Изменение химического состава имеет ярко выраженный характер на участке 20–40 мкм, что соответствует переходной зоне и границе подложки и покрытия, однако при этом наблюдается взаимная диффузия компонентов системы в диапазоне 0–22–2.85 ат. % на расстоянии 10–20 мкм от границы.

2 — На участке 30–40 мкм происходит уменьшение концентрации меди и соответствует довольно резкому увеличению концентрации железа, что вероятно связано с изменением содержания углерода.

Различие концентраций элементов в поверхностном слое связано с особенностями структуры расплавленного слоя в различных сечениях проведенного микроанализа, рис. 1.

Однако следует отметить, что полученные данные имеют скорее качественный, чем количественный характер, в виду влияния на общую картину углерода, и изучение концентрации которого требует отдельных исследований.

4. Выводы

В результате электровзрывной обработки в системе покрытие-подложка наблюдается взаимная диффузия элементов в следствие оплавления подложки распыленными частицами. При этом глубина проникновения несколько отличается для меди и железа.

Неоднородность распределения покрытия на подложке является достаточно высокой из-за фазовых превращений, высокой скорости нагрева, охлаждения и соударения частиц распыленного проводника с материалом основы.

Вследствие неравномерности во времени и в пространстве происходящих процессов установление физических закономерностей формирования покрытий данного вида представляется довольно затруднительным. Поэтому необходимо проведение дальнейших детальных исследований структуры, фазового состава и свойств системы медное покрытие — стальная подложка, формирующейся при электровзрывной обработке.

Микроанализ был проведен в ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем Томского Государственного университета»

Нанесение покрытия выполнено в лаборатории электроимпульсного напыления Литовского университета сельского хозяйства.

Список литературы

1. Витязь П.А. Твердосмазочные покрытия в машиностроении — Минск: Беларус. Наука, 2007. — 170 с.
2. T. Suhara, S. Fukuda, T. Matsubara et al., Structure and wear characteristic of composite coating deposited by wire explosion spraying, Adv. Therm. Spray. (1986) 177-183.
3. J. Zhou, Z. Wu, Z. Zhang, W. Liu, Q. Xue Tribological behavior and lubricating mechanism of Cu nanoparticles in oil, Tribology Letters V. 8, N.4, s.213-218

4. J. Padgurskas, V. Snitka, V. Jancauskas, A. Andriusis Selective transfer phenomenon in lubricated sliding surfaces with copper and its alloy coatings made by electro-pulse spraying Wear, t.260, 2006, s.652-661.

5. Анненков Ю.М. Основы электротехнологий: учебное пособие – Томск: изд-во ТПУ, 2005.- 208 с.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦОВИСТЫХ СТАЛЕЙ

Шакиров С.А. Безбородов В. П.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: omenhk@yandex.ru

При длительной эксплуатации оборудования изделия подвергаются износу. Это в значительной степени сказывается на их свойствах. Чтобы продлить срок службы таких соединений, необходимо повышать их свойства.

В данной работе были проведены эксперименты, по изучению структуры, распределения твердости и механических свойствах сварных соединений стали 10Г2С. Для проведения исследований использовались фрагменты размером 140×300мм. Образцы для механических испытаний были вырезаны поперек сварного соединения, так, чтобы шов располагался посередине рабочей части образца. При сварке был применен способ односторонней дуговой сварки.

Измерения микротвердости проводились на приборе ПМТ – 3 при нагрузке на индентор 0,5 Н в трех слоях – корневого, заполняющего и облицовочного, а также в зоне термического влияния и основном металле.

Определяли следующие механические свойства: предел прочности при растяжении, предел текучести, относительное удлинение и относительное сужение, усталостная прочность. Испытания проведены на гидравлической машине ‘Hydropuls’ серии PSA10 фирмы ‘Schenck’ по схеме циклического растяжения с $\sigma_{max}=400\pm1\text{МПа}$. Частота цикла – 10 Гц. Все образцы доведены до разрушения.

Структура сварного шва и ЗТВ стали 10Г2С феррито–перлитная после обоих режимов сварки. При использовании импульсной технологии сварки в сварном шве и зоне термического влияния формируются более дисперсные структуры, чем после стационарного режима сварки (рис. 1, 2). После импульсного режима сварки размер зерен в шве уменьшается ~ в 1.3 – 1,6

раз в облицовочном слое и до 3, 5 раз в заполняющем слое. После импульсного режима сварки по сравнению со стационарным режимом, формируется более дисперсная структура в облицовочном и заполняющем слоях и в зоне термического влияния. Формирование более дисперсной структуры при импульсном режиме сварки можно объяснить тем, что при таком режиме тепловое воздействие сочетается с ударным, происходит постоянное перемешивание расплава и измельчение структуры.



а



б



а

Рис. 1. Структура сварного соединения стали 10Г2С: основной металл (а), ЗТВ после стационарного (б) и импульсного (в) режимов сварки, $\times 120$.



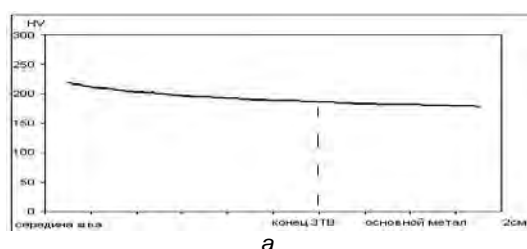
а



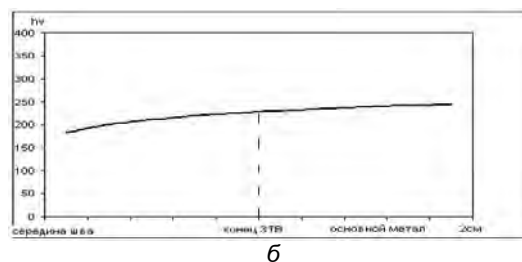
б

Рис. 2 Структура металла шва после стационарного (а) и импульсного (б) режимов сварки, $\times 100$.

Измерения твердости позволили оценить прочностную однородность шва после обоих режимов сварки. После импульсного режима наблюдается иное распределение микротвердости (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Распределение микротвердости в сварном соединении стали: а) вдоль середины шва от корневого слоя шва к облицовочному слою, б) вдоль середины шва от корневого слоя шва к облицовочному слою.

Испытания образцов при статическом нагружении растяжением показали высокую прочность сварных швов, сформированных по обеим технологиям, образование шейки и разрушение происходили во всех случаях по основному металлу. Пределы прочности и текучести, а также относительное сужение образцов после использования обоих режимов сварки практически не меняются, а относительное удлинение после импульсного режима возрастает в среднем на 20 % (таблица 1).

Таблица 1

№	Режим сварки	Механические свойства			
		$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
1.	Стационарный	454	540	20,3	62,8
2.	Импульсный	448	536	24,6	60,8

Это, связано с тем, что при сварке использовались электроды, материал которых имеет близкий к материалу основы химический состав, в результате чего, несмотря на образование шейки и разрушение образцов по основному металлу все зоны сварного соединения участвуют в процессе деформации при растяжении. Формирование материала шва с дисперсными структурами при импульсном режиме приводит к повышению пластичности зон сварного соединения.

Сварные конструкции в процессе работы часто подвергаются знако-переменным нагрузкам, в результате чего часто происходит разрушение металла. Испытания на усталостную прочность показали, что структурные изменения после импульсного режима обеспечивают повышение средних значений усталостной прочности образцов до 2 раз (таблица 2)

Таблица 2

Зона сварного соединения	Число циклов	
	стационарный режим сварки	импульсный режим сварки
Шов	70255	122055
ЗТВ	79470	114880

Средние значения усталостной прочности сварных соединений стали 10Г2С после сварки электродом типа ОК 74.70 (Швеция).

Таким образом повышение дисперсности и однородности структуры сварного шва и ЗТВ после импульсного режима сварки приводит к повышению усталостной прочности сварного

соединения без снижения основных прочностных свойств в его зонах.

Список литературы

1. Жадан В.Т., Полухин Л.И., Нестеров А.Ф., Вишняков А.Ф., Гринберг Б.Г.. Материаловедение и технология материалов. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1994 – 624 с.

2. Сараев Ю.Н., Поветкина И.М., Козлов А.В. и др. Влияние режима сварки на структуру распределения твердости и механических свойств сварных соединений паропроводов // Сварочное производство – 2002. №8. – С 3 – 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СТАРЕНИЯ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПВХ ПЛАСТИКАТОВ

Шатова Е.В., Иванова Н.А., Анисимова О.А.

Научный руководитель: Ким В.С., к.ф-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: shatik87@mail.ru

Поливинилхлоридные (ПВХ) пластики широко и используются при производстве кабелей на низкое и среднее напряжение. В связи с повышением требований к безопасности кабельных изделий, внедряются и производятся кабели не распространяющие горение, с пониженным газо- и дымовыделением. При производстве таких кабелей и используется ПВХ пластикат типа «нг-LS».

Рецептура ПВХ пластиката типа «нг-LS» схожа к рецептуре обычного ПВХ пластиката, которая представлена в табл.1 [1].

Таб. 1. Рекомендуемое (на 100 вес. частей смолы) содержание основных компонентов кабельного ПВХ пластиката

Продукт	Количество вес.частей
Суспензионный ПВХ	100
Пластификатор (ДОФ)	40...60
Стабилизатор	5...8
Наполнитель	30...65

В отличие от обычного ПВХ пластикатов, кабельные ПВХ пластики типа «нг-LS» содержат антипирены (вещества, замедляющие горения). В качестве антипирена также используется тригидрат оксида алюминия с дисперсностью ~5 мкм и

концентрацией 50 мас. ч. на 100 мас. ч. ПВХ [2].

В течение всего времени эксплуатации кабелей, влияние внешних факторов приводит к ухудшению свойств материала оболочки в результате старения, что ведет к снижению эксплуатационной надежности кабеля. На ПВХ пластики наибольшее влияние оказывает тепловое старение. На свойства и старение ПВХ пластиката оказывает влияние не только рецептура [1], но и элементы конструкции кабеля [3]. Так, наличие брони из стальных лент ускоряет процесс старения ПВХ оболочки. В присутствии брони, между броней и внешней оболочкой образуется маслянистая жидкость - конденсат, который представляет смесь пластификатора, наполнителя, стабилизатора и других продуктов разложения ПВХ смолы.

Для исследования влияния высокого содержания мелкодисперсной низкомолекулярной фазы (наполнитель, антипирен) проведено тепловое старение бронированного кабеля КВБбШв и КВБбШв нг-LS. Исследование теплового старения проводилось двумя методами:

1) исследование зависимости механических свойств (относительное удлинение (ϵ_p), прочность при разрыве (σ_p) и эффективный модуль эластичности E_a)

оболочки кабеля от времени старения (по IEC 8111-1-2);

2) исследование химического состава конденсата, образующегося между внутренней и внешней оболочками кабеля при различных временах старения.

На рис.1 представлены результаты измерения физико-механических свойств оболочки кабелей от времени старения. Для обеих марок кабеля, как видно на рис.1.1, наблюдается монотонное снижение относительного удлинения по мере старения. Наблюдение за образцами показало, что при 370 часах старения оболочка кабеля КВБбШв нг-LS полностью потеряла эластические свойства, и при попытке отделения от жилы, разрушалась хрупким образом. Оболочка кабеля марки КВБбШв также теряла эластичность по мере старения, но заметно медленнее, чем оболочка кабеля КВБбШв нг-LS.

На рис.1.2 представлена зависимость прочности на разрыв от времени старения $\sigma_p = f(t)$. Для обеих марок кабеля была получена немонотонная зависимость. В течение первых 70 часов старения наблюдалась значительная усадка материала и активное испарение пластификатора. После 70-120 часов, изменение концентрации пластификатора происходит медленнее, и более заметную роль начинают играть процессы перестройки структуры ПВХ, а также перераспределение частиц наполнителя и/или антипирена в объеме материала. В работе [2] показано, что увеличение содержания наполнителя и антипирена приводит к уменьшению σ_p и ε_p . Это связано с уменьшением подвижности сегментов макромолекул ПВХ на границе раздела ПВХ-антипирен. Возможна также частичная миграция мелкодисперсных частиц наполнителя в области с более высоким содержанием пластификатора. В результате, повышается жесткость и начинается постепенный переход к хрупкому механизму разрушения в хрупкий.

Более наглядно увеличение жесткости ПВХ пластиката демонстрирует зависимость модуля эластичности $E_s = \sigma_p / \varepsilon$ от времени старения t , рис.1.3. Как видно из рис.1.3., модуль упругости оболочки кабеля марки КВБбШв нг-LS возрастает быстрее, чем E_s оболочки обычного кабеля, в 6 раз. При старении кабеля марки КВБбШв нг-LS кроме процессов диффузии и испарения пластификатора, вероятно, также возможна миграция мелкодисперсной фазы частиц наполнителя в объеме материала. В результате, материал оболочки кабеля КВБбШв нг-LS переходит в хрупкое состояние

при 370 часах, предположительно, из-за процессов миграции

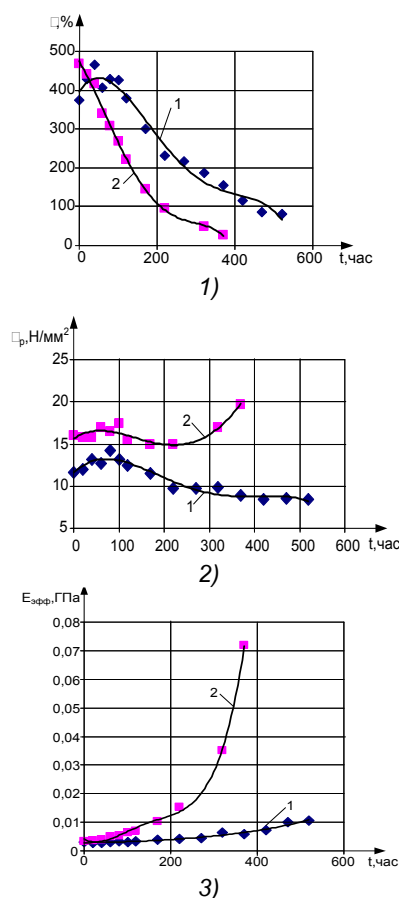


Рис.1 Зависимость относительного удлинения (1.1), прочности при разрыве (1.2) и эффективного модуля эластичности (1.3) от времени старения для оболочки кабелей: 1. – КВБбШв; 2 – КВБбШв нг – LS

частиц антипирена, тогда как материал оболочки обычного ПВХ еще сохраняет свои эксплуатационные свойства.

Проведенный химический анализ конденсата, проведенный методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, показал, что он представляет собой сложную смесь органических и неорганических соединений, состав которой и изменяется с течением времени старения.

При подготовке растворов для анализа были обнаружены не растворимые неорганические и ингредиенты, которые не были идентифицированы. Предположительно они состоят из частиц мелкодисперсной фазы наполнителя и/или антипирена. Эти частицы могут попадать в конденсат вместе с парами пластификатора. Во всех образцах конденсата наибольшую долю составляет пластификатор диоктилфталат (ДОФ) (табл.2). Содержание других составляющих конденсата колеблется в пределах десятых и сотых долей процента. При этом в пластикате

типа «нг-LS» гораздо выше содержание мелкодисперсных неорганических частиц и из-за наличия в рецептуре антипирена. Предположительно, частицы антипирена мигрируют вместе с пластификатором по объему оболочки, изменяют локальные механические свойства пластика и замедляют процесс диффузии ДОФ. В результате, в конденсате, собранном с оболочки кабеля КВБбШв нг-LS, относительное содержание ДОФ меньше.

Таб. 2. Изменение содержания ДОФ в конденсате кабелей КВБбШв и КВБбШв нг-LS с течением времени старения, масс %

	190 час	370 час	420 час
КВБбШв	31,9	33,3	30,7
КВБбШв нг-LS	18,2	5,2	16,6

Изменение содержания пластификатора свидетельствует о постепенном увеличении доли продуктов термooksислительной деструкции в конденсате, собранном с обычного пластика. Резкое уменьшение содержания ДОФ при 370 часах старения кабеля КВБбШв нг-LS говорит об усилении роли термooksислительной деструкции в этот период. Такое поведение может быть связано с завершением миграционных процессов мелкодисперсной фазы. В дальнейшем, содержание ДОФ в конденсате возвращается почти к своему начальному значению. Это может быть связано с переходом в нестационарное состояние, что в новь создает условия для преимущественной диффузии ДОФ в направлении брони.

Результаты испытаний материала оболочки кабелей в ходе теплового старения свидетельствуют, что процесс старения ПВХ пластика типа «нг-LS» в конструкции кабеля протекает быстрее, чем в обычном кабеле. И чтобы старение оболочки кабеля происходило медленнее, вероятно, необходимо использовать антипирен такой дисперсности, чтобы вклад процессов миграции частиц антипирена в объеме материала был минимальным. Также для снижения скорости старения в качестве брони может использоваться защитный покров типа БбШв, в которой в качестве брони используются перфорированные стальные ленты [3]. При использовании такого вида брони исключается образование конденсата, и старение оболочки происходит медленнее, что обеспечивает более длительный срок службы бронированных кабелей.

Список литературы

1. С.Е. Мамбиш, Карбонатные наполнители фирмы OMAU в поливинилхлориде// Пластические массы, №2, 2008, 5 – 10 с.
2. Л.М. Лукепшева, Р.Б. Тхакахов, М.М. Бергетов, Э.Р. Тхакахов, Влияние концентрации и степени измельчения антипиреннаполнителя на физико-механические свойства ПВХ композиций// Пластические массы, №6, 2006, 13 – 14 с.
3. Ким В.С., Анисимова О.А., Анисименко В.М. Новая конструкция защитного покрова типа БбШв для повышения ресурса бронированных кабелей.// Кабель-news, №6-7, 2009, с. 89 – 91

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ ЭК-181 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Шевяко Н.А.¹

Научные руководители: Тюменцев А.Н.^{1,2}, д.ф.-м.н., профессор,
Астафурова Е.Г.^{1,2}, к.ф.-м.н., доцент

¹Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: Nadejda89tsk@rambler.ru

В настоящее время потребление электроэнергии мировым сообществом неуклонно растет. Проблема «энергетического голода» становится все более актуальной. Ее решению в полной мере может способствовать ядерная энергетика, быстрее развитие которой

становится экономически полностью оправданным в связи со значительным увеличением цен на ресурсы тепловой энергетики (уголь, нефть) и в связи с возрастающими трудностями их добычи. Однако ядерная энергетика неизбежно связана с появлением и накоплением новой

нежелательной радиационной активности. Частично проблема может быть решена чисто материаловедчески: путем разработки новых конструктивных материалов с меньшими значениями введенной радиационной активности.

Разработанные в НИИИМ и м. академика А.А. Бочвара жаропрочные стали на основе 16X12B2ФТaP (ЭК-181) являются перспективными для использования в активных зонах и внутрикорпусных устройствах современных энергетических установок, так как обладают высоким уровнем радиационной стойкости, быстрым спадом введенной радиационной активности, хорошими механическими и технологическими свойствами в широком диапазоне температур (300-700°C). Важным параметром, ограничивающим применимость таких сталей, выступает их склонность к низкотемпературной хрупкости и росту температуры вязко-хрупкого перехода при радиационных воздействиях. Улучшение этих параметров возможно за счет подбора термической или термомеханической обработки стали.

В данной работе с использованием методов рентгеноструктурного, рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии были выполнены исследования микроструктуры стали ЭК-181, прошедшей следующие режимы термообработки:

- традиционная термообработка (ТТО) - закалка от температуры 1100°C (выдержка 1 ч., охлаждение на воздухе) с последующим отпуском 720°C (3 ч., охлаждение на воздухе);

- комбинированная термообработка (КТО) - закалка от температуры 1100°C с последующим термоциклированием около критической температуры A_{c1} и отпуском 720°C (1 ч., охлаждение на воздухе).

Несмотря на то, что фазовый состав стали ЭК-181 после рассматриваемых режимов термообработки близок, наблюдаются различия в механических свойствах (таблица 1). По данным наших коллег из ВНИИМ им. академика А.А. Бочвара [1], применение КТО повышает ударную вязкость стали и способствует понижению температуры вязко-хрупкого перехода.

Показано, что, независимо от типа обработки, основной составляющей стали является твердый раствор на основе железа с параметром решетки $a = 2,874-2,876$ Е (таблица 1), свидетельствующим о том, что атомы легирующих элементов находятся в твердом растворе. По данным рентгенофазового анализа в образцах исследуемых состояниях, помимо мартенсита в структуре стали присутствует

небольшая доля (< 2 %) карбидов $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$) и остаточного аустенита γ -Fe. Наблюдается ступенчатое распределение карбидов внутри кристаллов мартенсита. Предполагается, что такое распределение связано с образованием частиц второй фазы на малоугловых границах зерен пакетного мартенсита, исчезнувших в процессе отжига.

Таблица 1. Параметры структуры и микротвердость стали ЭК-181

Термо-обработка	ТТО	КТО
а, нм	0,2876	0,2874
Размеры ОКР, нм	120	>200
$\Delta d/d$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$
Фазовый состав	α -Fe, $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$), γ -Fe	α -Fe, $M_{23}C_6$ ($Cr_{23}C_6$, $Mn_{23}C_6$)
H_v , ГПа	$3,0 \pm 0,1$	$2,3 \pm 0,1$

Интегрально различия были обнаружены методом рентгеноструктурного анализа. Как видно из таблицы 1, размеры областей когерентного рассеяния в случае ТТО меньше, чем в случае КТО. Рассматривая параметры микрореформации решетки (таблица 1) мы видим, что величины микроискажений отличаются примерно в 4 раза, а это является свидетельством различия в значениях внутренних напряжений в кристаллической решетке после исследуемых термообработок. Природу таких напряжений мы попытались выяснить электронно-микроскопически.

Темнопольный анализ позволяет наглядно показать различия напряженного состояния после исследуемых режимов термообработки: ТТО и КТО. Полученные в рефлексах α -железа темнопольные изображения стали показали, что в случае КТО (с циклированием) светится, как правило, весь фрагмент (вся пластина мартенсита), контуры экстинкции широкие. Это говорит о малых деформациях в пределах одного фрагмента.

В случае ТТО контуры узкие. Наблюдаются непрерывные разориентировки кристаллической решетки внутри одного элемента структуры после ТТО. Анализ темнопольных изображений при наклоне образца в гониометре, проведенный по методике, описанной в [2], позволяет нам говорить о том, что кривизна кристаллической решетки составляет от 0,6 до 2 градусов/мкм.

Закалка от высокой температуры в случае ТТО (1100°C) и последующий отжиг при

720°C создают неравновесное гетерофазное состояние, сопровождающееся формированием крапчатого контраста на электронно-микроскопических изображениях. Последний свидетельствует о процессах образования ультрамелкодисперсной карбидной или нитридной фазы или формирования зон Гиббса-Престона в исследуемой стали. В случае КТО крапчатого контраста не обнаружено.

Как видно из картины микродифракции для стали ЭК-181, прошедшей ТТО, дифракционное изображение мелкодисперсной фазы представляет собой систему колец (рисунок 1). Однозначно идентифицировать их не удастся. По измеренным межплоскостным расстояниям (d_{hkl}) можно судить о том, что такие изображения формируются карбидами или нитридами на основе V, W, Ti. Темнопольный анализ в рефлексах таких колец показал, что это мелкодисперсные частицы с размерами 8 нм.

Эффективность дисперсионного твердения в этом случае оказывается выше, чем в случае КТО, поскольку термоциклирование проводится при более низкой температуре (по сравнению с закалкой) и не способствует образованию пересыщенного твердого раствора. Предполагается, что дисперсное упрочнение стали ЭК-181 наноразмерными частицами после ТТО является важным фактором повышения твердости и более высокой температуры вязко-хрупкого перехода.

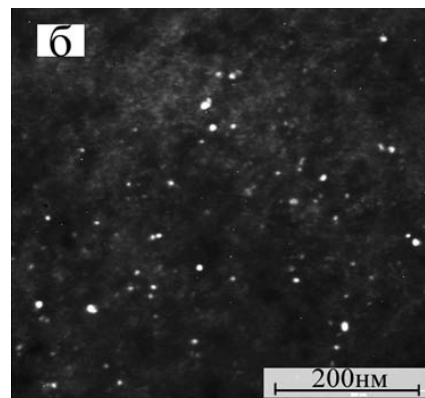
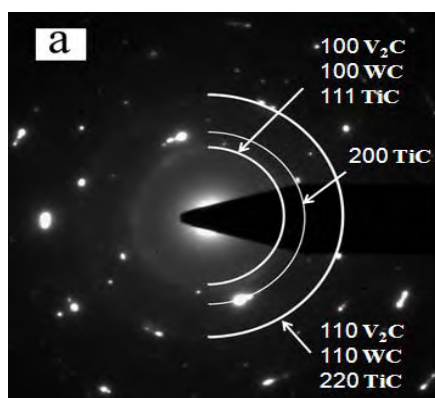


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения структуры стали ЭК-181 после ТТО: микродифракционная картина (а), темнопольное изображение в рефлексе карбидов (б)

Автор работы выражает благодарность сотрудникам ВНИИНМ им. А.А. Бочвара М.В. Леонтьевой-Смирновой и В.М. Чернову за предоставленный материал и полезные дискуссии.

Список литературы

1. Микроструктура и механические свойства малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК-181(RUSFER-EK-181) / М.В. Леонтьева-Смирнова [и др.] // Перспективные материалы. – 2006. – №6. – с. 40-52.
2. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.:Металлургия, 1973. – 583 с.

ВЛИЯНИЕ ЛИГАТУР НА СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА СЧ 15

Шелудько Н.В., Голиков А.Ю.

Научный руководитель: Головин Е.Д., ассистент
Новосибирский государственный технический университет
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: koliamba@yandex.ru

Литой серый чугун является материалом, широко применяемым для изготовления различных деталей машин и элементов конструкций. Улучшение его структуры и повышение комплекса механических свойств представляет собой важную практическую задачу [1, 2]. Одним из широко применяемых способов повышения качества литого металла является модифицирование [3-5]. В данной работе с целью повышения прочностных свойств чугуна применяли модифицирование сплава в ковше кусковыми лигатурами типа Cu-TiCN и Al-Zr-Mg-B.

Отливки получали на Опытном заводе Сибирского отделения РАН. В качестве шихты использовали лом чугуна марки СЧ15. Выплавка металла осуществлялась в вагранке емкостью 1 т с шамотной (кислой) футеровкой. Чугун нагревался до 1350 °С и подавался в ковш, из которого осуществлялась разливка металла в предварительно просушенные песчано-глинистые формы. Масса металла, слитого в ковш, составляла 700 кг.

При выполнении работы были осуществлены три плавки. При реализации одной из них был получен немодифицированный сплав, выполняющий функцию контрольного материала (сплав 1). Модифицирование чугуна осуществлялось с использованием лигатур типа Al-Zr-Mg-B (сплав 2) и Cu-TiCN (сплав 3). Количество модифицирующих добавок оставляло 0,02 % от массы отливки. Влияние модифицирования оценивали на основании результатов металлографических исследований [6] и анализа механических свойств материалов.

Все три исследуемых материала имеют структуру серого чугуна на феррито-перлитной основе с графитом в завиточной форме. Содержание феррита составляет ~5 %. В контрольном сплаве графит равномерно распределен по объему материала. Средняя длина включений составляет ~500 мкм (рис. 1). Расстояние между цементитными пластинами равно ~1 мкм. Сплав, модифицированный путем введения лигатуры Al-Zr-Mg-B, обладает менее однородной структурой. Средняя длина пластин графита составляет 300 мкм. Однако встречаются области, в которых графитные

включения имеют розеточное распределение и составляют в длину ~50 мкм (рис. 2). Дисперсность пластин феррито-цементитной смеси в сплавах 1 и 3 примерно одинакова.

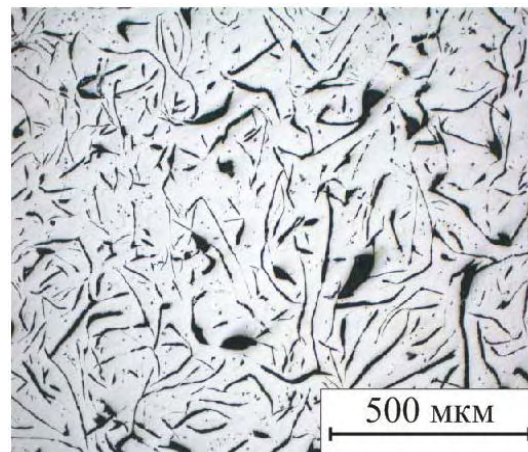


Рис. 1. Немодифицированный чугун с графитом завиточного типа.

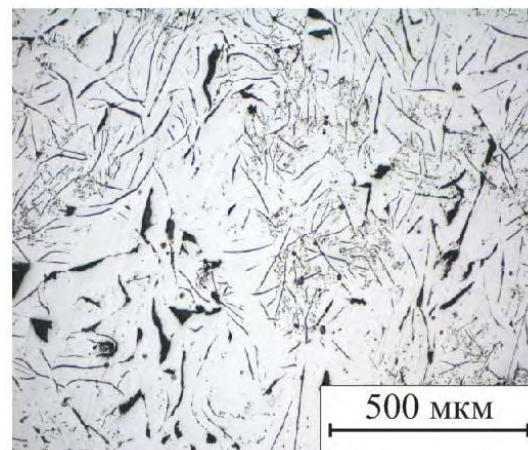


Рис. 2. Области розеточного распределения измельченного графита в СЧ15, модифицированном Al-Zr-Mg-B.

Кроме перлита, феррита и графита, во всех рассматриваемых сплавах присутствует фосфидная эвтектика. Включения эвтектики распределены равномерно, средняя площадь включений составляет 1000 мкм² (рис. 3). Модифицирование не вызвало значительных изменений в форме и распределении фосфидной эвтектики.

В сплаве 2, модифицированном с применением лигатуры Cu-TiCN,

наблюдаются графитные включения двух типов. В большей части объема присутствуют равномерно распределенные включения завитой формы, длина которых составляет ~ 200 мкм. В другой тип графита представляет собой мелкие пластины длиной до 50 мкм, расположенные в междендритном пространстве. В результате модифицирования чугуна СЧ15 добавками Cu-TiCN увеличивается дисперсность структурных составляющих пластинчатого перлита.

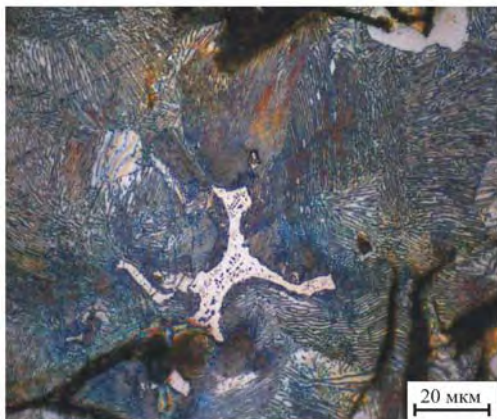


Рис. 3. Включения фосфидной эвтектики (светлые участки) в микроструктуре серого немодифицированного чугуна.

Механические свойства и исследуемых материалов определяли при испытании на растяжение образцов цилиндрической формы. В качестве параметров прочностных свойств использовали значения предела текучести и предела прочности с плагов. Установлено, что модифицирование чугуна с использованием лигатуры Al-Zr-Mg-B влияния на прочностные свойства материала практически не оказывает. В то же время лигатура Cu-TiCN привела к росту предела текучести на 20,5 %, а предела прочности на 19 % (рис. 4). Данный факт объясняется уменьшением межпластинчатого расстояния в перлите с ~1 мкм до ~0,8 мкм.

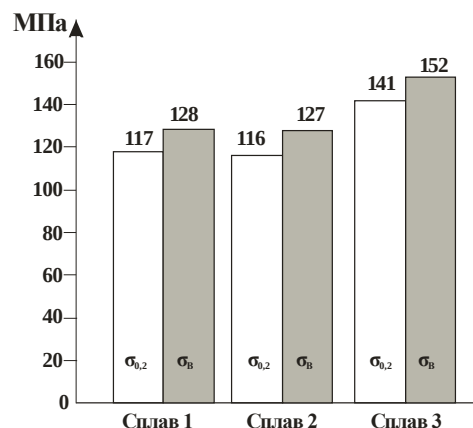


Рис. 4. Результаты испытания образцов литого чугуна СЧ15 на статическое растяжение.

На основании анализа проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Применение кусковой лигатуры Cu-TiCN вызывает измельчение графитных включений, уменьшение размеров перлитных колоний и повышение дисперсности структурных составляющих пластинчатого перлита. Имеющиеся вместе с структурные преобразования способствуют росту предела текучести чугуна СЧ15 на 20,5 % и предела прочности на 19 %. При использовании лигатуры Al-Zr-Mg-B свойства литого чугуна сохраняются на исходном уровне.

Список литературы

1. L. Alvarez, C.J. Luis, I. Puertas / Analysis of the influence of chemical composition on the metallurgical properties of engine cylinder blocks in gray cast iron // Journal of Materials Processing Technology 153-154 (2004), p. 1039-1044.
2. W. Wang et al. / Properties of gray cast iron with oriented graphite flakes // Journal of Materials Processing Technology 182 (2007), p. 593-597.
3. Крушенко Г. Г., Черепанов А. Н., Кузнецов В. А. Влияние нанопорошков тугоплавких материалов на свойства литых изделий из черных и цветных металлов и сплавов // Наука - производству. - 2003. - No.4. - С. 29-36.
4. Сабуров В.П. и др. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / Отв. ред. Фомин В.М., Черепанов А.Н. -Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1995. -344 с. -(Низкотемпературная плазма; Т. 12).
5. Черепанов А. Н., Полубояров В. А., Каратаева З.А. Повышение механических свойств чугуна и стали с помощью модифицирования нанопорошками тугоплавких соединений // Высокотехнологии, фундаментальные и прикладные

исследования, о бразование. Т .9 : С б.тр. Третьей междунар. н ауч.-практ. к онф. "Исслед.,разработ. и п рименен. в ысоких технолог. в п ромыш." (СПб, Р оссия, 14 - 17.03.2007.)/ П од ред . К удинова А .П. , Матвиенко Г.Г. -СПб., 2007. -С. 192-193.

6. ГОСТ 3443-87. О тливки и з чугуна с различной формой графита. Методы

определения ст руктуры. – М.: Стандартиформ, 2005. – 42 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ СЛОЕВ WO_3

Шпакова Н.Ю., Соловьев А.А.

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 основаны на электрохромных покрытиях. Электрохромные материалы отличаются своей способностью к обратимым и устойчивым изменениям оптических свойств под воздействием прикладываемого к ним напряжения. В настоящее время стоимость этих материалов велика, что не позволяет организовать их серийное производство. Поэтому актуальной является задача сделать технологию изготовления электрохромных материалов высокопроизводительной, с широким охватом современного рынка. На данном этапе работы произведен поиск оптимальных режимов осаждения слоев WO_3 , входящих в состав электрохромного покрытия, методом реактивного магнетронного распыления вольфрамового катода.

Осаждение слоев WO_3 проводилось на экспериментальной установке для осаждения покрытий методом магнетронного распыления, с обратной на базе серийно выпускаемой установки ННВ-6 «Булат». Для осаждения триоксида вольфрама использовался магнетрон с W катодом диаметром 120 мм и толщиной 6 мм. Магнетрон подключался к источнику питания, работающему как на постоянном, так и на импульсном токе частотой до 50 кГц. Диапазон рабочих давлений составлял от $1.6 \cdot 10^{-3}$ до $5.6 \cdot 10^{-3}$ Тор. Мощность разряда магнетрона поддерживалась постоянной и составляла 1.5 кВт. Осаждение покрытия проводилось при комнатной температуре.

В работе исследовалась скорость окрашивания и она же в одорода слоев WO_3 , полученных в различных режимах осаждения. В экспериментах были получены покрытия толщиной от 100 до 400 нм при разном питании магнетрона (на постоянном (DC) и импульсном частотой 40 кГц токе (MF)), разных давлениях в рабочей камере. В качестве подложек и использовалось К-стекло (стекло с проводящим слоем оксида олова допированного фтором, нанесенным пиролитическим методом). Для определения скорости окрашивания слоев WO_3 полученные образцы помещались в прозрачный с тканью жидким электролитом, представляющим собой водный раствор уксусной кислоты с ацетатом натрия. От источника питания постоянного тока на образец подавалось напряжение ± 2 В. В качестве вольфрамового электрода и использовалась Pt сетка. В процессе окрашивания покрытия через него пропускать свет от лампы накаливания. Поглощенное и излучение регистрировалось установленным непосредственно за образцом фотодиодом марки OPT 101 фирмы Burr-Brown. Изменение напряжения с нимаемого с фотодиода характеризовало прозрачность покрытия WO_3 . Скорость наложения пленки WO_3 при мощности разряда 1.5 кВт составила 1300-1400 нм/час. Результаты экспериментов по измерению скорости окрашивания и обесцвечивания образцов WO_3 пленок, полученных в различных режимах осаждения, представлены в Табл. 1.

Таблица 1. Характеристика образцов покрытий WO_3 , полученных в различных режимах магнетронного осаждения и скорости их окрашивания ионами водорода.

№ образца	Параметры осаждения покрытия (питание магнетрона/ толщина WO_3 , нм/ давление в камере, Тор)	Время окрашивания, сек (до T = 50%)	Время обесцвечивания, сек (до T = 100%)
1	MF/400 нм/1.6 Тор	1270 (до T = 70%)	-
2	MF/200 нм/1.6 Тор	870	810
3	MF/200 нм/5.6 Тор	145	50
4	DC/200 нм/1.6 Тор	2130	-
5	DC/200 нм/5.6 Тор	145	50
6	MF/100 нм/1.6 Тор	720	650
7	MF/100 нм/5.6 Тор	440	330
8	DC/100 нм/1.6 Тор	2080	1920
9	DC/100 нм/5.6 Тор	440	174

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы:

Во-первых, пленки WO_3 , осажденные при максимальном давлении газов в камере (в нашем случае это $5.6 \cdot 10^{-3}$ Тор) требуют существенно меньшего времени для окраски до прозрачности 50% и обесцвечивания до 100%, чем пленки, нанесенные при низком давлении. Пленки WO_3 , полученные при высоком давлении в зависимости от толщины и питания магнетрона окрашиваются и обесцвечиваются в 2-8 раз быстрее, чем такие же пленки, но осажденные при низком давлении (см. табл. 1). Это может быть связано с тем, что при высоком давлении в плазме происходит рассеивание энергии частиц, осаждаемых на подложку, в результате многочисленных столкновений. Это приводит к формированию аморфной структуры покрытия.

Во-вторых, при высоком давлении в камере скорость окрашивания-обесцвечивания не зависит от режима распыления (DC или MF). При низком давлении пленки, полученные в импульсном режиме, окрашиваются примерно в 2.5 раза быстрее, чем пленки, осажденные на постоянном токе. Импульсный режим работы на частоте 40-50 кГц также предпочтительнее при реактивном распылении (в кислороде содержащей атмосфере) с точки зрения стабильности процесса напыления пленки и снижения дугообразования на катоде.

В-третьих, оптимальная толщина пленки WO_3 составляет 200 нм. Если для пленок, осажденных при низком давлении в камере, скорость окрашивания-обесцвечивания пленок толщиной 100 и 200 нм мало отличается (рис. 1), то пленки толщиной 200 нм, полученные при высоком давлении окрашиваются-обесцвечиваются в 4 раза

быстрее, чем пленки толщиной 100 нм (см. образцы № 3 и 7 в табл. 1).

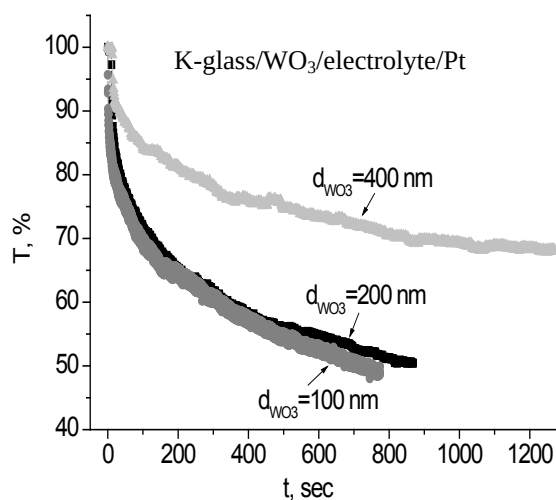


Рис. 1. Зависимость прозрачности пленок WO_3 различной толщины от времени приложения потенциала (2 В). Питание магнетрона – MF (40 кГц). Рабочее давление в камере – $1.6 \cdot 10^{-3}$ Тор.

В-четвертых, обнаружено, что длительность окрашивания пленки WO_3 до прозрачности 40% примерно в 2.5-3 раза больше, чем время необходимое для окрашивания той же пленки до прозрачности 50% (рис. 2). Это связано с тем, что после окрашивания пленки до уровня прозрачности 70% скорость окрашивания резко замедляется.

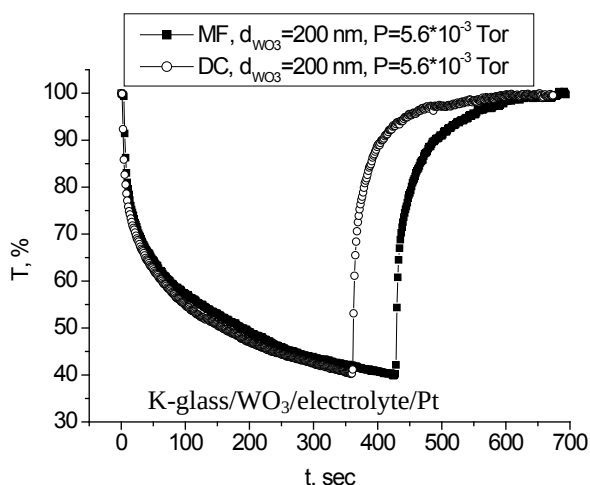


Рис. 2. Зависимость прозрачности пленок WO_3 толщиной 200 нм, полученных при различном питании магнетрона и рабочем давлении $P = 5.6 \cdot 10^{-3}$ Тор, от времени приложения потенциала (2 В).

Внешний вид образцов К-стекла с пленкой WO_3 в прозрачном и окрашенном до прозрачности 50 % состоянии приведен на рис. 3.

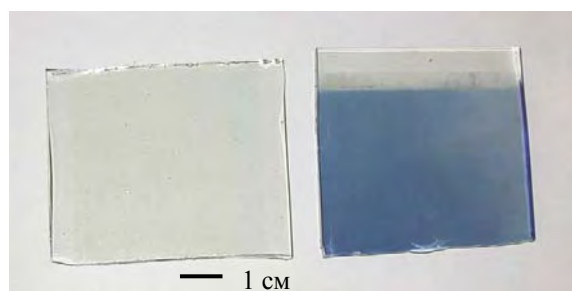


Рис. 3. Внешний вид пленок WO_3 толщиной 200 нм на К-стекле в прозрачном (а) и окрашенном (б) состоянии.

В результате экспериментальных исследований по магнетронному нанесению покрытий WO_3 можно сделать следующие выводы:

1. Зависимость прозрачности покрытия от времени приложения напряжения носит нелинейный характер.

2. Оптимальным режимом нанесения пленок WO_3 методом реактивного магнетронного распыления является импульсный режим магнетрона с частотой 40 кГц при высоком рабочем давлении в камере ($5.6 \cdot 10^{-3}$ Тор). Пленки WO_3 толщиной 200 нм полученные в данном режиме показали наибольшую скорость окрасивания-обесцвечивания.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ВИДА МОДИФИКАТОРА НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТМАСС

Юркова С.А., Муленков А.Н., Кондратюк А.А.

Научный руководитель: Кондратюк А.А., к.т.н., доцент кафедры ММС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: man23@sibmail.com

Полиэтилен является одним из наиболее распространенных видов органических пластмасс. В зависимости от технологии полимеризации этилена получается два вида полимера: полиэтилен низкого давления (ПЭНД) и полиэтилен высокого давления (ПЭВД). ПЭНД имеет молекулярную массу до $7 \cdot 10^5$. Увеличение молекулярной массы до $1 \cdot 10^6$ и выше, резко меняет многие свойства ПЭНД по этому данная группа полиэтиленов обозначается СВМПЭ. Рабочая температура эксплуатации изделий из СВМПЭ так же как и ПЭНД находится в том же температурном диапазоне плавления полимера и зависит от конкретных условий эксплуатации (давления, продолжительности нагружения, среды и т.д.). Особенностью СВМПЭ является способность сохранять механические

свойства в очень широком интервале температур от $+150$ до -220 °С. СВМПЭ устойчив к воздействию радиации и вакуума, имеет низкий коэффициент трения, износостоек. [1]

Наиболее перспективным направлением создания новых конструкционных материалов на основе СВМПЭ является введение в состав композиции порошковых, мелко- и ультрадисперсных наполнителей-модификаторов.

Для исследования теплофизических свойств полимерных материалов на основе СВМПЭ, авторами были изготовлены плоские образцы из различных композиций в которых в роли наполнителя (модификатора) выступала порошковая мелкодисперсная электролитическая медь марки ПМС-1 и один

образец из чистого СВМПЭ «ТНХК» без добавок (таблетки, имеющие следующие размеры: $D=15\text{ mm}$, $h=10\text{ mm}$): 1 - СВМПЭ «ТНХК»; 2 - СВМПЭ «ТНХК» + 3% Cu; 3 - СВМПЭ «ТНХК» + 7% Cu; 4 - СВМПЭ «ТНХК» + 10% Cu; 5 - СВМПЭ «ТНХК» + 13% Cu; 6 - СВМПЭ «ТНХК» + 50% Cu. Композиции составлялись в весовых долях.

По аналогичной технологии были созданы две композиции с использованием того же СВМПЭ, в которых в качестве наполнителя выступал ультрадисперсный порошок нитрида бора (NB) в количестве 3 и 7%.

Выбор в качестве порошковых наполнителей меди и нитрида бора обусловлено тем, что медь является хорошим проводником тепла и имеет температуру плавления $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$, а нитрид бора имеет температуру плавления $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и используется также в сегде для создания композиций с жаростойким и свойствами.

Затем образцы по лировались и подверглись испытанию на измерителе теплоемкости «ИТ-С-400» общий вид которого представлен на рис. 1.



Рис. 1 Измеритель теплоемкости «ИТ-С-400»

Данный прибор позволил нам измерить изменение значений теплоемкости образцов в диапазоне от 25 до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Теплоемкость является мерой энергии для повышения температуры материала.

Для расчета удельной теплоемкости образцов при различных температурах, использовалась формула:

$$C_{T0} = \frac{K_T}{m_0} (\tau_{T0} - \bar{\tau}_T)$$

где C_{T0} – удельная теплоемкость образца

при температуре T ; τ_{T0} – время запаздывания температуры на термометре в экспериментах с образцом в секундах; K_T , $\bar{\tau}_T$ – постоянные прибора.[2]

Принципиальная схема теплового измерения приведена на рис.2.

Результаты измерений были обработаны и сведены в таблицы.

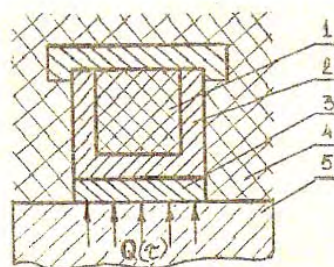


Рис. 2 Тепловая схема метода динамического Калориметра: 1–образец; 2–ампула; 3–термомер; 4–оболочка адиабатическая; 5–основание.

По результатам расчетов были построены ряд графиков в координатах: $C_{T0} - T, C^0$, в диапазоне температур от 50 до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, которые представлены на рис.3-5.

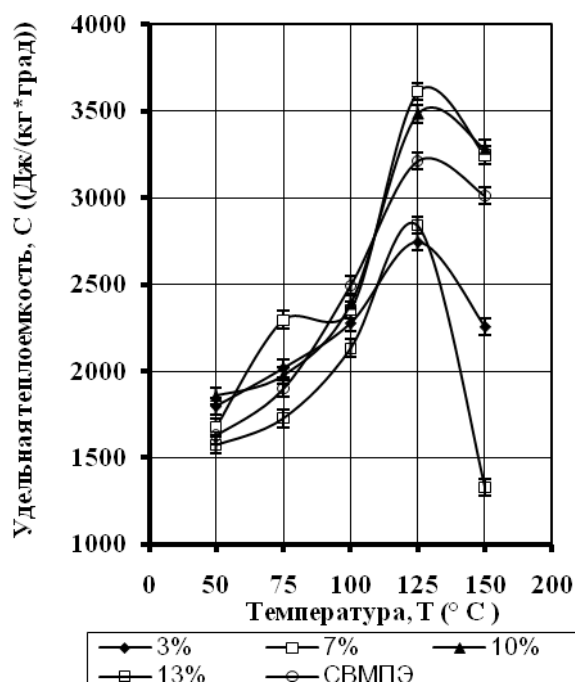


Рис. 3 Графики зависимости теплоемкости от температуры

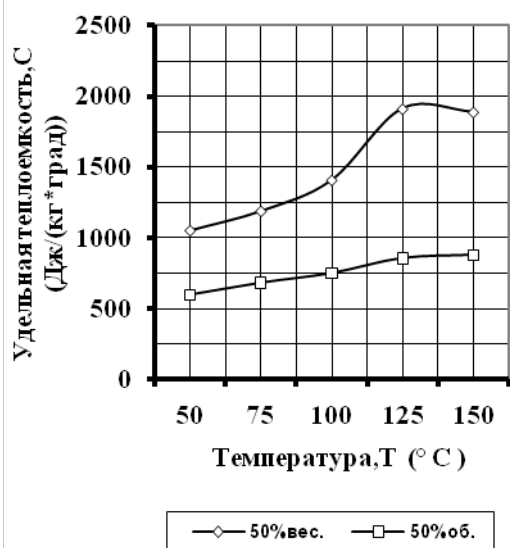


Рис. 4 Графики зависимости теплоемкости от температуры СВМПЭ с наполнителями меди 50% весовых и 50% объемных

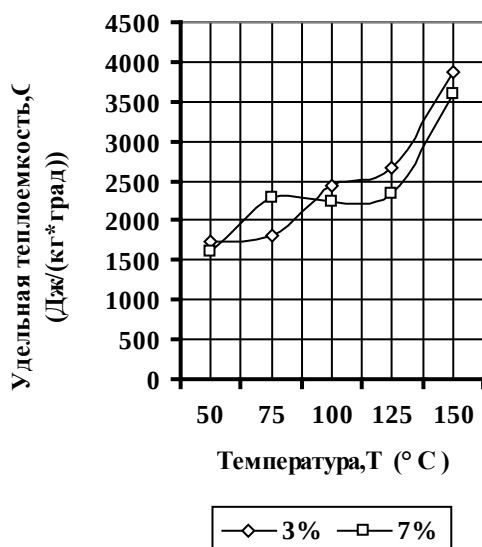


Рис. 5 Графики зависимости теплоемкости от температуры СВМПЭ с наполнителем из NB 3% и 7%.

Вывод:

Из анализа положений графиков можно сделать вывод, что с увеличением температур, при которых проводились исследования, удельная теплоемкость в всех композициях в которых в качестве наполнителя использовалась порошковая медь, увеличивалась в диапазоне температур

до от 50 до 125 $^{\circ}\text{C}$. Снижение удельной теплоемкости и измеренной при температуре 150 $^{\circ}\text{C}$ объясняется переходом матричной основы композиций (СВМПЭ) в высокоэластичное состояние.

С увеличением количества содержания меди в композиции при одних и тех же значениях температуры измерения уменьшается теплоемкость.

При рассмотрении композиций модифицированных нитридом бора наблюдается рост удельной теплоемкости в пределах диапазона температур в выбранных для эксперимента.

При измерении удельной теплоемкости данных образцов получены величины значения удельной теплоемкости сопоставимые с максимальными значениями у композиций имеющих в качестве наполнителя порошковую медь.

Список литературы

1. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности/ Под ред. И.Н. Андреевой, Е.В. Веселовской, Е.И. Наливайко и др.—Л.: Издательство Химия, 1982.—80с.
2. Тагер А.А. Физико — химия полимеров./М, издательство «Химия», 1968г. — 536с.

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ИОННЫМ АЗОТИРОВАНИЕМ

Яковлев А. В.

Научный руководитель: Овечкин Б.Б., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ovtchkinb@tpu.ru

Введение

Работоспособность деталей машин и инструмента в основном определяется состоянием поверхностного слоя. В последнее время все большее развитие и применение получают методы и способы ионного азотирования. Азотированные материалы имеют высокую поверхностную твердость и прочность, не изменяющуюся при нагреве до 500...600 °С. Создание новых специальных установок для ионного азотирования и их серийное освоение открывают возможность широкого внедрения этого процесса на многих предприятиях страны. В частности эта задача актуальна для повышения стойкости инструмента при производстве изделий в условиях ОАО «Новосибирский инструментальный завод».

В данной работе поставлена цель методом ионного азотирования повысить поверхностную твердость, износостойкость, снизить склонность к задирам, обеспечить высокое сопротивление кавитации и коррозии инструмента.

Материалы и методики исследования

Ионному азотированию подвергались образцы и изделия, изготовленные из быстрорежущих сталей марок Р18 и Р6М5. В качестве объектов исследования были выбраны пуансоны квадратные для горячей высадки от верстий, фрезы концевые и фасонные для нарезания профиля изделий (рис.1).



Рис.1. Внешний вид инструмента

Азотирование проводили на образцах и готовых изделиях, прошедших стандартную термическую и механическую обработку.

Исходная твердость составляла HRC 60...64. Ионное азотирование проводили на экспериментальной установке кафедры «Материаловедение в машиностроении» ТПУ УИА-М1. Процесс вели при температуре азотирования 500...520 °С, разрежение 1...10 мм рт.ст., рабочее напряжение составляло от 400 до 1100 В. Продолжительность процесса составляла 0,5...5,0 ч.

Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя определяли на приборе ПМТ-3М, при нагрузке 100г. Металлографический анализ образцов проводили на металлографическом микроскопе Neophot 21 при увеличении 100...600 раз. Стойкостные испытания инструмента проводили в условиях действующего производства ОАО «Новосибирский инструментальный завод».

Результаты исследований

Одним из наиболее важных свойств азотированного слоя является твердость. Образование высокой твердости и глубины насыщения во многом зависит от правильного подбора режима процесса ионного азотирования. Детали, работающие в условиях динамического износа, такие как режущие и штамповые инструменты, должны подвергаться обработке с образованием развитой высокопрочной зоны внутреннего азотирования.

Технологически процесс ионного азотирования реализуется в две стадии: первая — очистка поверхности катодным распылением; вторая — собственно насыщение. Катодное распыление проводили в течение 5...60 мин и в дальнейшем в течение 1...3 ч. В процессе катодного распыления температура поверхности детали не превышала 250 °С. Азотирование вели при температуре $T = 500 \dots 520^\circ\text{C}$, рабочем напряжении 400...1100 В, при продолжительности процесса 1...3 ч.

На рис.2 приведены зависимости распределения микротвердости по глубине азотированного слоя стали Р18 от времени азотирования. Видно существенное увеличение микротвердости на поверхности образцов при всех режимах выдержки (практически в 1,5...2,0 раза). Однако характер распределения микротвердости по глубине азотированного слоя отличен. Так,

при в ремени аз отирования 1 ч . г лубина составляет порядка 50...60 мкм и имеет резкую г раницу ме жду слоем и п одложкой (рис.3, а). При увеличении времени выдержки до 3 и 5 часов глубина слоя увеличивается до 100...150 мкм и 150...200 мкм соответственно. Причем х арактер переходной зоны имеет плавный переход от упрочненного с лоя к ос новному металлу (рис.3,б,в), при этом микротвердость поверхности существенно не изменяется.

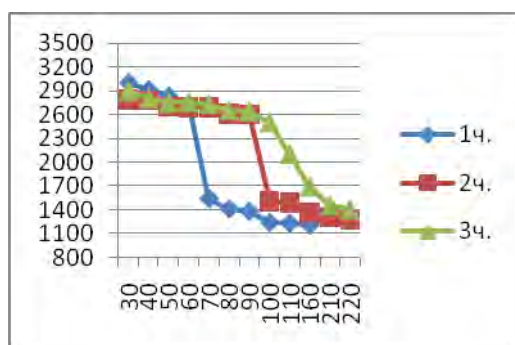


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя стали P18

Микроструктура с тали Р 18 после и онного азотирования приведена на рис.3.

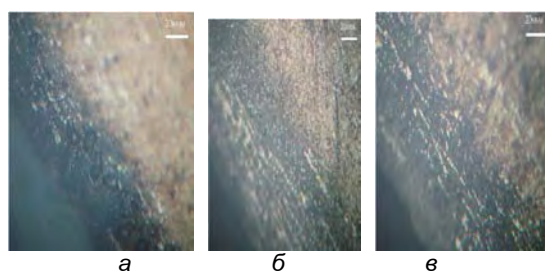


Рис. 3. Микроструктура стали P18 после ионного азотирования. Время азотирования при $T = 500...520^{\circ}\text{C}$ а) — 1 ч., б) — 2 ч., в) — 3 ч.

Видно, ч то аз отированный с лой представлен ультрамелкозернистой структурой, состоящей из нитридов основного металла и л егирующих э лементов и карбонитридных фаз в поверхностном слое и с р асположенной п од н им раз витой мартенситной з оной, п редотвращающей продавливание с лфя -фазы, ε -фаза практически отсутствует. С ув еличением времени ыдержки п ри аз отировании переходная з она о тличается п л авным переходом от слоя к основному металлу.

Аналогичные и сследования б ыли проведены и н а стали Р 6М5. П олучены подобные з ависимости ра спределения микротвердости п о г лубине а зотированного слоя, хотя абсолютные з начения н есколько отличаются в меньшую с торону, р ис. 4 .

Очевидно, это связано с тем, что в стали Р18 присутствуют в большем количестве сильные нитридообразующие э лементы, в ча стности вольфрам.

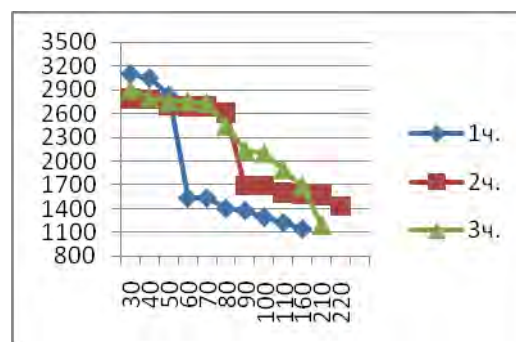


Рис. 4. Распределение микротвердости по глубине азотированного слоя стали Р6М5

Микроструктура с тали Р6М5 п одобна приведенной н а ри с.3. Р азличие с остоит в количественном соотношении нитридов легирующих э лементов, оц енить к оторое металлографическим мет одом н е представляется в озможным, д ля э того необходимо п роводить рен тгеноструктурный анализ.

После установления оптимальных режимов ионного азотирования проводили упрочнение в се го ря да реального инструмента. Износостойкость рабочей части инструментов оценивали по величине износа режущей к ромки и считали н епригодной (изношенной) п ри з акруглении (затуплении) до следующих р азмеров: д ля пуансона квадратного и фрез ф асонных «л евая — правая» д о 0,03...0,07 мм; д ля к онцевых и дисковых ф рез д о 0,3...0,5 мм. П олученные данные п роизводственных испытаний инструмента, подвергнутому ионному азотированию п о оп тимальным р ежимам показали высокие значения износостойкости. Так, пуансоны квадратные из стали Р18, проазотированные в п лазме т леющего разряда при $T = 500...520^{\circ}\text{C}$ в т ечение 3 -х часов, показали повышение стойкости б олее чем на 25%, чем без азотирования. Стойкость поверхностно-упрочненных концевых фрез из стали Р6М5 повысилась в 1,5...2,0 раза.

Выводы

Азотирование в плазме тлеющего разряда (ионное азотирование) я вляется эффективным с пособом мод ифицирования свойств, п ричем п ри б олее н изких температурах, чем печное, что позволяет применять е го д ля у прочнения з акаленных сплавов, в ча стности закаленной быстрорежущей стали марки Р18 и Р6М5.

Разработаны технологические режимы ионного азотирования, освоенные на модифицировании в тлеющем разряде сталей Р 18 и Р 6М5, которые позволяют получать диффузионные слои заданного фазового состава, не изменяя в целом технологический процесс термической обработки. Установлено, что в условиях изнашивания высокой износостойкостью обладает материал с ультрамелкозернистой структурой, состоящей из нитридов основного металла и легирующих элементов и карбонитридных фаз $\text{Fe}(\text{Me})_4(\text{N}, \text{C})$ в поверхностном слое и расположенной под ним развитой мартенситной зоной, предотвращающей продавливание слоя

фазы, при этом содержание γ -фазы не превышает 5%.

Производственные испытания в условиях ОАО «Новосибирский инструментальный завод» и инструмента, упрочненного по оптимальным режимам, показали высокие характеристики стойкости (от 0,25...2,0 раз), что demonstrates целесообразность применения разработанной технологии ионного азотирования в тлеющем разряде, при этом стойкость повысилась.

СЕКЦИЯ 7

**ИНФОРМАТИКА
И УПРАВЛЕНИЕ
В ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА 3D STUDIO MAX ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Алина Т.А., Рыбалка С.А.

Научный руководитель: Рыбалка С.А., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: lie@docsis.ru

Введение

Процесс добычи нефти и газа является длительным и многоплановым и является результатом плодотворного сотрудничества огромного количества людей различных специальностей. Геологические и геофизические исследования, разведка и бурение, добыча и транспортировка вот укрупненный перечень тех разноплановых мероприятий, которые приходится выполнять на различных стадиях этого длительной цепочки комплекса работ, пока она начнет вытекать из труб в цистерны железнодорожного состава и танкеры.

Каждый из этих этапов сам представляет собой огромный комплекс, сочетающий сложные трудоемкие и ресурсозатратные виды работ. Поэтому помимо самих работ, для каждого из этапов ведутся исследовательские работы позволяющие снизить затраты на выполнения работ этого вида. Огромную роль в этом играет моделирование и большое разнообразие видов отображение полученной информации и применение средств вычислительной техники.

Каждый этап в цикле разведки и добычи является трудоемким и разноплановым. Таким же является и процесс получения данных сейсморазведки. Начиная от планирования трасс прокладки кос с датчиками и прорубки просек в лесных массивах и заканчивая визуализацией сейсмотрасс, подвергнутых первоначальной обработке. Наиболее распространенными на сегодняшний день являются акустические методы исследования земных недр на большие глубины. При этом для более полного исследования, для получения данных сейсморазведки, применяются как методы общей глубинной точки (ОГТ), так и вертикального сейсмического профилирования (ВСП). При этом метод ВСП является очень дорогостоящим, так как исследования проводятся в полновесной скважине. Просто на первоначальном этапе она эксплуатируется в режиме разведочной скважины. Суть этого метода сводится к бурению скважины на глубины до трех километров и более. Затем проводится несколько серий взрывов из различных пунктов взрывов располагающихся вокруг этой скважины. В самой скважине размещается линейка сейсмоприёмников, которые размещаются по всей длине скважи-

ны и регистрируют акустические сигналы, достигшие скважины на определенной глубине. Результаты этой регистрации записываются в компьютерные файлы определенных форматов, например в стандарте SEG-Y. Затем эти данные подвергаются обработке с целью выявления различных характеристик геологической среды в области, прилегающей к пробуренной скважине. Помимо акустических исследований в скважине проводятся и другие виды измерений, как то, каротаж, литология, инклинометрия и т.п.

По результатам обработки исходных сейсмограмм выявляют границы разделения геологических сред и другие параметры. Для более точного моделирования геометрии границ на современном этапе взрывы проводят из большого количества пунктов взрывов, которые покрывают, целую площадь земной поверхности вокруг устья скважины. И тогда удаётся смоделировать геометрию границ разделения сред не только по отдельным направлениям, но и по целой площади.

При интерпретации результатов обработки большую роль играет их визуальный анализ. Следовательно, на разных этапах всех видов работ необходимо выполнять отображение данных в графическом виде: графики функций, поля сейсмотрасс, годографы падающих и отраженных волн, границы разделения сред и т.д. Такие графические построения могут быть двумерные или трехмерные. Трехмерные изображения в разных ракурсах позволяют осматривать модель объектов с различных сторон. На таких моделях можно отображать поверхности, представляющие собой границы разделения геологических сред или формировать разрезы земных недр в виде кубов. И можно формировать изображения виртуальных объектов, например, луча распространения акустической волны и т.п.

Широко известным мощным средством, предназначенным для формирования трёхмерных сцен и их отображения с высоким качеством, является программа 3D Studio MAX.

Объекты в 3D Studio MAX

Стремительное развитие технологий в последнее десятилетие привело к такому же быстрому росту в области компьютерной тех-

ники и программного обеспечения. Также шагнули вперед и программы трехмерной графики – самые интересные по своим возможностям и сложные по освоению приложения.

Одно из лидирующих мест таких программ занимает 3D Studio MAX. В силу своих возможностей и доступности в освоении эта программа сегодня имеет наибольшее количество поклонников, как среди любителей, так и среди профессионалов. Осталось очень мало сфер деятельности человека, связанных с 3D графикой, в которых не используется 3D Studio MAX.

3D Studio MAX – объектно-ориентированная программа, т.е. всё, что создается в программе, является объектами. Объекты разделяются на несколько групп. Перечислим эти группы и приведем краткую характеристику:

а) *Параметрические и редактируемые объекты.* Все геометрические объекты программы 3D MAX можно разделить на две категории: параметрические и редактируемые. *Параметрические объекты* – это объекты, которые определяются совокупностью установок или параметров, а не являются описанием его формы. Проще говоря, такие объекты можно контролировать при помощи параметров на командной панели программы. Изменение значений параметров модифицирует геометрию самого объекта. Такой подход позволяет гибко управлять размерами и формой объектов.

Редактируемые объекты – это объекты, которые получаются путем преобразования других типов объектов. После преобразования параметрического объекта в другой тип, он теряет все свои параметрические свойства и не может быть изменен путем указания параметров. В то же время редактируемый объект приобретает свойства, недоступные параметрическому – возможность редактирования на уровне подобъектов.

б) *Составные объекты.* Составной объект является типом параметрического объекта, в параметры которого входят объединяемые объекты и описание способов их объединения.

в) *Объекты форм.* Объекты форм создаются, как исходная геометрия для построения других более *сложных объектов*, а также в качестве путей анимации. Кроме линий, которые создаются путем построения вершин в окнах проекций, все остальные формы являются параметрическими объектами.

г) *Полигональные объекты.* Полигональными являются объекты, основанные на сетке полигонов, из которых состоит поверхность этих объектов. Они похожи на объекты ре-

дактируемой поверхности, но обладают уникальными свойствами.

д) *Объекты сеток Безье.* Поверхности Безье, состоят из четырехугольных (реже треугольных) фрагментов или лоскутов, основанных на сплайнах, которые управляются при помощи манипуляторов Безье.

е) *NURBS-объекты или В-сплайны.* NURBS – это поверхности или кривые, форма которых описывается неоднородными рациональными В-сплайнами. В зависимости от типа NURBS-поверхности могут строиться с использованием управляющих вершин или контрольных точек, лежащих на поверхности. Такие поверхности являются идеальным инструментом для построения форм органического происхождения: с ними легко работать, они имеют хороший интерактивный контроль, позволяют создавать бесшовные поверхности и остаются сглаженными даже на криволинейной поверхности.

Помимо огромного количества объектов и средств редактирования, 3D Studio MAX предоставляет возможности автоматизации. Одним из средств является возможность создания и выполнения макросов. Язык MAXScript – это полноценный язык макропрограммирования, с помощью которого можно автоматизировать многие аспекты работы с MAX, включая создание и анимацию объектов. Он предоставляет инструменты, с помощью которых можно решать сложные задачи программирования работы 3D Studio MAX.

Заключение

Таким образом, в дальнейшем будет решаться задача по внедрению пакета 3D Studio MAX в области геологии, геофизики, бурения скважин и сейсморазведки. В данной работе ставится задача углубленного изучения разнообразных объектов используемых в этих областях промышленной деятельности, а также исследовать возможности использования программы 3D Studio MAX для их визуального моделирования. Для эффективного использования этой программы, необходимо изучить возможности взаимодействия программ написанных на языках *Delphi* и *Builder* с программой 3D Studio MAX. Для этого необходимо создать модули, которые будут:

- Передавать в соответствующем виде данные сейсморазведки и результатов их обработки в программу 3D Studio MAX, для их визуализации в трехмерном пространстве;
- формировать макросы, для автоматизации процесса построения необходимых изображений;

- на основе подготовленных данных и макросов заставят программу 3D Studio MAX формировать изображения.

Список литературы

1. Г. Н. Боганик, И. И. Гурвич. Сейсморазведка: учебник для вузов — Тверь: АИС, 2006. — 744 с.: ил.
2. В. А. Верстак. 3D Studio MAX 8. Секреты мастерства - СПб: Питер, 2006. - 627 с.: ил.
3. М. Петерсон. Эффективная работа с 3D Studio MAX 2 - СПб: Питер, 1999. - 656 с.: ил.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Арефьева Е.А.

Научный руководитель: Козлецов А.П., к.т.н., доцент
Саратовский государственный технический университет,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
E-mail: el-arefeva@yandex.ru

В современном мире мы повсюду сталкиваемся с системами массового обслуживания. Это могут быть кассы, ремонтные мастерские, станки на производстве, телефонные станции, парикмахерские и т.п. Как при этом определить руководителю организации, сколько каналов обслуживания нужно, чтобы справиться с работой, при минимуме простоев?

Смоделировать и проанализировать работу систем массового обслуживания (СМО) для последующей оптимизации позволяет программное обеспечение имитационного моделирования таких систем.

В настоящее время в области имитационного моделирования СМО существует большое количество различных программ. На современном рынке компьютерного моделирования можно выделить такие среды, как Arena, P romodel, S imul8, Witness, AnyLogic. Среди отечественных инструментов имитационного моделирования известна разработанная фирмой XJ Technologies (Санкт-Петербург) система AnyLogic. Данные программы достаточно хорошо развиты и отличаются только самой структурой пакета и способом создания модели.

Однако у этих сред существуют и недостатки. Во-первых, у зарубежных систем отсутствует поддержка русского языка. Во-вторых, широкая специализация, в результате чего заказчик при покупке программы вынужден платить за те возможности, которыми пользоваться не будет. В-третьих, пакет AnyLogic обычно предлагает не один, а множество путей разработки модели и для эффективного выбора из этого спектра нужен некоторый опыт. Еще одним недостатком систем является сложность их использова-

ния. Для овладения инструментами иногда необходим специальный курс обучения.

С целью устранения вышеперечисленных недостатков в рамках дипломной работы создается своя система анализа СМО.

Объектом автоматизации является автосервисный центр. Основное направление деятельности автосервиса – техническое обслуживание автомобилей.

Основная цель создания системы – повышение качества функционирования технического центра за счет:

- сокращения средней длины очереди (не более 3-х ожидающих автомобилей);
- снижения среднего времени ожидания обслуживания в очереди (не более 20 минут);
- уменьшения среднего времени простоя устройств обслуживания (не более 40 минут).

В решении поставленной задачи целесообразно использовать теорию массового обслуживания из-за схожести объекта автоматизации с моделью СМО.

Разработанная программа позволяет пользователю создавать схему СМО в визуальном редакторе блоков (рис. 1).

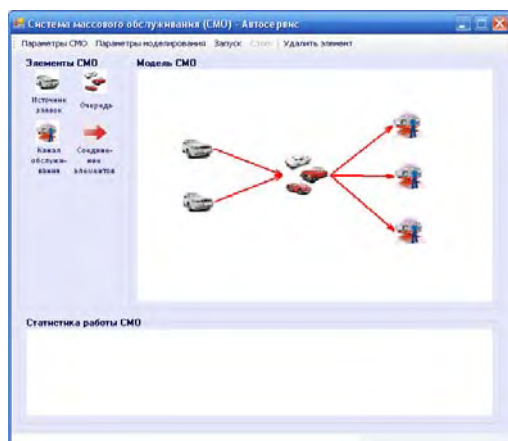


Рис. 1. Создание схемы СМО в визуальном редакторе блоков

При этом возможно построение сложных СМО. Это системы с многофазовым обслуживанием, состоящим из нескольких последовательных этапов, или «фаз».

Дисциплиной обслуживания является дисциплина FIFO («первым пришел – первым ушел»).

Чтобы созданную схему запустить, пользователю необходимо сначала ввести последовательность интервалов времени поступления и обслуживания заявок для каждого источника заявок и каждого канала обслуживания.

Длина очереди ограничена, максимальное количество заявок в очереди задается пользователем. Если очередь достигла максимальной длины, то вновь пришедшая заявка получает отказ в обслуживании. Максимальное время обслуживания заявок также задается пользователем. Если время ожидания обслуживания заявки достигло максимальной величины, то заявка покидает систему, не дождавшись обслуживания.

После задания всех параметров модели вводятся время моделирования и количество реализаций (прогонов) модели.

На основе введенных интервалов времени поступления и обслуживания заявок определяются законы распределения времени (экспоненциальный, нормальный или Пуассона). При этом используются следующие методы:

- метод, проверяющий, подчиняется ли выборка экспоненциальному закону распределения и закону Пуассона, с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

- метод проверки нормальности распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка.

Критерий Колмогорова-Смирнова проверяет гипотезу, что некоторая случайная величина имеет заданное распределение. Гипотеза отвергается, если статистика критерия превышает квантиль распределения задан-

ного уровня значимости, и принимается в противном случае [1].

Согласно критерию Шапиро-Уилка, если статистика критерия меньше табличного значения критерия значимости статистики при заданном уровне значимости, то нулевая гипотеза о нормальности распределения отклоняется при заданном уровне значимости [2].

При запуске моделирования временные интервалы прихода и обслуживания заявок генерируются с помощью датчика случайных чисел и на основании закона распределения, найденного с помощью вышеперечисленных критериев. При этом для генерации интервалов времени используются не стандартные процедуры, входящие в состав библиотеки языка программирования, а более эффективный сложный алгоритм. Это алгоритм, представляющий собой комбинацию нескольких методов и сочетающий генератор «Xorshift», линейный конгруэнтный генератор и метод умножения с переносом (Multiply with carry, MWC) [3].

Процесс моделирования осуществляется по следующему циклу: программа находит очередное системное событие, которое необходимо обработать (событие с минимальным значением времени наступления). Если это новое требование, то нужно сгенерировать время прихода следующей заявки для данного источника. При наличии свободных устройств необходимо передать заявку и получить время окончания обслуживания, иначе – поставить в очередь или отказать в обслуживании (если очередь достигла максимальной длины).

Если ближайшее событие – окончание обслуживания, то при отсутствии очереди освободить устройство, иначе – выбрать требование из очереди в соответствии с ее дисциплиной, передать его на обслуживание, сгенерировать время окончания обслуживания для выбранного устройства.

После обработки очередного системного события необходимо изменить модельное время. Условием завершения цикла является превышение времени моделирования.

В процессе моделирования пользователь может просмотреть графики анализа работы СМО, а именно:

- график изменения длины очереди со временем (рис. 2);

- график загруженности устройств обслуживания в каждый момент времени на протяжении всего времени моделирования (рис. 3).

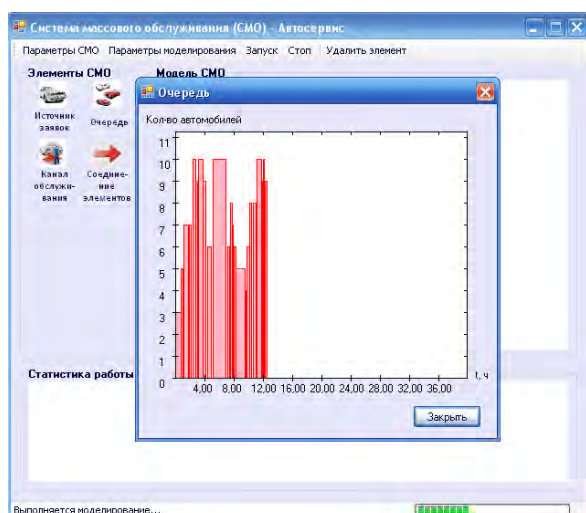


Рис. 2. График изменения длины очереди со временем

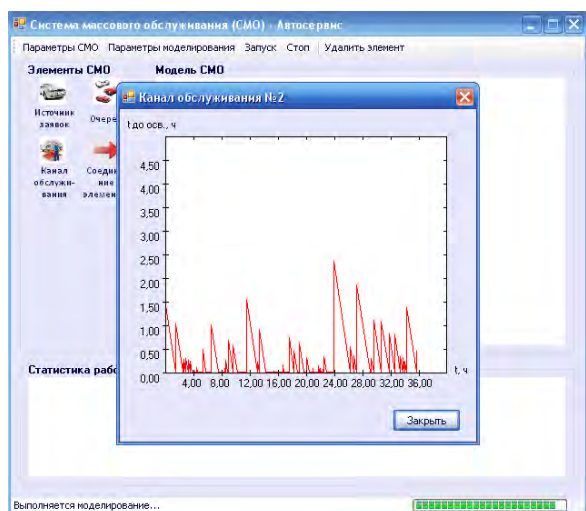


Рис. 3. График загрузки устройств обслуживания

Программа предоставляет возможность на основании результатов моделирования вы-

числять основные характеристики СМО, а также производить расчет некоторых средних показателей СМО по формулам. К числу показателей работы системы относятся:

- количество обслуженных заявок;
- количество заявок, которым отказано в обслуживании;
- количество заявок, побывавших в очереди;
- среднее время ожидания обслуживания;
- среднее время обслуживания заявок;
- среднее время простоя обслуживающих устройств.

Система обеспечивает расчет прогнозных значений этих показателей при изменении структуры системы.

Таким образом, разработанная программа позволяет моделировать процесс прохождения потока заявок по каналам обслуживания, процессы ветвления и объединения потоков, а также процесс отказа заявок в обслуживании. В дальнейшем возможно модернизировать систему, предусмотрев проведение исследования в программе других типов СМО.

Список литературы

1. Боровков А.А. Математическая статистика. Оценка параметров. Проверка гипотез. / А.А. Боровков. – М.: Наука, 1984. – с. 366-367.
2. Shapiro S.S. An analysis of variance test for normality / S.S. Shapiro, M.B. Wilk. – Biometrika, 1965. – p. 591-611.
3. Press W.H. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing / W.H. Press, S.A. Teukolsky, W.T. Vetterling. – Cambridge University Press, 2007. – p. 351-352.

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Березняк О.В., Шалаев Ю.Н.

Научный руководитель: Шалаев Ю.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: include@sibmail.com

Существенной частью многих задач современной теории систем является необходимость провести идентификацию или моделирование систем [1].

Для управления объектом необходимо иметь модель в виде математического описания, устанавливающего связь между входными и выходными переменными в форме, на основе которой может быть выбран закон

управления, обеспечивающий заданное функционирование объекта.

Результатом решения задачи идентификации являются исходные данные для проектирования систем управления, не располагая которыми часто нельзя выполнить ни оптимизации, ни синтеза регуляторов, ни анализа систем управления.

Идентификацией динамического объекта (процесса) называется определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат модели и объекта при одинаковых входных воздействиях [2].

Задача оценки параметров динамической системы сводится к нахождению:

- формальной структуры модели;
- конструктивных параметров объекта управления;
- неизвестных параметров модели системы управления.

Динамику системы управления успешно описывают с помощью дифференциальных и интегральных уравнений

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^{i-n}}{dt^{i-n}} y(t) = \sum_{j=0}^m b_j \frac{d^{j-m}}{dt^{j-m}} u(t), \quad (1)$$

Формальная структура системы управления на основании многих источников определена в виде дифференциального уравнения (1). Оператор идентификации объекта управления запишем в виде передаточной функции

$$W(s) = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (2)$$

Таким образом, задача оценки параметров передаточной функции по виду переходного процесса системы управления $h(t)$ сводится к оценке конструктивных параметров передаточной функции (2), при этом $m < n$ и нахождению неизвестных параметров модели $a_i (i = \overline{0, n-1})$ и $b_j (j = \overline{0, m})$.

Находим время переходного процесса t_0 от момента включения системы до момента, когда модуль отклонения переходного процесса от установившегося значения не превосходит заданной величины зоны нечувствительности.

Для нахождения весовой функции системы $w(t)$ воспользуемся дифференциальной связью между весовой и переходной функциями

$$w(t) = \frac{d}{dt} h(t). \quad (3)$$

В области изображающих векторов соотношение (3) запишется как

$$w = DH$$

Аналитический вид весовой функции

$$w(t) = (w, T(t)), \quad (4)$$

получается как скалярное произведение изображающего вектора на вектор ортогональных полиномов Чебышёва [3].

Для оценки нулей передаточной функции вводится постоянный коэффициент $c > 1$ и на интервале от 0 до t_0 по соотношению $w(t)w(ct) < 0$ оценивается порядок числителя передаточной функции (2), т. е. количество подынтервалов, на которых находятся нули весовой функции $w(t)$.

По весовой функции (3) получаем числовую характеристику передаточной функции, для этого воспользуемся интегральным преобразованием Лапласа

$$W(g_i) = \int_0^{\infty} w(t) \exp(-g_i t) dt, \quad (5)$$

где g_i – вещественный параметр на интервале $[0, t_0]$; $W(g_i)$ – оператор системы управления.

Оператор системы управления (1) для вещественной переменной g запишется как

$$W(g) = \frac{b_m g^m + b_{m-1} g^{m-1} + \dots + b_1 g + b_0}{g^n + a_{n-1} g^{n-1} + \dots + a_1 g + a_0}, \quad (6)$$

где $a_i (i = \overline{0, n-1})$, $b_j (j = \overline{0, m})$ – коэффициенты передаточной функции.

Для оценки конструктивных параметров n , m воспользуемся уравнениями (5, 6) и предельным соотношением

$$\lim_{g \rightarrow \infty} \frac{W(g)}{W(c^* g)} = c^{n-m}. \quad (7)$$

Из полученного соотношения (7) находится оценка конструктивных параметров

$$n - m = \frac{\ln c^{n-m}}{\ln c}. \quad (8)$$

В результате введенных допущений при оценке параметров n , m получается вещественное число, содержащее целую часть и мантиссу. Мантиссу полученного выражения принимаем за единицу и прибавляем к целой части. Таким образом, задача нахождения конструктивных параметров n , m решена.

Для нахождения коэффициентов передаточной функции необходимо решить систему линейных алгебраических уравнений порядка $n+m+1$ следующего вида:

$$g_k^n W(g_k) + W(g_k) \sum_{i=0}^{n-1} a_i g_k^i - \sum_{j=0}^m b_j g_k^j = 0, \\ k = \overline{0, n+m+1}.$$

По найденным коэффициентам a_i, b_j и конструктивным параметрам n и m записываем передаточную функцию исследуемой системы.

Необходимо отметить, что переходной процесс (1) может быть на выходе нестационарной и нелинейной динамических систем. Изложенный метод оценки параметров динамических систем позволяет аппроксимировать эти системы передаточными функциями линейных динамических систем.

Для наглядности изложенного материала обратимся к классу функций, в которых порядок числителя $m=0$

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^{i-n}}{dt^{i-n}} y(t) = ku(t)$$

Рассмотрим динамическую систему второго порядка. Время переходного процесса выбранной системы равно $t_0=1$.

Зададим выходной сигнал $y(t)$ в виде произвольной функции перемещения объекта управления по заданным координатам. Для получения изображающего вектора произвольного выходного сигнала Y на интервале времени $[0, t_0]$ воспользуемся соотношением перехода от точечного изображающего вектора к изображающему вектору Y следующего вида:

$$Y = 2/pQ^T Y(\tau_k)$$

где p – порядок полинома Чебышёва.

В рассматриваемом примере $p=6$, а точечный изображающий вектор $Y(\tau_k)=\{y(\tau_k)\}$, представляющий собой вектор, элементы которого есть значения функции $y(t)$ в нулях первого из отброшенных полиномов Чебышёва, выглядит следующим образом:

$$Y(\tau) = \begin{pmatrix} 0.057 \\ 1.506 \\ 0.844 \\ 0.925 \\ 1.023 \\ 0.980 \end{pmatrix}$$

Тогда Y равен

$$Y = \begin{pmatrix} 1.257 \\ -0.190 \\ -0.211 \\ -0.312 \\ -0.375 \\ -0.220 \end{pmatrix}$$

Далее по формуле (4) найдем скалярное произведение изображающего вектора Y на вектор полинома Чебышёва $T(\tau)[4]$ и получим

$$w(\tau) = 30.682\bar{\tau} - 164.570(\bar{\tau})^2 + 352.024(\bar{\tau})^3 - 329.124(\bar{\tau})^4 + 112.432(\bar{\tau})^5 - 0.428$$

По формулу (5) получим значения $W(g_i)$ и $W(g_{i+1})$ при $g_i = 1$, $g_{i+1} = c \cdot g_i$, где постоянный коэффициент $c = 2$

$$W(g_i) = 0.625;$$

$$W(g_{i+1}) = 0.428.$$

Оценка параметра κ проводилась по формуле (8) и показала неудовлетворительный результат

$$\kappa = 0.546.$$

Аналогично по формулам (5) и (8) определено значение оценки параметра $\kappa = 1.005$ при $g_i = 3$ и $\kappa = 1.673$ при $g_i = 10$.

Полученные результаты показывают, что с увеличением числа g_i оценка параметра приближается к истинному значению.

Также проведены расчеты для динамической системы третьего порядка и получено значение $\kappa = 2.732$ при $g_i = 10$.

Предложенный метод идентификации динамических объектов позволяет оценивать конструктивные параметры для динамических систем, а расчеты практических примеров показали высокое приближение к исходным параметрам и правильность теоретических положений.

Список литературы

1. Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. Идентификация систем управления. – М.: Наука, 1974. – 248 с.;
2. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник: в 5 т. Т.2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 638 с.;
3. Шалаев Ю.Н. Моделирование нестационарных динамических систем методом изображающих векторов // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7. – С. 44-47.;
4. Шалаев Ю.Н. Моделирование краевой задачи нестационарных динамических систем // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 3120. – №5. – С. 36 – 38.

ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ И РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ

Буй Т. Т. Ч., Спицын В.Г.

Научный руководитель: Спицын В.Г., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

Email:ioz_vn@yahoo.com

Введение

Как известно, в настоящее время во многих областях знания используются цифровые изображения. Поэтому цифровая обработка изображений играет важную роль. Интерес к методам цифровой обработки изображений обусловлен проблемой повышения качества изображений при их хранении, передаче и представлении в автономных системах машинного зрения. Существующие методы повышения качества изображений в зависимости от специфики изображения, как правило, являются эмпирическими.

В данной работе рассмотрены методы для удаления шумов на основе применения вейвлет-фильтрации.

Основными источниками шума на цифровом изображении являются как процесс получения изображения, так и процесс его передачи.

1. Удаление шумов

1.1. Вейвлет-преобразование

Вейвлеты представляют собой особые функции в виде коротких волн (всплесков) с нулевым интегральным значением и с локализацией по оси независимой переменной (t или x), способных к сдвигу по этой оси и масштабированию (растяжению/сжатию). Вейвлет-преобразование (ВП) одномерного сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла Фурье по системе базисных функций [1].

Непрерывное вейвлет-преобразование (Continuous Wavelet Transform, CWT) квадратично-интегрируемой функции $f(x)$ относительно вещественнозначного базового вейвлета $\psi(x)$ задается формулой:

$$W_{\psi}(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \psi_{s, \tau}(x) dx,$$

где

$$\psi_{s, \tau}(x) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \psi\left(\frac{x - \tau}{s}\right),$$

и параметры $s > 0$, τ называется, соответственно, параметрами масштаба и сдвига [2].

Разложение в вейвлет-ряд ставит в соответствие функции непрерывного аргумента

некоторую последовательность коэффициентов. В этом случае, когда подлежащая разложению функция является последовательностью чисел, таких как отсчеты непрерывной функции $f(x)$, получаемая последовательность коэффициентов называется дискретным вейвлет-преобразованием (Discrete Wavelet Transform, DWT) функции $f(x)$ [1].

1.2 Удаление шумов при помощи DWT

Изображение претерпевает вейвлет-преобразование, фильтрацию и обратное вейвлет-преобразование (рис.1) [4].



Рис. 1. Обобщенная схема подавления шума на основе преобразования

Первоначально изображение в формате RGB-кодирования, переводится в цветное пространство YUV. Входным сигналом является яркостная составляющая изображения.

В отличие от преобразования Фурье, имеющего всего одну координату образа – частоту и одну область – частотную и две базисных функции, вейвлет-преобразование имеет две координаты образа – частоту (масштаб) и временную (частотно-временную), а также несколько базисных функций. И в этом случае, вейвлет-преобразование – это двумерное дискретное вейвлет-преобразование.

Фильтрация применяется для того, чтобы удалять шумы в изображениях. Вейвлет-коэффициенты высокочастотных компонентов включают шумы. Коэффициенты подвергаются пороговому преобразованию, это означает выбор некоторого значения порога и применение порогового преобразования к коэффициентам в масштабах. При этом можно использовать как жесткое пороговое преобразование, так и мягкое пороговое преобразование [1].

Обратное вейвлет-преобразование будет производиться по интегральной формуле.

После обратного вейвлет-преобразования изображение переводится в формат RGB-

кодирования. Результатом является изображение, полученное после удаления шумов.

2. Существующие подходы для повышения качества изображений

Методы обработки изображения могут существенно различаться в зависимости от того, каким путем изображение было получено - синтезировано системой машинной графики, либо путем оцифровки черно-белой или цветной фотографии или видео. Обработка изображений отвечает за преобразование (фильтрацию) изображений. Примерами могут служить повышение контраста, резкости, коррекция цветов, сглаживание. Задачей обработки изображения может быть как улучшение (восстановление, реставрация) изображения по какому-то определенному критерию, так и специальное преобразование, кардинально меняющее изображение [10].

Peng-Lang Sui использует LocalWiener фильтрацию, которая является эффективным методом для удаления шумов изображений [7]. Результаты эксперимента показывают, что предложенный алгоритм работоспособен.

В работе [8] описан метод для удаления аддитивного Гауссовского шума на цифровых изображениях. Он основан на статистическом моделировании с целью нахождения излишних коэффициентов сложного многомасштабного преобразования.

В статье [9] предлагает новый алгоритм для уменьшения шума Пуассона на цифровых изображениях на основе применения современной статистической модели вейвлета. Рассматривается эффективный метод для оценки параметров модели на основе сопоставления с тестовой выборкой и решается задача ортонормальной оптимизации и трансляции инвариантов вейвлета.

Оценка качества подавления шума

Правило оценки: на незашумленное изображение накладывается искусственный шум, затем полученное изображение фильтруется алгоритмом шумоподавления и сравнивается с исходным с помощью какой-нибудь метрики. Чаще всего для этой цели используют метрику PSNR (peak signal-to-noise ratio - пиковое соотношение сигнал/шум), которая определяется формулой:

$$PSNR(x, y) = 20 \cdot \log_{10} \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(x_i, y_i)^2}},$$

где x_i, y_i - i -е пиксели двух сравниваемых изображений, N - общее число пикселей на каждом изображении, а $d(x_i, y_i)$ - разность ме-

жду цветами соответствующих пикселей (для оттенков серого это просто разность значений пикселей, а для цветных изображений - евклидово расстояние между пикселями в трехмерном цветовом пространстве)[10].

Заключение

Проанализированы существующие подходы для повышения качества изображений. Описанные методы позволяют бороться с шумами на цифровых изображениях на основе применения вейвлет-преобразования. На следующем этапе работы предполагается создание алгоритма вейвлет-фильтрации и осуществление его программной реализации средствами C# с использованием дискретного вейвлет-преобразования для уменьшения значений вейвлет-коэффициентов небольшой амплитуды.

Список литературы

1. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования. Учебное пособие. Новосибирск, Издательство НГТУ, 104с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. - 1070с.
3. Спицын В.Г., Цой Ю.Р. Чернявский А.В., Белоусов А.А., Сидоров Д.В. Улучшение качества изображений на основе применения эволюционирующей нейронной сети, вейвлет-преобразования и генетического алгоритма // Труды 9-й Международной конференции — Цифровая обработка сигналов и ее применение, 28-30 марта 2007, Москва, 2007. С. 570-574.
4. Белоусов А.А., Спицын В.Г., Сидоров Д.В. Применение генетических алгоритмов и вейвлет-преобразований для повышения качества изображений // Известия Томского политехнического университета, Т. 309. № 7. 2006. С. 21-26.
5. Цой Ю.Р., Спицын В.Г., Чернявский А.В. Способ улучшения качества монохромных и цветных изображений, основанный на применении эволюционирующей нейронной сети // Информационные технологии, 2006, № 7, С. 27-33.
6. Цой Ю.Р. Приближенное вычисление локальных среднего и дисперсии для обработки цифровых изображений // Информационные технологии, № 4, 2007, С. 28 – 32.
7. Peng-Lang Sui. Image Denoising A lgorithm via Doubly Local Wiener Filtering With Directional Windows in Wavelet Domain. //IEEE Transactions on Signal Processing Letters, Vol. 12, no. 12, October 2005, pp. 681-684.
8. Mark Miller, Nick Kingsbury. Image Denoising Using Derotated Complex Wavelet Coef-

ficients.//IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 17, no. 9, September 2008, pp.1500-1511.

9. Juan Liu, Pierre Moulin. Translation Invariant Wavelet Denoising of Poisson Data.//Conference on Information Sciences and

System, The Johns Hopkins University, March 21-23, 2001.

10. Компьютерная Графика и Мультимедиа. Сетевой журнал. Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/74>, свободный.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА MATLAB ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Бурцев К.Ю., Веремеенко Е.С.

Научный руководитель: Марков Н.Г., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aktivdarksecta@mail.ru

В рамках исследований алгоритмов и методов классификации аэрокосмических изображений (АКИ) приходится производить множество вычислений, в основе которых лежат сложные математические процедуры. На сегодняшний день система MATLAB компании MathWorks является наиболее мощным инструментом обработки изображений, в том числе полученных со спутников или с помощью аэрофотосъемки. В программу интегрированы вычисления, визуализация и программирование в удобной форме, задачи и их решения выражаются с помощью привычных математических обозначений.

Одноименный с системой язык MATLAB является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

В базовый набор системы входят спецзнаки, знаки арифметических и логических операций, арифметические, алгебраические, тригонометрические и некоторые специальные функции, функции быстрого преобразования Фурье и фильтрации, векторные и матричные функции, средства для работы с комплексными числами, операторы построения графиков в декартовой и полярной системах координат, трехмерных поверхностей и т. д.

Дополнительный уровень системы образуют ее пакеты расширения (toolbox) в виде наборов специализированных программ. Они позволяют быстро ориентировать систему на решение задач в той или иной предметной области. Для решения задач обработки изображений используется пакет Image Processing Toolbox (IPT).

Функции IPT, а также широкие возможности языка MATLAB делают многие сложные операции по обработке изображений вполне доступными, их можно записать в весьма ясной и краткой форме, от чего система MATLAB становится идеальной средой для создания приложений обработки изображений.

В IPT реализованы функции геометрического преобразования изображений. К наиболее распространенным из них относятся кадрирование (imcrop), изменение размеров (imresize) и поворот изображения (imrotate). Для анализа изображений используются такие функции как imhist (построение гистограммы распределения интенсивностей пикселей), mean2 (вычисление среднего значения элементов матрицы), corr2 (расчет коэффициентов корреляции). Среди встроенных функций, которые реализуют наиболее известные методы улучшения изображений, стоит выделить следующие – histeq (получение равномерной гистограммы) и imadjust (коррекция динамического диапазона).

Пакет Image Processing Toolbox обладает очень мощным инструментарием по фильтрации изображений.

Функция fspecial задает маску предопределенного фильтра. Она позволяет формировать маски: высокочастотного фильтра Лапласа; усредняющего низкочастотного фильтра; фильтра, повышающего резкость изображения.

Среди встроенных функций пакета Image Processing Toolbox, которые применяются при решении задач сегментации изображений, следует отметить qtdecomp (сегментацию изображения методом разделения и анализа однородности не перекрывающихся блоков), edge (выделение границ) и rgbcolor (бинаризация по заданным цветам).

Пакет IPT поддерживает следующие типы изображений:

- полутоновые изображения;
- индексированные изображения;
- цветные изображения RGB.

Для цветных изображений применяются следующие типы операций: преобразование (отображение) цветов, раздельная пространственная обработка цветовых плоскостей, обработка цветовых векторов.

Первая категория обрабатывает пиксели каждой цветовой плоскости, основываясь исключительно на их значениях, без учета пространственных координат. Методы второй категории основаны на пространственной (окрестностной) фильтрации отдельных цветовых плоскостей. К третьей категории относятся методы, которые совершают обработку компонент цветного изображения как единого целого.

Из представленного материала видно, что пакет прикладных программ Image Processing Toolbox обладает мощным инструментарием для обработки и анализа цифровых изображений.

Что касается современных алгоритмов классификации АКИ, то для их реализации имеется широкий функционал. В среде представлены алгоритмы нахождения максимального и минимального элемента статистической выборки, средних, срединных значений и стандартных отклонений случайных величин, функции вычислений коэффициентов корреляции и матриц ковариации. Широки возможности аппроксимации и интерполяции исходных данных, а также методы оценки статистической погрешности этих процедур. В системе также представлены функции, на которых строится математическая основа методов непараметрической статистики и теории нечетких множеств. Данные операции реализуются с помощью пакета NAG Foundation Toolbox.

Для передачи изображений и видео в систему MATLAB со сторонних устройств захвата применяется специальный пакет Image Acquisition Toolbox. Присутствие этого модуля облегчает работу по загрузке данных в систему.

Пакет Neural Network Toolbox обеспечивает всестороннюю поддержку проектирования, обучения и моделирования множества известных сетевых парадигм, от базовых моделей перцептро-на до самых современных ассоциативных и самоорганизующихся сетей.

Расширение Fuzzy Logic Toolbox обладает простым и хорошо продуманным интерфейсом, позволяющим легко проектировать и диагностировать нечеткие модели. Обеспечивается поддержка современных методов

нечеткой кластеризации и адаптивные нечеткие нейронные сети, что также применимо для классификации АКИ.

Wavelet Toolbox – это открытый, дружелюбный для пользователя пакет расширения MatLab, позволяющий синтезировать всевозможные алгоритмы обработки данных, в том числе изображений, с использованием вейвлет-функций.

MATLAB представляет собой среду программирования, специально разработанную для выполнения операций над массивами, а изображения представляются именно в виде массивов. Для оптимизации обработки массивов в среде есть такие функции, как векторизация циклов и предварительное заполнение. Под векторизацией программ подразумевается преобразование циклов в эквивалентные векторные и матричные операции. Векторизация приводит к существенному выигрышу по скорости вычислений, а также повышает «читаемость» программного кода. Предварительное заполнение заключается в том, что место под массивы выделяется сразу при их создании, что позволяет уменьшить фрагментацию памяти при работе с большими массивами.

MATLAB – расширяемая система, и ее легко приспособить к решению нужных пользователю специфических классов задач. Ее огромное достоинство заключается в том, что это расширение реализуется в виде так называемых m-файлов (с расширением *.m). Иными словами, расширения системы хранятся на жестком диске компьютера и в нужный момент вызываются для использования точно так же, как встроенные в MATLAB (внутренние) функции и процедуры. Благодаря текстовому формату m-файлов, пользователь может ввести в систему любую новую команду, оператор или функцию и затем пользоваться ими столь же просто, как и встроенными операторами MATLAB.

В среде продуманно реализованы механизмы интеграции с другими программными системами. Компилятор MATLAB позволяет из m-функций создавать автономные приложения, C и C++ библиотеки. Расширения компилятора могут создавать дополнения к Excel, компоненты .NET и Java в виде библиотек совместного использования.

Для создания библиотек совместного доступа можно использовать собственный компилятор Lcc C, либо любой внешний 32-разрядный C/C++ компилятор, например, Borland C++ Compiler или Microsoft Visual C/C++ Compiler. Для настройки конфигураций внешних компиляторов MATLAB содержит в себе утилиту mbuild, которая предоставляет

простое решение по настройке параметров компилятора и компоновщика.

Компилятор создает набор файлов, достаточный для использования, например, в проекте MS Visual Studio в виде динамически подключаемых библиотек. Всё что требуется, это добавить в проект файлы библиотеки DLL, заголовочный файл и файл экспорта, а также провести соответствующую инициализацию библиотеки.

Такой подход позволяет соединять удобство программирования сложных математических процедур в система MATLAB с удобными графическими интерфейсами приложений созданными такими средами разработки как, например, MS Visual Studio.

MATLAB работает на большинстве современных операционных систем, включая GNU/Linux, Mac OS, Solaris и Microsoft Windows, что снимает ограничения при выборе операционной системы.

Список литературы

1. Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс, Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М: Техносфера, 2006.
2. Н.К. Смоленцев: MATLAB: программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA. Учебный курс, Изд-во: Питер, 2009.

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ АСУ ТП ОБЪЕКТОВ СБОРА И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ

Ганджа Т.В., Гиркин Н.А.

Научный руководитель: Дмитриев В.М., д.т.н., профессор

ТУСУР, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 40

E-mail: nikitagirkin@mail.ru

В данном докладе дается описание текущего уровня автоматизации НГДУ «Талаканнефть» ОАО «Сургутнефтегаз», определяются задачи разработки и внедрения системы моделирования технологических процессов, формулируются требования к ее структуре и функциональности, определяются потоки обмена данными с действующей АСУ ТП объектов сбора и подготовки нефти и газа.

В составе программного обеспечения АСУ ТП НГДУ «Талаканнефть» используются различные SCADA-системы, в том числе АСУ ТП Стационарного объекта (разработка ПУ «СургутАСУнефть»), Wonderware InTouch, Simatic WinCC, Adastrа TraceMode, Metso Automation, «ЗАО» «Космотроника».

Значения основных технологических параметров по большинству систем передаются на сервер ОКО ЦИТС НГДУ «Талаканнефть» по протоколу SOI2, где сохраняются в базе данных и становятся доступны для просмотра через WEB-сервер Apache для клиентских WEB-приложений в корпоративной Intranet-сети.

Перечислим основные возможные задачи разработки и внедрения системы моделирования в составе действующих АСУ ТП объектов сбора и подготовки нефти.

1. Расчет в реальном времени и отображение на АРМ неизмеряемых датчиками значений технологических параметров для повышения информирования оператора АРМ.

Сигнализация резких отклонений значений расчетных технологических параметров от требуемого режима (порыв, засорение, замерзание трубопроводов, нарушение теплоизоляции и т.д.)

2. Периодический расчет на заданную глубину в будущее и отображение на АРМ прогнозных значений технологических параметров для информирования оператора АРМ о возможном отклонении технологического процесса в будущем (Прогноз развития технологической аварии.).

3. Определение оптимальных значений параметров технологического процесса (автоматизированный подбор расхода реагентов, параметров оборудования, коэффициентов ПИД-регуляторов).

Определим требования к структуре подсистемы моделирования.

1. Система моделирования должна функционировать независимо от связанных с ней АСУ ТП. Предпочтительно использовать отдельно стоящий сервер. Кратковременный сбой или отключение сервера моделирования не должны приводить к нарушению работы других АСУ ТП, но индексироваться на АРМ операторов.

2. Система моделирования должна осуществлять ввод оперативных данных с контроллеров и SCADA-систем локальных АСУ ТП по различным протоколам обмена по Ethernet TCP/IP. Вывод значений расчетных

параметров данных на WEB-сервер ОКО ЦИТС и в SCADA-системы локальных АСУТП для вывода на экраны АРМ должен также осуществляться по различным протоколам обмена по Ethernet TCP/IP.

3. Для работы системы моделирования должно быть достаточно вычислительной мощности серверов, используемых в АСУ ТП НГДУ «Талаканнефть». Типовая конфигурация сервера: ОС Windows 2003 Server, 2 двухядерных процессора 3200МГц; 4Гб ОЗУ.

4. Система моделирования должна предоставлять удобный графический интерфейс описания топологии технологической схемы, привязки значений входных и выходных параметров, переключение между формулами модели. Наиболее удобным является WEB-интерфейс с возможностью защищенного паролями доступа с любой ПЭВМ корпоративной сети. Возможна установка отдельных клиентских приложений под Windows, устанавливаемых на ПЭВМ корпоративной сети или на АРМ АСУТП.

При изменении технологического процесса объектов автоматизации путем включе-

ния/исключения из него различного технологического оборудования (сепараторы, смесители, теплообменники, байпасные трубопроводы) путем открытия/закрытия механических задвижек и клапанов необходимо учитывать данное изменение в используемой модели расчета. Для этого необходимо реализовать удобный интерфейс ввода значений ряда параметров модели с АРМ АСУ ТП.

5. В системе моделирования должна быть разработана подсистема расчета коэффициентов модели (корректирующая подсистема), которая должна обеспечивать согласование данных модели с реальными. В качестве контрольных параметров могут использоваться избыточные измеряемые значения технологических параметров, регистрируемые датчиками АСУТП с заданной периодичностью, а также лабораторные данные, вводимые с АРМ АСУ ТП.

Схема потоков данных системы моделирования в составе АСУ ТП представлена на рисунке 1.

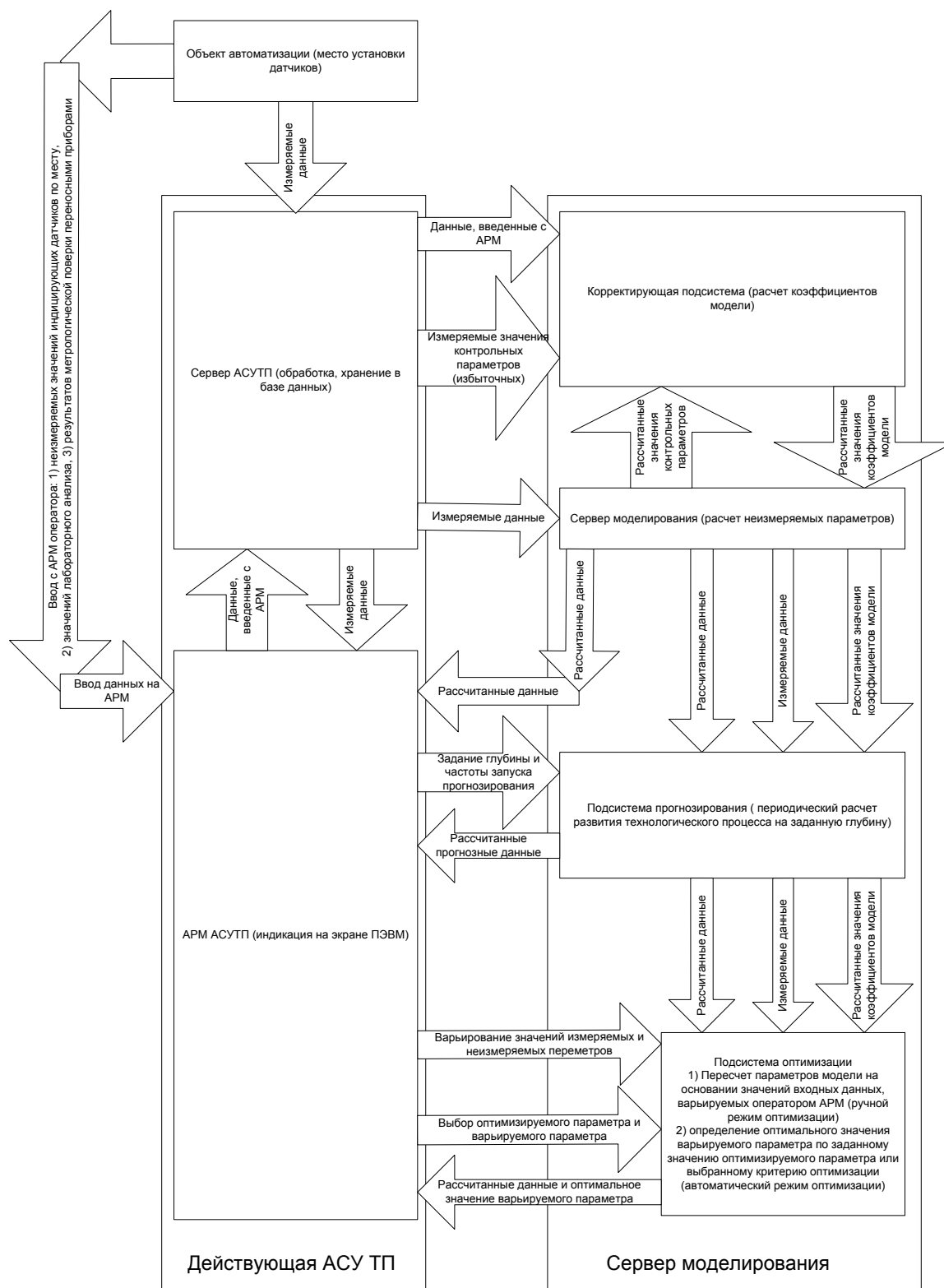


Рис.1 Схема потоков данных системы моделирования в составе АСУ ТП

Перечисленные задачи внедрения системы моделирования в АСУ ТП объектов подготовки нефти и газа и требования к функциональности не являются исчерпывающими. Действующие АСУ ТП отличаются протоколами обмена данными, объемом и скоростью

обновления значений параметров, технологическими схемами объектов сбора и подготовки нефти и газа. В каждом случае задачи внедрения системы моделирования должны корректироваться. Соответственно должна корректироваться схема потоков данных.

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Н. С. Дикий

Научный руководитель: В. Г. Спицын, д.т.н., профессор

Томский политехнический университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: nikolaydikiy@mail.ru

Введение

В данном докладе будет рассмотрено применение сверточной нейронной сети (СНС) для распознавания образов на изображениях, а также проблемы, связанные с этим и пути их решения.

Архитектура сверточной нейронной сети

В основе сверточных сетей лежат три механизма, позволяющие достичь относительной устойчивости к переносу, масштабированию и незначительным искажениям на изображениях:

Локальное извлечение признаков. Каждый слой сканируется локальным рецептивным окном, причем, положения этого окна могут частично перекрываться во время сканирования. Затем это окно передает взвешенное просуммированное значение всех пикселей связанному с положением этого окна нейрону. Это значение и будет называться локальным признаком. Как только признак извлечен – его точное расположение уже не имеет значения, поскольку установлено его местонахождение относительно других признаков.

Формирование слоев в виде набора карт признаков. Каждый вычислительный слой состоит из множества карт признаков – плоскостей, на которых все нейроны должны использовать одно и то же множество синаптических весов. Такая форма усложняет структуру сети, однако имеет два важных преимущества: инвариантность к смещению, которое достигается с помощью свертки с ядром небольшого размера, и сокращение числа свободных параметров, которое достигается за счет совместного использования синаптических весов нейронами одной и той же карты.

Подвыборка. За каждым слоем свертки следует вычислительный слой, осуществляющий локальное усреднение и подвыборку. За счет этого, достигается уменьшение разрешения для карт признаков. Такая операция приводит к понижению чувствительности выходного сигнала оператора отображения признаков к незначительному смещению и прочим формам деформации [1].

На рис. 1 показан пример архитектуры сверточной нейронной сети.

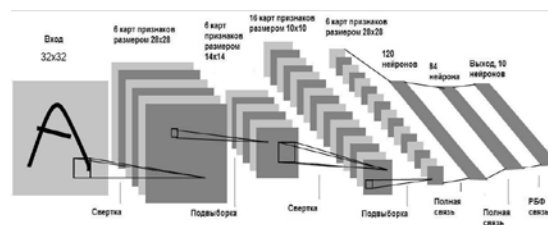


Рис. 2. Архитектура сверточной нейронной сети

Таким образом, сверточные нейронные сети в сравнении с классическими многослойными перцептронами имеют меньшее число свободных параметров за счет использования одинакового множества весов для каждой карты признаков, а также уменьшения числа связей между нейронами. Этот факт позволяет сделать предположение о том, что такие сети должны работать быстрее классических полносвязных многослойных сетей.

Применение СНС для распознавания рукописных цифр

В качестве входных данных для опыта была использована база рукописных цифр MNIST, состоящая из 60000 изображений вариантов написания цифр, которые используются при обучении сети, и 10000 изображений для распознавания. Каждое изображение в этой базе размером 28x28 пикселей.

Сеть, использованная в опыте, состояла из пяти слоев. Входной слой являлся классическим полносвязным слоем и состоял из 841 нейрона, каждый из которых соответствовал определенному пикселю на изображении. Следующий слой – сверточный слой – состоял из 6 карт признаков, каждая из которых размером 13x13 пикселей. Далее был расположен еще один сверточный слой, состоящий из 50 карт признаков, каждая из которых размером 5x5 пикселей. Четвертый, полносвязный, слой состоял из 100 нейронов, и последний, выходной полносвязный слой состоял из 10 нейронов, каждый из которых соответствовал определенной распознаваемой цифре. В качестве алгоритма для обучения сети был выбран алгоритм обратного распространения ошибки.

В результате проведения опыта величина ошибки распознавания составила 1,4%. С

учетом того, что для сходимости процесса обучения затрачивалось в среднем 20-25 эпох, выполнение каждой из которых занимало порядка 40 минут, в общем процесс обучения занимал около 16 часов.

Проблемы нейросетевого распознавания

Исходя из вышеописанного опыта нетрудно выявить проблемы, связанные с нейросетевым распознаванием в общем и с применением сверточных нейронных сетей в частности.

Одной из таких проблем является сравнительно низкое разрешение подаваемых на вход сети изображений, ведь практические задачи распознавания образов, к которым относятся, например, обнаружение дорог на спутниковых изображениях или выявление патологий на медицинских рентгеновских снимках, оперирует гораздо более высокими разрешениями. Если же подать на вход сети такое изображение с высоким разрешением без какой-либо предобработки, то это на порядок увеличит вычислительную сложность нейронной сети.

Решением данной проблемы может стать предварительная сегментация исходного изображения, чтобы задействовать для распознавания не все изображение целиком, а только область с предполагаемым нахождением объекта. Помимо этого на вход нейронной сети можно подать не само изображение, а какое-то его преобразование, такой подход нашел применение в медицинской сфере для распознавания рака груди. Суть этого подхода в том, что исходное рентгеновское изображение предварительно декомпозируется путем вейвлет-преобразования, в результате чего извлекаются частотно-временные признаки изображения [2].

Рис. 2 демонстрирует процесс двухуровневой декомпозиции изображения.

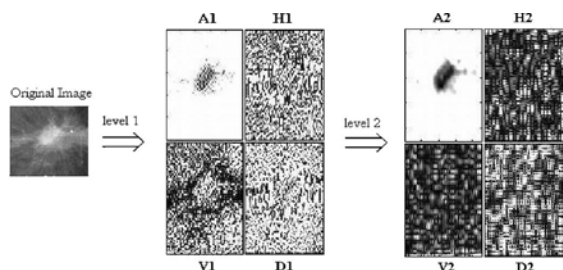


Рис. 3. Процесс декомпозиции исходного изображения

Еще одной проблемой нейросетевого распознавания являются большие временные затраты на обучение нейронных сетей. Как уже было сказано выше, обучение нейронной

сети распознаванию рукописных цифр потребовало около 16 часов. Для решения этой проблемы был предложен подход разделения n -классовой задачи распознавания на n подзадач, каждая из которых занималась бы распознаванием пары классов объектов [3]. К примеру, если взять задачу распознавания цифр, то можно ее разделить на 10 подзадач, каждая из которых будет заниматься распознаванием пары цифр: (0, 1), (1, 2), (2, 3) и так до последней пары (9, 0). Таким образом, исходное изображение цифры будет подаваться на вход десяти нейросетевым классификаторам, которые будут определять принадлежность объекта той или иной паре. Вероятность принадлежности объекта к тому или иному классу в паре классов (i, j) определяется классификатором C_{ij} по формулам:

$$\eta_{ij} = P(i|x) / (P(i|x) + P(j|x)), \quad (1)$$

$$\eta_{ji} = P(j|x) / (P(i|x) + P(j|x)), \quad (2)$$

где $P(i|x)$ – вероятность принадлежности объекта к классу i с учетом возможной принадлежности к неизвестному классу x ; $P(j|x)$ – аналогично для класса j [3].

Также можно подсчитать вероятности принадлежности объекта к паре классов, для которых не предусмотрен классификатор. Например, существует два классификатора C_{ij} и C_{jk} , которые обучены распознавать соответствующие пары объектов (i, j) и (j, k), тогда для подсчета вероятности принадлежности объекта к какому-то классу из пары (i, k) можно воспользоваться формулами:

$$\eta_{ik} \approx \eta_{ij} \cdot \eta_{jk} / (\eta_{ij} \cdot \eta_{jk} + \eta_{ji} \cdot \eta_{ji}), \quad (3)$$

$$\eta_{ki} \approx \eta_{ji} \cdot \eta_{jk} / (\eta_{ij} \cdot \eta_{jk} + \eta_{ji} \cdot \eta_{ji}). \quad (4)$$

И так далее для всех возможных сочетаний пар объектов, для которых не предусмотрен парный классификатор [3].

После того как все возможные вероятности подсчитаны, они подаются в виде матрицы на вход заключительному нейросетевому классификатору, который определяет по этим вероятности принадлежность объекта к конкретному классу. Полная схема применения такого подхода проиллюстрирована на рис. 3.

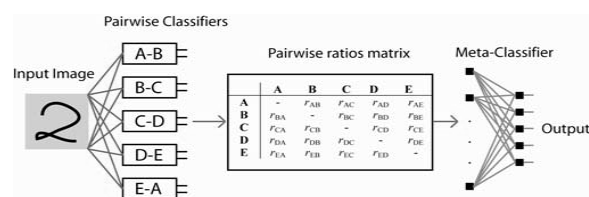


Рис. 4. Пример распознавания 5 классов объектов парными классификаторами

Результат опыта продемонстрировал 8-кратное ускорение процесса обучения одного парного классификатора по сравнению с использованием одной монолитной сверточной сети для распознавания 5 классов объектов [3]. Кроме того для добавления к такой системе еще одного класса для распознавания потенциально необходимо обучить еще один классификатор, когда как монолитную нейронную сеть пришлось бы в таком случае полностью переобучать.

Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ № 09-08-00309. Дальнейшие шаги будут направлены на преодоление упомянутых недостатков нейросетевого распознавания.

Список литературы

1. В. Г. Прохоров. Использование сверточных нейронных сетей для распознавания рукописных символов. 2008г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eprints.isofts.kiev.ua/440/1/%231_D46-c669.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
2. 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.
3. Choon Hui Teo, Yong Haur Tay. Invariant Object Recognition using CircularPairwise Convolutional Networks. Trends in Artificial Intelligence. 2008 г.

РАСЧЕТ ТРУДОЕМКОСТИ СОЗДАНИЯ ПО

Дыкина К.А.

Научный руководитель: Резниченко Е.В., ассистент
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ks13@sibmail.com

Оценка ПО – важный и необходимый этап его разработки. Только при наличии верной и обоснованной оценки можно организовать эффективное руководство проектом, получить результат в срок и правильно распределить затраты. Несмотря на наличие проверенных методик оценки, на практике предпочтение отдается линейному подходу[1], как самому простому. Однако такой подход дает лишь приблизительную субъективную оценку. Поэтому целью данной работы является изучение методик расчета трудоемкости ПО, исследуется возможность их практического применения с целью получения более объективной и достоверной оценки малых и средних проектов. Наибольшее внимание уделено методике СОСОМО II как наиболее распространенной и эффективной.

В простейшем случае определить стоимость разработки ПО можно исходя из количественной оценки трудозатрат Т (в неких единицах, например человеко-месяцах или человеко-часах) и их удельной стоимости Ц:

$$C = T * Ц$$

Сами же трудозатраты можно определить исходя из следующей формулы:

$$T = 3 * П,$$

где Р – размер исходного кода ПО; П – временная производительность. Эта прими-

тивная формула активно применяется и по сей день, хотя ее несостоятельность очевидна.

О том, что трудоемкость и, соответственно, стоимость программного проекта нелинейно зависит от объема работ, было известно еще в 1970-х годах, когда появились первые научные публикации. Вероятно, первой нелинейной моделью, использующей эмпирические данные и нашедшей практическое применение при оценке стоимости ПО, стала SLIM (Software Life-cycle Model), предложенная в 1978 г. Лоуренсом Патнамом (Lawrence Putnam).

Модель SLIM была создана для проектов, объемом больше 70 000 строк кода, основывается на утверждении, что затраты на разработку ПО распределяются согласно кривым Нордена-Рэйли, которые являются графиками функции, представляющей распределение рабочей силы по времени. Однако модель получила небольшое распространение в силу своей специфичности (применима только для крупных проектов).

Самой популярной моделью оценки малых и средних программных продуктов на сегодняшний день является СОСОМО II. Она представляет собой усовершенствованную модель Барри Бозма СОСОМО. Для оценки

трудозатрат на базовом уровне модели COCOMO применялась следующая формула:

$$T = a * P * b,$$

где a и b – константы, которые зависят от режима использования модели.

В соответствии с этой формулой трудозатраты вообще нелинейно зависят от размера проекта и скачкообразно изменяются при смене режима. Другая интересная особенность COCOMO – рост трудозатрат при переходе к более высокому режиму не означает безусловного увеличения длительности (F) выполнения проекта, которая вычисляется по формуле:

$$F = 2,5 * T * k.$$

В 1997 методика была усовершенствована и получила название COCOMO II [2]. В данной методике формула оценки трудоёмкости проекта в человеко-месяцах имеет вид:

$$PM = A * SIZE^E * \prod_{i=1}^n EM_i,$$

где $A=2,94$,

$$E = B + 0,01 * \sum_{j=1}^n SF_j,$$

$B=0,91$,

$SIZE$ — размер продукта в KSLOC,

EM_i — множители трудоёмкости,

SF_j — факторы масштаба,

$n=7$ — для предварительной оценки,

$n=17$ — для детальной оценки.

Для того чтобы адекватно спланировать проект и оценить его трудоёмкость, необходимо выполнить предварительное проектирование программного продукта. В результате декомпозиции мы получаем некоторое количество компонентов (N), которые составляют программный продукт.

Методика COCOMO II определяет следующую последовательность вычисления трудоёмкости проекта при многокомпонентной разработке.

1. Суммарный размер продукта рассчитывается, как сумма размеров его компонентов:

$$SIZE^A = \sum_{k=1}^N SIZE_k$$

2. Базовая трудоёмкость проекта рассчитывается по формуле:

$$PM^B = A * (SIZE^A)^E * SCED,$$

где $SCED$ — сжатие расписания (Very Low — 75% от номинальной длительности; Very High — 160% от номинальной длительности).

3. Затем рассчитывается базовая трудоёмкость каждого компонента:

$$PM_k^B = PM^B * \frac{SIZE_k}{SIZE^A}$$

4. На следующем шаге рассчитывается оценка трудоёмкости компонентов с учетом всех множителей трудоёмкости, кроме множителя $SCED$.

$$PM_k^r = PM_k^B * \prod_{i=1}^6 EM_i$$

5. И, наконец, итоговая трудоёмкость проекта определяется по формуле:

$$PM = \sum_{k=1}^N PM_k^r$$

Длительность проекта в методике COCOMO II рассчитывается по формуле:

$$TDEV = C * (PM_{NS})^{D+0,2*0,01*\sum_{j=1}^n SF_j} * \frac{SCED}{100}$$

где $C = 3,67$; $D = 0,28$;

PM_{NS} — трудоёмкость проекта без учета множителя $SCED$, определяющего сжатие расписания.

Главной особенностью методики является то, что для того, чтобы оценить трудоёмкость, необходимо знать размер программного продукта в тысячах строках исходного кода. Размер программного продукта может быть оценен экспертами с применением метода PERT или функциональных точек.

Метод PERT - метод событийного сетевого анализа, используемый для определения длительности программы при наличии неопределенности в оценке продолжительностей индивидуальных операций. Он был практически одновременно разработан специалистами Главного морского штаба ВМС США в ходе создания ракеты "Полярис" и экспертами корпорации "Дюпон", где получил своё второе название - метод критического пути. Длительность операций в нём рассчитывается как взвешенная средняя оптимистического, пессимистического и ожидаемого прогнозов.

Задача метода функциональных точек разбить систему на мелкие части так, чтобы они могли быть лучше понимаемы и анализируемы, что обеспечивает более структурированный подход для решения проблемы. Функциональные точки - единицы измерения проекта и они остаются постоянными в независимости от программистов или языка реализации проекта.

Различают две основные модификации метода функциональных точек: Mark II и FPA IFPUG.

Метод Mark II более удобен для оценки сложных систем, т.к. использует единое понятие транзакции, имеющей вход, обработку и выход.

Метод FPA разработан на основе опыта реализации множества проектов создания ПО и поддерживается международной организацией IFPUG (International Function Point U

ser Group). Согласно данной методике трудоемкость вычисляется на основе функциональности разрабатываемой системы, которая, в свою очередь, определяется на основе выявления функциональных типов — логических групп взаимосвязанных данных, используемых и поддерживаемых приложением, а также элементарных процессов, связанных с вводом и выводом информации.

В состав функциональных типов включаются следующие элементы приложений разрабатываемой системы:

1. Внутренний логический файл (ILF)
2. Внешний интерфейсный файл (EIF)
3. Входной элемент приложения (EI)
4. Выходной элемент приложения (EO)
5. Внешний запрос (EQ)

Для каждого функционального типа подсчитывается количество входящих в его состав функциональных точек.

В результате суммирования количества функциональных точек по всем функциональным типам получается общее количество функциональных точек без учета поправочного коэффициента. Значение поправочного коэффициента определяется набором из 14 общих характеристик системы (GSC, General System Characteristics) и вычисляется по следующей формуле:

$$VAF = 0.65 + (\sum GCS * 0.01)$$

Значения GSC варьируются в диапазоне от 0 до 5.

После вычисления поправочного коэффициента VAF, вычисляется итоговая оценка количества функциональных точек:

$$AFP = UFP * VAF$$

где

$$UAF = EI + EO + EQ + ILF + EIF$$

Таким образом, для практической реализации наиболее удобна модель COCOMO II, в которой для определения объема проекта применяется метод функциональных точек. Эта реализация сможет наиболее достоверно оценить затраты по созданию программного обеспечения. Она удобна для оценки средних и малых проектов. Дальнейшим этапом будет разработка программного продукта, который может быть применен как в учебных целях, так и для реальной оценки трудоемкости создания ПО.

Список литературы

1. Вячеслав К. Разработка ПО: оценка результата <http://itc.ua/node/25631>
2. Архипенков С. Лекции по управлению программными проектами http://www.citforum.ru/SE/project/arkhipenkov_lectures/13.shtm

АЛГОРИТМ ПОДБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Егоров Л.Л. Мелихов С.Е.

Научный руководитель: Мелихов С.В., д.т.н., профессор
Томский Университет Систем Управления и Радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: l.egorov@megafonsib.ru

При проектировании сетей связи с подвижными объектами проектировщику придется решать комплексную задачу определения рациональных мест размещения минимального количества БС с учетом минимальных затрат на их оборудование и обслуживание при использовании минимального частотного ресурса для реальной плотности абонентов в обслуживаемой местности. Планирование сети сотовой связи начинается с составления плана, который показывает приблизительные места установки базовых станций в пределах территории, на которой предполагается осуществить развертывание

сети. Такой план мало привязан к особенностям местности и существующим на ней объектам инфраструктуры и называется номинальным. Каждый из пунктов задачи вносит коррективы в последующие действия проектировщика, в виду этого на практике редко где выдерживаются принятые рамки номинальных планов.

После формирования требований производится предварительный расчет покрытия. На данном этапе происходит поиск подходящих для размещения площадок БС, появляются конкретные данные о высотах подвеса антенн, о структуре расположения БС на ме-

стности, уточняется тип используемого оборудования, формируется детальный проект будущей сети. Помимо технических аспектов планирования важна и экономическая составляющая процесса, которая заключается в минимизации объектов сотовой связи при должном уровне покрытия и качества предоставляемых услуг. От степени приближенности проектируемой сети к требуемым параметрам зависит успешность ее эксплуатации после запуска. Далее следует строительство БС и всех узловых элементов сотовой сети. Перед коммерческим запуском осуществляется составление частотного плана, настройка аппаратного и программного комплекса системы базовых станций, ее тестирование.

Имеющиеся на данный момент среды планирования (RPLS Онега, Asset) способны производить эмпирические расчеты предполагаемых зон покрытий отдельно для каждой, либо для группы БС. При этом общее покрытие группы БС выражается суммой зон покрытий этих БС в группе, и не просчитывается как кластерная система. На основе полученных расчетов можно провести первичную оценку предполагаемого покрытия. В случае если требуемое покрытие не достигнуто, планировщик вынужден осуществить еще один цикл аналитических вычислений по подбору технических параметров и произвести расчет заново. Очевидна трудоемкость такого способа расчета, в виду отсутствия в начале процесса общих представлений о том, что должно быть в итоге.

Ключевым пунктом планирования является задача определения мест расположения базовых станций с последующим просчетом зон покрытий. Существующие программные продукты, например Asset, позволяют определять уровень напряженности поля на конкретной местности последовательно от каждой БС. Однако использование Asset (и других подобных программных продуктов) не позволяет провести оценку зоны покрытия кластером (группой БС) с учетом влияния соседних БС, нет алгоритма и критерия распределения зон покрытия между БС в кластере. Данные недостатки весьма значимы как на этапе планирования, так и на этапе оптимизации сети.

Расчет оптимальных зон покрытия БС в кластере возможен методом наименьших квадратов (МНК) и методом наименьших квадратов с перестановкой столбцов в матрице эластичности (модернизированный метод взвешенных наименьших квадратов – ММВНК), предложенных в [1,2]. В основе предложенных методов лежит решение системы линейных алгебраических уравнений

(СЛАУ) вида $A \cdot r = d$, где $A = [a_{ij}]$ – матрица эластичности зон покрытия, определяемая интенсивностями нагрузок соседних БС; $r = [r_i]$ – вектор столбец неизвестных, соответствующих радиусам круговых зон покрытия; $d = [d_j]$ – вектор известных расстояний (пролетов) между соответствующими парами БС.

Искомый вектор r при использовании МНК выражается в виде:

$$r = [A^T \cdot A]^{-1} \cdot A^T \cdot d$$

а при использовании ММВНК в виде:

$$r = [A_{ij}^T \cdot A]^{-1} \cdot A_{ij}^T \cdot d$$

где A_{ij}^T – транспонированная матрица эластичности с перестановленными i -тым и j -тым столбцами.

Таким образом, имея в своем наличии математический аппарат по расчету оптимальных зон покрытий, значительно упрощается задача расчета углов места, азимутов и высот подвеса антенн, определение мощностей передатчиков, частотное планирование в различных средах.

Общий алгоритм вычислений будет выглядеть следующим образом (смотри рис. 1):



Рис. 1. Блок-схема алгоритма определения технических параметров БС

1. Выбрать места расположения БС.

2. Произвести расчет кластера с использованием МНК или ММВНК, выбрать лучший вариант по критерию оптимальности.

3. Задать первоначальные характеристики БС: высоту подвеса антенн; тип антенн; азимутальные углы и углы места антенн; тип покрытия.

4. Провести расчет кластера в среде планирования Asset с первоначальными характеристиками.

5. Провести сравнение результатов, полученных в среде планирования Asset с оптимальным вариантом, рассчитанным по ММВНК. В случае расхождения результатов произвести корректировку технических параметров БС с последующим пересчетом в среде планирования Asset.

Проведенные исследования показали пригодность применения разработанного ММВНК в сочетании со средой планирования Asset и позволили сформулировать алгоритм по определению технических параметров БС для получения оптимального территориального

покрытия кластера правильной или неправильной с учетом топологических особенностей местности.

Предложенный алгоритм с учетом результатов, полученных в [2], применим для корректировки зон покрытий при изменении нагрузки на БС.

Использование предложенного алгоритма возможно для всех стандартов сотовой связи с подвижными объектами.

Список литературы

1. Егоров Л.Л. Алгоритм расчета зон покрытия базовых станций сотовой связи // Доклады ТУСУРа / Егоров Л.Л., Кологринов В.И. – 2007. – 2(16). – С. 157 – 162.

2. Егоров Л.Л. Алгоритм расчета зон покрытия базовых станций сотовой связи // Доклады ТУСУРа / Егоров Л.Л., Кологринов В.И. Мелихов С.Е. – 2009. – 1(19). – С. 15 – 21.

МЕТОД ПЕРЕСТАНОВОК В ПОСТРОЕНИИ СТЕГОСИСТЕМ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Елтышева Е.Ю.

Научный руководитель: Фионов А.Н., д.т.н., профессор
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
630102, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86
E-mail: Katya@1nsk.ru

Задача стеганографии состоит в организации передачи секретных данных так, чтобы сам факт передачи был скрыт от всех незаконных получателей. В [1] Б.Я. Рябко впервые предложил универсальную совершенную [2] стегосистему, у которой сообщения, несущие и не несущие скрытую информацию, статистически неразличимы при любой длине сообщения. Основная идея, использованная при построении такой стегосистемы, применяется и в нашем случае, но уже не для источников без памяти с неизвестной статистикой, а для изображений. Такой тип контейнера может иметь внешнее представление в виде файлов формата BMP, TIFF, PNG, PCX, TGA и др.

В экспериментальных исследованиях мы будем использовать два набора тестовых файлов – набор А-типа и набор В-типа. Тип А – это *естественный* тип фотографий, к которым относятся фотографии с плавным переходом яркостей, преимущественно природных объектов. Тип В – это *искусственный* тип фотографий, к которым относятся контраст-

ные фотографии преимущественно искусственных объектов. Каждый набор содержит 400 изображений. Так как зашифрованное сообщение является последовательностью, практически не отличимой от случайной, то в наших экспериментах его будут имитировать данные, полученные с помощью генераторов псевдослучайных чисел.

Метод перестановок основывается на свойстве близко идущих пикселей, которые в типичных изображениях почти одинаковы. Информация встраивается за счет того, что каждая пара байт упорядочена в прямом или обратном порядке, что может сопоставляться с единичным или нулевым битом соответственно. Ясно, что чем больше разница в яркости соседних пикселей, которые мы представляем, то есть $|P_{r,i} - P_{r,i+1}|$ (где r – номер строки), тем больше визуально исказится такой фрагмент изображения. Решение этой проблемы заключается в том, что мы должны задать условие, ограничивающее перестановки, которые влекут за собой искажения:

$$|P_{r,i} - P_{r,i+1}| \leq d \quad (1)$$

Где $d=3$ – порог искажений, значение которого было получено экспериментально.

Таким образом, при рассмотрении пары байт, возможны три варианта: $P_{r,i} = P_{r,i+1}$ – равенство элементов; $P_{r,i} < P_{r,i+1}$ – элементы расположены в прямом порядке; $P_{r,i} > P_{r,i+1}$ – элементы расположены в обратном порядке;

Очевидно, что в случае первого варианта пара не может нести информацию, так как, поменяв местами элементы, мы получим то же самое. Следовательно, в данной реализации метода мы должны ввести условие 2 на перестановки:

$$P_{r,i} \neq P_{r,i+1} \quad (2)$$

Таким образом, встраивание информации в пару, для которой соблюдены условия 1 и 2, осуществляется по правилу 3:

Задан прямой порядок: (3 а)

Если $m_i = 1$, то:

если $P_{r,i} < P_{r,i+1}$ то ничего не меняем;

если $P_{r,i} > P_{r,i+1}$ то $P_{r,i} \leftrightarrow P_{r,i+1}$.

Если $m_i = 0$, то:

если $P_{r,i} < P_{r,i+1}$ то $P_{r,i} \leftrightarrow P_{r,i+1}$;

если $P_{r,i} > P_{r,i+1}$ то ничего не меняем.

Задан обратный порядок: (3 б)

Если $m_i = 0$, то:

если $P_{r,i} < P_{r,i+1}$ то ничего не меняем;

если $P_{r,i} > P_{r,i+1}$ то $P_{r,i} \leftrightarrow P_{r,i+1}$.

Если $m_i = 1$, то:

если $P_{r,i} < P_{r,i+1}$ то $P_{r,i} \leftrightarrow P_{r,i+1}$;

если $P_{r,i} > P_{r,i+1}$ то ничего не меняем.

Заранее предугадать в скольких парах будет встроена информация нельзя, мы можем лишь утверждать, что это целиком и полностью зависит от контейнера.

Рассмотрим возможную попытку злоумышленника получить секретные данные, встроенные по заданной схеме. Допустим, он располагает знаниями о данном методе. Для того, чтобы получить данные из контейнера, ему будет необходимо рассмотреть всего лишь два случая. В первом случае он предположит, что задан прямой порядок. Тогда он получит данные из всех неравных пар и, возможно, зашифрованную информацию. Во втором случае противник предположит, что задан обратный порядок и аналогично, возможно, получит зашифрованные данные. Для повышения стойкости метода необходимо менять порядок на каждом шаге в соответствии с секретной последовательностью. Реализуется это следующим образом. С помощью того же шифра, которым шифруется встраиваемое сообщение, мы генерируем секретную псевдослучайную битовую последовательность (точно такая же последовательность в дальнейшем может быть получена законным получателем сообщения, знающим секретный ключ). Биты последовательности используются для определения порядка следования в паре байт. Следовательно, злоумышленник, располагая сведениями о методе, но, не зная секретной информации, не сможет выделить из контейнера ту часть, которая является зашифрованным сообщением.

Процент заполнения каждого контейнера определяется в соответствии с общей эмпирической емкостью $C_{LSB}=3wh$ (где w – ширина изображения, h – высота); средние значения при установленном пороге искажений $d=3$ составили 16% и 19% для наборов А и В соответственно.

Оценим стойкость метода по отношению к стеганоанализу. В цифровой стеганографии существует два рода ошибок [3]. Предположим, что имеются две гипотезы: H_C и H_S . Если справедлива гипотеза H_C , то контейнер является пустым, а если справедлива H_S , то контейнер содержит сообщение. Правило решения заключается в разбиении множества наблюдений на две части так, чтобы сопоставить одну из двух гипотез каждому контейнеру. В этой задаче различения возможны два типа ошибок: *ошибка первого рода*, которая заключается в установлении гипотезы H_S , когда верной является H_C и *ошибка второго рода*, когда принято решение H_C при верной гипотезе H_S . Например, если при анализе пустого контейнера было принято решение, что он является заполненным, то это означает наличие ошибки первого рода. А если при анализе заполненного контейнера было принято решение, что он пустой, то имеет место ошибка второго рода.

Методом стеганоанализа, который мы будем использовать для оценки алгоритма, является метод RS [4]. Анализирующая программа выдает количество встроенной информации (L) в процентах от эмпирической емкости C_{LSB} . По значению L можно судить о том, заполненный был контейнер или пустой. Например, в работе [5] установлено, что при $L \geq 5\%$ RS-анализ классифицирует контейнер как заполненный.

Сначала оценим процент возникновения ошибок первого рода для тестовых наборов (А и В) пустых контейнеров.

Таблица 1.
RS анализ на наборе пустых контейнеров

L		0%	1-4%	≥5%
Доля файлов	Набор А	15%	64%	21%
	Набор В	16%	79%	5%

То есть 21% файлов для набора А и 5% для набора В составляют ошибку первого рода. Заполним контейнеры наборов А и В случайными данными с помощью общедоступных программ HIDE4PGP и STEGOTOOLS. Процент заполнения контейнеров установим равным указанному проценту для разработанного нами метода.

Таблица 2 RS анализ на наборе заполненных контейнеров программы hide4pgp и stegotools

L		0%	1-4%	$\geq 5\%$
HIDE4PGP	Набор А	0%	0%	100%
	Набор В	0%	0%	100%
STEGOTOOLS	Набор А	0%	6%	94%
	Набор В	0%	0%	100%

По результатам таблицы 2 очевидно, что RS анализ обнаруживает наличие встроенной информации в 100% случаев. Заполним контейнеры наборов А и В случайными данными по предложенному нами методу и подвергнем их RS анализу.

Таблица 3
RS анализ на наборе заполненных контейнеров с помощью нашей программы

L		0%	1-4%	$\geq 5\%$
Доля файлов	Набор А	14%	65%	21%
	Набор В	21%	75%	4%

Результаты стегоанализа, приведенные в таблицах 2 и 3 свидетельствуют о том, что

процент обнаружения встроенной информации по предложенному методу практически идентичен проценту файлов, в которых имела место ошибка первого рода. Следовательно, можно утверждать, что метод устойчив к RS-атаке и может успешно использоваться.

Таким образом, в результате проведенных исследований был построен алгоритм внедрения скрытых сообщений в изображения. RS анализ, проведенный на случайной выборке из 800 изображений, показал, что при уровне заполнения контейнера около 17% предложенный алгоритм позволяет скрыть наличие встроенного сообщения в 100% файлов.

Список литературы

1. Cachin C. An information-theoretic model of steganography // Lecture Notes in Computer Science (Proc. 2nd Information Hiding Workshop). Springer Verlag, 1998. V. 1525. P. 306–318.
2. Рябко Б. Я., Рябко Д. Б. Асимптотически оптимальные совершенные стеганографические системы // Проблемы передачи информации. 2009. Том 45, вып. 2.
3. Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. Цифровая стеганография. — М.: «Солон-Пресс», 2002. — 272 с.
4. Fridrich J., Goljan M. and Du R. Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images".
5. Жилкин М.Ю. Теоретико-информационные методы стегоанализа графических данных. Дис. К.т.н. Новосибирск 2009.

СЛУЧАЙНЫЙ ПОИСК КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ. ОБЗОР МЕТОДОВ

Живаева В.И., Рейзлин В.И.

Научный руководитель: Рейзлин В.И., доцент кафедры ИПС
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zhivaeva_vera@sibmail.com

Глобальная оптимизация — часто встречающаяся в науке задача. Отсюда очень большая значимость всех разрабатываемых методов глобальной оптимизации. Одним из известных методов такой оптимизации является случайный поиск. Причины: простота алгоритма, а отсюда и легкорееализуемость на ЭВМ, малочувствительность к нерегулярностям поведения целевой функции, а также

легкая модифицируемость исходного алгоритма с целью улучшения его сходимости.

Случайность может проявляться в следующих моментах [1]:

- закон распределения направления спуска;
- закон распределения длины шага спуска;
- координаты вектора $x = (x_1, \dots, x_n)^T$;

– размер окрестности поиска, и т. д.

В основе всех не вполне тривиальных алгоритмов лежит только несколько основных идей:

- организация такого поиска, чтобы по результатам вычислений было бы удобно проводить статистические выводы;
- более частый выбор следующих точек в окрестностях тех из предыдущих, в которых значения целевой функции относительно малы;
- просматривание всего множества оптимизации, хотя и неравномерное;
- последовательное вероятностное или детерминированное сужение области поиска.

Одним из первых случайным поиском стал заниматься Л.А. Растринин. В его работе [2] приведены следующие алгоритмы:

1. Локальные

1.1. С линейной тактикой

Случайный поиск с линейной тактикой построен с помощью только двух операторов: случайного шага (ε) и повторения (+) предыдущего шага. Действие каждого из этих операторов может привести к одному из двух результатов: минимизируемая функция Q либо уменьшится $\Delta Q_N < 0$, либо не уменьшится $\Delta Q_N > 0$, где $\Delta Q_N = Q_N - Q_{N-1}$, а $Q_N = Q(x_N)$ – значение минимизируемой функции на N -м этапе поиска. В зависимости от результата «включается» тот или иной оператор.

Алгоритм случайного поиска с линейной тактикой опирается на следующее очевидное предположение относительно объекта оптимизации: вероятность успеха ($\Delta Q < 0$) в ранее удачном направлении больше, чем в случайном, т. е. целесообразно повторять удачные шаги, а при неудаче делать новый случайный шаг.

1.2. С нелинейной тактикой

Теперь рассмотрим другой алгоритм случайного поиска, который построен в определенном смысле обратным образом. Здесь случайность вводится лишь при удачном шаге и является как бы поощрением. Нелинейность такого поведения и образует наименование этого алгоритма.

Случайный поиск с нелинейной тактикой фактически моделирует метод проб и ошибок. Алгоритм этого метода построен из двух операторов – случайного шага (ε) и оператора возврата ($\leftarrow$).

Здесь успех достигается за счет того, что используются только те случайные шаги, которые удачны, а неудачные устраняются (исправляются) с помощью операции возврата.

Рекуррентная формула алгоритма имеет вид:

$$\Delta x_N = \begin{cases} \alpha \varepsilon & \text{при } \Delta Q_{N-1} < 0, \\ \leftarrow \Delta x_{N-1} & \text{при } \Delta Q_{N-1} \geq 0. \end{cases}$$

2. Глобальные

Поиск глобального экстремума минимизируемой функции, имеющей несколько локальных экстремумов, является одной из труднейших задач оптимизации. Дело здесь не только в том, что алгоритм глобального поиска должен выполнять две противоречивые задачи – искать каждый конкретный минимум и одновременно уклоняться от него, чтобы найти другой – наименьший, т. е. глобальный, минимум.

Другой весьма важной специфической чертой глобального поиска является отсутствие полной уверенности, что найденный за конечное время экстремум – глобальный. Действительно, ввиду того что глобальный экстремум может, вообще говоря, оказаться в любой точке области S поиска, всегда существует риск его утери. И лишь при неограниченном увеличении времени поиска вероятность такой утери может быть сделана сколь угодно малой.

2.1. «Набрасовые» алгоритмы

В этих алгоритмах используется процедура случайного распределения пробных состояний – случайного наброса.

Рассмотрим наброс с локальным поиском, при этом на каждом i -м этапе из случайной начальной точки x_i , делается локальный спуск в ближайший минимум x_i^* любым локальным методом поиска. За глобальный минимум x^{**} принимается тот, для которого показатель качества минимален, т. е.

$$Q(x_N^{**}) = \min_i Q(x_i^*); (i = 1, \dots, N).$$

Очевидно, что при $N \rightarrow \infty$ вероятность того, что x_N^{**} является положением глобального минимума, стремится к единице, т. е.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P(x_N^{**} = x^{**}) = 1.$$

При конечном N вероятность утери глобального экстремума, т. е. $x_N^{**} \neq x^{**}$ не равна нулю.

2.2. «Блуждающие» алгоритмы

Если на оценку градиента ΔQ в градиентном поиске наложить случайный вектор ε , то получаем градиентный случайный поиск вида:

$$x_{N+1} = x_N - \alpha \nabla Q(x_N) + \sigma \varepsilon, \text{ где } \sigma - \text{некоторая постоянная. Запишем этот процесс в непрерывной форме:}$$

$\frac{dx}{dt} = -\alpha \nabla Q(x) + \sigma \varepsilon(t)$, где $\sigma(t)$ – случайный векторный процесс типа «белого» шума с единичной дисперсией. При $\sigma = 0$ поиск будет градиентным, и поэтому каждая его траектория приводит в ближайший локальный минимум, т. е. поиск имеет локальный характер. При $\sigma \neq 0$ на эту локальную тенденцию накладывается случайное (типа броуновского) блуждание. В результате образуется случайный стационарный процесс, плотность распределения которого имеет вид:

$$p(x) = \frac{1}{c} \exp\left[-\frac{2\alpha Q(x)}{\sigma^2}\right], \quad (1)$$

где c – нормирующий коэффициент. Из этого выражения хорошо видно, что плотность вероятности пребывания в глобальном минимуме функции $Q(x)$ максимальна, и чем меньше σ , тем больше эта плотность.

Процесс такого поиска происходит следующим образом. Во время блуждания точка x заходит в локальные экстремумы функции $Q(x)$ и задерживается в каждом из них тем дольше, чем меньше соответствующее значение $Q(x)$. Если теперь медленно уменьшать σ , то в соответствии с (1) точка x попадает в зону глобального экстремума и уже никогда из нее не выйдет.

Как видно, этот алгоритм гарантирует отыскание глобального экстремума лишь при очень медленном уменьшении параметра σ . Риск не найти глобальный экстремум тем выше, чем больше скорость уменьшения σ . Этот риск стремится к нулю, если указанная скорость также стремится к нулю.

Существует еще много разнообразных процедур глобального случайного поиска. Все они в различной мере используют описанные выше подходы, связанные со случайным набросом и случайным блужданием в пространстве оптимизируемых параметров $\{x\}$.

И.А. Минаков [3] рассматривал *грубой поиск, алгоритм с парной пробой, алгоритм с возвратом при неудачном шаге, алгоритм с пересчетом при неудачном шаге*.

В своей работе [4] Ю.А. Сушков рассматривает статистическое исследование адаптивного алгоритма случайного поиска. Весь поиск разбивается на задаваемое пользователем число шагов n_{step} . На каждом шаге по определенному закону случайным образом выбираются значения вектора параметров x^k (k – номер шага), и подсчитывается значение

целевой функции $\Phi^k = \Phi(x^k)$. Далее по формуле $\Phi_{min}^k = \min\{\Phi^k, \Phi_{min}^{k-1}\}$ (2)

определяется наименьшее значение, полученное за k шагов процесса поиска. После каждого расчета по формуле (2) закон, по которому выбираются значения переменных $x_i (i \in [1, n])$, изменяется таким образом, чтобы вероятность попадания в Δ -окрестность глобального минимума, задаваемую пользователем, исходя из требуемой точности решения задачи, увеличилась бы. Алгоритм характеризуется тем, что в процессе работы накапливает информацию о целевой функции и использует её для увеличения вероятности сходимости к оптимуму. Результатом работы явился программный продукт OPTIMUM, который был протестирован на 10 тестовых функциях и показал хорошую эффективность алгоритма.

На сайте автоматизированной обучающей системы БиГОР [5] приведены следующие алгоритмы СП:

1. Метод с возвратом при неудачном шаге.
- Метод наилучшей пробы
2. Метод комплексов
3. Метод повторяющегося случайного поиска
4. Метод случайного поиска с постоянным радиусом поиска и случайными направлениями

Применение СП на базе современных ЭВМ, а также создание некоторых его модификаций (использование СП в комбинации с детерминированными методами оптимизации и распараллеливание СП) позволяет получить достаточно эффективный инструмент для решения различных задач оптимизации, возникающих на практике.

Список литературы

1. Википедия. Случайный поиск. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Случайный_поиск.
2. Растрингин Л.А. Случайный поиск. Издательство «Знание». Москва, 1979.
3. Минаков И.А. Известия Самарского научного центра Российской академии наук, №2, 1999.
4. Кушербоева В.Т., Сушков Ю.А. Статистическое исследование алгоритма случайного поиска. Стохастическая оптимизация в информатике. – 2007. № 1-1. С. 21–36.
5. Автоматизированная обучающая система БиГОР.
URL:
<http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/base.cou>

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО КОМАНДНОГО ИНТЕРПРЕТАТОРА ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ОНТОЛОГИЙ

Заикин И. А.

Научный руководитель: Тузовский А. Ф., д. т. н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: i@tpu.ru

Введение

Современные информационные системы включают большие объемы информации, для работы с которой начинают активно использоваться онтологические базы знаний, которые позволяют выполнять интеграцию, категоризацию и поиск в этой информации. Основным элементом таких систем являются онтологические модели. Онтологии используются для представления знаний о некоторой области знаний и описывают ее основные понятия, а также отношения между ними. Для работы с онтологиями разрабатываются специальные языки, наиболее современным из которых является язык OWL консорциума W3C. Язык OWL делает возможным описание понятий и имеет большой набор операторов, таких как пересечение, объединение, отрицание, за счёт которых простые понятия могут образовывать более сложные. Логическая модель позволяет использовать машину логического вывода, которая может проверить, все ли утверждения в онтологии взаимно согласованы, а также определить, какие понятия каким определениям соответствуют.

По мере того, как онтологии растут в размере, поддерживать их в одиночку становится всё труднее и труднее. Несколько инженеров по разработке онтологий, работая в команде, могут создать более сложную онтологию, чем один человек. Однако чем сложнее становится онтология, тем заметнее проявляется проблема нежелательных совпадений (конфликтов).

Виды конфликтов

При коллективном редактировании онтологии могут случаться как желательные, так и нежелательные совпадения. Примером желательного совпадения может быть неожиданное обнаружение нового суперкласса. Примерами нежелательных совпадений являются висячие ссылки и внутренняя противоречивость онтологии. Природа таких совпадений сильно зависит от интерпретации специалиста, поэтому было бы слишком сложно создавать алгоритм, автоматически определяющий нежелательные совпадения.

Рассмотрим пример желательного совпадения. Один пользователь определяет со-

трудника как человека, работающего в некотором отделе. Другой пользователь утверждает, что бухгалтер это человек, работающий в бухгалтерии. Бухгалтерия – это подкласс отдела. Таким образом, система логического вывода может сделать заключение, что бухгалтер – это подкласс сотрудника.

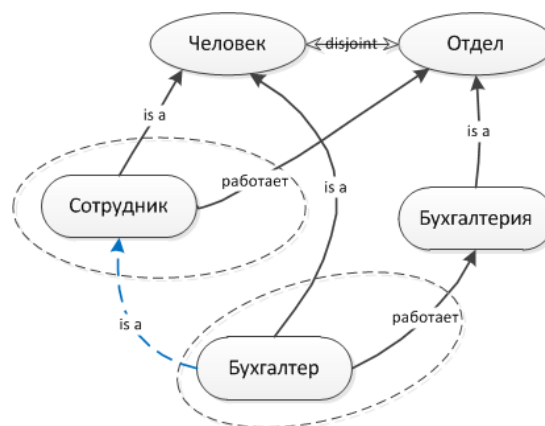


Рис. 1 – Пример желательного совпадения

Большинство организаций при коллективном редактировании онтологий использует следующий подход. Пользователь изменяет онтологию, используя свой редактор онтологии, и посылает локально изменённую онтологию другим пользователям (например, электронной почтой или через файловый сервер). Эти пользователи могут добавлять изменения в онтологию или проверять текущие изменения. Согласно исследованию, приведённому в [1], большинство организаций придерживаются такого подхода из-за отсутствия удовлетворительной поддержки многопользовательского редактирования онтологий существующим программным обеспечением.

Режимы коллективного редактирования

Многопользовательское редактирование может быть разделено на два базовых режима редактирования: асинхронное и синхронное.

При *асинхронном редактировании* несколько редакторов работают над персональными копиями базы знаний. Изменения вступают в силу с того момента, как редакто-

ры отправляют эти изменения в центральный депозитарий.

В асинхронной среде отдельные части онтологии, содержащие потенциально опасные изменения, могут разрабатываться независимо, проверяться на безопасность, и затем интегрироваться.

Синхронное редактирование предполагает, что несколько человек работают одновременно над одной общей базой знаний. Изменения вступают в силу немедленно. Однако при синхронном редактировании все участники должны быть постоянно подключены к одному и тому же депозитарию. Редактирование, например, на поезде или в самолёте, невозможно. Это не позволяет редакторам работать в «песочнице», тестируя потенциально опасные последовательности изменений.

В синхронной среде нежелательное изменение может стать разрушительным и сделать базу знаний невозможной к использованию для всех подключённых пользователей и редакторов. Если целостность базы знаний является критичной, то синхронная среда является опасной [1].

Эти недостатки можно смягчить, используя механизм версий, описанный в [2]. При возникновении нежелательного изменения возможен откат к предыдущей версии базы знаний.

Редактор

Для редактирования онтологий был разработан интерактивный командный интерпретатор, описанный в [3].

Каждый редактор использует терминал для подключения к единому обработчику команд, который связан с базой знаний. Для редактирования онтологии редактор должен быть подключён к обработчику команд. Это соответствует синхронному режиму редактирования.

Каждый редактор видит команды других редакторов, а также результаты их выполнения, что позволяет снизить количество нежелательных изменений.

Обработчик команд сохраняет информацию об источнике и времени каждого изменения, которая может быть использована при ручном разрешении конфликтов. Каждый редактор при подключении к обработчику команд получает историю изменений онтологии с момента последнего отключения.

Для формализации изменений онтологии используется подход, описанный в [2].

Пример

Рассмотрим, как с помощью интерактивного командного интерпретатора получить преимущество от желательного совпадения (см. рисунок 1).

Сначала один из пользователей создаёт основу онтологии: классы Person (человек), Department (отдел) и AccountingDepartment (бухгалтерия) и свойство worksAt, позволяющее указывать, в каком отделе работает человек.

```
User1> add classes Person,
Department
User1> add class
AccountingDepartment (Department)
User1> add property Person
worksAt Department
```

Второй пользователь определяет сотрудника (класс Employee) как человека, работающего в каком-либо отделе.

```
User2> add class Employee (Person
that worksAt some Department)
User2> view Employee
Class: Employee
SubClassOf:
  Person
  and (worksAt some Department)
```

Третий пользователь определяет бухгалтера как человека, который работает в бухгалтерии.

```
User3> add class Accountant
(Person that worksAt some
AccountingDepartment)
```

При этом в результате логического вывода в базе знаний появляется знание о том, что бухгалтер является сотрудником. Пользователь, определявший класс Accountant, может увидеть это, просмотрев информацию об этом классе.

```
User3> view Accountant
Class: Accountant
SubClassOf:
  Employee,
  Person
  and (worksAt some
AccountingDepartment)
```

Заключение

Рассмотрена проблема нежелательных совпадений при редактировании онтологиче-

ских баз знаний, а также основные режимы многопользовательского их редактирования. Показана возможность использования редактора онтологий в виде интерактивного командного интерпретатора для работы в многопользовательской среде. Такой подход позволяет смягчить нежелательные конфликты при синхронном редактировании онтологии.

Список литературы

1. Seidenberg Julian M. A synchronous multi-user editing of semantic web ontologies. // A thesis submitted to the University of Manches-

ter for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Engineering and Physical sciences, 2008.

2. Palma de Leon Raul Antonio. Ontology Metadata Management in Distributed Environments. PhD Thesis, 2009.

3. Заикин И. А. Разработка интерактивного командного интерпретатора для взаимодействия с онтологическими базами знаний. Современные техника и технологии: Труды XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск. - 4-8 мая 2009. - Томск: ТПУ. - 2009 - Т. 2. - с. 208-209.

СОРТИРОВКА МАССИВОВ С МАЛЫМ ЧИСЛОМ ЭЛЕМЕНТОВ НА АССЕМБЛЕРЕ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ 51 СЕРИИ

Зайцев Е.С.

Научный руководитель: Астафуров В.Г., д.ф.-м.н., профессор.

Открытое Акционерное Общество «Производственное объединение «Электрохимический завод», 663690, Россия, Красноярский край, г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, д. 1.

E-mail: zaytsev_es@mail.ru

Для мониторинга состояния основного оборудования на предприятии используются специализированные контроллеры, работающие под управлением однокристальной микроЭВМ (ОМЭВМ) семейства МК-51 (MSC-51). В процессе модернизации программного обеспечения (ПО) контроллеров возникла необходимость в разработке подпрограммы сортировки массивов данных, содержащих результаты измерений.

Массивы хранятся в области внешней памяти данных XDATA ОМЭВМ и имеют небольшое число элементов N: четыре или шесть. Каждый элемент занимает три байта памяти.

Подпрограмма сортировки должна была формировать в области внутренней памяти данных DATA ОМЭВМ последовательность индексов исходного массива в порядке возрастания значений его элементов. При этом выполнять перестановку элементов исходного массива в области XDATA не требовалось. Необходимо было обеспечить максимальное быстродействие.

Для разработки подпрограммы сортировки были выбраны следующие алгоритмы: позиционная сортировка, сортировка вставками и быстрая сортировка. Функции, реализующие указанные алгоритмы на языке Си, представлены в листингах 1, 2 и 3.

Листинг 1. Функция позиционной сортировки.

```
void psort(int a[], int b, int e, int pos[], int a2[])
{
    for(register int i = b; i <= e; ++i) pos[i] = 0;
    for(register int i = b; i < e; i++)
        for(register int j = i+1; j <= e; ++j)
            if(a[i] > a[j]) pos[i]++;
            else pos[j]++;
    for(register int i = b; i <= e; ++i) a2[pos[i]] = a[i];
}
```

Листинг 2. Функция сортировки вставками.

```
void isort(int a[], int b, int e)
{
    register int i;
    for(i=b; i < e; i++)
        if(a[i] > a[i+1]) exch(a[i], a[i+1]);
    for(i = e-2; i >= b; --i){
        register int j = i, v = a[i];
        while(v > a[j+1]){a[j] = a[j+1]; ++j;}
        a[j] = v;
    }
}
```

Листинг 3. Функция быстрой сортировки.

```
void qsort(int a[], int b, int e)
{
    register int k = b;
    for(register int i = b+1; i <= e; ++i)
        if(a[i] < a[b]){ ++k; exch(a[k], a[i]);}
    exch(a[k], a[b]);
    if(b < k-1) qsort(a, b, k-1);
    if(k+1 < e) qsort(a, k+1, e);
}
```

Обозначения, принятые в листингах:

- a – массив элементов целого типа,
- b – индекс первого элемента в массиве,
- e – индекс последнего элемента в массиве,

няется последовательно. При этом адрес каждого следующего элемента массива в XDATA формируется в регистре DPTR автоматически.

В подпрограммах ISORT и QSORT доступ к элементам массива выполняется через индексы, меняющие своё положение в области DATA в процессе сортировки. Это приводит к дополнительным затратам производительности на вычисление адреса очередного элемента массива по его индексу.

Необходимо отметить, что алгоритм позиционной сортировки является наилучшим по быстродействию именно в рамках поставленной задачи. В других условиях данный алгоритм может привести к решению с наибольшим временем выполнения. Подтверждением этому служит проверка быстродействия функций сортировки, реализованных на языке Си, на персональном компьютере (рис. 2).

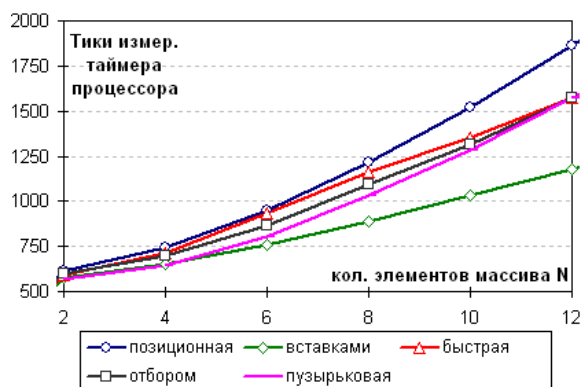


Рис. 2 – Среднее время выполнения различных типов сортировки на ПК.

Таким образом, разработана подпрограмма сортировки массивов с малым числом элементов на языке ассемблера для ОМЭВМ семейства МК-51 (МС-51). Алгоритм позиционной сортировки, лежащий в её основе, обеспечивает наилучшее быстродействие, по сравнению с другими алгоритмами сортировки в условиях поставленной задачи.

Список литературы

1. Фундаментальные алгоритмы на С++. Пер. с англ./Роберт Седжевик. – К.: ДиаСофт, 2001.
2. Macro Assembler and Utilities for 8051 and Variants. User's Guide. – Keil Software, 2001.
3. Однокристальные микроЭВМ / Бобрыкин А.В. и др. – М.: МИКАП, 1994.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ГИС И САПР CADGIS INTEGRATOR

Зайцева М.А., Лысак А.П.

Научный руководитель: Кошевой С.Е., аспирант

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: ZaitsevaMA@gmail.com

Пространственные данные необходимы для поддержки работы административных учреждений, коммунальных и телекоммуникационных компаний, строительных фирм, а также предприятий топливно-энергетического комплекса. В процессе деятельности проектных организаций возникает необходимость обмена и конвертации данных между различными форматами инструментальных средств: КОМПАС, AutoCAD, ArcGIS, MapInfo, CREDO и др.

Необходимость конвертирования может быть обусловлена различными причинами, такими как:

- другой формат, используемый в другой организации или подразделении (отделе);
- необходимость инструментария, реализованного в другой системе;
- неудобство использования (или недостаточная компетентность специалиста);
- отсутствие приобретённых коммерческих лицензий на использование продукта;

- необходимостью изменения оформления уже существующего чертежа согласно новому корпоративному стандарту с использованием классификатора;

- другие причины (бизнес-процессы в разных проектных институтах сложно формализовать в единую систему, поэтому возможен ещё целый ряд причин, актуальных для конкретной организации).

Основными недостатками всех существующих конверторов и технологий работы с пространственными данными являются:

- Отсутствие возможности полноценной передачи исходного графического отображения объектов чертежа или плана (карты). При передаче векторных данных из формата в формат происходит частичная или полная потеря оформления объектов и их признаков (свойств) отвечающих за визуальное представление информации пользователю.

- Отсутствие функций по оформлению и классификации объектов исходного чертежа в полуавтоматическом или автоматическом режиме.

- Наличие односторонней интеграции данных и схем соответствий, основанных только на принципах жесткой логики. Отсутствие возможности создания обучаемых схем соответствий данных в различных форматах и подключения дополнительных классификаторов цифровой информации.

Кроме того, сложности полностью автоматического конвертирования обусловлены тем, что один и тот же объект (например, линия) может описывать как дорогу, так и линию электропередачи, трубопровод, инженерное сооружение и т.п. Автоматические методы не могут определить природу этого объекта, хотя человек справляется с этой задачей практически не задумываясь.

Для решения описанной проблемы был предложен подход, позволяющий задействовать широкий интеллектуальный потенциал человека, объединённый с возможностью автоматизации рутинных операций. Для достижения этой цели предполагалась разработка универсального обменного формата векторных пространственных данных, а также программного продукта «CADGIS Integrator», включающего самостоятельный сервис трансляции геоданных и подключаемые модули (плагины) для существующих ГИС и САПР.

Человек размечает чертёж с помощью специальных инструментальных средств, написанных в качестве дополнения к каждой их поддерживаемых программ, согласно заданному классификатору (библиотеки условных знаков согласно ГОСТ и корпоративным стандартам). В результате конвертация дан-

ных производится без потерь, причём в процессе конвертации может быть изменён даже характер отображения объектов (символ шрифта TrueType, набор примитивов, растр, объект и др.).

Новизна предлагаемого решения заключается так же и в разработке универсального обменного формата векторных пространственных данных между ГИС и САПР с одновременной привязкой к классификаторам. Обменный формат системы, в сравнении с уже существующими форматами, имеет более оптимизированную структуру хранения данных, позволяющую учитывать всевозможные геометрические, географические, семантические, графические характеристики и свойства пространственных объектов для обеспечения совместимости со всеми распространёнными системами. Принципы консолидации всех параметров пространственных объектов в едином информационном массиве, алгоритмы сортировки и классификации отдельных блоков информации отвечающих за графическое представление объектов, а также их индексация для ускорения доступа – основа для оперативной и корректной трансляции данных, без каких-либо искажений практически в любую ГИС или САПР.

Попыткой создания своего рода единого интерфейса работы с пространственными данными является технология Feature Data Objects (далее FDO) от компании Autodesk, представляющая комплекс решений для доступа к пространственным данным, именно она была положена в качестве основы для технологии «CADGIS Integrator». Сами конвертируемые данные хранятся в промежуточном файле формата GML (Geography Markup Language), построенному на основе синтаксиса XML с привязкой к классификатору данных.

Формат GML был принят OGC (Open Geospatial Consortium) в качестве стандарта для представления географических данных. Технология FDO доступна в виде API, который может быть использован при разработке собственных приложений на платформе .NET. Поддерживаются все наиболее распространённые форматы (в том числе GML), все структуры данных соответствуют стандартам OGC.

Благодаря библиотеке абстракций GDAL, работающей с большинством форматов пространственных данных напрямую, FDO способен создавать множество соединений с источниками данных без какого-либо преобразования информации.

В состав технологии «CADGIS Integrator» входят:

- Сервис трансляции пространственных данных. Обеспечивает быструю и эффективную конвертацию данных в различные ГИС и САПР форматы, используя стандартные либо пользовательские схемы соответствий шрифтов и стилей, подключаемые библиотеки условных знаков и классификаторы цифровой информации.

- АРМ «Топографа». Плагин к ГИС и САПР приложениям. Обеспечивает создание «с чистого листа» топографических основ различного масштабного ряда, согласно выбранному стандарту оформления и классификации цифровой информации.

- АРМ «Проектировщика». Плагин к ГИС и САПР приложениям. Обеспечивает создание «с чистого листа» проектных чертежей генеральных планов и благоустройства территорий, согласно выбранному стандарту оформления и классификации цифровой информации.

Возможности программного комплекса:

- поддержка наиболее востребованных ГИС и САПР форматов – ESRI (SHP, Geodatabase (MDB)), Map Info (TAB, MIF/MID), Autodesk (DWG/DXF) и КОМПАС (CDW, FRW, KDW);

- конвертация данных «без потерь» во все поддерживаемые форматы.

- поддержка координатной привязки данных, выбор системы координат и точки вставки;

- создание и ведение атрибутивной базы данных по каждому объекту чертежа в формате основных продуктов семейства Autodesk и АСКОН;

- адаптация функционала программного продукта практически под любое ГИС или САПР приложение благодаря использованию универсального векторного формата пространственных данных (внутренний формат системы);

- наличие гибкой системы настроек схем соответствий при конвертации данных, возможность создания собственных библиотек

условных знаков, подключения классификаторов цифровой информации;

- обеспечивает создание «с чистого листа» проектных чертежей топографических основ и иных векторных пространственных данных, согласно выбранному пользователем стандарту оформления и классификации цифровой информации;

- оформление и классификация ранее выполненных чертежей (планов, карт), перевод данных из стандарта в стандарт в автоматическом либо полуавтоматическом режиме.

На данный момент идут работы над созданием АРМ «Топографа» и АРМ «Проектировщика», которые предполагается создать в виде единого универсального инструмента, который будет иметь провайдеры подключения к различным ГИС и САПР. В качестве основы для разработки было решено использовать .NET C#, так как данный язык является оптимальным по соотношению производительность/скорость разработки.

С помощью программного обеспечения «CADGIS Integrator», в котором совмещаются возможности САПР и ГИС, организации имеют возможность более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, устранить избыточность данных, сократить количество ошибок и повысить производительность, упрощается процедура получения важных сведений внутри организации независимо от формата данных и места их хранения.

Всё это позволяет значительно поднять эффективность деятельности проектных организаций.

На данный момент подана заявка на регистрацию программного обеспечения «Пакет программ для интеграции САПР и ГИС «Rubius CADGIS Integrator». Достигнуто соглашение о поставке программного комплекса «CADGIS Integrator» в ОАО «ТатНефть».

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РАБОТЕ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА ВЫБОРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЭЦН

Заусалин Е.С., Каранкевич А.Г.

Научный руководитель: Каранкевич А.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zeus_avtf@mail.ru

В данной работе описан алгоритм, позволяющий производить вычисление коэффициентов полиномиальной функции, где в качестве входных данных применены нелинейные графики, представленные в виде графических файлов или в табличном представлении эмпирических данных описывающих какой-либо процесс, позволяющий проводить линейную интерполяцию графика, аппроксимацию и производить вычисление коэффициентов полиномиальной функции. Также описана программа, работающая на основе данного алгоритма, позволяющая существенно упростить работу по подбору УЭЦН, как пример применения данного алгоритма.

Одним из узких мест при подборе насосов УЭЦН является наличие данных для расчетов, в частности данных для построения графиков характеристик напор-расход и мощность-расход секций насосов. Графики серийных изделий обычно представлены в каталогах завода-производителя (рис. 1), но если это новый насос, то необходимо внести его описательную информацию в таблицы базы описаний программного обеспечения, с помощью которого производится подбор УЭЦН. В большинстве программ для подбора насосов для построения заводских графиков используются коэффициенты полиномиальной функции или набор точек с линейной интерполяцией[1].

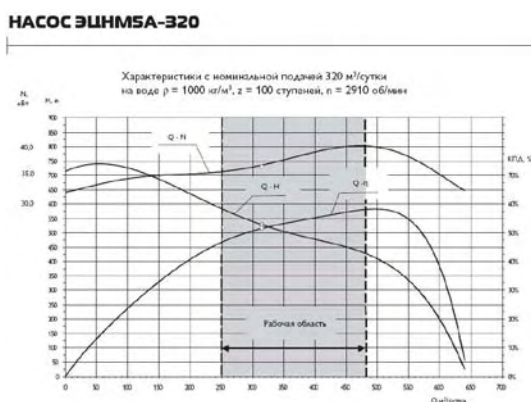


Рис. 1. Каталогный график напор-расход и мощность-расход

В ходе работы было проведено ознакомление с существующими и наиболее часто используемыми программными продуктами для расчета и выбора ЭПО и анализ их:

- **Novomet Sel-Pro** (разработчик Новомет-Пермь).

- **SubPump** (разработчик IHS ENERGY USA).

- **RosPump** (разработчик Уфа-Нипинефть).

Все перечисленные программы обладают открытыми базами данных, но ни одна из них не решит проблему оперативного и качественного дополнения этих баз.

В результате проведенного анализа, выявилась потребность в дополнительном программном обеспечении для оперативного получения коэффициентов полиномиальной функции с использованием входных данных в виде каталожных графиков завода производителя или графиков из протокола испытания насоса предоставленного предприятием изготовителем. В первую очередь эта задача актуальна при использовании уникального и испытываемого насосного оборудования, а также оборудования мелкосерийных производителей, данные для которых, отсутствуют в базе ПО по подбору УЭЦН.

Для решения проблемы получения коэффициентов полиномиальной функции предлагается программное обеспечение (далее ПО) «**Polinom**» разработанное студентами ИКСУ АВТФ. Программа создана в Microsoft Visual Studio Basic — продукте компании Майкрософт, включающем интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств.

Программа позволяет:

- Снимать неограниченное (в разумных пределах) количество точек с любого графика и сохранять их в MS Excel

- Проводить интерполяцию нелинейной функции и находить полином 6-ой степени и выше

- Рисовать функцию по точкам и сглаженную функцию по найденному полиному

ПО работает следующим образом:

На координатной плоскости отмечаются точки по табличным значениям, либо снятые

с загруженного изображения функции. Расставляются вспомогательные точки, позволяющие определить координаты (рис. 2).

Следующим шагом является построение на основе набора точек линейно-интерполированного графика (рис. 3) кусочно-линейной функцией.

После интерполяции график аппроксимируется полиномами Чебышева по методу наименьших квадратов и находятся коэффициенты полинома функции (рис. 4).

Выбор узлов очень сильно влияет на точность интерполяции. При этом сетка с равноудаленными узлами, не смотря на свою простоту и удобство в использовании, не подходит для интерполяции по двум тесно связанным причинам.

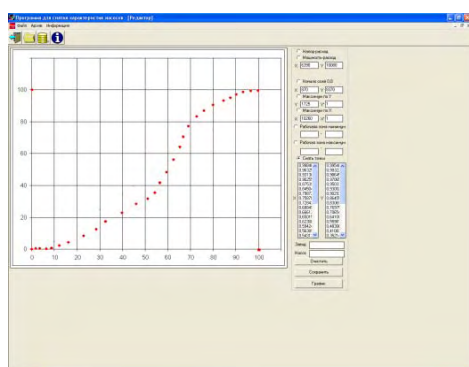


Рис. 2. Расстановка точек

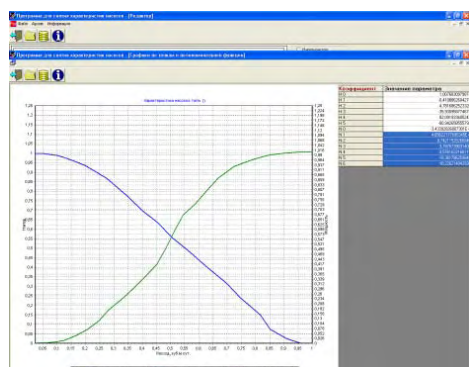


Рис. 3. Линейная интерполяция

Чем больше выбранных точек, тем сильнее интерполяционный полином будет отклоняться от функции по мере приближения к границам отрезка. При неограниченном росте числа точек ошибка интерполяции на отрезке будет стремиться к бесконечности. Доказано, что существует целый класс функций, которые не могут быть интерполированы полиномом на равномерной сетке. Это функции, имеющие полюса на комплексной плоскости в окрестностях отрезка интерполяции. Следует понимать, что рост ошибки интерполяции с ростом числа точек - не недостаток алгорит-

ма и не следствие естественных погрешностей при операциях с вещественными числами. Это фундаментальное свойство интерполяционного полинома - в точности проходя через все предписанные точки, он будет резко возрастать в интервале между ними.

При интерполяции на сетке с равноудаленными узлами погрешности операций с вещественными числами могут накапливаться и привести к снижению качества интерполяции. Причиной является то, что даже если интерполируемая функция относится к классу "хороших функций", т.е. не имеет полюсов в окрестностях отрезка интерполяции, погрешности операций с вещественными числами обычно вносят небольшие искажения в её график. И эти искажения очень часто принимают облик "плохой функции", что приводит к катастрофическому росту погрешности с ростом числа точек.

Если же мы имеем свободу выбора точек, то можно проводить интерполяцию на сетке Чебышева. На такой сетке в подавляющем большинстве случаев ошибка интерполяции будет уменьшаться с ростом числа точек (в частности, это верно для любой гладкой функции). Вычислительные погрешности также менее склонны к накоплению[2].

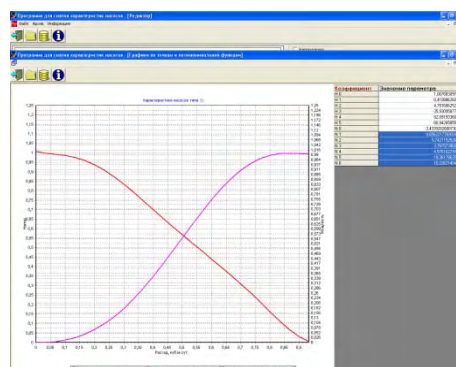


Рис. 4. Нахождение полинома

Таким образом, в качестве интерполяционного полинома в алгоритме программы используется Многочлен Чебышёва первого рода, характеризующийся как многочлен степени n со старшим коэффициентом 2^{n-1} , который меньше всего отклоняется от нуля на интервале $[-1, 1]$.

После проделанных автоматизированных процедур, значения коэффициентов полинома и точек со сглаженной кривой сохраняются, откуда стандартными процедурами могут импортироваться для дальнейшего использования. Таким образом, с помощью данной программы за 3-5 минут можно добавить в базу данных программы для подбора УЭЦН

характеристики нового насоса или обновить старые.

В результате можно прийти к следующим выводам – данный алгоритм и программное обеспечение на его основе является удачным решением. Используя данные технологии не только в сфере подбора УЭЦН, но и адаптировав для других нужд в различных сферах можно существенно сэкономить время и, следовательно, достичь экономической выгоды со стороны организации.

Список литературы

1. Бухаленко Б.И. Справочник по нефте-промысловому оборудованию М., Недра, 1983 г., 390 с.
2. В. Ф. Николаев, “Интерполирование с помощью показательных функций и полиномов”, Матем. сб., 42:1 (1935), 65–80.
3. http://solidbase.karelia.ru/edu/meth_calc/files/09.shtml
4. <http://forum.sources.ru/index.php?showtopic=194156&st=15>
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Интерполяция>
6. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Аппроксимация>

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ИСКУССТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Зверев П. С.

Научный руководитель: Довгаль В. М., д.т.н., профессор
Курский государственный технический университет,
305040, Россия, г. Курск, ул. 50 Октября, д. 94
E-mail: peterzverev@yandex.ru

Исследование возможности возникновения столкновений между орбитальными телами на современном этапе актуально и перспективно, поскольку возникают нетривиальные проблемы обеспечения безопасности космических аппаратов (КА) и ракет-носителей. В настоящее время ведутся активные работы по освоению космического пространства. Все больше стран подключается к космическим программам. Все чаще испытываются новые виды ракет-носителей, запускаются новые спутники, как правило, не имеющие средств автоутилизации на заключительном этапе жизненного цикла. Все это способствует увеличению количества объектов космического «мусора». При этом в условиях несогласованности орбитальных характеристик функционирующих КА возникает реальная угроза аварий при космических полетах, а в обозримом будущем угроза будет неуклонно расти.

Целью данной работы является создание бортовой подсистемы КА для предотвращения столкновений с орбитальными телами путём разработки метода, алгоритмических и программно-аппаратных средств для своевременного обнаружения движущихся искусственных космических объектов (ДИКО).

Сложность системы распознавания ДИКО заключается в том, что для базового объекта положение всех объектов (как движущихся, так и статических) будет изменяться, причем их траектории будут являться хаотическими. Данная проблема может быть решена путем

установки сложных и дорогостоящих технических средств, которые позволяли бы стабилизировать траектории внешних статических объектов.

Среди описанных в открытой литературе подходов к решению задачи распознавания движущихся космических объектов можно выделить две основные группы.

К первой группе относятся подходы, которые основываются на использовании радиолокационного оборудования. Недостатком подходов, относящихся к данной группе, является то, что все они используют активную радиолокацию, использование которой требует от КА дополнительных энергомассовых затрат.

Вторая группа подходов использует прогнозирование конфликтных ситуаций. Значительные затраты времени, которых требует прогнозирование механических конфликтов на основе моделирования движения орбитальных тел – это основная проблема, возникающая при использовании подходов этой группы. Еще одним недостатком является то, что реализация данных подходов требует использования базы данных о существующих орбитальных объектах (спутниках Земли, космическом «мусоре»). Так как невозможно существование не каталогизированного орбитального объекта (давно забытый или списанный спутник, вновь образовавшийся элемент космического мусора), который представляет реальную угрозу столкновения для рассматриваемого КА.

Предполагается, что разработанные программно-аппаратные средства, реализующие метод и алгоритм распознавания, будут установлены на борту одного или нескольких космических аппаратов-наблюдателей (КАН), находящихся на низкой околоземной орбите и оснащенных фотокамерами. Входными данными являются:

- данные, получаемые с фото-матрицы оптической камеры КАН;
- хранилище данных, в котором размещена информация об известных орбитальных объектах (параметры орбиты, скорость и т.д.).

Выходными данными алгоритма распознавания являются:

- информация о треках обнаруженных ДИКО.

Процесс обнаружения ДИКО происходит в несколько этапов. На первом этапе происходит получение данных с фото-матрицы КАН и передача их разработанным средствам. На втором этапе, на основании полученных данных, формируются треки ДИКО. На третьем этапе происходит обновление хранилища данных информацией об обнаруженных ДИКО, после чего проверяются возможности столкновений между КАН и объектами из хранилища данных. На четвертом этапе происходит передача информации о возможных столкновениях на ЦУП или другие искусственные объекты.

Следует обратить внимание на то, что сложность второго этапа заключается в наличии у КАН, как и у любого искусственного космического объекта, шести степеней свободы: смещения вдоль осей X , Y и Z , тангажа, рысканья, вращения.

Поэтому для КАН, имеющего неустраняемый «люфт» по всем степеням свободы, положение на кадре всех космических объектов будет изменяться, причем траектория, отображенная на последовательности кадров как искусственных, так и естественных объектов будет детерминировано хаотической, а на основании тезиса А. Пуанкаре она не будет являться прогнозируемой.

Разработанный алгоритм обнаружения ДИКО выполняется в шесть этапов.

На первом этапе происходит получение данных о двух последовательных кадрах с фото-матрицы КАН. Под данными понимается упорядоченная последовательность координат объектов на фото-матрице, которые были зафиксированы ею в текущем кадре.

Второй этап заключается в формировании на основании данных о первом кадре множества структур (структуры первого кадра). Под структурой понимается набор следующих данных: координаты объектов первого кадра

и их метрики связей. Количество объектов в структуре определяется опытным путем и влияет на точность сравнения разных структур. В качестве метрики связи принято Евклидово расстояние между участвующими в сопряжении объектами.

Суть третьего этапа заключается в следующем. На основании данных о втором кадре формируются все возможные структуры (структуры второго кадра). Во время процесса формирования отбираются структуры, для которых существует подобная структура первого кадра. Две структуры считаются подобными, если их соответствующие метрики связей полностью совпадают. В результате отбора получается множество пар структур, каждая из которых включает в себя структуры первого и второго кадра.

На четвертом этапе, на основании полученных пар структур рассчитываются параметры аффинных преобразований (сдвига и поворота), применение которых позволит получить из координат объектов одной структуры координаты соответствующих объектов второй структуры из той же пары. Так как расстояние до звезд крайне велико (расстояние до ближайшей звезды – 4,3 светового года или 40 трлн. км), то результат воздействия тангажа и рысканья (вращений вокруг осей OX и OY соответственно) на объекты на фото-матрице КА сводится к их смещению вдоль осей OY и OX соответственно. Поэтому значения смещений, обусловленных воздействием тангажа и рысканья, могут быть объединены со значениями смещений вдоль осей OY и OX . Таким образом, должны быть рассчитаны следующие параметры аффинных преобразований: сдвиги вдоль осей OX и OY , угол поворота вокруг оси OZ относительно центра фото-матрицы. Сдвиг вдоль оси OZ не рассматривается, так как не оказывает влияния на положение объектов на фото-матрице.

Пятый этап заключается в преобразовании координат объектов структур второго кадра с помощью аффинных преобразований, параметры которых были найдены на предыдущем этапе.

После этого на шестом этапе происходит объединение данных первого кадра и измененных данных второго кадра. В ходе объединения происходит удаление объектов, данные о которых были обнаружены в обоих кадрах. Таким образом, после перечисленных действий формируется объединенный кадр, на котором остаются только искусственные космические объекты. Путем совмещения объединенных кадров для заданных пар последовательных входных кадров формируются треки ДИКО, которые являются искомым результатом работы алгоритма обнаружения.

Далее информация об обнаруженных треках ДИКО передается в наземный наблюдательный пункт, который, обработав данную информацию, высылает на КА орбитальные характеристики всех ДИКО, которые были зафиксированы. Данные характеристики передаются в хранилище данных для идентификации. Если в хранилище отсутствует информация о ДИКО – хранилище пополняется. Процедура определения орбитальных характеристик могла бы проводиться и без участия наземного наблюдательного пункта непосредственно КАН. Для этого необходимо, чтобы на нем было установлено дополнительное локационное оборудование и СПО, которое могло бы определять орбитальные характеристики ДИКО.

После обновления хранилища происходит проверка возможности столкновения между КАН и объектами из хранилища данных. Если выявляется опасность столкновения между какими-нибудь объектами, то данные об этих

объектах отправляются в ЦУП и, по возможности, на эти объекты. В случае если КАН участвует в столкновении, то отправляется запрос на изменение собственного положения для уклонения.

Разработанные метод, алгоритмические и программно-аппаратные средства позволяют обеспечить безопасность космических полетов по загрязненному околоземному космическому пространству путем своевременного обнаружения ДИКО. Использование предлагаемых средств позволяет исключить сложные и дорогостоящие технические средства, требуемые для стабилизации траектории естественных космических объектов, для применения методов, основанных на радиолокации, тем самым, уменьшая общую стоимость комплекса безопасности космических полетов, в котором будут использоваться данные программно-аппаратные средства, и снижая энергомассовые затраты.

АСИМПТОТИЧЕСКИ РОБАСТНЫЙ ИНВАРИАНТНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ CDMA СИСТЕМ

Богданович В. А., Исая Али М. Х.

Научный руководитель: Вострецов А. Г., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, г. Новосибирск, пр.К.Маркса, 20.

E-mail: mhe_2003@yahoo.com

Аннотация — Предлагается многопользовательский асимптотически робастный инвариантный алгоритм демодуляции сигналов для систем с кодовым разделением каналов (CDMA). Данный алгоритм, обеспечивает подавление помехи множественного доступа, обеспечивает высокое качество демодуляции в условиях действия негауссовского шума и не требует регулировки мощности передатчиков подвижных объектов. Методом компьютерного моделирования получены характеристики алгоритма для случая бинарной дифференциальной фазовой модуляции.

Ключевые слова — CDMA, помехи множественного доступа, субоптимальные многопользовательские алгоритмы, синхронная передача, асимптотически робастные инвариантные алгоритмы.

Введение

Технология множественного доступа с кодовым разделением каналов позволяет эф-

фективно использовать ресурсы канала связи и рассчитывать на существенное увеличение емкости систем беспроводной связи по сравнению с технологиями множественного доступа с частотным и временным разделением каналов [1]. Для достижения наибольшей емкости системы с кодовым разделением каналов на приемной стороне необходимо использовать алгоритмы многопользовательской демодуляции вместо традиционного многоканального коррелятора [2, 3].

Еще для CDMA серьезной проблемой является проблема «разных дальностей» (near-far problem) [4]. Традиционно эта проблема решается путем регулировки мощности сигналов, излучаемых каждым пользователем, с целью выравнивания уровней сигналов от всех пользователей в месте приема. Разработаны и продолжают разрабатываться многопользовательские алгоритмы демодуляции, не требующие такой регулировки, для которой необходим специальный канал связи.

Для систем с белым гауссовским шумом (БГШ) получены оптимальные многопольз-

овательские алгоритмы демодуляции [4]. Однако вычислительная сложность данных алгоритмов (измеряемая числом арифметических операций на модулированную сигнатуру) увеличивается экспоненциально с ростом числа активных пользователей системы. В связи с практически непреодолимыми трудностями реализации этих алгоритмов при числе пользователей $K > 10$ были разработаны (также для систем с БГШ) субоптимальные многопользовательские алгоритмы [4]. Вычислительная сложность этих алгоритмов увеличивается линейно с ростом K , что делает возможным их реализацию на практике.

Для систем с белым гауссовским шумом (БГШ) получены оптимальные и субоптимальные многопользовательские алгоритмы демодуляции. В связи с этим остается открытым вопрос о возможности и эффективности их применения в системах с негауссовским шумом, особенно в случае априорно неизвестного распределения шума. Кроме того, для данных алгоритмов требуется знание уровня шума и энергии сигналов, принимаемых от каждого пользователя.

Поэтому представляет интерес построение многопользовательских робастных алгоритмов, ориентированных на применение в условиях априорной неопределенности распределения шума, а также энергетических параметров шума и сигналов.

В данной работе Мы представляем АРИ (асимптотически робастный инвариантный) алгоритм, который использует принципы асимптотической робастности и инвариантностной робастности преодолевается априорная неопределенность распределения шума. На основе принципа инвариантности обеспечивается подавление ПМД с априорно неопределенными характеристиками. Асимптотический (по размеру наблюдаемой выборки) подход к построению алгоритмов обусловлен большой базой сигнатур.

Асимптотически робастный инвариантный алгоритм демодуляции

А. Наблюдаемые данные

$$\varphi_N^{(m)}(\bar{x}) = \begin{cases} 1 & \text{при } \max_{k=1, M} \operatorname{Re} \theta_k \langle \bar{S}_L, \bar{x} \rangle = \operatorname{Re} \theta_m \langle \bar{S}_L, \bar{x} \rangle, \\ 0 & \text{при } \max_{k=1, M} \operatorname{Re} \theta_k \langle \bar{S}_L, \bar{x} \rangle \neq \operatorname{Re} \theta_m \langle \bar{S}_L, \bar{x} \rangle. \end{cases}, m = \overline{1, M}, \quad (3)$$

Алгоритм с решающими функциями (3) совпадает с известным многопользовательским алгоритмом с декорреляцией, построенным в предположении, что в системе дейст-

В качестве наблюдаемых данных выступает выборка $\bar{x}$ из комплексной огибающей $x(t)$ процесса на выходе линейного тракта

приемника. Выборка $\bar{x} = \frac{\lambda}{\sqrt{N}} \theta \bar{S} + \bar{\eta} + \bar{\xi}$, где $\bar{S}$ – выборка из комплексной огибающей сигнатуры рассматриваемого пользователя, $\bar{\eta}, \bar{\xi}$ – выборки из комплексных огибающих ПМД и шума.

Б. Модель шума

Для представления априорной неопределенности распределений шума рассмотрим одну из нескольких моделей, предложенных в [6], а именно – расширенную модель ПРВ с конечной дисперсией [7]. В этой модели в отличие от общепринятых моделей подобного типа введен априорно неопределенный параметр масштаба σ , что значительно расширяет множество принадлежащих им ПРВ.

Расширенная модель ПРВ с конечной дисперсией представлена множеством

$$P_1 = \left\{ p(t) = \frac{1}{\sigma} w \left(\frac{t}{\sigma} \right), w \in W_1, \sigma \in (0, \infty) \right\}$$

(1)

С. Модель помехи множественного доступа

Для CDMA характерны два вида передачи сигналов: синхронная и асинхронная. В данной работе рассматривается только случай синхронной передачи.

При синхронной передаче ПМД выражается в форме :

$$\eta(t) = \sum_{k=1}^{K-1} v_k S_k(t) \Pi(t), t \in T_S, \quad (2)$$

Согласно принятым моделям сигналов и помех распределения наблюдаемой выборки При синхронной передаче и Расширенная модель ПРВ с конечной дисперсией для шума [6], [7]. Применив разработанную в работе [7] методику синтеза АРИ - алгоритмов, можно установить, что в случае когерентного приема и M -кратной ФМ и в случае представления априорной неопределенности ПРВ шума моделью [7] решающие функции АРИ-алгоритма выражаются в форме

вует БГШ. Подавление ПМД в обоих этих алгоритмах достигается за счет применения

рассогласованного с сигнатурой коррелятора $\langle \tilde{S}_L, \bar{x} \rangle$.

Таким образом, установлено, что известный алгоритм с декорреляцией тождественен АРИ-алгоритму в случае представления непараметрической априорной неопределенности шума расширенной моделью с конечной дисперсией (1).

Характеристики алгоритмов демодуляции

Для оценки эффективности АРИ-алгоритма на ЭВМ оценивались зависимости вероятности ошибочной демодуляции в расчете на 1 бит (BER – Bit Error Rate) от отношения сигнал/шум при различном числе активных пользователей в системе (числа помех множественного доступа).

При этом моделировались отсчеты огибающей $x(t)$ процесса, наблюдаемого на входе демодулятора в соответствии с моделью [6,7], для случая бинарной относительной фазовой модуляции. В качестве сигнатур использовались М-последовательности длиной 127.

На рисунке приведены зависимости вероятностей ошибочной демодуляции на 1 бит (BER) от отношения сигнал/шум при различном числе активных пользователей для АРИ алгоритма.

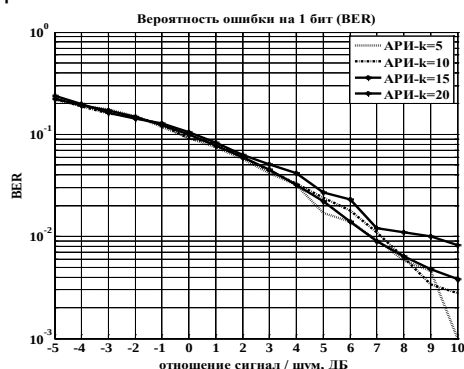


Рис.1. Зависимости вероятностей ошибочной демодуляции в каналах с БГШ и ПМД для АРИ алгоритма при синхронном приеме и различном числе абонентов k.

АРИ алгоритм обеспечивает хорошие возможности подавления помех, поскольку АРИ полностью исключает ПМД, где есть незначительная разница в производительности между числом пользователей.

Работа выполнена при частичной поддержке Рособразования и РФФИ (грант № 08.01.00031).

Список литературы

1. Verdu S. Multiuser Detection. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 1998.
2. Гепко И.А. Многопользовательский прием в CDMA. Теория и методы. /Киев / /Зв'язок, 2000, № 4, с.17...23.
3. Бобровский В.И. Многопользовательское детектирование. / Под ред. Д.Л.Бураченко. Ульяновск. Изд-во УВВИУС, 2005, 300 с.
4. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер. с англ./ Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000.
5. Леман Э. Проверка статистических гипотез. Пер. с англ. – М.: Наука, 1979.
6. Богданович В.А., Вострецов А.Г. Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
7. Богданович В.А., Вострецов А.Г. Применение принципов инвариантности и робастности при разработке алгоритмов демодуляции для широкополосных систем связи// Радиотехника и электроника, 2009, том 54, № 9, с. 1–9.

ПЛАТФОРМА INDESYS FRAMEWORK ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ УСТРОЙСТВ

Каратаев Е.В., Песков М.А.

Научный руководитель: Дорофеев С.Ю., аспирант

Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40

E-mail: Karataev.Evgeny@gmail.com

Особенностью современного этапа развития радиоэлектроники является все более широкое освоение СВЧ диапазона, ведущее к появлению качественно новых радиоэлектронных и телекоммуникационных систем с улучшенными характеристиками.

В Лаборатории интеллектуальных компьютерных систем Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ЛИКС ТУСУР) разрабатывается интеллектуальная система автоматизированного проектирования (синтеза) СВЧ устройств Indesys (Intelligent Design System), вид которой представлен на рис. 1.

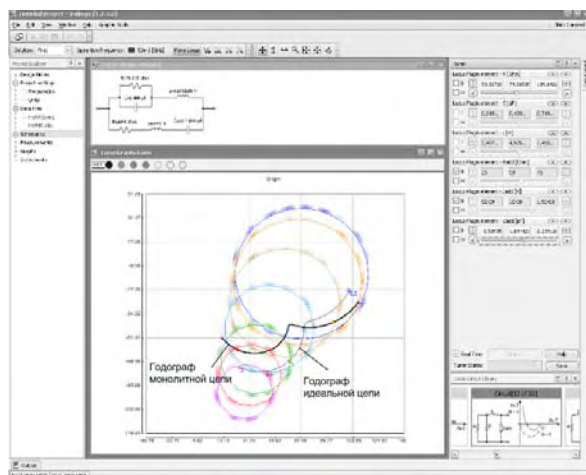


Рис. 1. Внешний вид программы Indesys

Данная система обеспечит синтез широкого класса активных СВЧ устройств, в том числе транзисторных усилителей различных типов, полупроводниковых управляющих устройств (аттенуаторов, фазовращателей, амплитудных и фазовых манипуляторов), а также пассивных согласующих (СЦ), корректирующих цепей (КЦ) и фильтров. При этом система создается не только как средство синтеза только указанных классов СВЧ устройств, но и может легко дополняться новыми методами, адаптироваться под другие типы решаемых задач и другие типы проектируемых устройств.

В отличие от существующих программных продуктов, разрабатываемая система разрешает, во-первых, генерировать принципиаль-

ную схему и топологию устройства по поставленным требованиям и, во-вторых, позволяет точно учесть на этапе синтеза потери и паразитные параметры монолитных интегральных элементов.

Преимущества разрабатываемой интеллектуальной системы автоматизированного проектирования СВЧ устройств по сравнению с известными программами состоят в следующем:

1) благодаря использованию композиционного подхода она позволит решить на единой основе задачи схемотехнического синтеза для широкого класса СВЧ полупроводниковых устройств.

2) синтез разных типов СВЧ устройств выполняется при учете полного комплекса характеристик.

3) при проектировании полностью контролируются структура, значения элементов и топология синтезируемых устройств.

4) сочетание автоматической генерации схем и интерактивного «визуального» проектирования обеспечивает гибкость и расширяет возможности системы для пользователей различного уровня.

В настоящее время в России и за рубежом отсутствуют программные продукты, обладающие подобными возможностями.

Для повышения эффективности в системе Indesys использовались элементы искусственного интеллекта и, в частности, генетических алгоритмов (ГА).

Для осуществления структурного синтеза СВЧ устройства на основе ГА [1, 2] информация о его структуре и параметрах элементов представляется в виде числового кода – хромосомы. После генерации начального множества числовых кодов (решений) в процессе работы ГА популяция хромосом на каждом шаге обновляется путем моделирования механизмов наследственной генетики – скрещивания хромосом и мутации. Моделирование механизма естественного отбора на основе вычисления целевой функции приводит к постепенному улучшению решений в процессе эволюции.

В задачах синтеза цепей с использованием ГА все более частое применение находят так называемые морфологические методы описания структуры синтезируемых устройств

[3]. Суть этих методов заключается в определении пространства поиска, которое называется морфологическим множеством (множеством альтернатив). Такое множество должно содержать все структурные решения устройств рассматриваемого класса, как реально существующие, так и потенциально возможные. Морфологическое множество можно представить в виде многоуровневых морфологических таблиц или морфологических «и/или» деревьев, на которых будет проводиться поиск рациональных технических решений [3, 4].

Структура и реализация системы. Чтобы обеспечить возможность использования системы Indesys в качестве основы для реализации широкого спектра задач в области проектирования (синтеза) и характеристики (измерения параметров) различных СВЧ устройств, было решено разделить её на два уровня.

Первый (базовый) уровень Indesys Framework содержит общие механизмы, необходимые для реализации специфики данной предметной области: комплексная арифметика, логическое и геометрическое представление радиоэлектронных цепей, алгоритмы моделирования и расчета характеристик цепей, алгоритмы оптимизации, задание ограничений, расчёт целевых функций, управление измерительной аппаратурой через стандартные протоколы VISA и др. Кроме того, этот уровень реализует общий пользовательский интерфейс, построенный на библиотеке пользовательских элементов управления DXperience фирмы DevExpress, а именно – главное окно программы, дерево проекта, средства отображения данных (графические диаграммы - прямоугольная, полярная и Вольерта-Смита, таблицы), общие диалоговые формы: задания рабочих частот, требований к характеристикам, единиц измерения физических величин и т.д.

Доступ к этому уровню обеспечивается через набор внешних программных интерфейсов Indesys Framework API. Для обеспечения возможности автоматизации системы конечным пользователем в неё встроен скриптовый редактор Indesys ScriptEditor, позволяющий разрабатывать программы на языках C# и Visual Basic .NET. Кроме того, Indesys Framework API доступен для внешних программ, что позволяет обеспечить интеграцию с ними, а также разработку программных расширений для системы Indesys.

Второй уровень системы Indesys является надстройкой над уровнем Indesys Framework и содержит методы синтеза различных типов СВЧ устройств. Методы реализованы в виде динамических подключаемых модулей (пла-

гинов), которые могут содержать как конкретные алгоритмы методов синтеза, так и собственный пользовательский интерфейс.

В настоящий момент на основе платформы Indesys Framework реализованы и реализуются ряд программ синтеза различных типов пассивных и активных СВЧ устройств, в частности:

- программа «визуального» проектирования КЦ и СЦ на идеальных элементах INDESYS-L;

- программа «визуального» проектирования монолитных КЦ и СЦ INDESYS-LM (интегрирована со средой проектирования СВЧ устройств MWO);

- программы автоматического синтеза на основе ГА фильтров и СЦ (INDESYS-G) и транзисторных усилителей (INDESYS-GA);

- программа управления измерительными СВЧ приборами INDESYS-MS.

Опыт использования программ подтвердил эффективность предложенных подходов и алгоритмов при решении практических задач проектирования СВЧ устройств. Реализация программ на базе платформы Indesys Framework позволила значительно уменьшить трудоемкость и сократить сроки их разработки.

Работа поддержана грантами международной организации INTAS (№06-1000024-9199), Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ №06-07-96916, №08-07-99034 и №09-07-99020), «Бизнес-старт с Microsoft», «У.М.Н.И.К.» и «Ползуновские гранты».

Список литературы

1. Бабак Л.И., Вьюшков В.А. Автоматизированный синтез согласующих цепей на основе генетического алгоритма // Межд. науч.-практ. конф. "Электронные средства и системы управления": Сб. докладов. – Томск: изд-во Института оптики и атмосферы СО РАН. – Томск 2005. – Ч. 2. – С. 102–105.

2. Дорофеев С.Ю., Бабак Л.И. синтез согласующих цепей на сосредоточенных и распределённых элементах с использованием генетического алгоритма // 18-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрымКо'2008). Севастополь, 8-12 сентября 2008 г.: Материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 1. – С. 133–134.

3. Акимов С.В. Исследование и разработка методов структурно-параметрического синтеза линейных транзисторных усилителей СВЧ: Автореф. дис. канд. техн. наук / СПбГУТ, 2002.

4. И.П. Норенков, В.Б. Маничев. Основы теории и проектирования САПР. - Москва: Высшая школа, 1990. - 336 с.

5. С.Ю. Дорофеев, Л.И. Бабак. Организация универсальной программной системы

для синтеза радиоэлектронных устройств на основе генетического алгоритма // Доклады ТУСУР. - Томск 2007 - №2 (16) - С.151-156

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Каргин А.А., Соседов Е.А., Ефремов Е.В.

Научный руководитель: Ефремов Е.В.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: efremov@phtd.tpu.ru

Увеличение сложности математических моделей реальных систем и процессов управления, связанное с желанием повысить их адекватность, обуславливает развитие новых направлений теории автоматического управления.

Традиционные методы синтеза систем автоматического управления (САУ) не всегда приводят к удовлетворительным результатам, когда исходное описание проблемы является неточным. В подобных случаях целесообразно воспользоваться методами, ориентированными на построение моделей, учитывающих неточность исходных данных. В таких ситуациях технология нечеткого моделирования оказывается более конструктивной.

Среди причин распространения нечетких САУ (*F*-САУ), обычно, выделяют их малую чувствительность к изменению параметров объекта управления (ОУ) и простоту их синтеза [1].

Наряду с достоинствами *F*-САУ стоит отметить и их недостатки: необходимость создания зачастую громоздких баз правил, необходимость определения процедур фаззификации и дефаззификации. Однако существуют косвенные методы *F*-вывода позволяющие упростить данную процедуру. Преимущество данного метода заключается в том, что вычисления переносятся в пространство нечетких значений истинности. Это позволяет уйти от предметной области и использовать универсальное представление для выражения таких понятий как «истинно», «очень истинно» и т. д. [2]. Одним из таких методов является косвенный метод *F*-вывода, предложенный Я. Цукамото.

Несмотря на преимущество косвенных методов над прямыми, существует недостаток – отсутствие универсального и удобного способа настройки подобных регуляторов. На-

стройку параметров регуляторов можно осуществить либо методом проб и ошибок, либо на основе эмпирических знаний о настройке. Часто эмпирические знания о настройке неизвестны, а метод проб и ошибок крайне неудобен, так как требует проведения натурных экспериментов. Поэтому разработка метода настройки нечеткого регулятора (НР) является весьма актуальной задачей.

Регулятор, основанный на косвенном методе *F*-вывода Цукамото, использует следующие лингвистические правила управления (ЛПУ):

ЛПУ 1: ЕСЛИ e_k есть P_1 ТО Δu_k есть P_{u1} ,

ЛПУ 2: ЕСЛИ e_k есть N_1 , ТО Δu_k есть N_{u1} ,

ЛПУ 3: ЕСЛИ Δe_k есть P_2 , ТО Δu_k есть P_{u2} ,

ЛПУ 4: ЕСЛИ Δe_k есть N_2 , ТО Δu_k есть N_{u2} ,

ЛПУ 5: ЕСЛИ $\Delta^2 e_k$ есть P_3 , ТО Δu_k есть P_{u3} ,

ЛПУ 6: ЕСЛИ $\Delta^2 e_k$ есть N_3 , ТО Δu_k есть N_{u3} ,

где e_k – отклонение регулируемой величины от уставки, Δe_k , $\Delta^2 e_k$ – разность отклонений 1-го и 2-го порядка соответственно, Δu_k – приращение управляющей величины, P , N – положительное и отрицательное соответственно.

Величины P_i , P_{ui} , N_i , N_{ui} ($i = 1, 2, 3$), входящие в правила, представляют собой *F*-множества, которые имеют функции принадлежности для каждой переменной (Рис. 1).

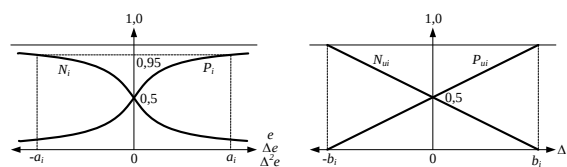


Рис. 1. Функции принадлежности предпосылок и заключений

Можно показать, что применяя *F*-вывод на основе косвенного метода Цукамото, расчет

управляющего воздействия Δu_k^* осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{cases} \Delta u_1 = \frac{1}{\pi} \{ \arctg(d_1 e_k) + \arctg(d_2 \Delta e_k) \} / (g_1 + g_2), \\ \Delta u_2 = \frac{1}{\pi} \{ \arctg(d_2 \Delta e_k) + \arctg(d_3 \Delta^2 e_k) \} / (g_2 + g_3), \\ \Delta u_3 = \frac{1}{\pi} \{ \arctg(d_1 \Delta^2 e_k) + \arctg(d_1 e_k) \} / (g_3 + g_1), \end{cases}$$

$$\Delta u_k^* = \text{medium} \{ \Delta u_1, \Delta u_2, \Delta u_3 \},$$

где $d_i = \text{tg}(0,45\pi) / a_i$, $g_i = 1/(2b_i)$, $i = 1, 2, 3$, medium означает среднее значение [3].

Таким образом, настройка НР сводится к подбору значений $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$, определяющих функции принадлежности и указанных на Рис. 1.

Для разработки метода настройки НР необходимо установить зависимость между параметрами ОУ и указанными параметрами настройки НР. Для установления данной зависимости было решено провести статистическое исследование.

Для этого в программном пакете MATLAB была написана программа, реализующая циклический перебор 3-х параметров ОУ (коэффициент передачи и две постоянные времени) на 5-ти уровнях и циклический перебор 6-ти параметров настройки НР на 11-ти уровнях под каждый из ОУ. Производилось моделирование переходного процесса при подаче управляющего воздействия и анализ показателей качества управления. Выделялись лишь монотонные процессы с минимальным временем регулирования.

Результатом работы программы является выборка всевозможных ОУ с такими параметрами настройки НР, которые приводят к достижению наилучших показателей качества управления.

Указанную выборку было решено использовать для выявления зависимости между параметрами ОУ и параметрами настройки НР.

Анализ выборки показал, что зависимость является трудноформализуемой и не подлежит определению аналитическими или статистическими методами. Поэтому для установления искомой зависимости было решено использовать нейро-нечеткие сети.

В соответствующем приложении пакета MATLAB была создана нейронная сеть, которая была обучена по полученной выборке [6]. Входы сети – параметры ОУ, выходы – параметры настройки НР. Сеть, обученная с помощью алгоритма обратного распространения, аппроксимировала зависимость с по-

грешностью менее сотых долей процента. Процедура была проведена для 6-ти параметров настройки НР.

Далее обученные сети были экспортированы в пакет расширения Simulink, где вместе составили одну сеть для одновременной настройки всех параметров НР.

Сеть была экспериментально исследована путем подачи на ее вход значений параметров ОУ, которые выбирались таким образом, чтобы не быть равными данным из обучающей выборки. На Рис. 2 представлены переходные процессы для различных типов регуляторов, а в таблице 1 – показатели качества управления.

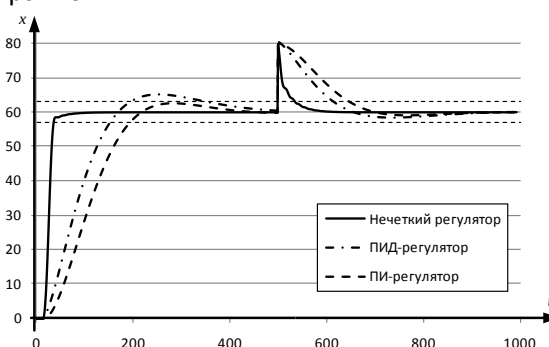


Рис. 2. Переходные процессы для различных типов регуляторов

Таблица 1. Показатели качества управления

	НР	ПИ-регулятор	ПИД-регулятор
$t_{\text{пер}}^u, \text{с}$	22	179	334
$\sigma^u, \%$	0	4,3	8,3
$t_{\text{пер}}^f, \text{с}$	48	149	114
$\sigma^f, \%$	0	1,5	3

В таблице 1 введены следующие обозначения: $t_{\text{пер}}^u$ – время регулирования при подаче управляющего воздействия, σ^u – перерегулирование, $t_{\text{пер}}^f$ – время регулирования при подаче возмущающего воздействия, σ^f – максимальное относительное отклонение.

Видно, что параметры НР, рассчитанные обученной сетью обеспечивают лучшие показатели качества управления, чем классические регуляторы.

Далее полученная F-CAУ была исследована на грубость. Параметры ОУ были увеличены в 2 раза. На Рис. 3 представлены переходные процессы для различных типов регуляторов.

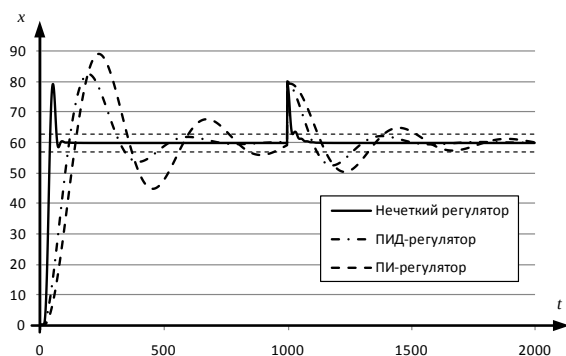


Рис. 3. Переходные процессы для различных типов регуляторов

Видно, что классические регуляторы существенно ухудшили показатели качества управления, а на показателях качества управления F -CAУ изменения влияния практически не оказали. Все это позволяет утверждать, что F -CAУ, во-первых, устойчивы, во-вторых, достигают лучших показателей качества управления, в-третьих, намного менее чувствительны к изменениям параметров ОУ.

Список литературы

1. Усков А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2004. – № 6. – С. 7–10.
2. Синюк В.Г., Куценко Д.А. Косвенный метод нечеткого вывода для продукционных систем со многими входами // Программные продукты и системы. – 2008. – № 1. – С. 45–47.
3. Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.: под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с., ил.
4. Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э. Яхъяева. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.: ил., табл. – (Серия «Основы информационных технологий»).
5. Нечеткая логика и ее применение в автоматическом управлении: Учеб. пособие / В.В. Стальский, Р.М. Проскуряков. – СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т., 1998. – 94 с.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.: ил.

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПОМЕЩЕНИЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ ДОМ»

Клёпова И.Г., Яновский Т.А.

Научный руководитель: Яновский Т.А., к.ф.-м.н., доцент
Волгоградский государственный технический университет,
400131, Россия, Волгоград, пр.Ленина 28
E-mail: irina_klepova@mail.ru

Одним из основных компонентов интеллектуального здания является система автоматизированного управления эксплуатацией здания. Она используется для автоматизации инженерных систем жизнеобеспечения здания или систем «Умный дом»: от вентиляции и водоснабжения до освещения и видеонаблюдения. Рассмотрим систему управления температурным режимом помещения, схема расположения элементов которой приведена на рис 1.

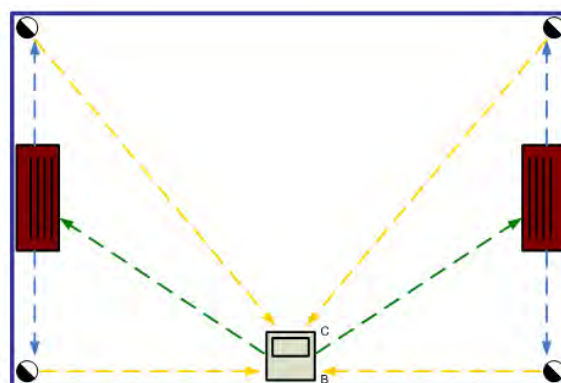


Рис. 1. Расположение элементов системы управления

В помещении расположены 2 кондиционера, по углам комнаты 4 датчика. Обработка

информации с датчиков и подача корректирующего сигнала осуществляется управляющим элементом.

Выделим для помещения элементы АСУ (см. табл.1).

Таблица 1. Описание системы управления

№	Параметр	Элемент цифровой системы управления
1	температура в помещении	объект управления (ОУ)
2	кондиционер	исполнительное устройство (ИУ)
3	компьютер	цифровой компьютер (ЦК)
4	датчик температуры	датчик (Д)
5	ИК-приемопередатчик	цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП)/ аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

Таким образом, структурная схема цифровой системы управления выглядит следующим образом:

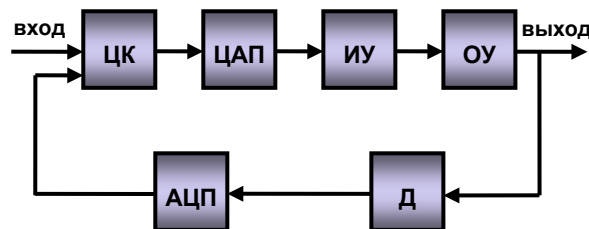


Рис. 2. Структурная схема цифровой системы управления

Управление происходит следующим образом: считываются показания датчиков, они сравниваются с графиком температур, далее формируется сигнал ошибки, который в виде цифрового кода передается в компьютер. Программная система рассчитывает управляющее воздействие, сигнал которого в аналоговом виде подается на кондиционеры, тем самым изменяется температура в помещении.

При заданных начальных данных «2 кондиционера – 4 датчика» возникает вопрос: каким параметром управлять? Каждым датчиком в отдельности, средним значением показаний датчиков или др. параметрами. Во многом это зависит от выбора метода проектирования регулятора.

Одним из самых распространенных методов проектирования АСУ является метод пространства состояний.

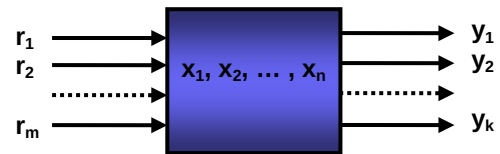


Рис. 3. Схематическое описание системы управления в пространстве состояний

Система управления описывается уравнением:

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$y = Cx$$

Однако проверка объекта на управляемость с помощью теоремы Калмана [3]

$$M_C = [b \mid Ab \mid A^2b \mid \dots \mid A^{n-1}b]$$

показывает, что объект является неуправляемым, т.е. невозможно сформировать управляющий сигнал для кондиционеров, чтобы обеспечить желаемую температуру на всех 4-х датчиках.

Для решения этой проблемы можно разделить помещение на зоны температурного регулирования, как показано на рис.4.

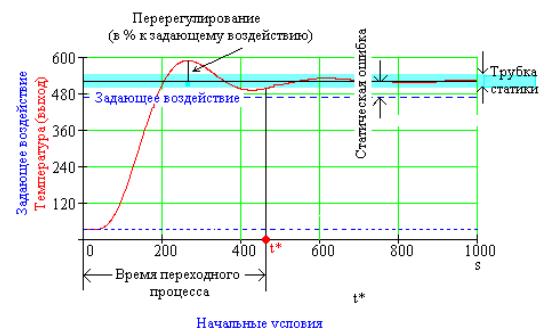
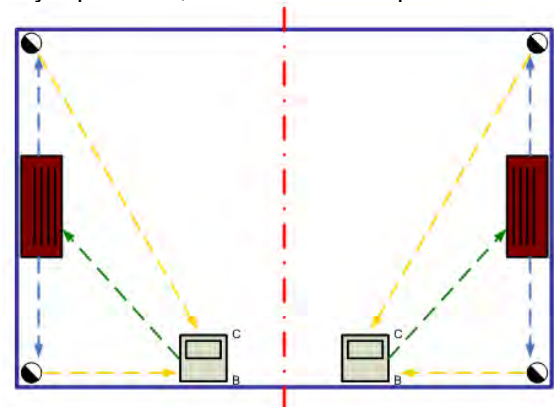


Рис. 4. Зонирование помещения

Проектируются 2 системы управления. В каждой из них 1 кондиционер и 2 датчика, по среднему значению показаний которых осуществляется управление температурой.

При такой постановке задачи при проектировании АСУ можно воспользоваться ПИД-регулятором.

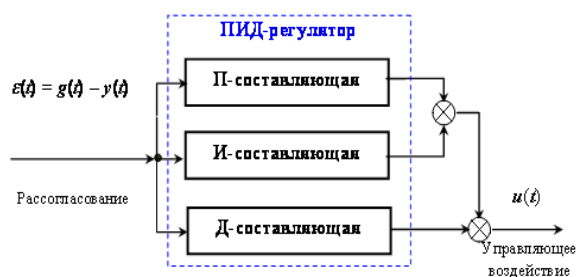


Рис. 5. ПИД-регулятор

Как известно, особенность управления с помощью ПИД-регулятора состоит в том, что корректирующий сигнал формируется за счет трех составляющих: пропорциональной, интегральной и дифференциальной [1].

$$u(t) = k_p \cdot \varepsilon(t) + k_i \cdot \int_0^t \varepsilon(\vartheta) d\vartheta + k_d \frac{d\varepsilon}{dt}$$

Пропорциональная часть позволяет повысить быстродействие системы автоматического управления. Интегральная предназначена для уменьшения статической ошибки (при постоянных во времени задающих воздействиях статическая ошибка отсутствует). Дифференциальная используется при высокочастотных задающих воздействиях (когда необходимо быстро реагировать на изменение задающего сигнала).

В данном случае задающее значение температуры будет меняться лишь несколько раз в сутки, поэтому можно исключить дифференциальную составляющую.

Одна из наиболее важных этапов проектирования системы автоматического управления – это проверка ее качества. Выделим следующие критерии качества:

- 1) статическая ошибка;
- 2) время переходного процесса;
- 3) перерегулирование;
- 4) интегральный критерий качества.

Рис.6. Показатели качества системы автоматического управления

Существует несколько видов интегральных оценок качества [2]:

1. Интеграл от квадрата ошибки (ИКО)

$$\text{ИКО} = \int_0^T e^2(t) dt$$

2. Интеграл от модуля ошибки (ИМО)

$$\text{ИМО} = \int_0^T |e(t)| dt$$

3. Интеграл от взвешенного модуля ошибки (ИВМО)

$$\text{ИВМО} = \int_0^T t |e(t)| dt$$

4. Интеграл от взвешенного квадрата ошибки (ИВКО)

$$\text{ИВКО} = \int_0^T t e^2(t) dt$$

В данной задаче удобно использовать интегральный критерий №1, так как квадрат ошибки удобен с математической точки зрения при аналитических расчетах и вычислениях на ЭВМ.

В заключении отметим этапы проектирования системы управления температурным режимом помещения:

1. Установка и настройка оборудования.
2. Проведение эксперимента.
3. Расчет параметров регулятора.
4. Разработка программы.
5. Тестирование и отладка программы.
6. Проверка качества САУ.

Список литературы

1. Денисенко, В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В. Денисенко // СТА. – 2006. - № 4. - С. 66-74.
2. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
3. Калман, Р. Очерки по математической теории систем: учеб. пособ. / Р. Калман, П. Фаиб, М. Арбиб. – М.: Мир, 1971. - 400 с.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ» В РОССИИ

Клёпова И.Г., Яновский Т.А.

Научный руководитель: Яновский Т.А., к.ф.-м.н., доцент
Волгоградский государственный технический университет,
400131, Россия, Волгоград, пр.Ленина 28
E-mail: irina_klepova@mail.ru

Интеллектуальное здание – это понятие, которое впервые было сформулировано Институтом интеллектуального здания в Вашингтоне в 70-е годы прошлого века. Оно подразумевает здание, обеспечивающее продуктивное и эффективное использование рабочего пространства благодаря оптимизации его четырех основных элементов: структуры, систем, служб и управления, а также взаимоотношений между ними [1].

Сегодня это понятие употребляют применительно к объектам коммерческой недвижимости. Отдельно взятые автоматизированные системы, которые используют в жилых домах называют умным домом.

Широкое распространение подобные системы получили в 80-х годах прошлого века в Японии, Северной Америке, Западной Европе.

Согласно зарубежной статистике [2] использование интеллектуальных технологий позволяют значительно снижать затраты на:

- эксплуатационные расходы - 30%;
- платежи за электроэнергию - 30%;
- платежи за воду - 41%;
- платежи за тепло - 50%;
- уменьшение выбросов CO₂ - 30%.

Идея «интеллектуализации» здания в России появилась гораздо позже, лишь в начале 21 века. И сегодня доля этого рынка в России составляет всего лишь 3% от общемирового. Основная масса интеллектуальных зданий сосредоточена в Москве и Санкт-Петербурге. 80-90% российских интеллектуальных проектов реализовано в коммерческой недвижимости.

Одним из основных элементов "Умного дома" является автоматизированная система управления зданиями - это комплекс программно-аппаратных средств, основной задачей которого является обеспечение надежного и гарантированного управления всеми системами, находящимися в эксплуатации здания, и исполнительными устройствами. Система способна за счет полной неразобранной информации от всех эксплуатируемых подсистем, принять правильное решение и выполнить соответствующее действие, проинформировать соответствующую службу о событии.

Функции умного дома реализуются применением различных технологий [3], разработанных ведущими производителями оборудования. Сравнительный анализ наиболее популярных из них приведен в таблице 1.

Таблица 1. Технологии проектирования систем «Умный дом»

Наименование технологии	LanDrive	Smart-Bus	Clipsal (C-Bus)	Creston
Аудитория (направление), идеальное применение	Автоматизация квартир, коттеджей	Автоматизация коттеджей, управление световыми сценами	Автоматизация коттеджей, управление световыми сценами	Автоматизация коммерческих зданий, учебные залы, домашний кинотеатр, мультитрум и интерком
Особенности и условия связи устройств	RS-485 с использованием протокола Modbus/RTU (9600, 19200 и 38400 кбит/с)	Витая пара (5 cat)	Витая пара (5 cat) + опциональная беспроводные пульты и клавишные панели (433МГц)	Витая пара (5 cat) + специальный кабель для аудио-видео потока + опционально беспроводная система (418, МГц, 434 МГц, 2.4 ГГц, iFiNET (802.15.4), Wi-Fi (802.11 a/b/g))
Архитектура построения системы	Распределенная система. При использовании компьютера - централизованная	Распределенная система	Распределенная система	Централизованная система
Сложность развертывания системы	Опытный человек	Опытный человек или системный интегратор	Опытный человек или системный интегратор	Внедряется только системным интегратором

Масштабы развертывания системы	Квартира, коттедж	Коттедж, стадион, коммерческие здания	Коттедж, стадион, коммерческие здания	Коттедж, аудитории, конференц-залы, коммерческие здания, удаленные офисы
Необходимые условия	Возможно потребуются шкаф автоматизации	Шкаф автоматизации (din-рейки), прокладка кабелей (5 cat) по объекту	Шкаф автоматизации (din-рейки), прокладка кабелей (5 cat) по объекту	Отдельная серверная стойка 19" или комната, прокладка кабелей (5 cat) по объекту
Ориентировочная стоимость за кв.м. автоматизируемого помещения (в €)	20-50	50-150	100-200	150-250
Примечание	Легкость монтажа и наращиваемости системы	Хороший набор диммеров, уже встроены все важные функции автоматизации	Высокая надежность. Хороший набор диммеров, эксклюзивный дизайн клавишных и dlt-панелей	Хороший набор устройств распределения аудио-видео сигнала. Высокое качество сборки. Эксклюзивные настольные сенсорные панели. Интеграция аудио-ви-део в ip-технологии.

Как в России, так и за рубежом строительство интеллектуальных зданий является занятием элитным. Объяснением этому может быть следующее:

- низкая стоимость традиционных источников энергии и их расточительное использование без заботы об окружающей природной среде;
- высокая стоимость проектов;
- слабая информированность конечных пользователей о преимуществах систем автоматизации зданий;
- отсутствие методологической проработки вопроса, стандартизации разработок этих систем.

Все это не дает возможности эффективного развития данной технологии. На сегодняшний день все базируется на достижениях небольших компаний в лице небольших, разрозненных коллективов людей, тем самым резко падает доступность конечному потребителю.

В маркетинговом исследовании компании Research.Techart [1] приводятся основные тенденции развития рынка интеллектуальных систем в России. Это:

- рост доступности "умных" технологий, их удешевление, рост спроса на системы автоматизации;
- изменение структуры заказчиков;

- сокращение спектра технологий, которые предлагаются заказчикам;
- переход от закрытых протоколов к открытым;
- увеличение роли Интернета;
- точкой развития интеллектуальных систем становится энергоаудит.

Список литературы

1. Маркетинговое исследование российского рынка систем "интеллектуализации" зданий [Электронный ресурс] / Маркетинговая группа «Текарт». - М., 2008. – Режим доступа: <http://www.research-techart.ru/report/smart-house-market.htm>
2. Перспективы рынка систем "Умный дом" [Электронный ресурс] / Группа компаний «Вира». - М., 2005. – Режим доступа: http://www.vira.ru/ex_p/reviews/umdom.html?phrase_id=5788488
3. Фонин, П. Технологии «Умного дома» [Электронный ресурс] /П. Фонин. - 2005. – Режим доступа: <http://www.comfortlab.ru/publ/publ8.html>

АНАЛИЗ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Кожина Е.Д., Агеева А.С.

Научный руководитель: Борисова А.С., пр.

Омский государственный технический университет,

E-mail: liza_home.omsk@mail.ru

В настоящее время большинство веб-сайтов, представленных в сети Internet разработано с помощью языка HTML. Однако наибольшие возможности в данной области представляет группа высокоуровневых языков веб-программирования. К ним относятся.....

Языков веб-программирования очень много – Java, Php, Perl, C++ и другие. Одни из них достаточно легки в изучении, другие на порядок посложнее. С развитием веб-программирования доля рынка значительно сместилась в сторону языков более высокого уровня. Из-за того, что эти языки позволяют небольшим количеством кода описать базовые процедуры, их называют скриптовыми. Среди таких языков самые распространенные – Perl, PHP, Python и Ruby. [1] Сейчас разделить все языки можно на два вида – клиентские и серверные. Серверные языки работают с информацией на стороне сервера, а клиентские языки выполняются на стороне пользователя.

Современные веб-приложения становятся все более изощренными и все более перегружаются сложной логикой. Раньше производительность таких приложений определялась, в основном, скоростью работы того или иного sql-сервера и тем, существует ли для него достаточно эффективная реализация драйвера доступа к sql-серверу для выбранного языка программирования. Это объясняется тем, что первое поколение веб-приложений просто читало и писало информацию в базы данных. Пользователей при этом было относительно немного. Таким образом, время на отработку sql-запроса составляло 70...90% от общего времени обработки http-запроса.

С повышением требований к масштабируемости (увеличение количества пользователей) и наращиванием логики приложения требования к языку программирования и среде выполнения существенно возрастают. К этому следует также прибавить, что относительно недавно веб-приложения перешли из мира интернет в мир корпоративных приложений. Это снова повысило требования к эффективности среды выполнения. [2]

С технической точки зрения веб-программирование незначительно отличается от обычного программирования в текстовой среде. Параметр запроса сервера (строка

запроса и дополнительные данные по методам GET/POST протокола HTTP) примерно соответствует stdin, содержимое, которое выдается в браузер клиента – stdout. Серверная программа, таким образом, может быть написана на любом языке программирования. Многие серверные программы в начале 90-х гг. были написаны на C. [1]

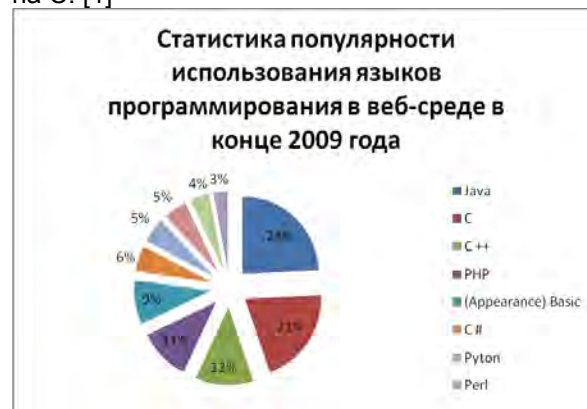


Рис.1. Статистика популярности использования языков программирования высокого уровня в мире в конце 2009 года (по данным сайта <http://www.programei.org>)

Согласно данным опроса исследовательской компании Evans Data, язык веб-разработки PHP является средством, которое наиболее полно удовлетворяет потребности современных разработчиков. Именно PHP был назван наиболее удобным, простым, расширяемым и распространенным среди всех современных скриптинговых языков.

Компания Evans Data опросила более 500 разработчиков и ИТ-профессионалов по всему миру. Исследователи попросили проранжировать современные языки программирования по нескольким критериям. Всего респондентам были предложены 12 категорий, по которым предлагалось рассортировать языки. Абсолютным победителем в большинстве категорий был назван PHP, далее с небольшим отставанием следуют Ruby и Python.

Все языки разработки имеют свои достоинства и явные недостатки.

Данные языковые средства являются высокоуровневыми по организации. Из представленных языков только PHP в первую очередь именно язык веб-программирования -

этим и объясняется большое количество встроенных функций и конструкций, специфичных для веб-программирования. На PHP можно программировать приложения для работы с файловой системой (аналогично Perl), а также, при наличии соответствующих расширений, с помощью PHP можно конструировать и полноценные GUI-приложения.

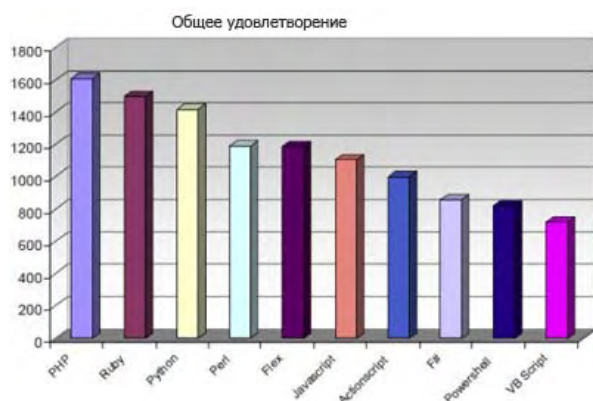


Рис. 2. Рейтинг использования языковых средств в среде веб-разработок

Пользователи Ruby говорят, что его синтаксис наиболее прост среди всех современных языков, что делает процесс разработки приложений на этом языке простым и быстрым. Ruby on Rails поддерживает модель программирования Model-View-Controller и содержит богатый набор предзаготовок для веб-программистов, однако применимость такой модели довольно ограничена, а без Rails Ruby сложно назвать серьезным языком для веб-программирования. В работе же с десктоп-приложениями у компилятора Ruby.exe на Windows-платформах существуют серьезные недоработки.

Главный инструмент для решения задач, связанных с текстом или с администрированием системы (особенно если это Unix-система) - это, как правило, Perl. Perl, как язык, выросший из языка скриптинга для оболочки Unix (bash), обладает мощным набором функций и быстро исполняется, однако объектная модель Perl (появившаяся только в последних версиях языка) достаточно примитивна и плохо документирована. Не до конца отработана в Perl система работы с указателями - при указании неправильных адресов скрипт может повредить другие участки памяти.

На базе Python можно создавать большие и сложные приложения. Python - язык общего назначения и в равной степени пригоден для создания серверных и кроссплатформенных десктоп-приложений. В Python в значительной

степени реализованы функции современного языка программирования высокого уровня. Одна из самых аккуратно реализованных систем для веб-программирования - Django - написана на языке Python. Однако при всех своих достоинствах код на Python достаточно медленно исполняется, а программирование под веб требует знания различных фреймворков.

Одним из крупнейших пользователей Python является компания Google. Оба этих языка по многим параметрам уступают PHP, который Data Evans называет лучшим по всем параметрам.

Сводный рейтинг (лучшие в своей категории):

- Простота использования: Ruby, PHP, Flex;
- Удобность кода: Ruby, Python, Powershell;
- Расширяемость: Python, PHP, Perl;
- Управляемость: Ruby, PHP, Python;
- Переносимость между платформами: PHP, Ruby, Python;
- Сообщество разработчиков: Ruby, PHP, Javascript;
- Доступность средств разработки: PHP, Ruby, VB Script;
- Качество средств разработки: PHP, Flex, Python;
- Производительность: PHP, Perl, Python;
- Требуемость к памяти: Python, Perl, Flex;
- Клиентский скриптинг: Javascript, Ruby, Windows Powershell;
- Безопасность: Microsoft F#, PHP, Ruby.

[3]

Сегодня PHP — это мощный кроссплатформенный набор средств, который располагается на сервере и предназначен для обработки специального кода, встраиваемого в HTML-страницу. Благодаря этому, появляется возможность легко создавать динамические сайты. Файлы, созданные таким образом, хранятся и обрабатываются на сервере, и когда посетитель запрашивает документ с PHP, скрипт обрабатывается не браузером посетителя, как, например, Java Script, а сервером, и посетителю передаются уже только результаты работы. А кроме того, сам язык PHP очень прост для изучения и не требует каких-либо специфических знаний. Для выполнения несложных манипуляций на сайте, PHP — оптимальный выбор.

Таким образом, несмотря на то, что очень многих программистов не удовлетворяет качество и скорость работы кода на PHP, пока реальной и удобной альтернативы этому языку для веб-программирования на данном этапе развития нет.

По мнению некоторых специалистов, языки веб-программирования стремятся к единому совершенному языку, который бы мог выполнять все задачи, возложенные сейчас на все существующие языки, сочетал в себе всю полноту их функций и возможностей, являясь при этом не сложным в изучении, и мог бы выполняться как на компьютере пользователя, так и на сервере.

Список литературы

1. Disign Webmails. Языки веб-программирования: [Электронный документ] (<http://www.webmails.ru/article91.html>).
2. Ремизов Олег. Web-программирование. Сравнительный тест эффективности языков программирования для Web: [Электронный документ] (http://www.internet-technologies.ru/articles/article_564.html).
3. Hi-tech World. Опрос: PHP - любимый язык современных разработчиков: [Электронный документ] (<http://hitech.3dn.ru>).

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

К.А. Козин, А.Г. Горюнов

Научный руководитель С.Н. Ливенцов, д-р техн. наук

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kozin@phtd.tpu.ru

Основная управляемая переменная технологического процесса производства поликристаллического кремния в Siemens-реакторе является температура поверхности кремниевых стержней, определяющая скорость химической реакции. Управляющей переменной является величина силы электрического тока через кремниевые стержни. Основными возмущающими воздействиями являются расход, температура паро-газовой смеси (ПГС) и концентрация трихлорсилана (ТХС).

Наличие таких особенностей технологии, как: нестационарность объекта управления, обусловленная увеличением диаметра исходных стержней в десятки раз; обратная температурная зависимость электропроводимости кремния, отсутствие возможности контроля температуры поверхности кремниевых стержней (исключая точечное измерение) и наличие внутреннего градиента температуры по радиусу стержня несет определенные проблемы при разработке систем автоматизированного управления аппаратами.

Анализ технологического процесса, результатов вычислительных экспериментов на компьютерной модели Siemens-реактора [1] и ее линейной модели позволил выявить наличие обратных положительной и отрицательной связей по каналу «температура», важных при построении контура управления температурой стержней. Такой характер объекта управления не позволяет определить однозначную взаимосвязь между сопротивлением и температурой стержней, что ограничивает

использование типовых алгоритмов и автоматизированных систем стабилизации. В данной работе предлагается каскадная двухконтурная система управления Siemens-реактором с программным заданием изменения величины тока через стержни и диаметра стержней, рис. 1.

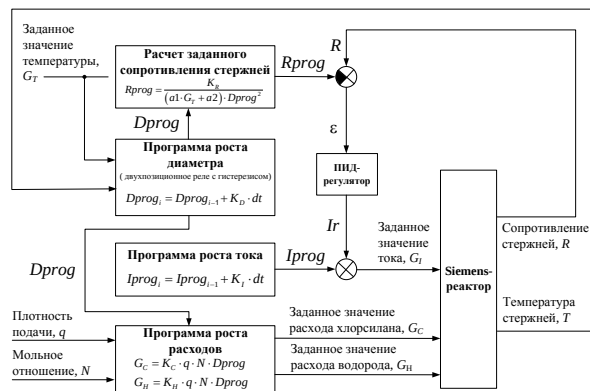


Рис. 1. Структурная схема модели системы управления Siemens-реактором (расшифровка обозначений далее по тексту)

Введение внутреннего быстрого контура по каналу «сопротивление» обусловлено существенной тепловой инерционностью объекта управления и направлено на компенсацию возмущений по температуре. При этом используется интегральная переменная – сопротивление стержня, а не точечное измерение внешним прибором, что является несомненным плюсом по сравнению с однокон-

турной САУ по прямым измерениям температуры, так как система получается более чувствительная к возмущениям и менее инерционная. Таким образом, внешний контур по температуре необходим только для автоматизированной корректировки программы роста диаметра.

Задающее воздействие по величине тока G_i формируется по программе роста тока I_{prog} и I_r – выхода пропорционально-интегриродифференциального (ПИД) регулятора внутреннего контура, настроенного методом динамической компенсации [2]. На вход ПИД-регулятора поступает сигнал рассогласования ε между текущим значением сопротивления стержней R и расчетным R_{prog} , при этом коэффициент K_R определяется автоматически. Текущий диаметр стержней рассчитывается на основании заданной и измеренной температур кремниевых стержней T . Для обеспечения рабочей температуры в заданных пределах используется двухпозиционное реле с гистерезисом обеспечивающее выбор коэффициента K_D из двух возможных значений. Величина диаметра стержней также используется для задания необходимых значений расходов исходных компонентов – водорода (G_H) и ТХС (G_C) для обеспечения заданной плотности подачи ТХС q [кг/с·м²] при заданном значении мольного отношения ТХС к водороду – N .

Для исследования алгоритма управления были проведены серии вычислительных экспериментов на предлагаемой модели САУ в программной среде Matlab с применением ранее разработанной динамической модели Siemens-реактора [1]. При этом использовался метод сравнительного анализа переходных процессов САУ на основе программы роста с контуром управления и без него при ступенчатых воздействиях по основным возмущениям (величине тока через кремниевые стержни и температуре ПГС). Для оценки качества регулирования использовались следующие критерии: время и точность регулирования по температуре стержней, а также массовый выход поликристаллического кремния.

В первом эксперименте на модель системы управления было подано ступенчатое понижение тока на 100 А, рис. 2.

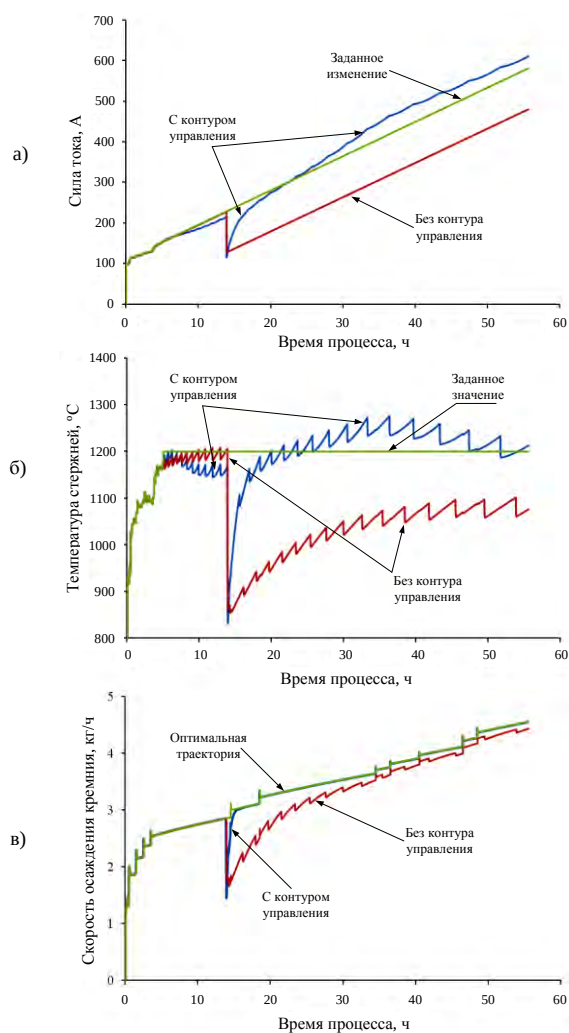


Рис. 2. Временная диаграмма тока (а), температуры стержней (б) и скорости осаждения кремния (в)

Из рис. 2 видно, что разработанная система управления отрабатывает возмущение и возвращает температуру кремниевых стержней на заданный уровень 1200 °С в пределах допустимых границах отклонения, тем самым обеспечивает сохранение заданной скорости осаждения кремния. Пилообразное изменение расчетных значений обусловлено зонной реализацией модели [1], что не мешает исследованиям модели САУ. Анализ переходного процесса по возмущению в канале «ток» показал, что система обеспечивает заданную точность регулирования: при точности $\pm 50^\circ\text{C}$ время регулирования составило порядка 4 ч, при точности $\pm 100^\circ\text{C}$ менее 2 ч. Применение САУ позволило снизить потери выхода поликристаллического кремния с 5,3 до 0,4 %.

При уменьшении расхода ПГС вследствие процессов теплопереноса повышается её

температура, что может приводить не только к перегреву стержней, но и к недопустимому процессу образования аморфного кремния в объеме реактора. Для исследования поведения системы управления в данном случае было подано ступенчатое возмущение по температуре ПГС, рис. 3. По результатам эксперимента переходный процесс не был обнаружен, при этом система управления с контуром управления уменьшила величину силы тока через кремниевые стержни для поддержания заданной температуры и тем самым были сохранены технологические условия.

Дополнительные вычислительные эксперименты позволили установить, что предлагаемая каскадная двухконтурная система управления не теряет устойчивости при такте ввода температуры внешнего контура управления $1 \text{ ч} \pm 30 \text{ мин}$, что позволяет использовать человеко-машинный интерфейс во внешнем контуре управления без потери качества.

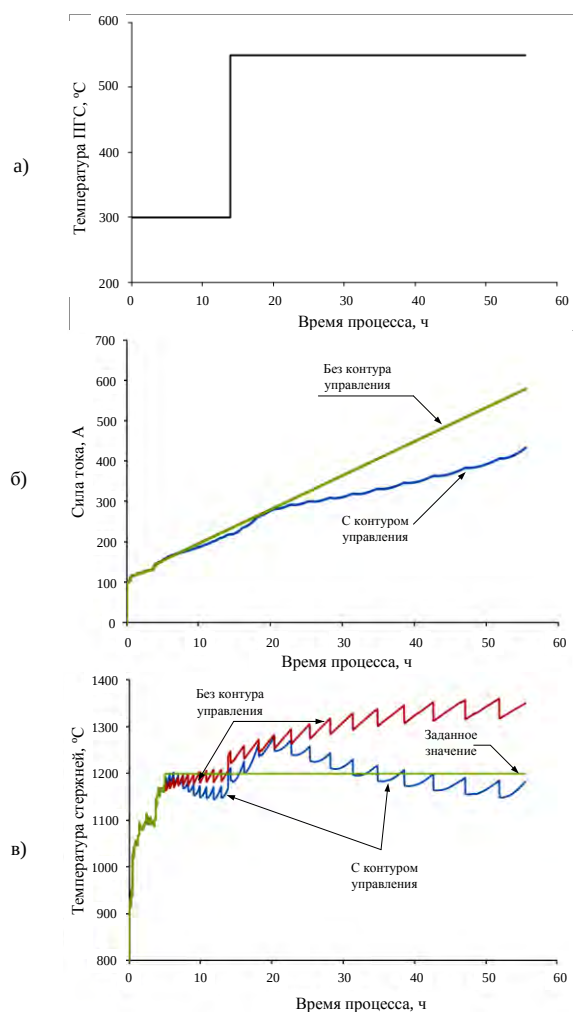


Рис. 3. Временная диаграмма температуры ПГС (а), тока (б) и температуры стержней (в)

Список литературы

1. 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.
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. – М.: Машиностроение, 1974. – 327с.

ОСОБЕННОСТИ ПОИСКА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПОСТРОЕНИИ ПРОГНОЗНЫХ КАРТ

Ковин Р.В., Копнов М.В.

Научный руководитель Н. Г. Марков д.т.н., профессор

Институт «Кибернетический центр» Томского политехнического университета

Email: kopnovmv@tpu.ru

В ряде прикладных задач по исходному набору точек наблюдения требуется оценить (спрогнозировать) значение исследуемого явления в областях, где наблюдения не проводились. Особенностью таких задач является, как правило, неравномерное распределение исходных точек наблюдения. Результаты оценивания традиционно представляются в виде прогнозных карт (карт рельефа местности, распределения температур, глубин залегания нефтеносных пластов и др.). В настоящее время для решения таких задач используются различные виды программных средств: математические пакеты, геоинформационные системы и специализированные системы.

В геоинформатике решение упомянутых задач сводится к решению задачи восстановления геополя [1]. Строго говоря, задача восстановления геополя является некорректной, поскольку не существует точного и единственного ее решения. По своей сути – это попытка по частному восстановить общую картину явления. Без дополнительных сведений о природе восстанавливаемого геополя такую задачу решить невозможно [2]. Поэтому существуют различные подходы и методы решения этой задачи. Наибольшее распространение получили детерминистические и геостатистические методы, использующие двумерную интерполяцию. Так или иначе, в каждом методе вводятся определенные представления о природе геополя. Для детерминистических методов на практике пользователь должен выразить их (представления) через конкретные значения параметров того или иного метода. В большинстве случаев это вызывает большие сложности у обычных пользователей – ведь они должны понимать математическую основу этих методов и влияние их параметров на результат. В геостатистических методах свои недостатки – требуется понимание основ геостатистики и сложность вариограммного анализа. В конечном итоге использование разных методов приводит к получению различных результатов и необходимости оценки достоверности этих результатов.

Зная специфику предметной области и располагая априорной информацией об исследуемом явлении, можно выбрать наиболее приемлемый метод восстановления гео-

поля. Стандартной методикой оценки результатов восстановления геополя является кросс-валидация (или кросс-проверка или скользящий контроль) – процедура эмпирического оценивания обобщающей способности алгоритмов, обучаемых по прецедентам [3].

Так как задача восстановления геополя является некорректной, кросс-валидация позволяет лишь косвенно оценить полученные результаты. Если результаты не удовлетворяют, то необходимо изменить параметры используемого метода и повторить восстановление. Подбор параметров зачастую является итеративным процессом, требующим полной перестройки модели геополя. Все это очень усложняет работу: необходимо проводить кросс-валидацию при каждом изменении параметра. В случае, когда параметров несколько, время поиска наилучшего решения существенно увеличивается.

На наш взгляд идеальной для пользователя является ситуация, когда он может явно задавать метод восстановления и значения параметров метода. При этом он также может задавать режим автоматического определения значения любого параметра, если затрудняется определить его значение самостоятельно. В этом случае система должна автоматически подобрать значения параметров, при которых достоверность результата будет наибольшей (а ошибка наименьшей). При автоматическом подборе значений параметров наиболее сложной с точки зрения формализации задачей является определение диапазона значений, которые будут использованы. Если поручить это пользователю, то сценарий его действий будет такой:

- 1) выбор метода восстановления геополя;
- 2) определение диапазонов изменения параметров метода;
- 3) установка требуемой точности восстановления;
- 4) запуск процесса построения прогнозной карты.

Данный сценарий можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1. Входными данными для процесса построения прогнозной карты являются диапазоны изменения параметров выбранного пользователем метода и требуемая точность. На каждой итерации выполняется кросс-валидация и

проводится оценка точности восстановления. Если требуемая точность не достигнута, то вычисляются новые значения параметров и итерация повторяется. При достижении заданной точности осуществляется восстановление геополя с использованием найденных значений параметров. По восстановленной таким образом модели строится прогнозная карта.

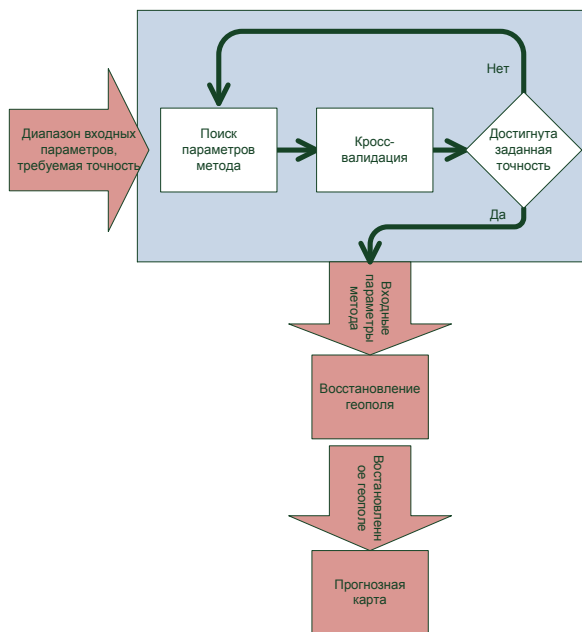


Рис.1 Схема автоматизированного построения прогнозной карты

Поиск значений параметров является задачей многомерной оптимизации. Для ее решения можно использовать один из классических методов многомерной оптимизации (метод градиентного спуска, метод покоординатного спуска, метод сопряженных градиентов или др. [4]).

В качестве примера рассмотрим процесс поиска входных значений параметров, когда число параметров равно двум (рис. 2). По заданным пользователем диапазонам ($P_{1 \min} \dots P_{1 \max}$) и ($P_{2 \min} \dots P_{2 \max}$) система находит искомые значения параметров $P_{1 \text{ res}}$ и $P_{2 \text{ res}}$, при которых величина ошибки будет минимальной. Такое значение будет находиться в одном из локальных минимумов (точки 1, 2, 3).

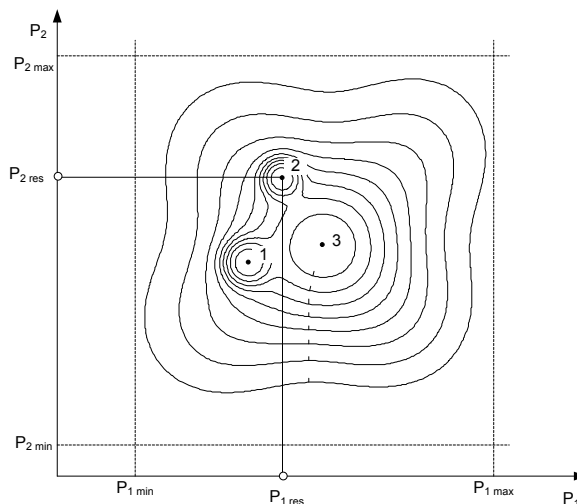


Рис.2 Схема нахождения значений входных параметров

Из примера видно, что найденное решение может быть хорошим, но не лучшим. Поэтому при использовании методов многомерной оптимизации следует учитывать, что если локальных минимумов несколько, то перечисленные выше методы в зависимости от начальных значений параметров могут дать в качестве решения любой из существующих локальных минимумов.

В случае если требуется лучшее решение необходимо последовательно с заданным шагом перебрать все возможные варианты значений параметров из диапазона. Если число всех возможных значений параметров невелико, то решение задачи поиска значений входных параметров может быть найдено простым перебором за приемлемое время. В противном случае такой перебор потребует больших временных затрат.

Список литературы

1. Ковин Р.В., Марков Н.Г., Геоинформационные технологии для анализа двумерных геополей. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 166 с.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я., Методы решения некорректных задач – М.: Наука, 1979.
3. Воронцов К. В., Обзор современных исследований по проблеме качества обучения алгоритмов. – ВЦ РАН, <http://www.ccas.ru/frc/papers/voron04twim.pdf>.
4. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М., Практическая оптимизация. Пер. с англ. — М.: Мир, 1985.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭМИССИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ

Корнев Е.В., Дюкарев Е.А., Ботыгин И.А.

Научный руководитель: Ботыгин И.А.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ek2007x@mail.ru

Введение

Одним из фундаментальных процессов биосферы является круговорот углерода. Изучая круговорот углерода можно оценить современные условия функционирования экосистем, сделать прогноз на развитие различных экосистем в будущем с учетом возрастающего антропогенного влияния и происходящих климатических изменений. Быстрое увеличение содержания углекислого газа в атмосфере связывают с антропогенной деятельностью: сжигание топлива, уничтожение лесов, разрушение лесных подстилок, дернины лугов, степей, осушение болот, окисление гумуса пахотных почв - все эти процессы дают значительное поступление CO_2 в атмосферу [1].

Технологическая схема измерений

Настоящая работа посвящена разработке программного обеспечения, реализующего обработку данных, получаемых портативным инфракрасным газоанализатором содержания углекислого газа в окружающем воздухе и формирование статистических результатов трендов CO_2 . В качестве инфракрасного газоанализатора использовался прибор для определения углекислого газа [2].

Функциональная структура аппаратно-программного комплекса измерения, сбора, систематизации и хранения данных концентрации CO_2 приведена в [3]. Чтение данных с инфракрасного газоанализатора осуществляется через контролер последовательного интерфейса RS-232 [4]. Технология последовательного интерфейса обеспечивает взаимодействие между приложениями, работающими на разных языках и платформах. Такое взаимодействие в значительной мере способствует идее построения многократно используемых, легко сопровождаемых и адаптируемых программных

компонентов. Спецификация RS-232 уже реализована во многих языках программирования (например, Java, C++, Delphi) и существует на многих платформах, включая Windows, Linux и Macintosh [4].

Блок настройки контролера последовательного интерфейса предназначен для изменения таких параметров как: скорости пе-

редачи информации измеряемых в битах в секунду, число битов данных в передаваемых и принимаемых данных, стоповые биты, четность, выбор COM-порта.

В блоке визуализации строится график временного хода изменения концентрации углекислого газа (рис. 1). На приведённом фрагменте отображена зависимость содержания углекислого газа в единицах измерения ppm (*parts per million*).

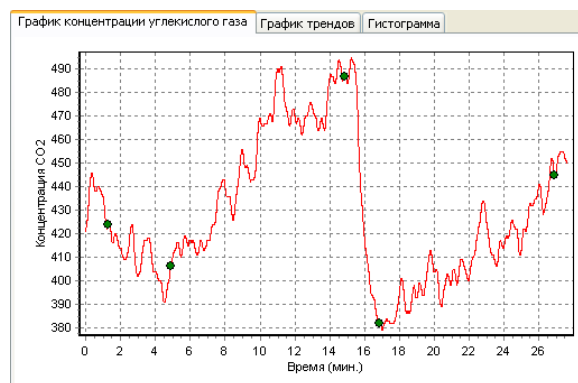


Рис. 1. График временного хода изменения концентрации углекислого газа

Также во время построения графика временного хода изменения концентрации углекислого газа, строится график двух трендов. Первый тренд строится от начала измерений до текущего состояния, второй – в зависимости от выбранного интервала времени (10-30 сек). На рис. 2 приведен график трендов. По горизонтали указывается время (мин.) от начала измерений, а по вертикали расчетное значение изменения потока CO_2 (ppm/мин.).

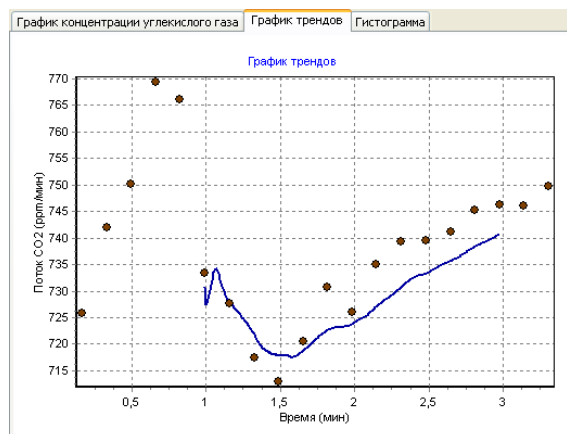


Рис. 2. График трендов

В блоке первичной обработки происходит анализ полученных данных и расчет статистик – скорость изменения, расчет концентрации. В ходе расчетов строится гистограмма частот концентрации углекислого газа. Гистограмма строится по полученным за определенный период данным, которые разбиваются на несколько интервалов. Число данных, попадающих в каждый из интервалов (частота) выражается высотой столбика. Гистограмма дает наглядное изображение того, с какой частотой повторяется то или иное значение или группа значений. По горизонтальной оси гистограммы откладывается диапазон наблюдаемых значений, разбитый на определенное число, а по вертикальной – вероятность или частота ее попадания в каждый из них. На рис. 3 приведена гистограмма частот, построенная по графику временного хода изменения концентрации углекислого газа, представленного на рис. 1.

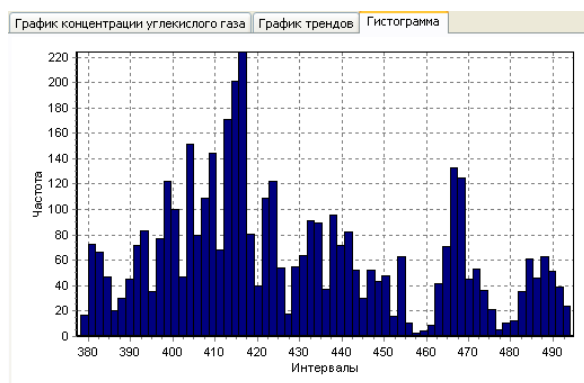


Рис. 3. Гистограмма частот

Технологическая схема хранения измеряемых данных реализуется в два этапа. На первом этапе осуществляется формирование промежуточного файла в текстовом формате. На втором этапе рассчитывается поток CO_2 . Эти значения помещаются в базу данных (БД).

Интерфейс основного окна программы представлен на рис. 4. На панели «Выбор участка» расположены три поля, содержащие список выбора места расположения и метода измерения эмиссии углекислого газа. Панель «Фаза измерения» позволяет задавать временные промежутки фазы выхода на режим и фазы реального измерения концентрации углекислого газа. Начальные измерения проводятся на открытом воздухе. При рабочих измерениях датчик помещается в специальную камеру. На панели «ppm» выводится количество концентрации измеряемого углекислого газа. По полученным значениям строится два графика: график временного хода изменения концентрации углекислого газа и график трендов.

Панель «Параметры» содержит описание необходимых начальных характеристик, к которым можно добавить комментарии. Сохраняются данные в текстовый файл, из которого и выбираются для расчета значений и размещения их в базе данных.

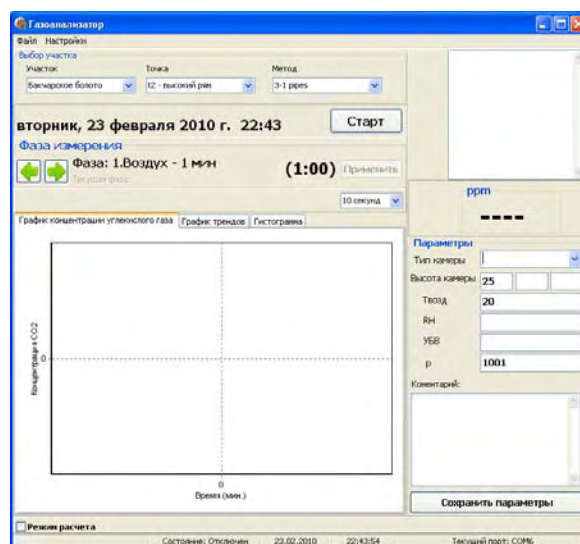


Рис. 5. Внешний вид программы

Для реализации программного комплекса использовалась среда программирования Borland Developer Studio 2006, Delphi [5, 6] под управлением операционной системы MS Windows XP. В качестве системы управления БД выбрана MySQL 5.1.30 [7].

Список литературы

1. Головацкая Е.А., Инишева Л.И. Сток и эмиссия углерода в Васюганском болоте // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / Под ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. – Томск: Изд-во

Института оптики атмосферы СО РАН, 2002. – С.123-133.

2. Институт мониторинга климатических и экологических систем. Наши разработки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.imces.ru/ru/?module=articles&c=projects&b=1&a=1/>, свободный.

3. Корнев Е.В., Дерюшев В.В., Дюкарев Е.А. Автоматизированная система сбора, систематизации и хранения данных эмиссии углекислого газа с поверхности почвы // Современные техника и технологии: Труды XV Междунар. научно-практ. конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2009. – Т. 2. – С. 232-233.

4. Последовательный интерфейс RS-232 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/interface/rs232/index.htm/>, свободный.

5. Григорьев А.Б. О чём не пишут в книгах по Delphi. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 576 с.

6. Архангельский А.Я. Приёмы программирования в Delphi на основе VCL. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 944 с.

7. База данных MySQL. URL: <http://www.mysql.ru/> (дата обращения: 16.01.2010).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ И КАСКАДОВ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Красильников Ф.Ф., Малышев Р.А.

Научный руководитель: наук Печаткин А.В., канд. техн., и.о. зав. кафедрой РТС
Рыбинская государственная авиационная технологическая академия имени П.А. Соловьева
152934, ул. Пушкина, 53, г. Рыбинск
E-mail: rts@rgata.ru

Развитие телекоммуникационных технологий дало толчок к активному использованию в электронной аппаратуре различного назначения радиоприемных (РПУ) и радиопередающих устройств (РПДУ). В связи с этим, процесс проектирования РПУ усложнился, стал более целевым, направленным не только на оптимизацию типовых характеристик, таких как избирательность и чувствительность РПУ, мощность излучения полезного сигнала и подавление внеполосовых излучений РПДУ, но и на оптимизацию их структуры по отношению к изделию, в составе которого они используются.

Усложнение приемопередающих устройств, внедрение цифровой обработки сигналов, создание аналого-цифровых гибридов, использование альтернативных видов модуляции, ужесточение требования локализации помех заставляют пересматривать и процессы учебного проектирования подобных устройств.

Оптимизация процесса проектирования приемопередающих устройств, как в учебном процессе, так и в практической деятельности радиоинженера-проектировщика возможна только на основе визуализации каждого шага создания и комплексного моделирования его структуры на основе простых, интуитивно понятных моделей отдельных каскадов, которые можно тиражировать и изменять без нарушения целостности их структуры.

Дополнительным стимулом к созданию подобной библиотеки является возможность формирования готовых моделей типовых структур приемопередающих устройств с изменяемыми глобальными параметрами, которые задаются пользователем в ходе выполнения моделирования и позволяют системе проектирования рассчитать локальные параметры компонента или сигнала.

На кафедре РТС РГАТА лабораторный практикум и курсовое проектирование по дисциплине «Радиоприемные и радиопередающие устройства» у студентов специальности 210201 «Проектирование и технология РЭС» представляют собой инвариантный процесс, в ходе которого анализируется возможность и целесообразность использования той или иной структуры РПУ и РПДУ на основе моделирования и виртуальных испытаний в среде специализированных САПР.

Анализ результативности и трудоемкости использования различных САЕ-систем, в том числе высокочастотного пакета Microwave Office, для моделирования приемопередающих устройств различного назначения, изучения принципов их функционирования и особенностей прохождения сигналов с различными видами модуляции через частотно-избирательные цепи и преобразователи частоты, позволяет сделать вывод о возможности уменьшения сложности и повышения эффективности учебного проектирования по-

добных изделий за счет повышения уровня визуализации процессов функционирования РПУ и интеграции имеющихся типовых моделей электронных компонентов с библиотечными элементами и макрообъектами, математически описывающими поведение функционально законченных сложных устройств и сигналов.

В настоящее время существует несколько систем схемотехнического проектирования на платформе PSpice, допускающих использование сложного математического описания электронных объектов и применение вычисляемых операторов. Одним из таких САЕ-систем является САПР MicroCap, аккумулирующая широкий набор инструментов исследования аналоговых, цифровых и гибридных электронных схем, имеющая превосходный графический интерфейс, обладающая возможностью расширения библиотек и допускающая применение математических, логических и статистических операторов. Рассматриваемая САПР содержит необходимые аналитические и графические инструменты для создания пользовательских моделей электронных компонентов и модулей.

Для того, чтобы максимально эффективно использовать имеющийся потенциал САПР целесообразно, чтобы создаваемые модели компонентов и структур соответствовали трем основным требованиям, использующимся в объектно-ориентированном программировании, таким как:

- **наследование** – модели активных и пассивных компонентов и каскадов РПУ должны быть основными конструкторскими единицами, обладающими собственными индивидуальными свойствами;
- **полиформизм** – используемые модели компонентов РПУ должны допускать изменение свойств родительской модели с целью приобретения новых или изменения существующих без потери качества функционирования;
- **инкапсуляция** – модели активных и пассивных компонентов, а также создаваемые на их основе типовые структуры РПУ, должны поддерживать возможность структуризации и объединения в общности – классы с целью оптимизации проектирования и моделирования РПУ и повышения наглядности процесса проектирования. При этом основной код модели, определяющий ее функциональность, а также данные, позволяющие конкретизировать модель, и условное графическое изображение компонента (УГО) должны быть сведены в одном объекте – модуле с явно выраженными связями, блокирующими возможность случайного доступа к атрибутам модели, минуя связанные с ними функции.

В целях поддержки лабораторного практикума, дипломного и курсового проектирования на кафедре РТС РГТА разработана библиотека электронных компонентов и моделей типовых структур, ориентированная на проектирование и моделирование различных приемопередающих устройств – рис.1...3.

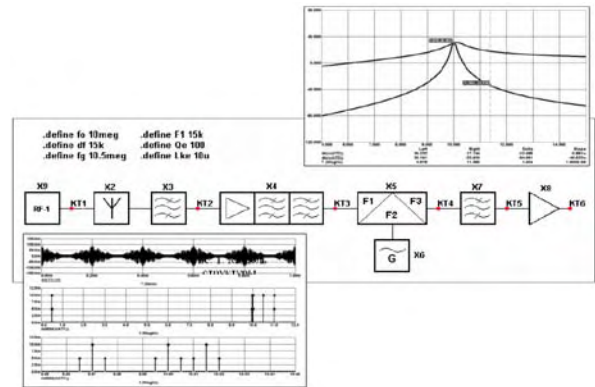


Рис. 1. Модель структуры супергетеродинного РПУ на основе библиотечных компонентов

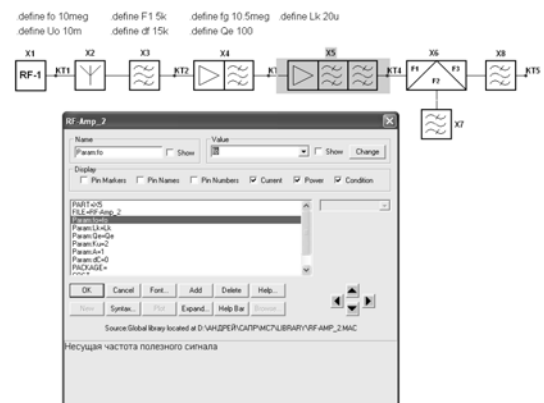


Рис. 2. Активация модели УРЧ из состава библиотечных компонентов

В состав библиотеки, позволяющей синтезировать и изучать структуры супергетеродинных приемников, приемников прямого преобразования, квадратурных приемников, в настоящее время входят следующие компоненты:

- генераторы сложных многочастотных сигналов с амплитудной, частотной и фазовой модуляцией, ориентированные на типовые структурные решения и содержащие комплекс формант полезных сигналов и помех, имитирующих спектр частотных воздействий и обладающих возможностью формирования низкочастотных и высокочастотных гармоник для изучения отклика анализируемого радиоприемного устройства;
- одноконтурные и двухконтурные входные цепи с внешенемкостной, индуктивной и

комбинированной связями и варьированием энергетических и частотных параметров;

- одноконтурные и двухконтурные резонансные усилители с возможностью варьирования параметров усиления и избирательности;
- преобразователи частоты;
- гетеродины;
- конверторы амплитудно-модулированных квадратурных сигналов.

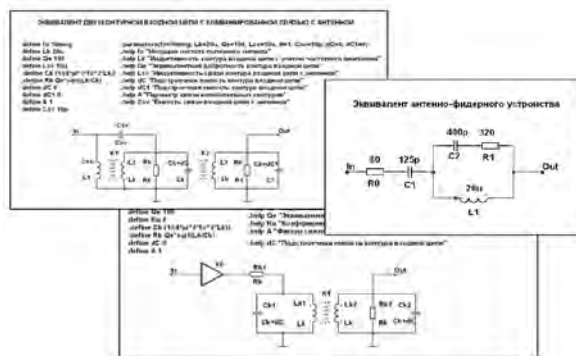


Рис. 3. Примеры моделей библиотечных компонентов для синтеза структуры РПУ

Каждый компонент библиотеки оформлен в виде стандартного условно-графического обозначения в соответствии с требованиями ЕСКД. Применение библиотечных модулей значительно ускоряет процесс моделирования и проектирования РПУ и РПДУ и повышает уровень наглядности разработки. В частности, такой синтез структуры РПУ позволяет провести исследование нескольких близких структур, оптимизировать приемник, детально исследовать особенности прохождения сигналов через частотно-избирательные цепи, оценить уровни искажений.

На основе библиотечных модулей и операторов САПР MicroCap легко создавать функционально завершенные модели различных РПУ, допускающих оперативное внесение изменений в основные параметры схемы и оперативное изменение исследуемого параметра для всех структуры без открытия модулей.

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ АКТ

Криницын Н.С., Байдали С.А.

Научный руководитель: Байдали С.А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ics@sibmail.com

Одним из направлений федеральной программы развития энергопромышленного комплекса России на 2007–2010 гг. и на перспективу до 2015 г. является ускоренное развитие ядерной энергетики страны (постановление Правительства РФ от 6 октября 2006 г. № 605). В связи с этим возникает задача повышения производительности и эффективности работы предприятий по производству ядерного топлива для АЭС и улучшения их показателей по безопасности и экологичности.

Гексафторид урана (ГФУ) является одним из основных промежуточных продуктов в ядерном топливном цикле. Уникальные свойства ГФУ, успешно применяются в газодиффузионных и центробежных процессах разделения изотопов урана с целью получения продукта, обогащенного изотопом U_{235} .

В настоящее время сотрудниками кафедры «Электроника и автоматика физических установок» ведутся работы по модернизации

системы управления производством гексафторида урана ПГУ на сублиматном заводе СХК. В частности разрабатывается система управления для удержания в заданном диапазоне концентрации избыточного фтора на выходе пламенного реактора ПР и стабилизации температуры реакционной зоны аппарата комбинированного типа АКТ [1].

В результате анализа ПГУ были выделены входные и выходные координаты ПР и АКТ, из которых в качестве управляемой была выбрана температура реакционной зоны АКТ, а управляющей – концентрация фтора на выходе ПР.

Далее были проведены экспериментальные исследования на производстве посредством которых были получены параметры ПР, описываемого передаточной функцией инерционного звена первого порядка с запаздыванием:

$$W_{\text{ПР}}(s) = \frac{K_{\text{ПР}} e^{-\tau_{\text{ПР}} s}}{T_{\text{ПР}} s + 1},$$

где $K_{\text{ПР}} = -0,3$; $T_{\text{ПР}} = 47$; $\tau_{\text{ПР}} = 85$.

Идентификация АКТ по кривой разгона была затруднена из-за невозможности создания типового входного воздействия на входе АКТ. Для это был произведен обзор методов идентификаций по реакции на нетиповое входное воздействие. Обзор показал, что существующие методы идентификации либо не применимы, либо не обеспечивают требуемую точность идентификации. Поэтому был разработан метод, основанный на теории временных рядов, позволяющий проводить идентификацию по реакции на произвольное

входное воздействие. На основе данного метода, с использованием при расчете запаздывания свойств взаимной корреляционной функции, были рассчитаны параметры АКТ, описываемого передаточной функцией инерционного звена первого порядка:

$$W_{\text{АКТ}}(s) = \frac{K_{\text{АКТ}} e^{-\tau_{\text{АКТ}} s}}{T_{\text{АКТ}} s + 1},$$

где $K_{\text{АКТ}} = 35,3$; $T_{\text{АКТ}} = 195$; $\tau_{\text{АКТ}} = 194$.

Следующим этапом работы был синтез структуры САУ температурой реакционной зоны АКТ [2]. Структурная схема разработанной каскадной САУ представлена на рисунке 1.

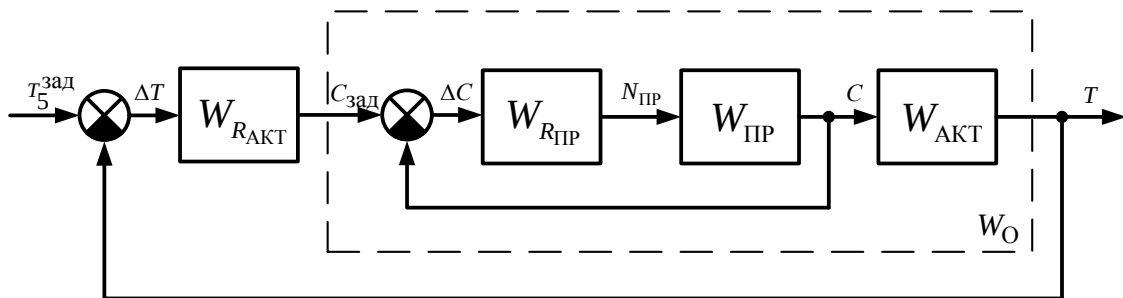


Рис. 1. Структурная схема САУ температуры реакционной зоны АКТ

Внутренний контур состоит из ПР и регулятора $R_{\text{ПР}}$, а внешний из АКТ и регулятора внешнего контура $R_{\text{АКТ}}$ которые описываются соответствующими передаточными функциями.

Для расчета каскадных САУ был выбран метод последовательного расчета, с применением критерия оптимального модуля, который в данной работе был распространен на нетиповые звенья.

В результате расчета системы, были получены параметры настройки регуляторов при различных законах регулирования во внутреннем и внешнем контурах (Таблица 1).

Таблица 1.
Рассчитанные параметры настройки регуляторов разработанной САУ

Закон регулирования		Параметры R1			Параметры R2		
АКТ	ПР	K	T_i	T_d	K	T_i	T_d
ПИ	ПИ	0,01	217,8	—	1,28	57,4	—
ПИ	ПИД	0,01	206,9	—	2,35	77,2	19
ПИД	ПИ	0,02	296,8	77,16	1,28	57,4	—
ПИД	ПИД	0,02	268,7	74,25	2,35	77,2	19

С помощью разработанных в пакете MATLAB модели и программы были произведены дальнейшие исследования рассчитанных систем управления.

Согласно условию устойчивости Ляпунова, корни характеристического уравнения устойчивой системы должны лежать в левой части комплексной плоскости. Следовательно, согласно данным представленным на рисунке 3, все рассчитанные системы являются устойчивыми.

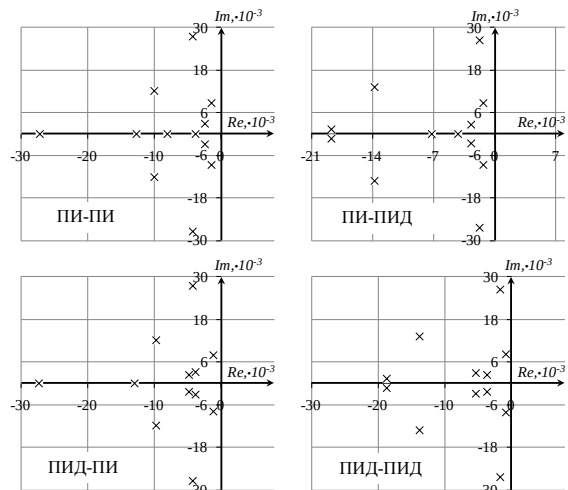


Рис. 3. Корни характеристических уравнений систем с различными законами регулирования

Для выбора наилучших законов регулирования в обоих контурах, была произведена проверка качества регулирования рассчитанных систем. Первым этапом было исследо-

вания реакции систем с различными законами регулирования во внешнем и внутреннем контурах на скачкообразное изменение уставки (Рис. 4).

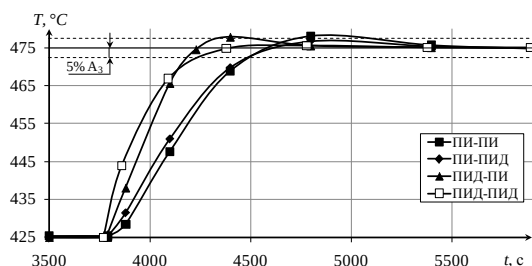


Рис. 4. Переходные процессы рассчитанных систем отработывающих скачкообразное изменение уставки

Далее была проведена проверка качества рассчитанных систем. Для этого исследовались реакции систем при отработке ими скачкообразного возмущения, вносимого по концентрации фтора на выходе ПР (Рис. 4).

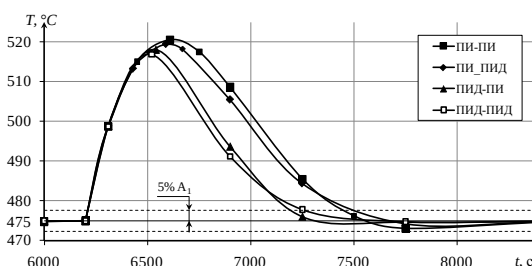


Рис. 4. Переходные процессы рассчитанных систем отработывающих возмущение по концентрации

Из рисунка 4 видно, что наилучшую отработку возмущений обеспечивает система с ПИД законом регулирования в обоих контурах.

Для окончательного выбора законов регулирования каскадной САУ, была проведена их проверка на грубость при 20-и % варьировании параметров объектов. Построенные

области показателей качества систем представлены на рисунке 5.

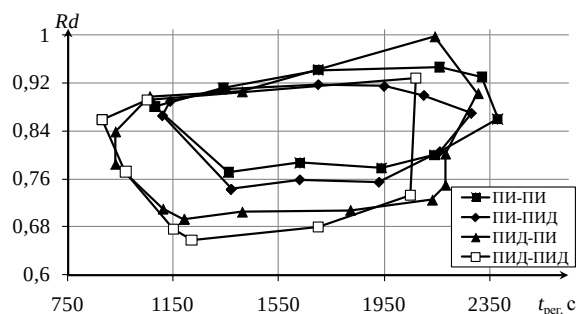


Рис. 5. Области показателей качества рассчитанных систем

Наиболее грубыми оказались системы с ПИ-ПД и ПИД-ПД законами регулирования. Параметры настройки внешнего контура: $K=0,02$; $T_n=268,7$; $T_d=74,3$. Параметры настройки внутреннего контура: $K=2,35$; $T_n=77,2$; $T_d=19$.

Синтезированная каскадная САУ температурой реакционной зоны АКТ обеспечивает требуемое качество регулирования и является грубой к изменению параметров объектов регулирования.

В настоящее время на сублиматном заводе ОАО «СХК» проводятся предварительные производственные испытания разработанной САУ в составе системы управления комплекса аппаратов ПР и АКТ.

Список литературы

1. Дядик В.Ф. Цели управления технологическими процессами производства гексафторида урана. Синтез системы прямого цифрового управления узлом фторирования // Известия вузов. Физика. – 2000. – № 5. – С. 91–96.
2. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911с.

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В MathCAD

Кухарева Д. А., Кузьмин В. А.

Научный руководитель: Акулова Л. Ю., к. т. н., доцент
Пензенская государственная технологическая академия,
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина д. 1а/11
E-mail: akulov-w429@rambler.ru

Для многих промышленных процессов существенным является моделирование баланса массы различных компонентов. В открытой системе, где происходит обмен с внешним миром, все уравнения баланса массы имеют одинаковую структуру: приращение массы = приход массы – расход массы

Такое уравнение можно сформулировать как для каждого отдельного компонента, так и для всей массы в целом. Приход (расход) массы может быть следствием как входного (выходного) потока, так и химических реакций или биологического роста.

В теплоэнергетике нередко встречаются емкости, которые в зависимости от особенностей притока, стока, и конструкции обладают определенными динамическими свойствами.

Рассмотрим емкость, схема которой показана на рис. 1.а.

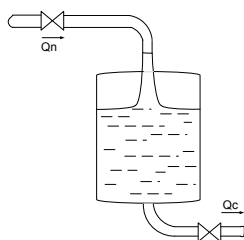


Рис. 1.а

Емкость, изображенная на рисунке 1 а, по своим динамическим свойствам подобна интегрирующему звену.

Близким к описанным свойствам обладает скруббер водной очистки газовой смеси от углекислого газа. Уровень газовой смеси в скруббере не влияет на приток и сток. Величина стока может быть изменена воздействием на сопловой или на направляющий аппарат водяной турбины. Открытие соплового аппарата увеличивает сток. Турбина несколько увеличивает обороты, но увеличение притока значительно меньше, чем увеличение стока, и уровень начинает уменьшаться. При закрытии соплового аппарата все происходит наоборот.

На рис. 1.б показана емкость, из которой жидкость вытекает. В этом случае величина притока не зависит от уровня, а величина стока зависит от него. Сток определяется со-

противлением задвижки и величиной перепада давления в ней. Так как сток происходит в атмосферу, то перепад жидкости равен давлению, оказываемому столбом жидкости высотой h .

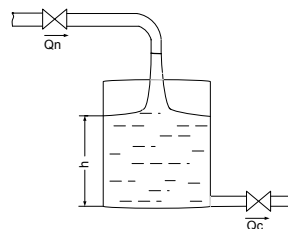


Рис. 1.б

На рис. 1.в показана схема гидравлического аккумулятора. В емкость, заполненную воздухом, непрерывно подается некоторый расход масла. Из аккумулятора оно поступает неравномерно, в зависимости от необходимости. При этом происходят колебания уровня в емкости, которые вызывают колебания давления, влияющего на приток и сток.

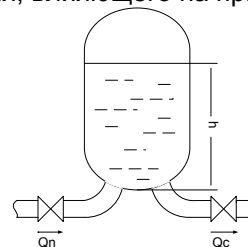


Рис. 1.в.

Математические модели процессов и алгоритмы функционирования являются достаточно сложными. Поэтому важную роль играет выбор системы компьютерного моделирования. Наиболее популярной является система MathCAD. Разработанная методология позволяет наглядно представить процессы, протекающие в закрытых емкостях с помощью управляемых графических моделей (УГМ), созданных в системе MathCAD. При математическом моделировании с применением УГМ, графическая модель является управляемой, объединенной со структурной и функциональной математической моделью [1].

Для отображения особенностей каждого элемента необходимо наделить его совокуп-

ностью свойств, которая должна иметь возможности для управления. Назовем эту совокупность пространством признаков управления. Пространство признаков управления отображает количественные и качественные признаки, функциональные зависимости, в том числе и описательного характера. К количественным признакам можно отнести, например, конструктивные размеры элементов механических систем, законы перемещения элементов, сформулированные в виде математических зависимостей и т.п. Пространство признаков должно быть сформировано в виде специальной структуры.

При формировании пространства признаков реального элемента системы во внимание приняты только его основные свойства и параметры. К ним отнесены:

- тип элемента, отражающий конструктивные особенности и назначение элемента;
- число полюсов – число возможных точек присоединения;
- число степеней свободы;
- геометрические размеры;
- функция возможностей, являющаяся специфическим признаком элемента и его основной характеристикой.

Для описания свойств и признаков каждого конкретного элемента системы введена в рассмотрение функция возможностей элемента [2]. Она отображает свойства и возможности элемента изменять свое расположение в пространстве. Это изменение возможно, например, посредством поступательного перемещения элемента [П], вращения его вокруг своей оси [В] или за счет комбинаций этих движений $[П \wedge В]$ и $[В \wedge П]$. Можно рассматривать изменение расположения в пространстве относительно конкретного полюса элемента и относительно корпуса системы, т.е. в абсолютной системе координат. Во многих случаях пространственное расположение и свойства элемента проще отображать относительно конкретного полюса.

Функция *возможностей* элементов может быть реализована в виде матриц или таблиц. Она является основным признаком управления, по которому подбирается и формируется графический аналог элемента системы.

Основными элементами исследуемой технологической системы накопления жидкости являются:

- 1 Накопительная емкость с патрубками
- 2 Диафрагма
- 3 Запорный клапан
- 4 Входной и выходной краны (вентили)

На основании данной спецификации технологической системы рассмотрим особенно-

сти построения ее УГМ. Алгоритм разработки УГМ состоит из следующих этапов.

1. Разработка графической модели накопительной емкости с патрубками
2. Разработка графического аналога диафрагмы
3. Формирование графического аналога запорного клапана и алгоритма управления
4. Формирование графических аналогов входного и выходного кранов и разработка алгоритмов управления
5. Разработка графических аналогов жидкости и алгоритмов управления для следующих этапов функционирования:
 - заполнение верхнего патрубка;
 - разделение струи жидкости на две при обтекании запорного клапана;
 - заполнение нижнего патрубка.
6. Разработка графического аналога жидкости и алгоритмов управления при заполнении емкости.
7. Формирование информационных окон и их размещение на УГМ.

Для каждого этапа построения УГМ составляется своя матрица координат элементов, входящих в систему.

На рис. 2 представлена окончательная графическая модель емкости.

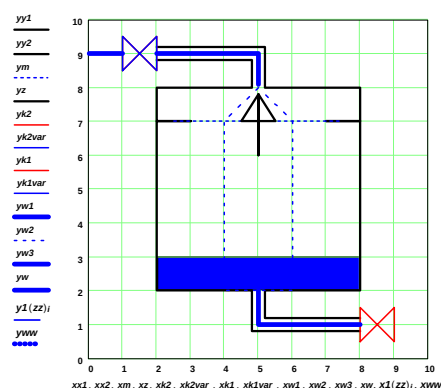


Рис.2 Графическая модель системы, содержащей емкость, диафрагму, запорный клапан, краны, имитаторы жидкости и элементы управления

Следующим важным этапом является разработка алгоритмов управления моделью. Управлению подлежат запорный клапан, краны и имитаторы жидкости. Управление запорным клапаном и кранами является дискретным (открыт - закрыт). Управление имитатором перемещения жидкости осуществляется алгебраическими и дифференциальными уравнениями.

С помощью разработанных методов можно решать множество графических задач, касающихся структуры и состава, взаимодействия элементов систем.

Список литературы

1. Акулов В.Г., Волчихин В.И., Акулова Л.Ю. Управляемые графические модели и моделирование в системе MathCAD. Монография – Пенза, Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 360 с.

2. Прошин И.А., Акулова Л.Ю., Акулов В.Г. Исследование технических систем с использованием управляемых графических моделей в MathCAD. Монография. – Пенза, Изд-во Пенз. гос. технол. академии, 2007. – 202 с.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО СОСРЕДОТОЧЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДЛИННЫМ ТРУБОПРОВОДАМ С УЧЕТОМ КОМПРЕССОРА

Лазарева П.А.

Научный руководитель: Балоев А.А., д.т.н., профессор
Казанский Государственный Технический Университет им. А.Н. Туполева,
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
E-mail: Polina.Lazar@mail.ru

В процессе эксплуатации трубопроводов в них под воздействием различных возмущений потока нефти или газа возникает неустановившееся движение, сопровождающееся колебаниями давления, которые следует учитывать при оперативном управлении трубопроводом. Это позволит избежать опасных суточных скачков давления при подключении/отключении потребителей, а также будет способствовать повышению безопасности транспортировки продукта.

Рассмотрим линейный участок горизонтального трубопровода длины l постоянного сечения S . Управление транспортировкой сырья осуществляется его подкачкой (отбором) в одной точке $x = \xi$, $0 < \xi < l$ с интенсивностью $\tilde{q}(t)$, $[\tilde{q}(t)] \in \mathbb{R}$, (рис. 1). Управляющий расход $\tilde{q}(t)$ пропорционален угловой скорости двигателя $\omega(t)$ [1].

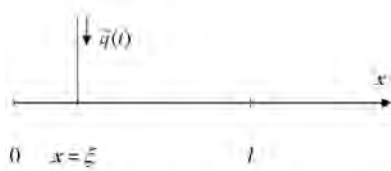


Рис. 1. Сосредоточенное управление

Уравнения возмущенного движения в нормальной форме Коши имеют вид:

$$\frac{dy_1}{dt} = -k_{p1}y_1 + k_{p2}\tilde{U} \quad (1)$$

$$\frac{\partial y_2}{\partial t} = y_3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial y_3}{\partial t} = c^2 \frac{\partial^2 y_2}{\partial x^2} - 2ay_3 - \frac{c^2}{s} k_2 y_1 \delta'(x - \xi) \quad (3)$$

где $\tilde{U}_я$ – отклонение напряжения якоря от установившегося значения;

$$y_1(t) = \Delta\omega(t), \quad y_2(x, t) = \Delta m(x, t),$$

$$y_3(x, t) = \frac{\partial y_2(x, t)}{\partial t}$$

– отклонение угловой скорости двигателя,

массового расхода $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}\right)$ и его производной по времени от установившихся значений, коэффициенты

$$k_{p1} = \left(\frac{k_m k_w}{R_я J_о} + \frac{k}{J_о} \right), \quad k_{p2} = \frac{k_m}{R_я J_о};$$

c – скорость звука в сырье, м/с; $R_я$ – сопротивление якорной цепи, Ом; $J_о$ – динамический момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; k_m – коэффициент момента; k_w – коэффициент ЭДС, $\delta(x - \xi)$ – дельта-функция; a – коэффициент гидравлических потерь [2].

Граничные и начальные условия имеют вид:

$$y_2(0, t) = y_2(l, t) = 0, \quad y_1(0) = y_{10},$$

$$y_2(x, 0) = y_{20}(x),$$

$$y_3(x, 0) = y_{30}(x). \quad (4)$$

Требуется найти зависящее от фазовых координат $y_1(t)$, $y_2(x, t)$, $y_3(x, t)$ напряжение якоря двигателя $\tilde{U}_я$, переводящее систему

(1) – (3) из состояния (4) в конечное состояние

$$y_1(\infty) = 0, \quad y_2(x, \infty) = 0, \quad y_3(x, \infty) = 0 \quad (5)$$

при минимальном значении функционала

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \left(\int_0^l (c_2 y_2^2 + c_3 y_3^2) dx + c_1 y_1^2 + c_4 \tilde{U}_s^2 \right) dt \quad (6)$$

где c_i – положительные весовые константы.

В ходе решения задачи получена система необходимых условий минимума функционала (6) вариационной задачи Эйлера-Лагранжа. Решение с точностью до n тонов ищется по методу Галеркина в виде:

$$y_2(x, t) = f(x)h(t), \quad y_3(x, t) = f(x)q(t),$$

где λ_3 – множитель Лагранжа,

$$f(x) = [f_1(x), \dots, f_n(x)], \quad f_i(x) = \sin\left(\pi \frac{x}{l} i\right), \\ h(t) = [h_1(t), \dots, h_n(t)]^T, \quad q(t) = [q_1(t), \dots, q_n(t)]^T,$$

Характеристический определитель системы необходимых условий минимума запишется в виде

$$\begin{vmatrix} A - \lambda E_{4n+2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -\lambda E_{n,n} & E_{n,n} & 0_{n,n} & 0_{n,n} & 0_{n,1} & 0_{n,1} \\ a_2 & a_1 - \lambda E_{n,n} & 0_{n,n} & 0_{n,n} & 0_{n,1} & a_3 \\ 0_{n,n} & 0_{n,n} & -\lambda E_{n,n} & E_{n,n} & 0_{n,1} & 0_{n,1} \\ b_3 & b_4 & b_5 & b_1 - \lambda E_{n,n} & 0_{n,1} & b_5 \\ 0_{1,n} & 0_{1,n} & d_2 & 0_{1,n} & d_1 - \lambda & d_3 \\ 0_{1,n} & 0_{1,n} & 0_{1,n} & 0_{1,n} & g_2 & g_1 - \lambda \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где $0_{n,n}$ – нулевая $n \times n$ -матрица; $0_{n,1}$ – нулевой n -мерный вектор-столбец; коэффициенты

$$a_1 = -2aE_{n,n}, \quad a_2 = -\left(\frac{c\pi}{l}\right)^2 I_0, \quad a_3 = \frac{2c^2 k_2}{ls} f'(\xi)^T, \\ b_1 = -a_1, \quad b_2 = a_2, \quad b_3 = c_3 a_2 - c_2 E_{n,n}, \quad b_4 = -2ac_3 E_{n,n}, \\ b_5 = c_3 a_3, \quad d_1 = k_{p1}, \quad d_2 = -\frac{c^2 k_2}{s} f'(\xi), \quad d_3 = c_1, \\ g_1 = -d_1, \quad g_2 = \frac{k_{p2}^2}{c_4}; \\ I_0 = \text{diag}(i^2)_{i=1,n}.$$

причем,

После раскрытия характеристического определителя (7) в общем виде получаем:

$$\begin{vmatrix} A - \lambda E_{4n+2} \end{vmatrix} = \left(\lambda^2 - \left(k_{p1}^2 + k_{p2}^2 \frac{c_1}{c_4} \right) \right) \times \\ \times \prod_{i=1,n} \left(\lambda^4 + \left(2 \left(\frac{c\pi}{l} i \right)^2 - 4a^2 \right) \lambda^2 + \left(\frac{c\pi}{l} i \right)^4 \right) -$$

$$- \frac{2c^4 k_{p2}^2 k_2^2}{c_4 s^2 l} \sum_{i=1,n} \left(f_i'(\xi)^2 (-c_3 \lambda^2 + c_2) \times \right. \\ \left. \times \prod_{j=1,n; j \neq i} \left(\lambda^4 + \left(2 \left(\frac{c\pi}{l} j \right)^2 - 4a^2 \right) \lambda^2 + \left(\frac{c\pi}{l} j \right)^4 \right) \right). \quad (8)$$

Заметим, что в выражении (8) содержатся только четные степени переменной λ .

Решение матричного уравнения $\dot{Z} = AZ$ представим в виде [3]:

$$Z(t) = -M_0^{-1} N \tilde{S} \tilde{P} D_z(t) C,$$

где M_0 , N , $\tilde{S}$, $\tilde{P}$ – матрицы определенного вида;

$D_z(t) = \text{diag} \left(e^{r_i t} \right)_{i=1, 4n+2}$; C – $(4n+2)$ -мерный вектор-столбец констант интегрирования.

Т.к. уравнение (8) содержит только четные степени переменной, то для выполнения конечных условий (5) положим, что

$$C = [C_6 \mid 0_{2n+1}]^T.$$

Представим матрицу M_0^{-1} в блочном виде:

$$M_0^{-1} = [M_{01} \mid M_{02} \mid M_{03} \mid M_{04} \mid M_{05} \mid M_{06}]^T.$$

С точностью до n тонов ($n=1, 2, \dots$) распределение расхода по длине трубопровода имеет вид:

$$m = m_0 + (m_l - m_0) \theta(x - \xi) - f M_{01} N \tilde{S} \tilde{P} D C,$$

где $\theta(x - \xi)$ – функция Хевисайда, матрицы $\tilde{S}_s$, $\tilde{P}_{sg}$, $D_{zsg}(t)$ таковы, что

$$\tilde{S} = [\tilde{S}_s \mid \tilde{S}_n], \quad \tilde{P} = \begin{bmatrix} \tilde{P}_{sg} & \tilde{P}_{ng} \\ \tilde{P}_{sn} & \tilde{P}_{nn} \end{bmatrix}, \\ D_{zsg}(t) = \text{diag} \left(e^{r_i t} \right)_{i=1, 2n+1}.$$

Искомая зависимость управления U_s от фазовых координат:

$$U_s = (m_l - m_0) \frac{k_{ws}}{k_2} + \frac{R k_1}{k_m} \left((m_l - m_0) \frac{s}{k_2} \right)^2 - \\ - \frac{k_{p2}}{c_4} M_{05} N \tilde{S}_s H_1^{-1} (H_{01} + H_{02}(t)).$$

Вектор констант интегрирования C_6 получаем из начальных условий (4) в виде:

$$C_6 = H_1^{-1} (H_{01} + H_{02}(0)),$$

где $H_1 = \left[-\frac{l}{2} M_{01} N \tilde{S}_s \mid -\frac{l}{2} M_{02} N \tilde{S}_s \mid -M_{06} N \tilde{S}_s \right]^T$,

$$H_{02}(t) = \left[\int_0^l f(x)^T m(x, t) dx \mid \int_0^l f(x)^T \frac{\partial m(x, t)}{\partial t} dx \mid \omega(t) \right]^T,$$

$$H_{01} = \begin{bmatrix} -m_0 \int_0^l f(x)^T dx - (m_l - m_0) \int_0^l f(x)^T \theta(x - \xi) dx \\ 0 \\ 0 \\ -(m_l - m_0) \frac{s}{k_2} \end{bmatrix},$$

Рассмотрим пример. Начальные условия зададим следующим образом:

$$m^*(x) = m_0 + 5 \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right), \quad m^{**}(x) = 0, \quad \omega^* = 0.$$

Пусть на границах трубопровода поддерживаются постоянные расходы

$m_0 = m_l = 25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{с}}$. А в разложении решения системы необходимых условий минимума учитывается три тона. На рис. 2 приведен трехмерный график изменения расхода при оптимальном управлении (рис. 3) и $\frac{\xi}{l} = 0,2$.

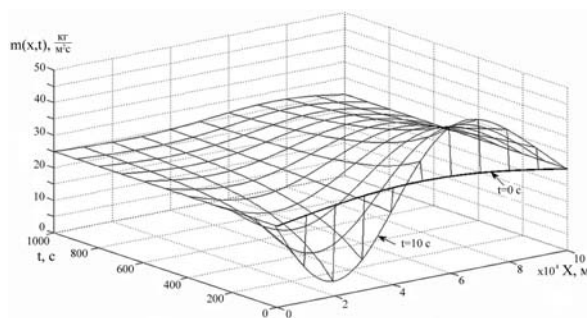


Рис. 2. Переходный процесс по массовому расходу

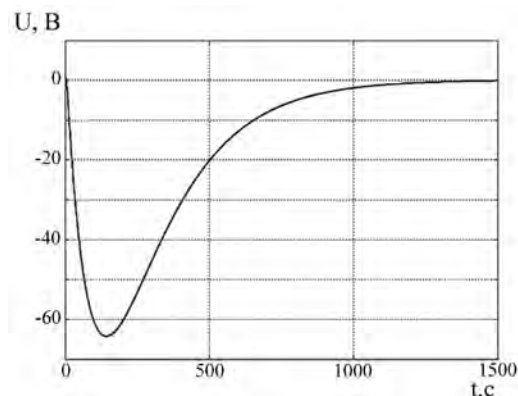


Рис. 3. Оптимальное напряжение якоря двигателя

Процесс переходит в установившийся режим за 21 минуту, что в несколько раз меньше времени релаксации при отсутствии управления.

Список литературы

1. Елин В.И. и др. Насосы и компрессоры. М.: Гостехиздат, 1960. 398 с.
2. Чарный Н.А. Основы газовой динамики. М.: Гостехиздат, 1961. 198 с.
3. Балоев А.А. Универсальная форма записи решения системы линейных неоднородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Изв. вузов. Математика, №11, 1991.

О РАСКРЫВАЕМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ НЕФТИ И ГАЗА

Лазарева П.А.

Научный руководитель: Балоев А.А., д.т.н., профессор
Казанский Государственный Технический Университет им. А.Н. Туполева,
420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10
E-mail: Polina.Lazar@mail.ru

Современная технология транспорта нефти и нефтепродуктов по схеме «из насоса в насос» превращает магистральный трубопровод в единую динамическую систему, требующую согласованной работы всех насосных станций. Большое значение приобретает проблема управления нефтепроводами при неустановившихся процессах. Такие процессы в магистральном трубопроводе, вызванные изменениями гидравлического режима перекачки (остановка или пуск насосных агрегатов, изменение давления (расхода

и т.п.)), сопровождаются распространением от источника возмущения волн повышенного и пониженного давления по всей трубопроводной системе.

В [1] решается задача синтеза граничного управления транспортировкой углеводородного сырья по длинным трубопроводам в следующей формулировке: найти такое зависящее от фазовых координат $\varphi_1(x,t)$, $\varphi_2(x,t)$ управление $U(t)$, чтобы система

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_1(x,t)}{\partial t} &= \varphi_2(x,t), \\ \frac{\partial \varphi_2(x,t)}{\partial t} &= c^2 \frac{\partial^2 \varphi_1(x,t)}{\partial x^2} - 2a\varphi_2(x,t) \end{aligned} \quad (1)$$

с граничными условиями

$$\varphi_1(x,t)|_{x=0} = U(t), \quad \varphi_1(x,t)|_{x=l} = p_*(t), \quad (2)$$

из начального ненулевого состояния

$$\varphi_1(x,t)|_{t=0} = \varphi_{10}(x), \quad \varphi_2(x,t)|_{t=0} = \varphi_{20}(x)$$

перешла в состояние

$$\varphi_1(x,t)|_{t=\infty} = \varphi_2(x,t)|_{t=\infty} = 0$$

при минимальном значении функционала

$$J = \frac{1}{2} \int_0^l \int_0^l (c_1 \varphi_1^2(x,t) + c_2 \varphi_2^2(x,t)) dx + c_3 U^2(t) dt \quad (3)$$

где $\varphi_1(x,t)$ – отклонение давления от установившегося значения, Па; $U(t)$ – управляющее воздействие, Па; $p_*(t)$ – наперед заданная функция времени, Па; c – скорость звука в транспортируемом сырье, м/с; a – коэффициент гидравлических потерь; l – длина трубопровода, м; c_i – весовые коэффициенты.

Для сведения граничных условий (2) к однородным вводится новая функция $\tilde{\varphi}_1(x,t)$ такая, что

$$\varphi_1(x,t) = \tilde{\varphi}_1(x,t) + \frac{x}{l} p_* - \frac{x-l}{l} U$$

Для решения данной задачи используется вариационный корневой подход. В [1] получены необходимые условия экстремума функционала (3). Эта система уравнений решается с применением метода Бубнова-Галеркина. Характеристический определитель системы имеет вид:

$$|A - rE_{4n}| = \begin{vmatrix} -rE_n & E_n & 0_{n,n} & 0_{n,n} \\ a_2 & a_1 - rE_n & a_4 & a_3 \\ 0_{n,n} & 0_{n,n} & -rE_n & E_n \\ b_4 & -b_3 & b_2 & b_1 - rE_n \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

где $0_{n,n}$ – $n \times n$ нулевая матрица; E_n – единичная $n \times n$ матрица; коэффициенты

$$a_1 = 2a(r_1 c_2 I_2 f_0 - E_n),$$

$$a_2 = -r_2 I_0 + I_2 f_0 \operatorname{diag}_{i=1,n} (r_1 r_2 c_2 i^2 + r_1 c_1);$$

$$a_3 = 2a(r_1^2 n c_2 - 2r_1) I_2 f_0,$$

$$a_4 = r_1 I_2 f_0 \operatorname{diag}_{i=1,n} (r_2 i^2 + r_1 c_1 n);$$

$$b_1 = -a_1, \quad b_2 = -r_2 I_0 - r_1 c_1 I_2 f_0, \quad b_3 = 2ac_2 E_n;$$

$$b_4 = -\operatorname{diag}_{i=1,n} (c_1 + r_2 c_2 i^2) \quad (5)$$

Причем, $I_0 = \operatorname{diag}_{i=1,n} (i^2)$; n -мерные векторы

$$I_1 = \left[-1; \frac{1}{2}; -\frac{1}{3}; \dots; \frac{(-1)^n}{n} \right]^T,$$

$$I_2 = \left[1; \frac{1}{2}; \frac{1}{3}; \dots; \frac{1}{n} \right]^T;$$

n -мерная вектор-строка $f_0 = [1, 2, \dots, n]$;

$$r_1 = \frac{2c^2}{c_3 l}, \quad r_2 = \frac{c^2 \pi^2}{l^2}.$$

Раскрытие данного определителя порядка $4n \times 4n$ традиционными приемами представляет собой весьма трудоемкую задачу. Так, например, при учете в разложении решения трех тонов он приобретает двенадцатый порядок. Однако в данной работе определитель (4) раскрывается в общем виде для любого числа тонов n .

Для раскрытия характеристического определителя (4) воспользуемся формулой Фробениуса [2, с. 59]:

$$|A - rE_{4n}| = \Delta = \left| \begin{array}{c|c} -rE_n & E_n \\ \hline a_2 & a_1 - rE_n \end{array} \right| \times \left[\left| \begin{array}{c|c} -rE_n & E_n \\ \hline b_2 & b_1 - rE_n \end{array} \right| - \left| \begin{array}{c|c} 0_{n,n} & 0_{n,n} \\ \hline b_4 & -b_3 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c|c} -rE_n & E_n \\ \hline a_2 & a_1 - rE_n \end{array} \right|^{-1} \left| \begin{array}{c|c} 0_{n,n} & 0_{n,n} \\ \hline a_4 & a_3 \end{array} \right| \right] = 0 \quad (6)$$

Первый определитель правой части (6) преобразуется к виду:

$$\left| \begin{array}{c|c} -rE_n & E_n \\ \hline a_2 & a_1 - rE_n \end{array} \right| = (-1)^n |Q| = (-1)^n \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \Lambda_i + \Lambda \right) \quad (7)$$

где

$$\beta_i = ar_1 c_2 r + r_1 r_2 c_2 i^2 + r_1 c_1 = C_0 r + B_i,$$

$$\Lambda = (-1)^n \prod_{j=1}^n \alpha_j, \quad \Lambda_i = (-1)^{n-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n \alpha_j,$$

$$Q = -r^2 E_n + a_1 r + a_2,$$

причем $\alpha_i = r^2 + 2ar + r_2 i^2$.

Алгебраические дополнения элементов определителя (7) имеют вид:

$$\Delta_{ij} = -\frac{i}{j} \beta_i \Lambda_{ij}, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, n};$$

$$\Delta_{jj} = \sum_{i=1, i \neq j}^n \beta_i \Lambda_{ij} + \Lambda_j, \quad j = \overline{1, n},$$

$$\Lambda_{ij} = (-1)^{n-2} \prod_{k=1, k \neq i, j}^n \alpha_k$$

где

В таком случае обратная матрица в выражении (6) находится по формуле

$$Q^{-1} = \frac{1}{|Q|} \|\delta_{ij}\|, \quad i, j = \overline{1, n},$$

где $\delta_{ij} = \Delta_{ji}$.

Найдем обратную матрицу, входящую в (6):

$$\left[\begin{array}{c|c} -rE_n & E_n \\ \hline a_2 & a_1 - rE_n \end{array} \right]^{-1} = \left[\begin{array}{c|c} -(E_n - Q^{-1}a_2) \frac{1}{r} & Q^{-1} \\ \hline Q^{-1}a_2 & rQ^{-1} \end{array} \right]. \quad (8)$$

С учетом (7), (8) получим:

$$\Delta = |Q| \left| b_1 r + b_2 - r^2 E_n - (b_4 - b_3 r) Q^{-1} (a_3 r + a_4) \right| = 0. \quad (9)$$

Согласно (5) и предположения, что $|Q| \neq 0$, запишем (9) в виде:

$$\Delta = |Q| \left| \frac{1}{|Q|} S \tilde{D} + I_2 \tilde{f}_0 + \text{diag}(\tilde{\delta}_i) \right|, \quad (10)$$

где

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} D_0 r + D_1 & 2(D_0 r + D_2) & \dots & n(D_0 r + D_n) \end{bmatrix},$$

$$S = \begin{bmatrix} \beta_1 \Lambda_1 & \frac{1}{2} \beta_2 \Lambda_2 & \dots & \frac{1}{n} \beta_n \Lambda_n \end{bmatrix}^T$$

$$\tilde{f}_0 = -f_0 (C_0 r + A_0), \quad \tilde{\delta}_i = -(r^2 - 2ar + r_2 i^2), \quad i = \overline{1, n}.$$

Здесь $D_0 = 2a(r_1 n c_2 - 2)$, $D_i = r_2 i^2 + r_1 c_1 n$, $A_0 = r_1 c_1$.

Представим (10) в виде суммы определителей:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \Delta_{1i} + \sum_{i=1}^n \Delta_{2i} + \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \Delta_{3ij} + \prod_{j=1}^n \tilde{\delta}_j,$$

где

$$\sum_{i=1}^n \Delta_{1i} = |Q| \left| \sum_{i=1}^n \tilde{\delta}_i \dots \tilde{\delta}_{i-1} \frac{1}{|Q|} S \tilde{D}_i \tilde{\delta}_{i+1} \dots \tilde{\delta}_n \right| =$$

$$= \sum_{i=1}^n (D_0 r + D_i) \beta_i \bar{\Lambda}_i,$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta_{2i} = |Q| \left| \sum_{i=1}^n \tilde{\delta}_i \dots \tilde{\delta}_{i-1} I_2 \tilde{f}_{0i} \tilde{\delta}_{i+1} \dots \tilde{\delta}_n \right| =$$

$$= -|Q| (C_0 r + A_0) \sum_{i=1}^n \bar{\Lambda}_i,$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \Delta_{3ij} = |Q| \left| \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \tilde{\delta}_i \dots \frac{1}{|Q|} S \tilde{D}_i \dots I_2 \tilde{f}_{0i} \dots \tilde{\delta}_n \right| =$$

$$= (C_0 r + A_0) \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (D_i - D_j) (\beta_i \alpha_j - \beta_j \alpha_i) \bar{\Lambda}_{ij}.$$

$$\bar{\Lambda}_i = (-1)^{n-1} \prod_{j=1, j \neq i}^n (r^2 - 2ar + A_j)$$

Здесь

$$\bar{\Lambda}_{ij} = \Lambda_i \bar{\Lambda}_j,$$

$$\bar{\Lambda}_{ij} = \Lambda_{ij} \bar{\Lambda}_{ij}, \quad \bar{\Lambda}_{ij} = (-1)^{n-2} \prod_{k=1, k \neq i, j}^n (r^2 - 2ar + A_k),$$

$$\tilde{\delta}_i = [0 \dots 0 \tilde{\delta}_i 0 \dots 0]^T, \quad A_j = r_2 j^2.$$

В ходе дальнейших преобразований приходим к выражению:

$$\begin{aligned} \Delta &= \sum_{i=1}^n \left[(-r^2 - 2ar) \beta_i + (C_0 r + A_0) \alpha_i \right] \bar{\Lambda}_i + \bar{\Lambda} = \\ &= \sum_{i=1}^n \left[(-r^2 - 2ar) (C_0 r + B_i) + \right. \\ &\quad \left. + (C_0 r + A_0) (r^2 + 2ar + A_i) \right] \bar{\Lambda}_i + \bar{\Lambda}, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\bar{\Lambda} = (-1)^n \prod_{j=1}^n (r^2 - 2ar + A_j)$$

где $\bar{\Lambda} = \Lambda \bar{\Lambda}$,

Раскроем в (11) выражение под знаком суммы:

$$\begin{aligned} &(-r^2 - 2ar) (C_0 r + B_i) + (C_0 r + A_0) (r^2 + 2ar + A_i) = \\ &= r^2 (-B_i + A_0) + r (2a(A_0 - B_i) + C_0 A_i) + A_0 A_i = \\ &= r^2 (-r_1 r_2 c_2 i^2 - r_1 c_1 + r_1 c_1) + \\ &= r (2a(r_1 c_1 - r_1 r_2 c_2 i^2 - r_1 c_1) + 2ar_1 r_2 c_2 i^2) + c_1 r_1 r_2 i^2 = \\ &= -r_1 r_2 c_2 i^2 r^2 + r_1 r_2 c_1 i^2. \end{aligned} \quad (12)$$

С учетом (12), (11) примет вид:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \gamma_i \bar{\Lambda}_i + \bar{\Lambda},$$

где $\gamma_i = r_1 r_2 i^2 (c_1 - c_2 r^2)$.

Таким образом, нами раскрыт характеристический определитель (4) системы (1) в общем виде, причем в полученном выражении присутствуют только четные степени r .

Список литературы

1. Балоев А.А., Мурга Л.О. Синтез управления транспортировкой углеводородного сырья по длинным трубопроводам. // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. – 2004. – №1. – С. 50-56.
2. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1966. – 576 с.

ОЦЕНКА СОХРАНЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Лукьянов А.С., к.т.н., Бабкин С.А., к.т.н.
Воронежский институт МВД России,
394065, Россия, г. Воронеж, пр. Патриотов, 53
E-mail: las92@yandex.ru

В настоящее время широкое распространение получают сети передачи данных (СПД), позволяющие значительно повысить эффективность передачи и обработки больших объемов информации в короткие промежутки времени [1]. Под *сетью передачи данных* понимается совокупность узлов и каналов (линий) связи, специально предназначенная для организации связи между определенными точками с целью обеспечения передачи данных между ними [2].

Однако, как правило, информация, передаваемая по СПД должна удовлетворять высоким требованиям по ее защите. Одной из наиболее важных параметров безопасности передаваемых данных, решаемыми в процессе обеспечения защиты информации, является сохранение *конфиденциальности* под которой понимается состояние информации, при котором доступ к ней осуществляют только субъекты, имеющие на него право [3].

Под *безопасностью данных* определяется отсутствием недопустимого риска, связанного с утечкой информации по техническим каналам, с несанкционированными и непреднамеренными воздействиями на данные и (или) на другие ресурсы автоматизированной информационной системы, используемые при применении информационной технологии [4].

В качестве числовой характеристики показателя конфиденциальности можно принять

$$K = \begin{cases} 1, & \text{если конфиденциальность сохранена,} \\ 0, & \text{если конфиденциальность нарушена.} \end{cases}$$

Оценку этого показателя можно найти, используя методы теории графов. Представим фрагмент структуры СПД с помощью ориентированного графа так, что вершины соответствуют узлам, а дуги – каналам связи (рис 1.).

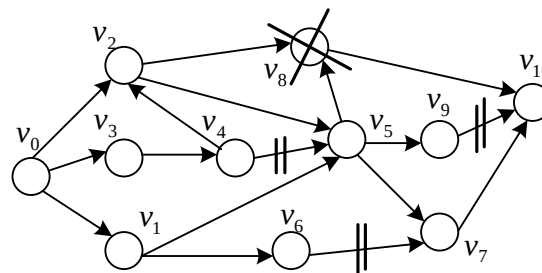


Рис. 1. Модель фрагмента СПД представленная в виде графа

Графом называется пара $G = (V, E)$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – конечное непустое множество; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – конечное множество, представляющее собой бинарное отношение на множестве $V: E \subseteq V^2$. Элементы множества V называются вершинами графа.

Если бинарное отношение E не является симметричным, то его элементы $e = (v_i, v_j)$ называют дугами. Сам граф G в этом случае называют ориентированным графом [5].

В момент передачи данных с помощью СПД ее узлы и каналы связи могут выходить из строя как от умышленного воздействия на них, так и вследствие естественных причин.

Исходя из определения будем считать, что конфиденциальность сохраняется, если остается, хотя бы один маршрут ее передачи из начального узла в конечный. На языке теории графов это означает, что существует путь между вершинами, моделирующими указанные узлы.

Часть графа, представляющая собой последовательность вершин и ребер или дуг $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$, такую, что соседние вершины и ребра (дуги) инцидентны, называется *путем*.

Рассмотрим пример. Пусть фрагмент СПД моделируется с помощью графа, изображенного на рис. 1. Требуется осуществить передачу информации из узла, моделируемого вершиной v_0 в узел, моделируемый верши-

ной v_9 . Предположим, что узел v_8 , канал связи между узлами v_4 и v_5 , v_6 и v_7 , а также v_9 и v_{10} повреждены.

Используем для проверки существования пути алгоритм поиска в ширину. Для этого можно реализовать схему, аналогичную методу поиска кратчайшего пути [6] (веса дуг будем считать единичными), предполагая осуществление пометок вершин. Если вершина v_7 получила окончательную ненулевую пометку, то, следовательно, путь между v_0 и v_7 существует. Путь называется *кратчайшим*, если его длина минимальна. Результаты решения задачи для рассматриваемого примера приведены в таблице 1.

Таблица 1. Описание шагов реализации метода поиска в ширину.

Шаг Вершина	0	1	2	3	4
v_0	0				
v_1	∞	1			
v_2	∞	1			
v_3	∞	1			
v_4	∞	∞	2		
v_5	∞	∞	2		
v_6	∞	∞	2		
v_7	∞	∞	∞	3	
v_8	∞	∞	∞	∞	
v_9	∞	∞	∞	3	
v_{10}	∞	∞	∞	∞	4

Таким образом, искомый путь существует и, следовательно, можно говорить о сохранении конфиденциальности информации, т. е. $K=1$.

Список литературы

1. Лукьянов А.С. Оценки сохранения конфиденциальности информации в информационно-телекоммуникационных системах [Текст] / В.В. Меньших, А.С. Лукьянов // Информация и безопасность: Материалы межрегиональной научно-практ. конф. – Выпуск 4. – Воронеж: ВГТУ, 2008. – С. 601 – 604.
2. Основы построения систем и сетей передачи информации: Учебное пособие для вузов / В.В. Ломовицкий, А.Н. Михайлов, К.В. Шестак, В.М. Щекотихин; под ред. В.М. Щекотихина – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 382 с.
3. ГОСТ Р 50.1.053-2005. Информационные технологии. Основные термины и определения в области технической защиты информации [Текст]. – Введ. 2006–01–01. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 20 с.
4. ГОСТ Р 50.1.056-2005. Техническая защита информации. Основные термины и определения [Текст]. – Введ. 2005–12–29. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 13 с.
5. Практические задания по дискретной математике: учебное пособие/ В.В. Меньших, О.В. Пьянков. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2007. – 155 с.
6. Белоусов А.И., Ткачев С.В. Дискретная математика: Учебник для вузов / А.И. Белоусов, С.В. Ткачев/ Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.

БЫСТРОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC32

Мальчуков А.Н., Осокин А.Н.

Научный руководитель: Осокин А.Н., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет,

634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: malchukov@vt.tpu.ru, osokin@vt.tpu.ru

В данной работе предлагается быстродействующий матричный алгоритм вычисления контрольной суммы CRC32, легко реализующийся на комбинационных схемах, и не требующий применения запоминающего устройства при аппаратной реализации. Матричный алгоритм требует значительно меньшего объема памяти запоминающего устройства при его программной реализации (на DSP, микроконтроллерах) в отличие от табличного алгоритма при обработке двух, трёх и более байт данных за итерацию.

Введение

В работе [1] рассмотрен быстродействующий матричный алгоритм вычисления контрольной суммы на примере CRC8, однако, наибольшее распространение получила контрольная сумма CRC32. CRC32 используется для обнаружения ошибок, подтверждения целостности и подлинности данных в сетевом протоколе передачи данных IEEE 802.3; в стандартах цифрового кодирования видео и аудио сигналов MPEG-2; в формате хранения графической информации PNG; в алгоритмах сжатия данных RAR, ZIP и др.; в устройствах хранения данных с интерфейсом SATA, UD-M; в стандартах обеспечения совместимости Unix-подобных ОС POSIX; в протоколе управления системами хранения данных, серверами и клиентами iSCSI; в модели обмена аэронавигационной информацией AIXM и т.д.

Однобайтовый сдвиг

В работе [1] представлен быстродействующий матричный алгоритм вычисления контрольной суммы CRC8 при обработке одного байта за итерацию, т.е. вместо одного бита за итерацию через результирующий регистр проходит 8 бит данных. Для CRC32 алгоритм будет тем же за исключением матрицы, с помощью которой производится вычисление контрольной суммы (рис. 1).

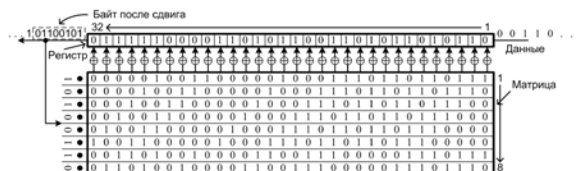


Рис. 1. Схематичное представление работы матричного алгоритма вычисления CRC32
 $(x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1)$

Приведённая на рис. 1 матрица вычислена по алгоритму, который описан в работе [2], для кода (40, 8) с образующим полиномом $x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$.

При программной реализации матричного алгоритма вычисления контрольной суммы CRC32 потребуется объём запоминающего устройства равный, 32 байт (для хранения матрицы), в случае реализации алгоритма, предложенного в работе [3], потребуется 1024 байта.

При аппаратной реализации матричного алгоритма вычисления контрольной суммы CRC32 запоминающего устройства не требуется, вместо этого на комбинационных схемах воспроизводится умножение вектора на матрицу по модулю два (рис. 2).

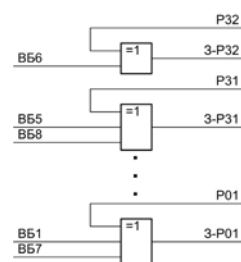


Рис. 2. Пример аппаратной реализации блока умножения вектора на матрицу по модулю два

На рис. 2 обозначено ВВХ – бит Х выдвинутого байта; РХХ – бит ХХ из регистра после сдвига; 3-РХХ – данный бит будет записан на место ХХ бита в регистр по завершению итерации.

Стоит отметить, что в устройствах хранения данных широко применяется практика работы с блоками данных, равных не одному байту, а 1024 байт, 4096 байт и даже 1048576 байт (1 Мб). Контрольная сумма вычисляется

для целого блока. В таких случаях блоки данных являются кратными 2, 4, 8 байтам, что в свою очередь позволяет быстрее вычислить контрольную сумму, за счёт обработки не одного байта за итерацию, а 2, 4 или 8 байт. Рассмотрим на примере обработки 4 байт за итерацию.

Четырёхбайтовый сдвиг

В случае вычисления контрольной суммы CRC32 сразу для 4 байт данных за итерацию матрица будет иметь большее количество строк – 32 вместо 8 (рис. 3).

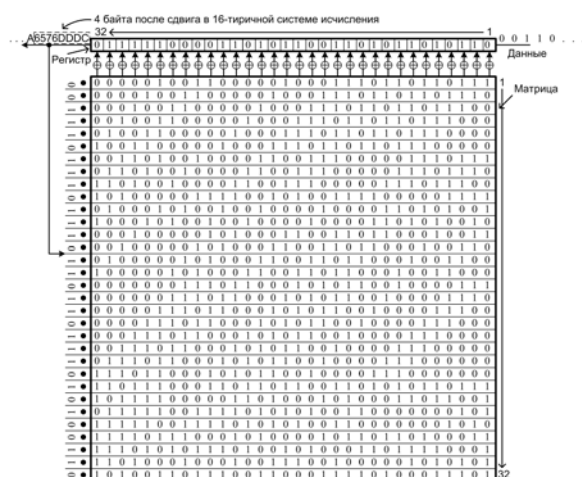


Рис. 3. Схематичное представление работы матричного алгоритма вычисления CRC32 при сдвиге по 4 байта за итерацию

В этом случае при программной реализации матричного алгоритма вычисления контрольной суммы CRC32 потребуются объем запоминающего устройства равный 128 байт (для хранения матрицы), а в случае реализации алгоритма, предложенного в работе [3], потребуется 16 Гб.

Также на рис. 3 и рис. 1 можно заметить, что первые 8 строк в матрице совпадают. Это особенность алгоритма матричного деления – для одного образующего полинома матрица существует одна, количество строк зависит от длины блока данных, поэтому на рис. 1 укороченная версия матрицы с рис. 3.

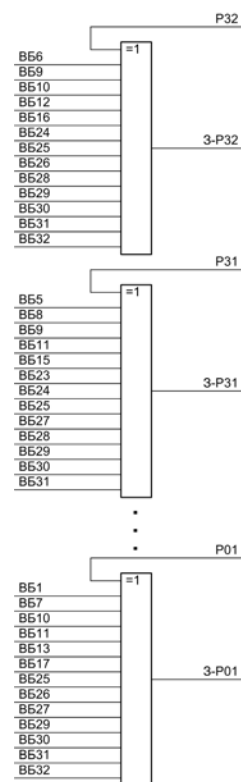


Рис. 4. Пример аппаратной реализации блока умножения вектора на матрицу по модулю два

На рис. 4 показан пример реализации блока умножения вектора на матрицу по модулю два для данного случая. Обозначения те же, что и на рис. 2.

Заключение

Предлагаемый матричный алгоритм быстрого вычисления контрольной суммы CRC актуален при использовании более длинной контрольной суммы (CRC8, 16, 32, 64, 128). Особенно полезен матричный алгоритм в случаях, когда блоки данных кратные 2, 3, 4 байт и т.д., что позволяет быстрее вычислять контрольную сумму CRC. Однако, такое ускорение влечёт за собой серьёзный рост объёма требуемой памяти запоминающего устройства для алгоритма из работы [3] и не значительный рост объёма требуемой памяти (для хранения матрицы) при программной реализации или не значительное усложнение

комбинационной схемы при аппаратной реализации для предлагаемого алгоритма.

Матричный алгоритм вычисления контрольной суммы CRC рекомендуется использовать при реализации хэш-функции CRC128, которая не получила широкого распространения из-за медленного алгоритма вычисления контрольной суммы.

Также возможно успешное использование Матричного алгоритма вычисления контрольной суммы CRC в микроконтроллерах жестких дисков, для обеспечения проверки на целостность больших блоков данных с помощью новых, более длинных контрольных сумм CRC, например, CRC256 или CRC512.

Список литературы

1. Мальчуков А.Н., Осокин А.Н. Быстродействующие алгоритмы вычисления контрольной суммы на примере CRC8. // Молодежь и современные информационные технологии: Сборник трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск, в печати, 2010.

2. Буркатовская Ю.Б., Мальчуков А.Н., Осокин А.Н. Быстродействующие алгоритмы деления полиномов в арифметике по модулю два. // Известия Томского политехнического университета. – Томск: изд-во ТПУ, 2006 – №1 – С. 19-24.

3. Ross N. Williams. A Painless Guide to CRC Error Detection Algorithms [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ross.net/crc/download/crc_v3.txt, свободный.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКИ ЮТИ ТПУ

Е.В. Маркелова

Научный руководитель: Т.Ю. Чернышева, к.т.н., доцент
Юргинский технический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Россия, г.Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: heatshepset@mail.ru

Введение

Необходимость внедрения системы, автоматизирующей самые важные функции деятельности НТБ Юргинского технологического института ТПУ, назревала давно. Особенно проблемной областью является поиск нужной литературы, содержащейся в НТБ, который до сих пор ведется с помощью бумажного каталога. Совсем недавно была начата работа перевода каталога в электронную версию в приложении MS Excel. Но главный недостаток такого представления – отсутствие возможности поиска и удаленного доступа к каталогу. Так же существенным минусом является ограниченное число пользователей, одновременно использующих каталог. Еще одним узким местом, требующим автоматизации, является оповещение читателей о поступлении новых книг и пополнении периодических изданий. Так как в настоящее время данные операции реализуются путем телефонного обзвона подписчиков (заведующих кафедрами) и вывеской объявлений с сообщением о поступивших новых изданиях[1].

При разработке данной системы была проведена работа по исследованию систем подобного вида: Virtua, Нева, Руслан.

Главным конкурентным преимуществом рассмотренных систем является автоматизация всего комплекса библиотечных функций и построение библиотечной записи с использованием формата MARC и RUMARC. Для данного случая все эти системы требуют значительных затрат на приобретение, на обучение персонала, а так же необходимости принятия в штат администратора подобной системы. А разрабатываемая система несет малые материальные затраты на создание, на обучение и имеет потенциал для развития.

Функции информационной системы

Исследование предметной области свидетельствует о том, что ключевой единицей, с которой ведется работа, является книга и ее библиотечная запись [2].

Каждая библиотечная запись имеет свой набор реквизитов (полей) которые заполняются в каталожной карточке книги: УДК (ББК), Название книги, Автор или коллектив авторов, Год издания, Место издания, Издатель-

ство, Количество страниц, Инвентарный номер или диапазон инвентарных номеров, Аннотация

Пользователями каталога являются работники библиотеки, читатели, сотрудники института. Для них работа с каталогом ведется только в режиме чтения и осуществляемые действия над записями – это поиск по контрольным полям каталога.

Библиотекари, работая с каталогом, совершают следующие действия: редактируют записи, добавляют новые записи, удаляют записи, могут добавить нового пользователя.

Функции системы:

- **Комплектование** (регистрация поступлений, первичное описание, формирование отчетных документов).
- **Каталогизация** (полное библиографическое описание, предметизация, систематизация) – создание электронного каталога.
- **Поиск** необходимого читателю издания через Web-браузер в электронном каталоге (представление каталог и система поиска).
- **Учет в системе** (учет книгофонда за год; учет поступлений по партиям с указанием суммы и библиотечного фонда; списание: утрата, недостача, замена, ветхость; оформление актов о списании с указанием причины, перечня книг и с пометкой книгофонда).
- **Уведомление подписчиков** (читателей-преподавателей) о приходе экземпляров подписных изданий средствами автоматической рассылки по e-mail-адресам заведующим кафедрами, а также в виде веб-страницы.

Система написана в виде клиент-серверного приложения на языке PHP5+MySQL 5 [3].

Система выдает информацию для пользователя это результаты его поиска по каталогу. Для библиотекаря – подсчитанные системой учетные показатели, а также документация, сгенерированная системой (в виде веб-страниц):

- генерация и отправка электронного письма по заявленным адресам с указанием поступления заявленных подписных изданий;
- отчет о новых подписных изданиях за месяц;
- отчет о поступлении партии изданий с указанием книгофонда;
- отчет о пополнении книгофонда за год;
- отчет о выбытии изданий из книгофонда.

В ходе разработки была создана модель уровня определений предметной области (рис. 1) [4].

В таблице 1 дана расшифровка сущностей диаграммы.

Работа с системой

Работа в системе начинается с авторизации пользователя. После успешной авторизации пользователь может в главном окне выбрать нужное ему действие и продолжить работу.

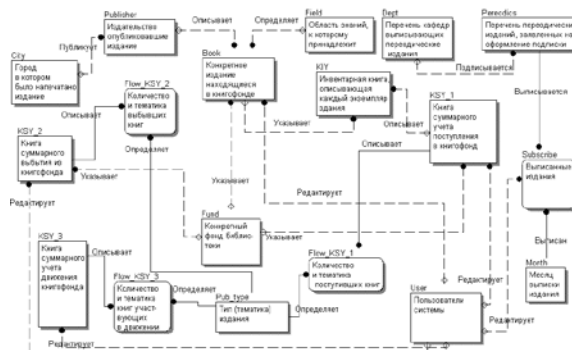


Рис. 1 – Уровень определений концептуальной модели предметной области

Таблица 1 – Глоссарий сущностей

Имя	Определение
BOOK	Описание экземпляра книги
KIY	Книга инвентарного учета
CITY	Место издания
PUBLISHER	Издательство
FIELD	Область знаний
FUND	Библиотечный фонд
USERS	Пользователи
DEPT	Подписчики (кафедры института)
PERIODICS	Периодические издания
SUBSCRIBER	Выписанные журналы
MONTH	Месяц, выписки издания
PUB_TYPE	Тип (тематика) издания
KSY_1	Книга суммарного учета часть 1. Поступление в библиотечный фонд
FLOW_KSY_1	Поступившие книги по тематике
KSY_2	Книга суммарного учета часть 2. Выбытие из библиотечного фонда
FLOW_KSY_2	Выбывшие книги по тематике
KSY_3	Книга суммарного учета часть 3. Описывает движение книгофонда
FLOW_KSY_3	Книги по тематике участвующие в книгообороте библиотеки

На каждой странице расположена подсказка по соответствующему действию. Она коротка и информативная.

На рисунках 2 и 3 проиллюстрированы виды основных окон системы.

Главная > Библиотечная информационная система > УДК

Администрирование УДК

ID	УДК	Наименование УДК	Действия
1	0.000	Информационные науки	 
2	1.000	Экономические науки	 
3	2.000	Богословие	 
4	3.000	Математика	 
5	4.000	Свободный раздел	 
6	5.000	Естественные науки	 
7	6.000	Технические науки	 
8	7.000	Культурология, Социология	 
9	8.000	Науки об обществе	 
10	9.000	История, География	 

Всего: 19. По 10 на каждой странице: [1] 2

Добавить УДК

Рис. 2 – Вид страницы для сущности Field



Рис. 3 – Вид главного окна системы

Заключение

На данный момент в системе реализовано 50% задуманного функционала. Система активно дорабатывается. Реализованы возможности удаленной работы с редактированием каталога, с выводом информации о поступлении новых изданий и журналов. В разработке находятся страницы с отчетами о поступлениях и выбытиях и книгофонда.

Список литературы

1. Экономическая информатика. Учебник для вузов под ред. В.В. Евдокимова – С-Пб: Питер, 1997. – 592 с.
2. Маслов А.В. Проектирование информационных систем в экономике: учебное пособие / А.В. Маслов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 216 с.
3. Объектно-ориентированное программирование на PHP / М.В. Кузнецов, И.В. Симдянов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 608 с.
4. Проектирование и разработка баз данных. Визуальный подход / Р. Фрост, Д. Дей, К. Ван Слайк; пер. с англ. А.Ю.Кухаренко. – М.: ИТ Пресс, 20076. – 592 с.

«БАЗА ДАННЫХ»: О РАЗЛИЧИЯХ В ОПРЕДЕЛЕНИИ

Мирошниченко Е.А.

Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mir@tpu.ru

С учётом того, что базы данных (БД) используются более полувека, и существует множество специализированной литературы, сама постановка вопроса об определении БД должна казаться странной. Его можно взять из любого авторитетного учебника или монографии [1, 2, 3, 4, 5] и даже из официальных документов, например, из законодательства РФ [6], глоссария IEEE [7] или стандарта ISO/IEC [8]. К сожалению, именно попытки сделать всё перечисленное приводят к заключению о том, что ясность и единство мнений в этом вопросе отсутствует. Главная проблема состоит в том, что различия являются существенными, иными словами, определения не эквивалентны. Автору неизвестны современные примеры систематического исследования данной проблемы, и данная

статья является попыткой начать о ней серьёзный разговор.

В исследовании использованы источники, которые автор полагает заслуживающими внимания. К таковым можно отнести международные стандарты, законодательные акты и авторитетные книги по БД (зарубежных и отечественных авторов).

«Определение Дейта»: база данных — некоторый набор перманентных (постоянно хранимых) данных, используемых прикладными программными системами какого-либо предприятия [1].

«Определение Когаловского»: база данных — организованная в соответствии с определёнными правилами и поддерживаемая в памяти компьютера совокупность данных, характеризующая актуальное состояние не-

которой предметной области и используемая для удовлетворения информационных потребностей пользователей [2].

«Определение Коннолли-Бегг»: база данных — совместно используемый набор логически связанных данных (и описание этих данных), предназначенный для удовлетворения информационных потребностей организации [4].

«Определение Ульмана»: термином «база данных», в соответствии с принятой традицией принято обозначать набор данных, находящихся под контролем СУБД [5].

«Определение ГК»: базой данных является представленная в объективной форме совокупность самостоятельных материалов (статей, расчетов, нормативных актов, судебных решений и иных подобных материалов), систематизированных таким образом, чтобы эти материалы могли быть найдены и обработаны с помощью ЭВМ [6].

«Определение IEEE»: база данных — совокупность взаимосвязанных данных, совместно хранимых в одном или нескольких компьютерных файлах [7].

«Определение ISO»: база данных — совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой данных, манипулирование которыми выполняют в соответствии с правилами средств моделирования данных [8].

Единственное понятие, использованное во всех без исключения формулировках, — это «набор (совокупность)». Трактую слово «материалы» из определения ГК как «данные» можно расширить общую часть до «набор (совокупность) данных». Со всей очевидностью можно утверждать, что в определениях существенно больше отличий, чем сходства.

Первое разногласие заключается в том, считать ли базой данных *исключительно компьютерный набор данных* (то есть набор данных, хранящийся и обрабатываемый в вычислительной системе) или любой набор данных, в том числе не имеющий отношения к компьютеру (архив, картотека, библиотека и т.п.). Определения Коннолли-Бегг и ISO формально никак не связывают БД с вычислительной системой, то есть позволяет трактовать его во втором смысле. Определение ГК выражается по этому вопросу уклончиво, указывая на косвенную связь БД с ЭВМ. Остальные определения (так или иначе) подразумевают строго компьютерную природу БД.

Второе разногласие состоит в том, отнести ли к определяющим признакам *цель создания БД*. Определения Дейта, Ульмана, IEEE и ISO явно не упоминают цель создания БД, в отличие от определений Когаловского и Коннолли-Бегг. Два последних определения едины в том, что целью следует считать

удовлетворение информационных потребностей. Можно считать, что определение ГК тоже указывает на цель (поиск и обработку в ЭВМ), хотя и косвенно.

Суть третьего разногласия кроется в определении *потребителя информации из БД*. Определение Когаловского называет потребителем абстрактных «пользователей», тогда как определения Дейта и Коннолли-Бегг считают потребителем обязательно предприятие (организацию). Определения Ульмана, ГК, IEEE и ISO конечного потребителя информации вообще не упоминают.

Четвертое разногласие заключается в том, является ли существенным *наличие выделенных метаданных* (схемы, описания). Определения Коннолли-Бегг и ISO предписывают наличие метаданных, тогда как остальные определения их не упоминают явно.

Пятое (самое обширное) разногласие заключается в свойствах набора данных, которые авторы определений считают характеристически важными. Здесь сильно выделяется определение Ульмана, в котором не указываются вообще никакие самостоятельные и самостоятельные свойства набора данных.

Дейт указывает лишь на одно свойство: *перманентность* (в комментариях учёный разъясняет, что имеет в виду не способ или срок хранения, а *существенность* данных для сохранения, что позволяет отличить действительно важные данные от временных или промежуточных данных приложений). Когаловский упоминает такие два свойства набора данных, как *организованность* и *связь с предметной областью*. Определение Коннолли-Бегг считает существенной *логическую взаимосвязанность* данных в наборе. Определение ГК даёт самый длинный список свойств: *объективность, самостоятельность, систематизированность и приспособленность к компьютерной обработке*. Определение IEEE указывает на *взаимосвязанность* и *совместность хранения* данных в наборе. Наконец, определение ISO предписывает наличие средств моделирования данных, то есть, иными словами, *модели данных*.

Анализ позволяет указать свойство, упоминаемое большинством источников. Это свойство, которое определение Когаловского называет *организованностью*, определения Коннолли-Бегг и IEEE — *взаимосвязанностью*, а определение ГК — *систематизированностью*. Несмотря на терминологическую разницу, речь идёт об одном и том же: набор данных, определяемый как БД, не является бессистемным (хаотическим).

В исследовании рассмотрены недостатки практически всех представленных определений. Кроме того, выполнен подробный анализ

тех признаков и свойств понятия БД, которые фигурируют в рассмотренных определениях. Объем публикации не позволяет привести его в развернутом виде, вследствие чего ниже даются фрагменты рассуждений по двух пунктам разногласий.

О компьютерной природе БД. Компьютерная природа понятия БД, в принципе, не должна вызывать сомнения, однако автору приходилось неоднократно беседовать с людьми, которые или не подозревали о ней, или даже оспаривали её. О компьютерной природе БД более или менее прямо говорится во всех процитированных определениях, кроме определения Коннолли-Бегг, однако и в этом случае авторы в своей книге [4] рассматривают БД исключительно в контексте вычислительных систем. Следует также обсудить уклончивость определения ГК в этой части. Всё же это определение не позволяет трактовать БД вне контекста ЭВМ, так как если данные не представлены в электронной форме и не введены в вычислительную систему, то они не могут быть ни найдены, ни тем более обработаны ей.

Наконец, само слово *database* было изобретено специалистами по разработке программных систем обработки данных, и введено в использование на симпозиумах в 1963–1965 г., организованных компанией System Development Corp. [2, 9].

Итак, база данных хранится и обрабатывается в вычислительной системе, а любые внекомпьютерные хранилища информации (архивы, библиотеки, картотеки и т. п.) базами данных не являются.

О потребителе информации из БД.

Пользователями системы являются не только конечные пользователи, но и программные средства приложений, применяющие информационные ресурсы данной информационной системы для решения собственных задач.

Заключение

Вопрос точного определения столь важного понятия не оторван от жизни. Вопрос формулировок — это вопрос единого языка, во-

прос взаимопонимания. Если некоторое понятие не очень успешно подвергается формализации, это вполне определённый симптом. Такое понятие не выводится естественным образом из системы базовых понятий предметной области, поскольку само по себе является базовым понятием. Итак, БД — понятие существенно аксиоматическое, в этом главная причина разногласий в определениях.

Список источников

1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. — 8-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 1328 с.: ил.
2. Когаловский М. Р. Энциклопедия технологий баз данных. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 800 с.
3. Кузнецов С. Д. Основы баз данных: учебное пособие. — 2-е издание, испр. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. — 484 с.: ил.
4. Коннолли Т., Бегг К. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. — 3-е издание.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1440 с.: ил.
5. Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж. Системы баз данных. Полный курс.: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 1088 с.: ил.
6. Гражданский кодекс РФ: Ч. 4 от 18.12.2006 г. № 230-ФЗ — Права на результаты интеллектуальной деятельности и средства индивидуализации. — Ст. 1260.
7. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology: IEEE Std. 610.12-1990.
8. ГОСТ Р ИСО МЭК ТО 10032-2007: Эталонная модель управления данными (идентичен ISO/IEC TR 10032:2003 Information technology — Reference model of data management).
9. Haigh T. How Data Got its Base: Information Storage Software in the 1950s and 1960s // IEEE Annals of the History of Computing. — 2009. — #4 October–December.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИОННЫХ КАСКАДОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Михалевич С.С., Рогозный Д.Г., Самусенко Ш.П.

Научный руководитель: Чурсин Ю.А., ассистент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: AnorT@ya.ru

В ядерных реакторах не происходит полного выгорания горючего, что связано с физическим разрушением топлива (тепловыделяющих элементов), либо с преждевременным ухудшением реактивности. Отработанные тепловыделяющие элементы содержат значительное количество делящегося материала, извлечение которого экономически целесообразно.

В настоящее время облученное ядерное топливо перерабатывается с помощью экстракционной технологии, использование которой позволяет обеспечить разделение веществ. Аппаратное оформление технологии реализуется на противоточных пульсационных колоннах, соединенных по каскадной схеме.

В настоящее время выполненные исследования [1, 2, 3] позволили переориентировать работу установки по переработке ядерного топлива.

Упрощенная технологическая схема экстракционного каскада используемого ранее представлена на рисунке 1, а в таблицу 1 внесены обозначения потоков экстракционного каскада.

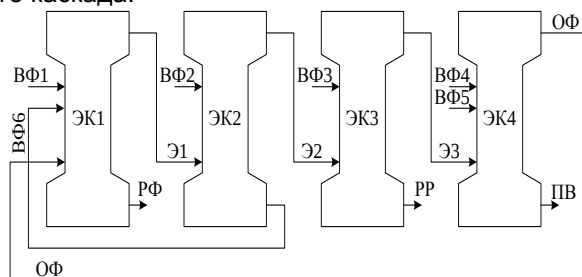


Рис. 1. Структурная схема экстракционного каскада используемого ранее

Таблица 1.

Обозначения потоков экстракционного каскада

Обозначение потока	Название потока	Фаза
ОФ, ОФ1	Экстрагент	органическая
ВФ1	Упаренный реэкстракт урана	водная
Э1	Экстракт	органическая
РФ	Рафинат исходного раствора	водная
ВФ2	Раствор для	водная

	промывки экстракта	
ВФ6	Азотнокислый раствор от промывки насыщенного экстракта	водная
Э2	Экстракт после промывки	органическая
ВФ3	Конденсат сокового пара	водная
ВФ4	Конденсат сокового пара	водная
РР	Реэкстракт урана	водная
ВФ5	Раствор соды	водная
ПВ	Промывной раствор	водная

Органическая фаза (ОФ) из бака-сборника подаётся в нижнюю часть колонны ЭК1. Одновременно с этим в верхнюю часть этой же колонны поступает водная фаза (ВФ1), которая включает в себя перерабатываемый раствор (растворенный урановый концентрат и азотнокислый раствор после промывки насыщенного экстракта). Под воздействием пульсаций сжатого воздуха, поступающих в пульскамеру колонны, происходит взаимодействие экстрагента с исходным раствором, вследствие чего уран из исходного раствора переходит в экстрагент. Далее органическая фаза с поступившим в неё ураном (Э1) самотёком выводится из верхней отстойной зоны колонны в буферную ёмкость, а остаточная водная фаза (РФ) откачивается из нижней отстойной зоны колонны встроенным пульсационным насосом. Затем из буферной ёмкости экстракт откачивается погруженным центробежным насосом в следующую по каскаду колонну (ЭК2), которая предназначена для промывки экстракта. В эту же колонну одновременно с экстрактом подаётся раствор для промывки экстракта от примесей. После промывки экстракт (Э2) выводится самотёком из верхней отстойной зоны колонны в следующую буферную ёмкость, а раствор после промывки (ВФ6) из нижней отстойной зоны откачивается встроенным пульсационным насосом в головную колонну.

Далее промытый экстракт из буферной ёмкости откачивается в следующую колонну (ЭК3), которая предназначена для резэкстракции урана. В данную колонну одновременно с экстрактом поступает конденсат сокового пара (ВФ3).

Резэкстракт урана (РР) откачивается встроенным пульсасосом из нижней отстойной зоны в ёмкость-хранилище и далее в выпарной аппарат, а экстрагент (ЭЗ) из верхней отстойной зоны самотёком поступает в буферную ёмкость. Из буферной ёмкости экстрагент откачивается погруженным насосом в колонну (ЭК4), которая предназначена для регенерации экстрагента. Одновременно с экстрагентом в данную колонну поступают: конденсат сокового пара (ВФ4), раствор соды (ВФ5).

После регенерации экстрагент из верхней отстойной зоны самотёком поступает в бак-сборник, а промывной раствор (ПВ) откачивается из нижней отстойной зоны колонны пульсасосом.

Для увеличения эффективности очистки урановых концентратов в настоящее время на экстракционном каскаде внедрен в эксплуатацию несколько иной способ взаимодействия колонн между собой. Упрощенная технологическая схема представлена на рисунке 2.

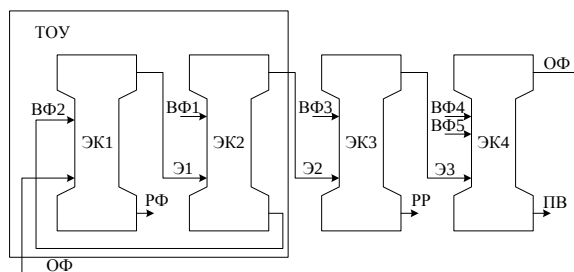


Рис.2. Структурная схема экстракционного каскада используемого в настоящее время

В объекте управления (ТОУ) установлено три датчика задержки дисперсной фазы (ЗДФ) и два датчика показателя концентрации металла (по одному в каждой колонне). Управляющими воздействиями на установку по переработке ядерного топлива являются расходы ВФ, управляемой переменной – концентрация урана в головной колонне, возмущающими воздействиями – границы разделов фаз и уровни в пульсационных камерах. Выходными переменными являются концентрация урана в рафинате РФ и экстракте урана Э2.

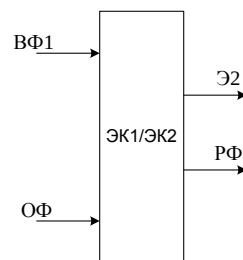


Рис.3. Информационная схема объекта управления

Технологические процессы радиохимических производств относятся к технологиям высокой ответственности и опасности. Следовательно, экспериментальное исследование этих процессов на реальных производствах и физических моделях затруднительно. Все это требует применения методов математического моделирования, как для определения критериев и целей оптимизации процесса, так и для его эффективной автоматизации. Решение задач в области автоматизации и оптимизации технологических процессов переработки ядерного топлива требует разработки специального инструмента – математической модели процесса многокомпонентной экстракции в экстракционном аппарате.

Целью математического моделирования является изучение технологического процесса переработки ядерного топлива и технологического оборудования для разработки алгоритмов управления и решения задач оптимизации.

Главное (основное) требование к разрабатываемым моделям – модель должна описывать динамические связи между выбранными входными и выходными переменными, а также физико-химические закономерности, материального и энергетического балансов, кинетики, детальных особенностей аппаратного оформления процессов многокомпонентной экстракции.

Требования к математической модели процесса экстракции компонентов ядерного топлива:

- учет химико-технологических аспектов процесса экстракции ядерного топлива;
- учет влияния HNO_3 на процесс экстракции компонентов ядерного топлива;
- учет гидродинамики в экстракторе;
- учет температуры водной и органической фазы на процесс экстракции;
- учет теплопереноса в экстракторе.

Сформулированные требования являются отправной точкой при разработке математических моделей исследуемых процессов и установок.

Список литературы

1. Перспективы Сибирского химического комбината в увеличении объёмов переработки урановых концентратов / Лазарчук В.В., Шикерун Т.Г., Рябов А.С., Шамин В.И., Жиганов А.Н. // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 3. – С. 5–10.

2. Физико-математическая модель экстракционной переработки концентрата урана в каскаде противоточных колонн / Носков

М.Д., Истомин А.Д., Короткевич В.М., Козырев А.С., Шикерун Т.Г., Шамин В.И., Михайлова Н.А., Романов М.Е. // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 3. – С. 10–14.

3. Интенсификация процессов разделения высококонцентрированных растворов уранила и тонкодисперсных твёрдых взвесей / Козырев А.С., Шикерун Т.Г., Рябов А.С., Шамин В.И., Михайлова Н.А., Скуратова М.В. // Изв. Томск. политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 3. – С. 15–19

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНТЕРЕСОВ СУБЪЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ

Морозов Н.С., Сарапулова Т.В.

Научный руководитель – Пимонов А.Г., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: morozov@gmail.ru

Единая экономическая стратегия развития Российской Федерации погружает каждый из её регионов в среду конкуренции и принуждает проводить экономическую политику таким образом, чтобы улучшалась конкурентоспособность региона. Специалистам хорошо известно, что регион как экономический объект имеет двойственный характер [1]. С одной стороны регион является достаточно самостоятельной экономической подсистемой со своим собственным экономическим и ресурсным пространством. А с другой стороны он рассматривается в качестве субъекта федерации, который является частью национальной экономики и участвует в формировании цельного экономического пространства России.

Бизнесом, расположенным в каком-либо конкретном регионе (впрочем, как и крупными межрегиональными корпорациями), для развития используются наряду с региональными ресурсами и федеральные. И вполне понятно, что деятельность бизнеса должна реализовываться в рамках существующих региональных и федеральных институтов, и он должен согласовывать, в том числе, свои решения со структурами власти – на всех уровнях, если эти решения окажут влияние на экономическую среду данного региона.

Региональными экономическими интересами образуется сложная система с высокой взаимосвязью элементов (т.е. составляющих интересов). Одна часть из этих интересов может согласоваться, чтобы повысить эф-

фективность экономики региона, но другая часть согласованию не поддаётся, так как по своей экономической природе экономические региональные интересы обладают различным циклом существования и могут менять конфигурацию экономического регионального пространства.

В эконометрических и экономико-математических моделях, применяемых, в частности, при изучении и оптимизации процессов маркетинга и менеджмента, управления предприятием и регионом, точности и стабильности технологических процессов, в задачах надежности, обеспечения безопасности, разработки организационных схем, часто применяют понятия и результаты теории вероятностей и математической статистики. При этом зачастую используют те или иные параметрические семейства распределений вероятностей. К сожалению, параметрические семейства существуют лишь в теории, в реальной жизни их нет. Поэтому в эконометрике используются в основном непараметрические методы, в которых распределения результатов наблюдений могут иметь произвольный вид [2].

Методика количественной оценки уровня согласованности экономических интересов основана на сопоставлении эталона (идеального режима функционирования) реальному режиму, который отражает текущее социально-экономическое состояние региона (на примере Кемеровской области) и его экономического ядра (угольной отрасли) в опреде-

ленный момент времени. Оба режима должны быть соизмеримы по принятому критерию оценки, в основе которого лежит уровень согласованности экономических интересов [3].

Программная реализация предложенного алгоритма была выполнена в виде информационно-аналитической системы, предоставляющей следующие возможности:

- 1) составление эталонных схем функционирования исследуемой экономической системы за выбранный период времени;
- 2) импорт статистических данных;
- 3) приведение стоимостных статистических показателей к уровню цен базового года;
- 4) медианное сглаживание временных рядов экономических показателей;
- 5) расчет скоростей и ускорений анализируемых показателей;
- 6) вычисление коэффициентов ранговой корреляции по Спирмену и Кендэллу, результирующей оценки соответствия эталону и оценки уровня согласованности экономических интересов за весь рассматриваемый период времени;
- 7) сохранение и экспорт результатов расчетов;
- 8) графическая визуализация исходных данных и полученных результатов.

В результате обработки статистических данных вычисляются коэффициенты ранговой корреляции по Спирмену и Кендэллу. Оба коэффициента принимают значения в интервале от -1 до +1. В случае отрицательных значений можно говорить о разнонаправленности экономических интересов (вариант, учитывающий, например, эффект конкуренции за использование общих ресурсов). В случае положительных значений – экономические интересы однонаправлены (вариант, учитывающий синергетический эффект – эффект согласованного взаимодействия).

Если в регионе есть экономическое ядро (системообразующая отрасль) и его развитием определяется тип экономической модели региона, куда включаются такие блоки как «региональная промышленная политика», «региональная политика», «промышленная политика», то достаточным будет исследование степени согласованности между интересами такого экономического ядра и интересами власти.

Так, для Кузбасса было сформулировано следующее утверждение: обеспечение повышения уровня жизни людей зависит в большей степени от роста эффективности работы угольной отрасли этого региона.

Чтобы оценить степень согласованности интересов «экономического ядра» в данном регионе (угольной промышленности) с интересами самого «региона» (Кемеровская об-

ласть) был создан базовый набор из 17 индикаторов официальной региональной статистики. Также были сформулированы признаки «идеального» взаимодействия между рассматриваемыми субъектами промышленной политики региона, направленного на повышение степени согласованности в их экономических интересах.

Полученная с использованием разработанной информационно-аналитической системы интегральная (итоговая) оценка степени согласованности экономических интересов «Кузбасского региона» и «угольной отрасли Кузбасса» в период 1998-2007 годов составила **0,284**.

Так как диапазон изменения данного показателя от **0** до **+1**, то полученная оценка (**0,284**) даёт возможность предположить, что в анализируемый отрезок времени вклад угольной отрасли в решение основополагающей цели развития Кузбасса был недостаточен. Речь идёт об оценке степени согласованности интересов с позиции принятого критерия данной оценки [4] – повышение уровня жизни людей в большей степени достигается благодаря росту эффективности работы угольной отрасли региона.

Внутри периода, подвергшегося исследованию, отчётливо просматривается тенденция повышения степени согласованности между интересами региона и угольной отрасли Кузбасса. В период 2004-2006 видна высокая эффективность принятых властью региона управленческих решений, которые привели к росту эффективности работы угольной отрасли этого региона и к одновременной реализации главной цели развития региональной экономики – «повышение уровня жизни людей».

Благодаря рассмотренному подходу к проблеме измерения в региональном экономическом пространстве, основанном на математических инструментах непараметрической статистики вместе с использованием статистической официальной информации по региону, возникает возможность анализировать не достигнутый уровень, а оценивать «расстояние» до идеала, и при этом сводить показатели разных аспектов хозяйствования к измерению по одной шкале. Это обеспечивает комплексность [3] получаемой оценки.

В результате анализа методики [3] был предложен и программно реализован алгоритм оценки уровня согласованности экономических интересов субъектов промышленной политики региона. Разработанная информационно-аналитическая система состоит из двух частей: информационной подсистемы, предназначенной для работы с базой данных временных рядов экономических по-

казателей регионов, и аналитической подсистемы оценки уровня согласованности субъектов региональной промышленной политики. С помощью созданной информационно-аналитической системы был проведён анализ уровня согласованности экономических интересов субъектов промышленной политики Кузбасса за период с 1998 по 2007 год.

Предложенный алгоритм и разработанная информационно-аналитическая система могут быть использованы в органах власти субъектов Российской Федерации для оценки и повышения уровня согласованности интересов субъектов промышленной политики.

Список литературы

1. Гранберг А.Г. Моделирование пространственного развития национальной и мировой экономики: эволюция подходов // Регион: экономика и социология. – 2007. – №1.
2. Тарасенко П.П. Непараметрическая статистика. Томск, 1976. – 292 с.
3. Фридман Ю.А. Согласование интересов власти и бизнеса на региональном уровне / Фридман Ю.А., Бияков О.А., Речко Г.Н., Блам Ю.Ш // Экономическое развитие России: ре-

гиональный и отраслевой аспекты. – Вып.8. Под ред. Е.Коломак, Л.Машкиной. – Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2007. – С. 141-155.

4. Фридман Ю.А. Измерение уровня согласованности экономических интересов субъектов региональной промышленной политики Кемеровской области / Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Блам Ю.Ш., Пимонов А.Г. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – №5. – С. 98-103.

5. Бияков О.А. Региональные экономические интересы и проблемы измерения их согласованности / Бияков О.А., Коломарова Н.Ю. – Кемерово, ГУ КузГТУ, 2003. – 67 с.

6. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 638 с.

7. Кендэлл М. Ранговые корреляции. – М.: Статистика, 1975.

8. Фридман Ю.А. Выбор показателей для оценки уровня согласованности интересов экономических субъектов в регионе/ Фридман Ю.А., Речко Г.Н., Бияков О.А., Блам Ю.Ш. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – №4. – С. 111-116.

КОМПЕНСАЦИЯ ВЕСА ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА ПОСРЕДСТВОМ ВВЕДЕНИЯ В СТРУКТУРУ ГИДРОПРИВОДОВ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Назаров Е.В., Сапунов Е.А., Савельев А.В.

Научный руководитель: Прошин И.А., д.т.н., профессор
Пензенская государственная технологическая академия,
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ул. Гагарина д. 1а/11
E-mail: n.zhenya89@rambler.ru

Существенным недостатком известных динамических стендов является влияние веса подвижной платформы и установленного на ней оборудования на работу следящего привода. В связи с тем, что при движении вниз сила веса подвижных частей складывается с формируемой гидроприводом силой, а при движении вверх противодействует ей, создается асимметрия механической характеристики привода, приводящая, в конечном счете, к искажению процесса отслеживания входных электрических сигналов[1,2,3]

В трёхступенном динамическом стенде с вертикальным расположением гидроцилиндров [4,5] этот недостаток можно устранить путем введения гидродинамического компенсатора статической нагрузки в следящий гид-

ропривод. В шестиступенном динамическом стенде такой способ не применим, т.к. изменения положений всех шести гидроцилиндров взаимосвязаны. Влияние веса подвижной платформы на работу следящего привода в шестиступенном динамическом стенде можно устранить следующим способом.

На рисунке 1 приведена структурная схема следящих гидроприводов шестиступенного динамического стенда.[6] Шестиступенный стенд состоит из платформы, источника гидравлического питания и шести одинаковых следящих гидроприводов, по количеству силовых цилиндров, на которые опирается платформа. Каждый из следящих гидроприводов состоит из последовательно соединенных чувствительного элемента, сумматора,

двух параллельных цепей, усилителя мощности, гидроусилителя и силового цилиндра, связанного с платформой. Каждая из двух параллельных цепей состоит из последовательно соединенных детектора и управляемого усилителя-ограничителя, причем детекторы имеют разную полярность. Каждый гидропривод СГП1...СГП6 содержит вычислительное устройство, входы которого соединены с выходами чувствительных элементов всех гидроприводов, а выход соединен с управляющими входами управляемых усилителей-ограничителей.[7]

В структуру каждого гидропривода СГП1...СГП6 введены последовательно соединенные дифференциатор и усилитель, выход которого подключен через масштабные делители ко вторым управляющим входам управляемых усилителей-ограничителей, а вход дифференциатора соединен с выходом вычислительного устройства.

Динамический стенд работает следующим образом. При движении против неуравновешенности коэффициент усиления и уровень ограничения выходного сигнала управляемого усилителя-ограничителя увеличиваются, а при движении по неуравновешенности коэффициент усиления и уровень ограничения выходного сигнала управляемого усилителя-ограничителя уменьшаются, вызывая аналогичное изменение действующего момента, развиваемого силовыми цилиндрами гидроприводов.[8] Причем это увеличение или уменьшение производится в зависимости от взаимного положения силовых цилиндров всех гидроприводов по сигналу вычислительного устройства каждого гидропривода, учитывающего изменение момента неуравновешенности, действующего на соответствующий силовой цилиндр.

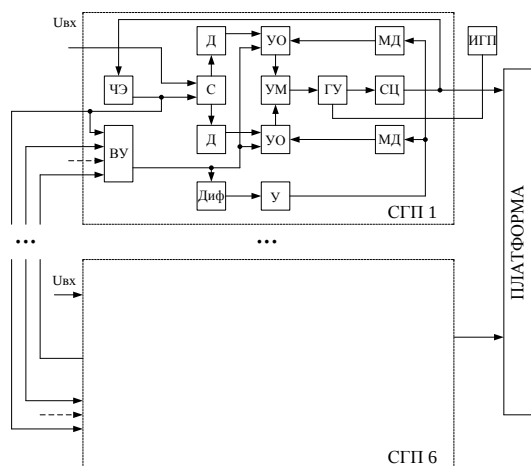
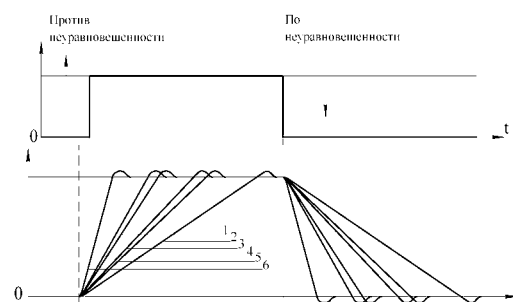


Рис. 1. Структурная схема следящих гидроприводов шестистепенного динамического стенда: ЧЭ – чувствительный элемент; ВУ – вычислитель-

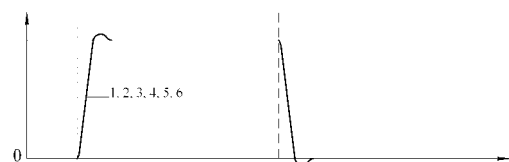
ное устройство; Д – детектор; С – сумматор; Диф – дифференциатор; УО – усилитель-ограничитель; УМ – усилитель мощности; ГУ – гидроусилитель; МД – масштабный делитель; СЦ – силовой цилиндр; ИГП – источник гидравлического питания; СГП – следящий гидропривод.

В результате, существенно повышается точность воспроизведения стендом управляющих воздействий при значительной динамической составляющей неуравновешенности.

На рисунке 2 приведены графики переходных процессов приводов при наличии существенной динамической составляющей неуравновешенности для шестистепенного динамического стенда с наибольшей действующей нагрузкой на силовой цилиндр 2 до и после использования предлагаемого технического решения.



а) до использования предлагаемого технического решения



б) после использования предлагаемого технического решения

Рис. 2. Графики переходных процессов приводов СГП1, СГП2, СГП3, СГП4, СГП5, СГП6

Как видно из графика на рисунке 2а, кривые переходных процессов приводов различны. Это ограничивает точность воспроизведения стендом управляющих воздействий.[9] Как видно из графика на рисунке 2б, после использования предлагаемого технического решения кривые переходных процессов приводов практически одинаковые, что позволяет существенно повысить точность воспроизведения стендом управляющих воздействий.

Список литературы

1. И.А. Прошин, В.М. Тимаков, Е.А. Сапунов, А.В. Савельев. Имитационная модель

законов управления динамическим стендом авиационного тренажера. Математическое моделирование и краевые задачи: труды шестой Всероссийской научной конференции с международным участием 1 – 4 июня 2009 г – Самара: Самарский государственный технический университет, 2009.

2. И.А. Прошин, В.М. Тимаков, А.В. Савельев, Е.А. Сапунов. Моделирование движения динамического стенда авиационного тренажера с компенсацией нагрузки. Математическое моделирование и краевые задачи: труды шестой Всероссийской научной конференции с международным участием 1 – 4 июня 2009 г – Самара: Самарский государственный технический университет, 2009.

3. И.А. Прошин, А.В. Савельев, Е.А. Сапунов, В.М. Тимаков. Следящий гидропривод авиационного тренажера с компенсацией статической нагрузки. Мехатроника, автоматизация, управление: материалы международной научно-технической конференции, с. Дивноморское, Геленджик, 28 сентября – 3 октября 2009 г. – Таганрог, 2009.

4. И.А. Прошин, А.В. Савельев, Е.А. Сапунов, В.М. Тимаков. Способы управления гидроприводами динамического стенда авиационного тренажера. Мехатроника, автоматизация, управление: материалы международной научно-технической конференции, с. Дивно-

морское, Геленджик, 28 сентября – 3 октября 2009 г. – Таганрог, 2009.

5. И.А. Прошин, А.В. Савельев, Е.А. Сапунов, В.М. Тимаков. Построение имитационной модели законов управления динамическими системами. Сборник трудов III международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве», 29 июня – 3 июля 2009 г. – Серпухов, 2009.

6. Е.В. Назаров, И.А. Прошин, В.М. Тимаков. Математическая модель гидропривода тренажеров транспортных средств. г. Пенза: ПГТА, 2006. – С. 67 – 72.

7. С.В. Бочкарев, Е.В. Назаров, О.С. Харнаева. Исследование гидропривода тренажеров транспортных средств. г. Новочеркасск: НПИ, 2008. – С. 115 – 117.

8. С.С. Марин, Е.В. Назаров, С.А. Никиташин. Создание имитационной модели и совершенствование законов управления динамическими стендами тренажеров транспортных средств. г. Новочеркасск: НПИ, 2008. – С. 117 – 119.

9. XV Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – С. 451 – 452.

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Нигманов Р.Р.

Научный руководитель: Гриценко Ю.Б. доцент
Томский университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: ruskwon-wtf2005@mail.ru

Введение

Основной целью создания АИС является повышение эффективности работы инженеров занятых в процессе проектирования и эксплуатации сетей водоотведения. Для достижения поставленной цели необходимо, чтобы разрабатываемая автоматизированная информационная система (АИС) моделировала структуру сети водоотведения и позволяла производить гидравлический расчет этой сети.

Основная часть

Учитывая тот факт, что в большинстве случаев используется древовидная сеть водоотведения, то разбив данную сеть на участки, возможно, её рассчитать по следующему алгоритму [1]:

1. **Выполняется трассировка сети водоотведения** (начертание водоотводящей сети на генеральном плане канализуемого объекта). Основная задача при трассировке сети заключается в том, чтобы наибольшее количество сточной жидкости отводилось по трубам и каналам самотеком. Это один из самых ответственных этапов при составлении схемы, так как от принятых принципов трассировки зависит стоимость всей системы водоотведения. Так, при трассиров-

ке сети необходимо учитывать: рельеф местности для уменьшения глубины заложения труб и отвода сточных вод самотеком; местоположение очистных сооружений; намеченное место выпуска сточной жидкости в водоем; принятую систему канализации; характер застройки кварталов; очередность строительства.

2. Определяются расходы сточных вод от населения, коммунальных объектов и общественных зданий, промышленных предприятий. Кроме этого, должны быть собраны следующие исходные данные:

1. Сведения о существующих схемах водоснабжения и водоотведения объекта.

2. Сведения по объектам: Число жителей; Плотность населения и системы благоустройства; Пропускная способность общественных зданий и коммунальных предприятий; Виды промышленных предприятий, характеристики производства, количественный и качественный состав стоков; Гидрологические, геологические и метеорологические данные; Гидрология по водоемам; Топографические материалы по объекту [2].

3. Для каждого района определяется удельный расход сточных вод (модуль стока).

4. Кварталы разбиваются на площади стока, определяются средние расходы сточных вод с площадей стока;

5. Определяются начальные глубины заложения трубопроводов (глубина, на которой присоединяются внутриквартальные сети к уличным сетям). Начальная глубина заложения оценивается для характерных кварталов районов города (наиболее представленных) или для всех участков сети [3].

6. Определяются расчетные расходы сточных вод для участков сети во второстепенном районе, определяются гидравлические параметры участков сети (d , J , h/d , V), выполняется гидравлический расчет профиля. Движение воды в напорных трубопроводах происходит полным сечением трубы. Гидравлический расчет напорных трубопроводов при транспортировании сточных вод, илопроводов и дюкеров сводится к выбору экономически выгодных диаметров и определению в них потерь напора. Диаметр трубопровода определяется по формуле постоянного расхода, исходя из заданного расхода Q , и задаваясь экономичными скоростями $v_{эк}$. Для водоотводящих сетей экономичная скорость составляет 1,5 – 2,5 м/с, кроме этого, скорости в трубах должны быть не менее незаиливающих [1].

Диаметр рассчитывается по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_{эк}}} \quad (1)$$

Общие потери напора в трубопроводе складываются из местных $h_{м}$ и линейных потерь $h_{л}$: [3]

Потери напора по длине определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{полн} = h_{л} + \sum h_{м} \quad (2)$$

Сумма местных потерь напора включает потери напора в коленах, отводах задвижках и т.д. Потери в отдельном местном сопротивлении рассчитываются по формуле Вейсбаха [2]:

$$h_{л} = i \cdot L = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (3)$$

где i – гидравлический уклон (в этом случае он не совпадает с уклоном самого трубопровода), L – длина трубопровода, D – диаметр трубопровода, v – скорость потока, λ – коэффициент сопротивления трению, определяется по формуле Н.Ф.Федорова [4].

7. Выполняется расчет дюкера. Дюкеры служат для транспортирования сточных вод через реки, овраги и при пересечении с различными подземными сооружениями. Дюкеры работают полным сечением, жидкость в них движется под действием столба воды, определяемого разностью уровней стоков во входной и выходной камерах

$$H = Z_1 - Z_2$$

где Z_1 – уровень стоков во входной камере дюкера, где Z_2 – уровень стоков в выходной камере дюкера.

$$H = i \cdot L + \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

где i – гидравлический уклон (в этом случае он не совпадает с уклоном самого трубо-

провода), L – длина трубопровода, $\sum \xi$ – сумма сопротивлений. Коэффициент сопротивления на входе в трубу при острых кромках: $\xi_{вх} = 0,5$. Сопротивление на выходе из дюкера может быть определено по формуле:

$$h_{вых} = \frac{(v - v_1)^2}{2 \cdot g} \quad (5)$$

где v – скорость в дюкере, v_1 – в коллекторе на выходе.

Для цилиндрических труб и фасонных частей в коленах сопротивление вычисляется по формуле:

$$h_{пов} = \frac{\theta}{90^\circ} \cdot \xi_{пов} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

где Θ - угол поворота в градусах,
 $\zeta_{пов}$ – коэффициент сопротивления на повороте, равный для колена с углом $30^\circ = 0,07$.

8. **Выполняется гидравлический расчет сети водоотведения главного района.** Второстепенным в данном случае называется район, сточные воды которого при помощи дюкера будут подаваться в сеть другого (главного) района.

Разработанная АИС позволяет нарисовать, спроектировать, рассчитать сеть и построить граф в этом вам поможет графический редактор, который прост в обращении и имеет удобные инструменты для разработки, ввода данных и расчета сети. Удобный интерфейс и функционал с легкостью дает возможность масштабировать отдельные участки сети и осуществлять быструю навигацию. Разная палитра улучшит восприятие, поможет быстрее ориентироваться на графе сети и различать на этапе проектирования и в дальнейшем, из какого материала были использованы канализационные трубы. Палитра, как и другие атрибуты нашего графического редактора, могут быть настроены пользователем по усмотрению. В процессе создания рисунка автоматически ведется классифицирование, идентификация и уникальное кодирование каждого элемента оборудования, что намного облегчит внесение информации о них в базу данных. Специальный алгоритм описания сетей позволяет создать базу данных технологических параметров как непосредственно в процессе графического ввода, так и отдельной процедурой. Состав паспортизируемых параметров объектов каждого типа настраивается по требованиям пользователя и может быть изменен. Так же в базе данных уже имеется набор параметров стандартных устройств которые вы можете получить в любой момент дабы не утруждать себя вводом громоздкой информации. Так же при проектировании и расчете сети специалисты могут проверить все расчетные данные используя методический материал и справку, которые всегда можно получить и они поставляются вместе с приложением в электронной форме.

В разработанной системе гидравлический расчет производится на основе автоматически формируемой расчетной схемы для всех

изолированных зон. Любая группа «переключений» арматуры на схеме сети инициирует перерасчет гидравлики. Отметив любой участок или узел сети, можно получить для него справку по параметрам гидравлического режима (расход, давление, потери напора, скорость потока и др.). Система обладает развитыми инструментами анализа результатов гидравлического расчета — от графических раскрасок и выделений по заданным условиям параметров режима до табличных описаний потокораспределения с обозначением мест и характера нарушений.

Все данные заносимые специалистами хранятся в базе данных и их всегда можно получить при помощи произвольных запросов и выборки из базы данных, содержащие любые описанные функции от параметров гидравлического режима. Так же специалист сможет получить всю необходимую информацию о сети, её топологии, особенностях расположения. Одной из не менее важных функций является возможность просмотра всех недавних изменений, которые проводились в последнее время, что поможет быстро и эффективно вернуться специалистам к тому месту разработки сети, на котором они остановились.

Заключение

Созданную АИС для расчета сетей водоотведения планируется внедрить и использовать на предприятии ОАО «Северский водоканал».

Список литературы

1. Большаков А.А. «Гидравлический расчет сетей водоотведения. Пример выполнения КП». Тюмень 2002 г., 26 стр.
2. Федоров Н. Ф. Новые исследования и гидравлические расчеты канализационных сетей.—М.; Л.: Стройиздат, 1964.— 259 с.
3. Боровков В. С., Корыванова В. Д. Особенности пространственного течения в туннеле при шероховатости стенки.— В кн.: Вопросы гидравлики и водоснабжения: Сб. тр. / МИСИ. М., 1980, с. 59—64.
4. Тепакс Л. А. Равномерное турбулентное давление в трубах и каналах.— Таллинн I Валгу-с, 1975.—268 с.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Плотников О.О.

Научный руководитель: Ходашинский И.А., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: Olegp@sibmail.com

Введение

Алгоритмы кластерного анализа разделяют объекты на кластеры, руководствуясь только их взаимным расположением в признаковом пространстве, без какой-либо дополнительной априорной информации о сходстве групп объектов (классов). Однако их можно использовать и для обычной классификации.

В данной работе рассматриваются особенности их использования в таком качестве. Кроме того, описывается принцип оценки адекватности построенных моделей при помощи индексов, приводятся результаты поставленных экспериментов.

Алгоритмы *K*-средних

Алгоритм *K*-средних основан на принципе эталонных точек, идеальных представителей кластеров, которые, по сути, являются их центрами. Принадлежность всех объектов кластерам записывается в матрицу разбиения. Сначала матрица генерируется случайно, затем рассчитываются центры кластеров, как среднее арифметическое всех принадлежащих им объектов. Координаты эталонных точек уточняются на каждой итерации алгоритма, пока не будет выполнено условие останова. Затем исследуемый объект относится к тому кластеру, к центру которого он ближе. Такой алгоритм выполняется для разного количества кластеров, все полученные разбиения оцениваются с помощью индексов, и выбирается финальное.

Нечеткая модификация данного алгоритма позволяет рассчитывать степень принадлежности объекта всем классам. В итоге для консеквента правила выбирается кластер с максимальной степенью принадлежности, а остальные значения используются для расчета параметров функций принадлежности. Окончательные координаты эталонных точек используются как antecedentes нечетких правил [1].

Алгоритмы соседей

Кластерные алгоритмы ближайших соседей основаны на принципе последовательного объединения "ближайших" кластеров в один. Изначально каждый объект принадлежит отдельному кластеру. Находятся ближайшие кластера и объединяются, и так происходит до тех пор, пока кластеров не остается два. Таким образом, имеем множество решений, лучшее из которых можно выбрать с помощью индексов.

1. "Близость" кластеров может быть рассчитана по-разному. Наиболее употребительными мерами близости между классами являются: ближний сосед, дальний сосед и среднее арифметическое попарных расстояний (средняя связь) [2].

Для генерации нечеткой системы строим центры кластеров и далее действуем также, как в методе нечетких *K*-средних.

Индексы

Индексы используются для оценки качества разбиения на кластеры. Мы выполняем кластерные алгоритмы для разного числа кластеров и затем, сравнив показания индексов, можем выбрать лучшее число кластеров. В пользу положительной оценки разбиения зачастую выступают такие критерии, как компактность кластеров, их разделимость, степень перекрытия и т.д. Существуют разные индексы, и нами было принято решение использовать одновременно некоторые из них, а конечное решение выбирать голосованием. В настоящее время используются индексы Xie-Beni, Kwon, Dunn, Bezdek и Davies-Bouldin. Рассмотрим принцип работы самого часто употребляемого из них - индекса Xie-Beni.

Индекс Xie-Beni опирается на компактность и разделимость кластеров. Компактность определяется средним расстоянием от объектов до центра, разделимость - минимальным расстоянием между соседними кластерами. Расчетная формула индекса представлена ниже:

$$XB = \frac{\sum_i \sum_j (u_{ij})^m \|X_j - V_i\|^2}{N \left(\min_{i \neq k} \{ \|V_i - V_k\|^2 \} \right)}$$

Как видно, в числителе формулы оценивается компактность, а в знаменателе - разделимость, следовательно, меньшее значение индекса говорит о лучшем разбиении.

Индекс может использоваться для оценки качества четкого и нечеткого разбиения [3].

Остальные индексы действуют подобным образом, однако они отличаются как математически, так и, иногда, принципиально (используются другие критерии оценки). Поэтому целесообразно использовать индексы в комплексе.

Эксперименты

Для проверки адекватности как разработанных алгоритмов, так и индексов были проведены серии экспериментов. Индексами оценивались две специально созданные идеальные базы данных, все объекты этих БД имеют два числовых атрибута, чтобы они были наглядно представимы на плоскости.

Первая БД состоит из 80 образцов, принадлежащих 4-м кластерам, они хорошо разделимы и компактны, это иллюстрирует рис 1.

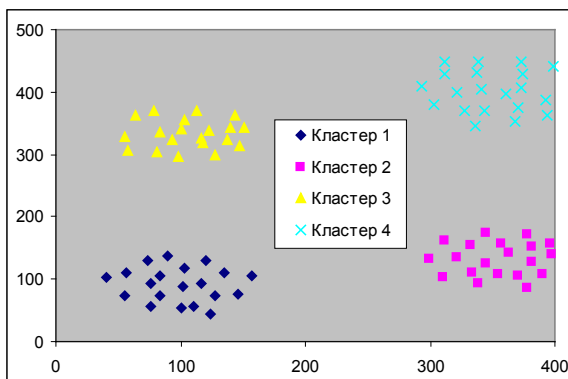


Рис. 1 – Идеальная выборка.

База данных была разбита методом нечетких К-средних последовательно на 2, 3, 4 ...8 кластеров. Для каждого случая были посчитаны индексы. Результаты представлены ниже (рис. 2).

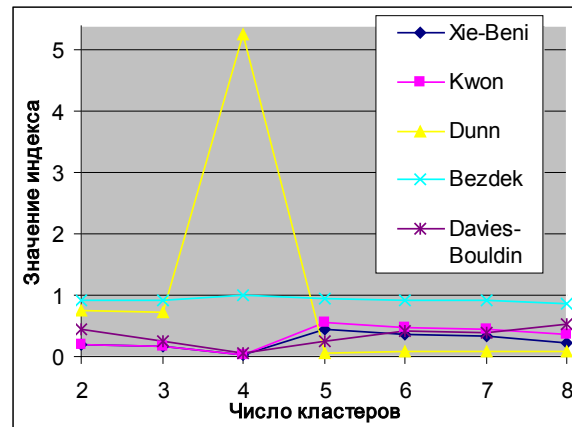


Рис. 2 – Оценка идеальной БД.

Как видно, индексы Dunn и Bezdek явно указывают своим максимумом на 4 кластера, в то время, как остальные индексы указывают туда же своим минимумом. Как показал эксперимент, в идеальной ситуации индексы единодушно указывают верный результат.

Во второй БД сознательно сделано значительное отступление от идеала, здесь мы имеем 6 кластеров, по 20 объектов, однако не все кластеры разделимы и компактны, некоторые даже перекрываются (см. рисунок 3).

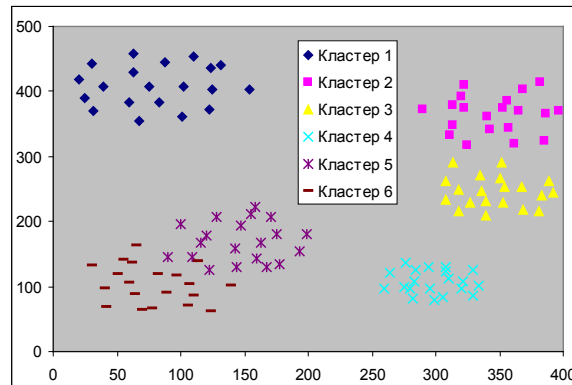


Рис. 3 – Выборка №2.

Поскольку во многих индексах разделимость определяется минимальным расстоянием между парой соседних кластеров, то наличие хотя бы пары близких кластеров уже влияет на значение индекса в целом. В данном случае индексы склонны оценивать разбиение на 4 кластера, несколько лучше, чем на 6, а индекс Dunn даже оценивает разбиение на 2 кластера лучше, чем остальные (см. рисунок 4).

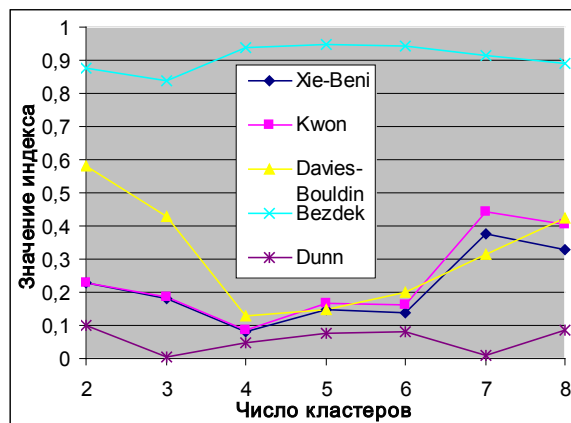


Рис. 4 – Оценка БД №2.

Таким образом, мы показали, что хотя индексы и пригодны для оценки качества разбиения, но они весьма чувствительны к данным, а значит, при работе с реальными данными совершенно необходимо использовать как можно большее число индексов для оценки результата

Выводы

Таким образом, мы имеем математический аппарат разделения объектов на группы по геометрическому принципу, а также механизм оценки качества разбиения – индексы. В

данной работе предлагается применять эти механизмы для классификации следующим образом: сначала происходит разбиение на кластеры одним из предложенных методов (число кластеров определяется, как число классов предметной области), затем – оценка качества разбиения индексами. Таким образом, мы получаем модель и сразу – ее оценку. Полученный классификатор планируется использовать в составе ансамбля, конечный результат работы которого выбирается алгоритмом голосования, причем индексная оценка будет учитываться в ходе этого алгоритма.

Список литературы

1. J. C. Bezdek, Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms, Plenum, New York, 1981.
2. N. Zahid, O. Abouelala, M. Limouri and A. Essaid, "Fuzzy clustering based on k-nearest-neighbours rule," *Fuzzy Sets and systems*, vol. 120, Issue 2, pp. 239-247, Jun. 2001.
3. X. L. Xie and G. Beni, A validity measure for fuzzy clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 13 (1991), pp 841-847.

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ КОМПОНОВКИ В САПР P-CAD

Радченко Е. Ю., Иванов И. В.
 Научный руководитель: Иванов И. В., ассистент
 Томский политехнический университет,
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
 E-mail: Rad_E@mail.ru

Система P-CAD представляет собой популярный пакет для сквозного проектирования аналоговых, цифро-аналоговых и цифровых устройств. В частности, она позволяет выполнять следующие операции:

- подбирать элементную базу в соответствии с техническим заданием;
- вести библиотеки символов, топологических посадочных мест и моделей компонентов;
- осуществлять графический ввод схемы и ее упаковку на печатную плату;
- выполнять трассировку в ручном, интерактивном и автоматическом режимах;
- выявлять ошибки в схеме и печатной плате, вплоть до анализа целостности сигналов и перекрестных искажений;

- выпускать полный комплект конструкторско-технологической документации для передачи на предприятие – изготовитель печатных плат [1].

Хотя САПР P-CAD обладает достаточным набором инструментов для проектирования электронных устройств, не все они удобны в использовании, в частности для компоновки ПП.

Компоновка – размещение на плоскости элементов, имеющих электрические соединения в соответствии с принципиальной схемой, и обеспечение допустимого минимума паразитных взаимодействий, которые не нарушают значения расчетных выходных параметров радиоэлектронных компонентов. Критерием наилучшего решения компоновки служит правило двух минимумов: при тополо-

гическом конструировании печатной платы должен быть достигнут минимум длины связей и минимум их пересечений. Минимум пересечений означает и минимум переходных отверстий. Минимум длины связей означает максимум связей между соседними компонентами [2]. Поэтому необходимо в процессе компоновки печатной платы постоянно отслеживать длины связей компонентов ПП для:

- Глобальной оптимизации (минимизация суммарной длины связей всех компонентов ПП);
- Локальной оптимизации (минимизация длин связей для отдельного компонента ПП, суммарной длины всех связей компонента ПП, а также контроль длин отдельных связей);

Компоновка является одним из важнейших процессов проектирования ПП, от ее результата напрямую зависит качество трассировки ПП, так как уменьшение длины связей между компонентами ПП, как правило, ведет к уменьшению длины проводников.

Отображение длины связей в процессе проектирования позволит повысить качество компоновки за счет точности оценки результата, а также сократить затрачиваемое на ручную компоновку время.

Стандартные возможности САПР P-CAD позволяют пользователю отслеживать длину связей при компоновке, однако это требует высоких временных затрат. Например, для того чтобы получить суммарную длину связей одного компонента ПП стандартными средствами P-CAD, необходимо проделать множество однотипных операций, при этом основную вычислительную работу придется выполнять вручную. Отслеживать изменения суммарной длины связей всей ПП таким способом нецелесообразно.

Для отображения длин связей в процессе компоновки ПП была разработана программа Length Control. Она реализована в среде Visual Studio 2005. Программа Length Control взаимодействует с САПР P-CAD по интерфейсу DBX (Database Exchange). Утилита извлекает данные из активного проекта P-CAD PCB, обрабатывает их, и отображает в удобном для пользователя виде.

Возможности программы:

1. Отображение выбранного пользователем компонента;
2. Отображение списка цепей выбранного компонента;
3. Отображение длины отдельных связей компонента, и их суммарной длины рассчитанной по Евклиду;

4. Отображение длины отдельных связей компонента, и их суммарной длины рассчитанной по Манхеттену;

5. Отображение суммарной длины связей всех компонентов ПП, рассчитанной по Евклиду;

6. Отображение суммарной длины связей всех компонентов ПП, рассчитанной по Манхеттену.

После запуска утилиты Length Control пользователю необходимо выбирать один или несколько компонентов ПП в редакторе печатных плат P-CAD PCB. Так как программа Length Control функционирует в реальном времени, обработанные данные будут отображаться мгновенно в виде, представленном в табл.1.

Таблица 1. Отображение связей и их длин

net	length	length (Manhattan)
M1	71,77466	86,36
RDY1	7,62	7,62
MX1	22,89525	29,21
M2	66,8411	81,28
VCC	9,91901	13,97
RDY2	11,43	11,43
GND	12,7	12,7

Расчет длины связей компонентов проводится по следующим формулам:

$$L_{ab} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - x_{bi})^2} \quad (1),$$

$$L_{ab} = \sum_{i=1}^n |x_{ai} - x_{bi}| \quad (2).$$

Если нахождение расстояния по Евклиду (1) позволяет иметь точное представление о длине связей компонентов ПП, что необходимо для оптимизации компоновки ПП, то нахождение расстояния по Манхеттену (2) позволяет приблизительно оценить длину электрических проводников, полученных после трассировки ПП.

Для оценки функциональных возможностей утилиты Length Control и возможностей стандартных инструментов P-CAD был проведен сравнительный анализ, в котором была получена суммарная длина всех связей компонента ПП (компонент ПП имеет 2 контактные площадки). Для этого оценивалось количество проделанных действий и затраченное время.

Стандартные инструменты P-CAD PCB:

- Количество действий – 12;
- Затраченное время – 28с.

Утилита Length Control:

- Количество действий – 2;

- Затраченное время – 3с.

Оценив полученные результаты, можно сделать вывод о том, что программа Length Control многократно сокращает время получения и обработки необходимой информации.

Благодаря возможностям САПР P-CAD, компоновка ПП может осуществляться в автоматическом режиме, который позволяет размещать компоненты ПП наиболее оптимально (рис.1). Однако, в большинстве случаев результат автоматической компоновки требует дополнительной доработки со стороны пользователя, и в этой ситуации применение утилиты Length Control способствует максимально быстрому и качественному решению поставленной задачи (рис.2).

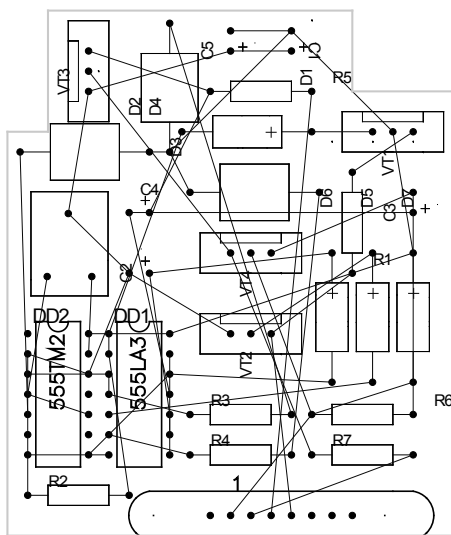


Рис.1. Автоматическая компоновка ПП

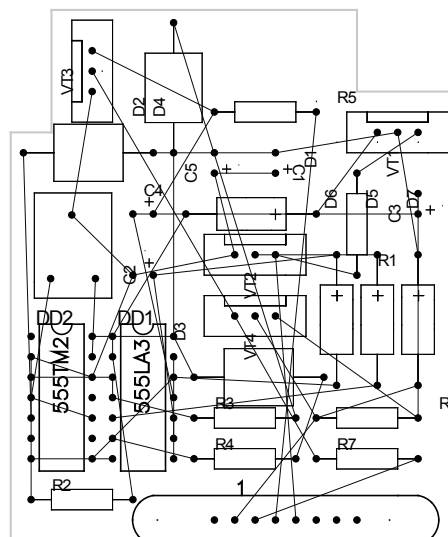


Рис.2. Компоновка ПП после доработки

После ручной корректировки суммарная длина связей данной ПП была уменьшена на 5%, суммарная длина связей, относящихся к перемещенным компонентам – на 60%.

Список литературы

1. Динц К.М., Куприянов А.А., Прокди Р.Г. и др. P-CAD 20 06. Схемотехника и проектирование печатных плат. Самоучитель. Книга + видеокурс – СПб.: Наука и Техника, 2009.
2. Кутявина С.К. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: Учеб. Пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2003.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ОШИБОК ВЫРАБОТКИ КООРДИНАТ ЦЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ

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

Эффективность управления корабельным оружием во многом зависит от полноты и достоверности используемых данных по целям. Это обуславливает необходимость решения задачи отождествления целевой информации, поступающей от средств и комплексов освещения обстановки, устанавливаемых на современные корабли ВМФ (общекорабельные средства обнаружения, средства обнаружения и сопровождения це-

лей систем и комплексов оружия)[1]. Использование для целераспределения и выдачи целеуказаний (ЦУ) единой целевой обстановки, получаемой в результате решения задачи отождествления, в сравнении с использованием данных отдельных источников, обладает следующими достоинствами:

1. Повышение помехоустойчивости системы вооружения корабля: при работе по данным одного источника целевой информации

возможно его подавление средствами РЭП противника, при этом требуется время на обнаружение факта подавления и переход на использование данных другого средства освещения обстановки. Это во многих случаях приводит к срыву выполнения боевой задачи. При объединении данных нескольких источников чувствительность системы к подавлению отдельных обнаружителей существенно снижается.

2. Устраняются мертвые зоны и не просматриваемые сектора, присущие отдельным источникам из-за затенения корабельными надстройками и явлений интерференции.

3. Срыв сопровождения цели отдельными источниками не приводит к отмене выдаваемых в комплексы оружия ЦУ, так как возможно продолжение выдачи ЦУ по данным других источников.

Вероятностные характеристики любого алгоритма отождествления будут существенно зависеть от среднеквадратических ошибок выработки координат и параметров движения целей (КПДЦ) источниками информации. При этом большое влияние оказывают как сами паспортные величины этих ошибок, используемые при разработке алгоритмов и программного обеспечения (назовем их теоретическими или предполагаемыми СКО – $\sigma_{теор}$), так и степень их соответствия реальным СКО ($\sigma_{реал}$). Для иллюстрации факта такой зависимости на рисунках 1-3 приведены некоторые графики вероятностей правильного отождествления (P_o) и правильного неотождествления (P_n) целей для алгоритма, решающее правило которого описано в [2], а реализация в [3]. Аналитическое построение таких закономерностей представляет значительные трудности, поэтому графики получены путем моделирования процесса отождествления. В качестве тестовой использовалась тактическая обстановка, соответствующая расположению целей, при котором все КПДЦ всех целей, кроме одной координаты, совпадают. В этом случае имеется минимальное количество признаков для различения формуляров, принадлежащих разным реальным целям, поэтому такого рода тестовые задачи можно считать показательными.

На рисунке 1 представлены графики вероятности правильного отождествления в зависимости от шага по координате между целями (ΔD) отнесенного к суммарной реальной СКО измерения этой координаты источниками для различных значений отношения реальных и предполагаемых СКО. Вероятность взятия каждой цели на сопровождение обнаружителями была принята равной 1. Отклонение реальных СКО от теоретических почти

всегда приводит к уменьшению вероятности правильного отождествления.

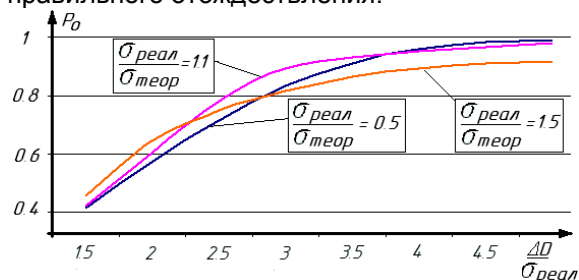


Рис. 1. Графики вероятности правильного отождествления

На рисунке 2 представлены аналогичные графики вероятности правильного неотождествления. Вероятность взятия каждой цели на сопровождение каждым источником была принята равной 0.6. Уменьшение отношения реальных и теоретических СКО в этом случае приводит к существенному снижению вероятности правильного неотождествления.

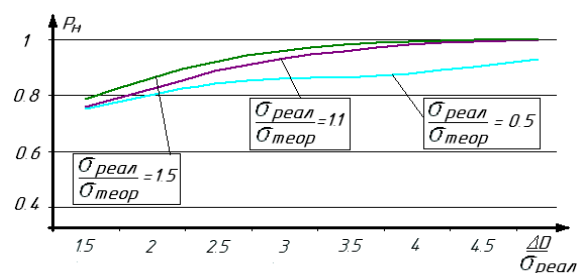


Рис. 2. Графики вероятности правильного неотождествления

Для большей наглядности на рисунке 3 представлены графики зависимостей вероятности правильного отождествления от отношения реальных и теоретических СКО для различных значений шага по варируемой координате между целями. Вероятность сопровождения каждой цели каждым источником принималась равной 0.7. Эти графики показывают значительное уменьшение вероятности правильного отождествления при превышении реальных СКО над теоретическими.

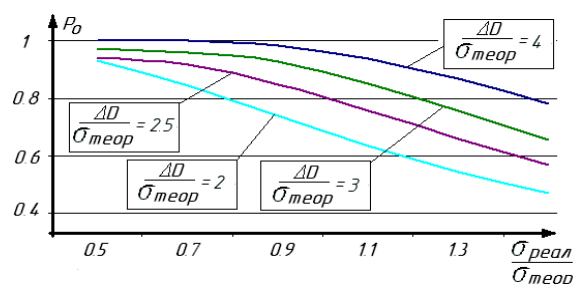


Рис. 3. Графики вероятности правильного

отождествления

Вопрос о соответствии реальных и предполагаемых СКО возникает в связи с тем, что для многих существующих РЛС известны лишь паспортные значения СКО определения координат целей после первичной обработки [4], причем только при выполнении ряда условий, поэтому именно эти значения используются при разработке алгоритмического и программного обеспечения для решения задачи отождествления целевой информации. С другой стороны известно, что в результате вторичной обработки СКО выдаваемых КПДЦ уменьшаются с течением времени. В качестве примера на рисунке 4 приведены графики зависимости отношений СКО выработки координат целей после вторичной обработки (σ_2) к СКО их выработки после первичной обработки (σ_1) (а) – по дальности, б) – по пеленгу от числа локаций, полученные по результатам натурных испытаний РЛС.

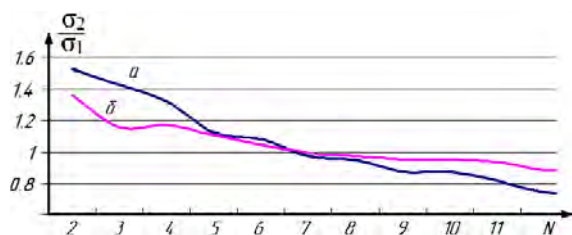


Рис. 4. Графики отношений СКО

Так как при разработке алгоритмов используются константные ошибки после первичной обработки, то в разные моменты времени мы оказываемся в различных точках представленных выше графиков и происходит неуправляемое изменение вероятностных характеристик алгоритма.

В зависимости от тактической ситуации предъявляются различные требования к вероятностям правильного отождествления и неотождествления целей. В частности, при налете ПКР требуется снижать вероятность ложного отождествления при поддержании вероятности ошибочного неотождествления на приемлемом уровне. Отсутствие информации о текущих реальных СКО лишает возможности обоснованно управлять вероятностными характеристиками алгоритма в зависимости от текущих потребностей, что снижает эффективность отождествления и управления оружием.

Одним из путей, позволяющих частично устранить отсутствие полных и достоверных данных о точностных характеристиках источников, является формирование и учет зависимостей, аналогичных представленным на

рисунке 4, в самой системе, решающей задачу отождествления. Нахождение зависимостей СКО измерения КПДЦ от времени сопровождения для каждого источника возможно в ходе испытаний. Для этого на участках равномерного прямолинейного движения целей необходимо производить сбор статистики об отклонениях выдаваемых каждым обнаружителем координат от опорной траектории. Построение опорной траектории возможно, например, путем применения метода наименьших квадратов для совокупности точек, полученной взвешенным усреднением выдаваемых всеми источниками в различные моменты времени данных.

Определяемые таким образом закономерности изменения значений СКО в зависимости от времени сопровождения целей источниками, в силу ограниченности числа испытаний, вряд ли будут в полной мере отражать реально присущие обнаружителям закономерности. Тем не менее, эти эмпирические зависимости будут лучшим приближением к действительности, нежели константные значения ошибок измерения КПДЦ после первичной обработки.

Список литературы

1. Копанев А.А. Боевые информационно-управляющие системы для кораблей малого и среднего водоизмещения: проблемы создания и перспективы развития на базе системы «Требование-М» / А.А. Копанев, О.Н. Музыченко // Морская радиоэлектроника — СПб, 2002 — №2 — с.18-23.
2. Кузьмин С.З. Основы теории цифровой обработки Радиолокационной информации / С.З. Кузьмин — М.: Сов. радио, 1974 — 432 с.
3. Музыченко О.Н. Использование теории графов для отождествления целевой информации / О.Н. Музыченко, Д.И. Савченко // Сборник докладов научно-технической конференции «Состояние, проблемы и перспективы создания корабельных информационно-управляющих комплексов». — М: ОАО «Концерн «Моринформсистема-Агат», 2009 — с. 132-136.
4. Правила по оборудованию морских судов. Правила по грузоподъемным устройствам. Правила о грузовой марке морских судов. Российский морской регистр судоходства — СПб, 2003 — 326 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УРОВНЕ РЕГИОНА И ПРЕДПРИЯТИЯ

Сарапулова Т.В.

Научный руководитель – Пимонов А.Г., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: sarapulova_t@mail.ru

Единая экономическая стратегия развития Российской Федерации погружает каждый из её регионов в среду конкуренции и принуждает проводить экономическую политику таким образом, чтобы улучшалась конкурентоспособность региона. Известно, что регион как экономический объект имеет двойственный характер [1]. С одной стороны регион является достаточно самостоятельной экономической подсистемой со своим собственным экономическим и ресурсным пространством. А с другой стороны он рассматривается в качестве субъекта федерации, является частью национальной экономики и участвует в формировании цельного экономического пространства России. Региональными экономическими интересами образуется сложная система с высокой взаимосвязью элементов (т.е. составляющих интересов). Одна часть из этих интересов может согласоваться, чтобы повысить эффективность экономики региона, но другая часть согласованию не поддаётся, так как по своей экономической природе экономические региональные интересы обладают различными циклами существования и могут менять конфигурацию экономического регионального пространства. В таких условиях для принятия обоснованных управленческих решений необходима информационно-аналитическая система, позволяющая оперативно оценивать уровень согласованности экономических интересов субъектов промышленной политики региона; проводить структурный анализ экономики региона с позиции занятости, как необходимой и определяющей компоненты при формировании экономической политики на региональном уровне; оценивать значимость и степень влияния отдельных отраслей – потенциальных опорных точек экономического роста региона (прежде всего, его базовых отраслей) – на экономику региона в целом; выявлять региональные закономерности относительно степени влияния «точек роста» на экономику региона.

Разработка модульной информационно-аналитической системы включает реализацию нескольких подсистем.

Подсистема оценки уровня согласованности экономических интересов субъектов

промышленной политики региона основана на описанном ниже подходе, предполагающим применение ряда методических новаций.

1) Выбор (конкретизация) критерия оценки. За основу оценочного критерия можно взять целевую установку, которая сформулирована в программных документах по социально-экономическому развитию региона на будущее.

2) Выбор экономических показателей (индикаторов), которые будут служить для анализа функционирования региональной экономики на предмет оценки степени согласованности между экономическими интересами субъектов промышленной политики регионов.

3) Формализация критерия оценки через формирование «динамического норматива» – порядка изменения индикаторов, который характеризует состояние, принятое за идеальное (эталонное).

4) Далее возникает задача формирования интегрирующего показателя через свертывание индикаторов, отражающих состояние экономики региона, на одну числовую ось.

5) Количественная оценка структуры экономической системы, полученной через преобразованные индикаторы хозяйственной деятельности субъектов промышленной политики регионов. Кажется естественным, что полученные наборы рангов ускорения фактического движения по временному периоду следует сопоставить с некоторым ранжированным (эталонным) перечнем, тогда их можно будет сравнить хотя бы по степени соответствия. Подобное сравнение можно осуществить, воспользовавшись методом ранговой корреляции.

На основе этого метода предлагается алгоритм оценки уровня согласованности экономических интересов субъектов промышленной политики региона, базирующийся на методах непараметрической статистики. Предложенный алгоритм будет реализован в программном обеспечении разрабатываемой подсистемы, предоставляющей следующие основные возможности: 1) составление эталонных схем функционирования исследуемой экономической системы за выбранный период времени; 2) импорт статистических дан-

ных; 3) приведение стоимостных статистических показателей к уровню цен базового года; 4) медианное сглаживание временных рядов экономических показателей; 5) расчет скоростей и ускорений анализируемых показателей; 6) вычисление коэффициентов ранговой корреляции по Спирмену и Кендэллу, resultирующей оценки соответствия эталону и оценки уровня согласованности экономических интересов за весь рассматриваемый период времени; 7) сохранение и экспорт результатов расчетов; 8) графическую визуализацию исходных данных и полученных результатов.

В результате обработки статистических данных рассчитываются коэффициенты ранговой корреляции по Спирмену и Кендэллу. Оба коэффициента принимают значения в интервале от -1 до +1. В случае отрицательных значений можно говорить о разнонаправленности экономических интересов (вариант, учитывающий, например, эффект конкуренции за использование общих ресурсов). В случае положительных значений – экономические интересы однонаправлены (вариант, учитывающий синергетический эффект – эффект согласованного взаимодействия).

Подсистема анализа структурных изменений экономики региона и определения «точек роста». В рамках этой подсистемы предполагается программно реализовать рабочий инструментарий для проведения анализа структурных изменений в экономике региона.

Методической основой собственно структурного анализа является подход с позиции занятости, разработанный сотрудниками Института экономики и организации промышленного производства СО РАН при поддержке Российского гуманитарного научного фонда. Подход реализован с использованием метода сдвиг-составляющих и предполагает следующий алгоритм исследования.

1) Определение отраслей текущей специализации региона (с выделением базовых) и отраслей, представленных в регионе, но «выпадающих» из его текущей специализации. Для этого используются отраслевые коэффициенты локализации, рассчитываемые по показателям занятости.

2) Выделение отраслей с различной динамикой региональной занятости и идентификация «сильных», «отстающих», «ограниченно развивающихся» и «депрессивных» отраслей региональной специализации, а также непрофильных отраслей экономики региона.

3) Анализ причин изменения занятости в отраслях экономики региона. Используется метод сдвиг-составляющих, позволяющий

количественно оценить влияние трех компонент: «федеральной» (тенденции развития национальной экономики), «отраслевой» (тенденции развития конкретной отрасли экономики) и «региональной» (влияние региональных факторов), – на изменение показателя региональной занятости.

Подсистема позволит автоматизировать и визуализировать процесс анализа структурных изменений в экономике региона и упростить «техническую работу» экономиста-аналитика.

Подсистема анализа финансового состояния и хозяйственной деятельности угледобывающего предприятия. Подсистема предоставляет возможность рассчитать ключевые коэффициенты финансово-хозяйственной деятельности, которые позволяют максимально объективно и разносторонне оценить положение предприятия по основным направлениям анализа, получить готовый текстовый отчет с результатами, включающий расчеты, выводы, графики, диаграммы. Особенностью является учет специфики угледобывающего предприятия, организация расчета себестоимости по лавам [2] и индивидуальная система показателей анализа. Подсистема предполагает решение следующих задач: анализ финансового состояния угледобывающего предприятия, составление резюме по результатам деятельности предприятия, расчет прогноза формирования затрат по добыче угля.

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.

В результате будет предложена не только комплексная методика анализа социально-экономических процессов, которая позволит получить новые научные данные о самих процессах и их взаимосвязях, но и реализована информационно-аналитическая система для анализа и моделирования социально-экономических процессов региональной экономики.

Предложенная методика и создаваемая информационно-аналитическая система могут быть использованы органами власти субъектов Российской Федерации (в том числе и администрацией Кемеровской области) в задачах поддержки принятия управленческих решений на уровне региона, а также на угледобывающих предприятиях области.

Список литературы

1. Гранберг А.Г. Моделирование пространственного развития национальной и ми-

ровой экономики: эволюция подходов // Регион: экономика и социология. – 2007. – №1.

2. Любушин Н.П. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 448 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ УЧАСТКОМ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Северин М. Ю.

Научный руководитель: Шендалева Е.В., к.т.н. доцент

Омский Государственный Технический Университет

644050 Россия, г. Омск, пр. Мира 11.

E-mail: thngss@rambler.ru

В настоящее время для управления нефтепроводом используется запорная арматура как с ручным изменением положения регулирующего элемента, так и с электроприводным механизмом, позволяющим осуществлять автоматизированное управление линейным участком магистрального нефтепровода.

Применение понятия «ум» или «интеллект» к любому техническому средству, в том числе и запорной арматуре, весьма условно и определяется, как правило, наличием и алгоритмом заложенного в него программного обеспечения.

«Умная» арматура – комплексный продукт, состоящий из арматуры, привода и интеллектуальной части, установленной внутри либо за пределами арматуры/привода. Понятие «умная» определяется, во-первых, возможностью арматуры управлять трубопроводными потоками жидких и газообразных сред на основе команд, которые поступают от контроллера, осуществляющего программное управление, с использованием сетевых технологий. Во-вторых, ее возможностью постоянного тестирования своего собственного состояния. При этом непрерывно анализируется состояние управляемого объекта по заданным критериям, выбираются оптимальные решения по заданным программой приоритетам.

«Умная» арматура применяется, в первую очередь, в системах повышенного риска, надежности и живучести объекта. Такая арматура осуществляет оперативное диагностирование привода и запорного элемента, предсказывает отказы, минимизирует влияние человеческого фактора, повышает эффективность резервирования коммуникаций.

Подавляющая часть устанавливаемой сейчас в стране «умной» арматуры, как правило, зарубежного производства. Отечествен-

ный рынок потребления интеллектуальной арматуры находится в стадии формирования.

«Умная» арматура и современные сетевые технологии – единые составляющие программно-технических комплексов и автоматизированных систем управления. Запорный элемент (задвижка, дроссель) при этом является исполнительным устройством команд автоматики.

«Умная» арматура становится неотъемлемой частью интеллектуальных систем, основанных на применении высоких технологий. Поэтому повышение степени интеллектуализации арматуры связано с современными технологиями в области микроэлектроники и программных средств.

В будущем микропроцессорные средства контроля и управления технологическим процессом, анализа состояния системы и обработки команды по заданному алгоритму будут перемещаться в саму арматуру или приводное устройство. И уже от них вся необходимая и обработанная информация будет передаваться на верхний уровень управления.

Таким образом, дальнейшая тенденция развития электропривода связана с совершенствованием электронного блока и созданием электропривода с блоком управления и диагностики электроприводной арматуры, что даст возможность управлять неограниченным количеством электроприводной арматуры, своевременно диагностировать ее состояние, и предотвращать аварии.

Магистральный нефтепровод является сложным распределенным объектом управления. Для него разработаны специальные режимы управления и каждая ситуация регламентируется нормативными документами. Однако если подходить к данному объекту с точки зрения создания оптимальной системы, то необходимо научиться управлять как отдельными элементами (задвижка, насосы, и

т.п.), так и в целом объектом (магистральным нефтепроводом).

Попытка решить такую задачу в первой степени приближения представлена на рисунке 1.

Здесь смоделирован нефтепровод, состоящий из трех участков, на каждом из которых установлен датчик давления. Модель участка трубопровода состоит из звена транспортной задержки и апериодического звена, моделирующих протяженность трубопровода и его объем, что позволяет создавать имитационную модель распределенной системы в первом приближении. Задача управления состоит в том, чтобы подать необходимый расход продукта на конечный участок моделируемого нефтепровода. При этом управление задвижкой осуществляется в автоматическом режиме с помощью пропорционально-интегрального регулятора.

Однако гидравлические процессы в трубопроводе могут иметь недопустимый характер. Возникают так называемые гидравлические удары. Для предотвращения разрушающего влияния гидравлического удара в модель трубопровода вводится защита по скорости нарастания давления в трубе. При повышении допустимой величины скорости нарастания защита формирует сигнал, уменьшающий сигнал «открыть» или «закрыть» задвижку. При подаче сигнала открытия задвижки в зависимости от скорости нарастания этого сигнала и настроек элементов системы управления на выходе датчиков давления на промежуточных участках нефтепровода формируется сигнал с различной скоростью нарастания переднего фронта. Для выделе-

ния сигнала скорости нарастания в модели установлены дифференциаторы.

Если амплитуда на выходе дифференциатора небольшая, то схема защиты не срабатывает, если скорость нарастания значительна, то срабатывает схема защиты.

Эффект гидравлического удара был смоделирован с помощью настройки коэффициента усиления в обратных связях схемы защиты (рис. 2). Увеличение коэффициента усиления приводит к снижению интегральной постоянной времени системы управления, тем самым скорость нарастания фронта увеличивается, тогда на выходе нелинейного звена зоны нечувствительности появляется блокирующий сигнал. В результате в конечной точке моделируемого трубопровода отсутствует колебательный процесс.

Разработанная модель показывает, что данный подход можно использовать для управления режимами работы магистрального нефтепровода.

Сложности, возникающие при управлении распределенной системой необходимо устранять с помощью подбора специальных алгоритмов регулирования снижающих влияние транспортных задержек в трубопроводе и сдвигов по фазе сигналов обратной связи.

Список литературы

1. Протасьев В.Б., Гусева Е.В. Тенденция развития электроприводов для запорной арматуры //Трубопроводная арматура и оборудование. -2003. -2. -С.21
2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. -М.: Машиностроение, 1974. -328 с.

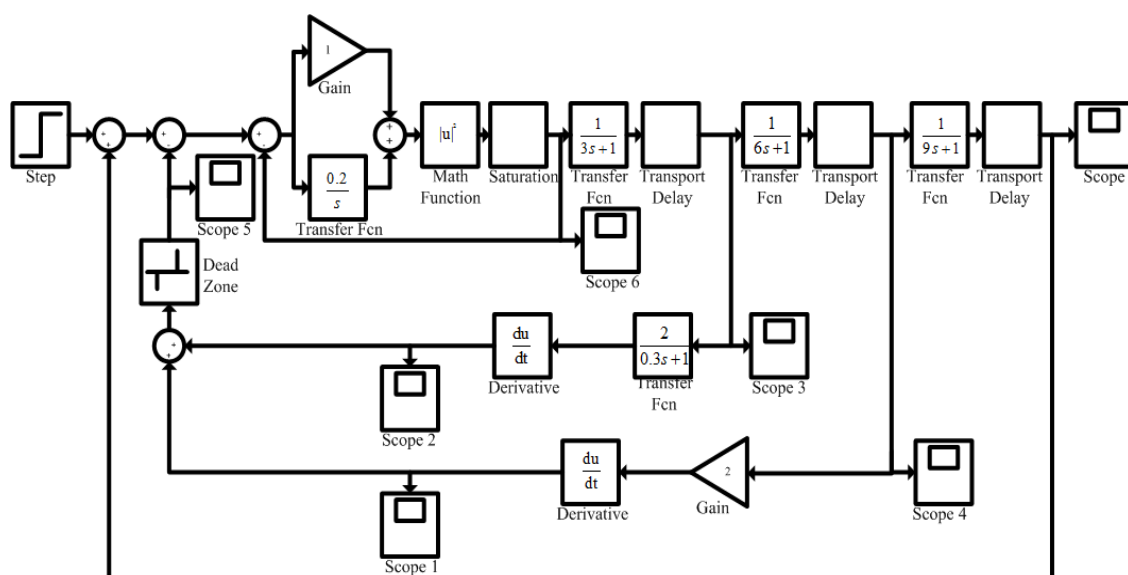


Рис. 1 Схема моделируемого магистрального нефтепровода

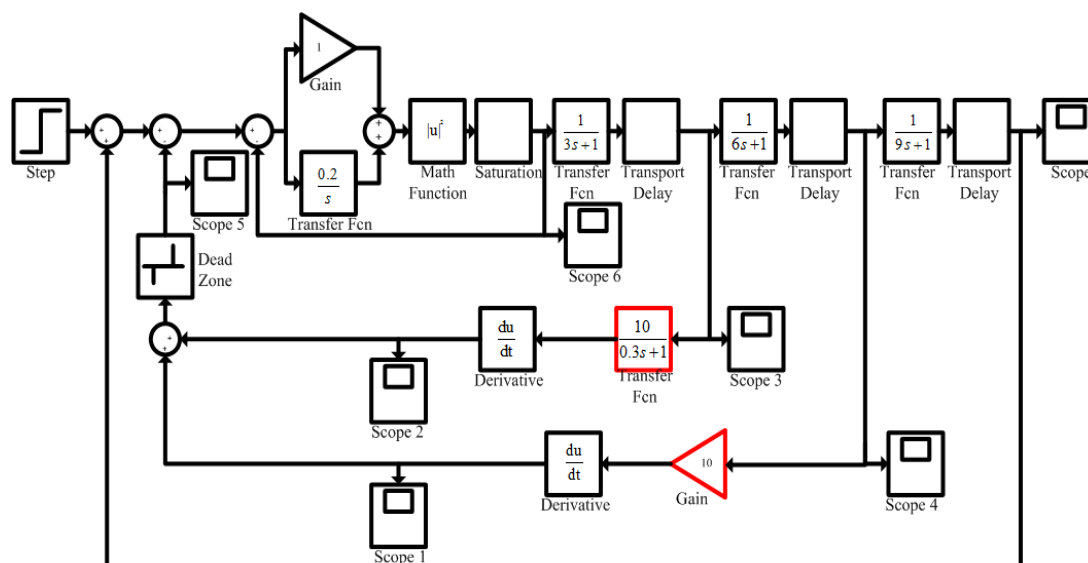


Рис. 2 Схема моделируемого магистрального нефтепровода при гидравлическом ударе

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КОДИФИКАТОРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семёнов Д.Е., Муратова М.А.

Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dimomans@tpu.ru

Составлению программы обучения и системы контроля предшествует этап построения модели целей обучения в виде перечня задач, предполагающих формирование определенных умений и навыков у обучающихся. При этом предметные знания соединяются с целями обучения через формируемую деятельность.

Анализ рабочих программ учебных дисциплин на разных факультетах Томского политехнического университета (ТПУ), показал, что цели обучения описываются недиагностично; не связаны с планируемыми оценочными мероприятиями, а материалы итогового (семестрового) контроля не позволяют сформировать суждение о степени достижения того уровня знаний и умений, которые предусмотрены целями обучения. Устранение выявленных недостатков и формирование программы обучения по дисциплине, ориентированной на результат, является актуальной задачей не только в ТПУ, но и в других вузов РФ.

Модель образовательных целей может быть представлена в виде кодификатора дисциплины (КД), который является объединением конкретизированной рабочей программы дисциплины с системой (базой) учебных заданий различных видов, предназна-

ченных для определенных целей и форм контроля. На рис. 1 представлен фрагмент совмещенного кодификатора дисциплины.

А.компанію по дисципліні "Б.О.Н.О.М.В.А. по напрямкам 5513(0) – електротехніка, електромеханіка та електросилової."							
Курс 3 Семестр 2-й							
Результат	Діагностичний змістовий елемент	Конкретизація направлення (діяльність/знання/навички)	Умістові требовання	Види контролю	Форми, методи контролю	Умістові напрямки	Форми таблиць
1. Визначення вимірювання	1.1. Призначення електротехнічних інструментів						
1.2. Економічне ресурси та напрямки	1.2.1. Економічне ресурси та напрямки	1.2.1.1. Визначення економічних ресурсів	Визначення	Входний, всередині	Тест 1 опрос	базовий	1.2.1.1.1, С 1.2.1.1.2, 1.2.1.1.3, 1.2.1.1.4
	1.2.2. Створення кваліфікаційних ресурсів	1.2.2.1. Створення кваліфікаційних ресурсів	Визначення	Тестування, робочий	Опрос, контроль роботи 1	середній	
	1.2.3. Формування завдань напрямки напрямки	1.2.3.1. Формування завдань напрямки напрямки	Визначення	Тестування, робочий, ітоговий	Опрос, Тест 4 Інтерв'ю	середній	
1.3. Економічне ресурси та напрямки	1.3.1. Економічне ресурси та напрямки	1.3.1.1. Економічне ресурси та напрямки	Визначення	Робочий, ітоговий	Тест 2 Інтерв'ю тест	середній	

Рис. 1. Фрагмент совмещенного кодификатора

Составление КД трудоемкая и творческая работа, которая позволяет повысить результативность и эффективность процесса обучения. Разработчиками КД являются преподаватели ТПУ.

Чтобы оптимизировать процесс разработки КД на кафедре педагогических измерений (ПИ) разрабатывается программный комплекс (ПК) «КОДДИС», позволяющий создавать совмещенный кодификатор дисциплины, объединяющий модель образовательных целей с системой непрерывного контроля (все

виды контроля – входной, текущий, тематический, рубежный, семестровый и итоговый), которая, в свою очередь, подкреплена базой учебных заданий и тестами, ориентированными на достижение запланированных целей. Кроме того, предусматривается разработка кодификатора отдельно для каждого вида контроля. Совмещенный КД или ориентированный только на определенный вид контроля является обязательной и основополагающей частью фонда оценочных средств.

Рекомендуемые параметры КД (уровень усвоения, вид контроля, форма и методы контроля, уровень значимости, форма задания) могут быть адаптированы под конкретного пользователя или подразделения образовательного учреждения. Для этого авторами предусмотрены словари, представляющие собой отдельный файл, состоящий из списка значений каждого параметра кодификатора, например, «Цели изучения», «Результаты обучения», «Уровень усвоения», «Вид контроля» и другие.

Опишем процесс создания кодификатора учебной дисциплины в ПК «КОДДИС». На первом этапе происходит заполнение информации о документе – номер специальности, название обеспечивающей кафедры, номер курса и номер семестра. Далее формируется список разделов дисциплины. Каждый элемент добавляется нажатием соответствующей кнопки на панели инструментов. После происходит наполнение разделов дидактическими единицами (логически самостоятельная часть учебного материала). При необходимости созданные позиции элементов кодификатора дисциплины можно перемещать из одного раздела дисциплины в другой. Далее, для каждой дидактической единицы, с использованием словарей «Цели изучения», «Результаты обучения», «Уровень усвоения», формируются конкретизированные деятельностные цели. На следующем этапе, для каждой деятельностной цели определяется этап и форма контроля. В дальнейшем планируется увязать каждую деятельностную цель с конкретным учебным заданием. В ПК предусмотрена возможность печати кодификатора и генерация электронного документа в формате PDF.

Для создания и редактирования списка значений словарей была разработана программа «Редактор словарей». Элементы этого списка представляют собой информационные объекты [1]. Это структурированный набор атрибутов, связанных между собой и словарем по принципу онтологий [2], что позволяет обеспечить перекрестные ссылки между ними. Обычно отношением является атрибут, значением которого может быть дру-

гой объект. В отличие от стандартного подхода, использование разработанной авторами модели представления информации позволяет расширять и дополнять возможности работы приложения, обеспечивая обратную совместимость со старыми версиями программы.

Общая схема взаимосвязей информационных объектов представляет дерево. На рис. 2 представлен пример взаимосвязей элементов словаря (серым круг) и словарем (темный круг). Для обеспечения работы со словарями в ПК их необходимо зарегистрировать в операционной системе.

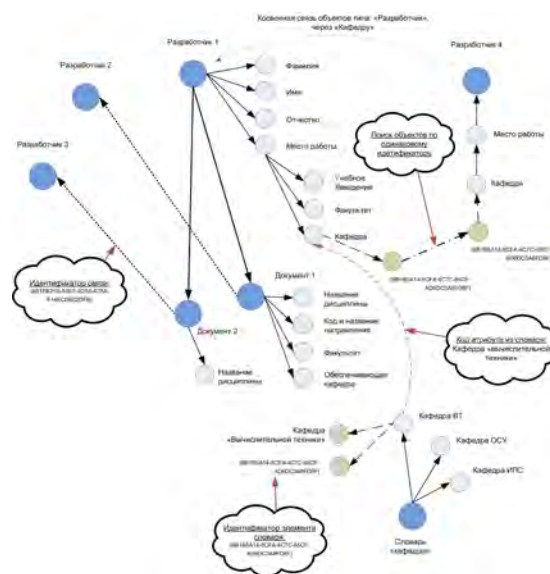


Рис. 5. Пример взаимосвязей между словарями и элементами словаря

Документы, построенные с использованием словарей, имеют небольшой размер, потому что в них не хранится текстовая информация из самого словаря, а только уникальный идентификатор выбранного элемента, который не может измениться. При предложенной одним из авторов структуре хранения документов, пользователи на разных компьютерах работают в едином информационном пространстве, используют копии словарей, при передаче документов между собой имеют одинаковое наполнение словарей.

Для отображения информационных объектов в приложении были доработаны стандартные элементы ввода информации (однострочное текстовое поле, выпадающий список, многострочное поле и другие). Данные элементы ввода информации обладают дополнительными функциями, одна из которых – цвет фона элемента меняется от его состояния, информируя пользователя о возможности редактирования текста, а так же о возможных ошибках при вводе текста.

Перед загрузкой документа, ПК «КОДДИС» обрабатывает все словари, зарегистрированные в операционной системе пользователя, заменяет идентификаторы элементов словарей на их реальные значения и отображает требуемый документ. Если программе не удастся найти словарь, то выдается предупреждение об отсутствии необходимой информации, далее документ загружается в режиме ограниченной функциональности. Это означает, что не будут доступны для редактирования те элементы, словари которых не зарегистрированы, вместо текстовой информации пользователю будет показан идентификатор отсутствующего элемента.

Данный подход к решению поставленной задачи актуален, потому что позволяет эффективно использовать единую информационную базу, избегать дублирования данных и оптимизировать временные промежутки на составление документов. Реализованный алгоритм поиска информации по ключевым словам существенно сокращает поиск информации в базе данных. В будущем будет доработан механизм сетевой работы и контроль версий документов.

ПК «КОДДИС» и программа «Редактор словарей» является частью интеллектуальной информационной системы (ИИС) сопровождения экспертизы качества педагогических измерителей и фонда оценочных средств [3]. В основу ИИС положена усовершенствованная и оптимизированная методика экспертного оценивания качества педагогических измерителей, разработанная на кафедре ПИ ТПУ.

В заключении следует отметить, что предложенная модель представления данных позволяет расширить функциональные возможности ПК "КОДДИС", который автоматизирует процесс разработки кодификатора, обеспечивает методическое сопровождение, позволяет формировать единую систему документов, базировать систему мониторинга учебных достижений студентов на принципах дидактики, а также формировать банк профессиональных знаний преподавателей ТПУ. Аналогичных ПК авторам не известно.

Список литературы

1. Семёнов Д.Е., Муратова Е.А. Представление данных в информационной системе сопровождения экспертизы качества тестовых материалов // Сб. докл. VI Всерос. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». — Томск, 2008.
2. Гаврилова Т.А., Муромцев Д.И. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы. — СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента», Издат. дом С.-Петерб. гос. ун-та, 2008. — 488 с.
3. Семёнов Д.Е., Муратова Е.А. Информационная система поддержки экспертизы качества тестовых материалов // Интеллектуальные системы (AIS'08), Интеллектуальные САПР (CAD-2008). Труды Международных научно-технических конференций. Том 2. — Москва: Физматлит, 2008. — С. 298-305. — С. 182-19.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ КАК СРЕДСТВО ИНТЕГРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Соковых О.В., Самохвалов И.В.

Научный руководитель: Самохвалов И.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский государственный университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: czzzok@rambler.ru

На всех стадиях своего развития человек был тесно связан с окружающим миром. Но с тех пор как появилось высокоиндустриальное общество, опасное вмешательство человека в природу резко усилилось, расширился объём этого вмешательства, оно стало многообразнее и сейчас грозит стать глобальной опасностью для человечества.

Атмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой и представляет собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, сложившуюся в ходе эволюции Земли, деятельности человека и находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений. Результаты экологических исследова-

ний, как в России, так и за рубежом однозначно свидетельствуют о том, что загрязнение приземной атмосферы - самый мощный, постоянно действующий фактор воздействия на человека, пищевую цепь и окружающую среду.

В настоящее время во многих индустриально развитых странах мира уделяют значительное внимание проблеме загрязнения окружающей среды: созданы специализированные научно-исследовательские центры и ведомства, разрабатываются новые методы изучения процессов загрязнения атмосферы. При разработке средств контроля особое внимание уделяется методам бесконтактного определения параметров среды, обеспечивающим возможность получения необходимых данных с весьма высокой оперативностью и в значительных пространственных масштабах. Необходима не только количественная информация об источниках загрязнений, но и динамика распространения загрязняющих компонентов.

Классические методы исследования атмосферы, не могут обеспечить тем необходимым объемом информации, который нужен для решения многих задач физики атмосферы и метеорологии. Для исследования аэрозоля используют счетчики, для газов – газоанализаторы. Принцип действия так или иначе – контактный.

Лидарные методы исследования являются более перспективными вследствие высокой информативности эффектов взаимодействия оптической волны со средой. Использование лазерного излучения позволяет получать информацию о среде с большой оперативностью и высоким пространственным разрешением, определять предельно малые концентраций газов и характеристик аэрозоля например, таких как ориентация кристаллических частиц в пространстве.

Для исследования преимущественной ориентации частиц в облачной среде сотрудниками Института оптики атмосферы СО РАН (г. Томск) и Томского государственного университета был разработан метод поляризационного лазерного зондирования [1]. Особое значение приобретает вопрос о способе хранения и обработке данных лазерного поляризационного зондирования облаков верхнего яруса с различных экспериментальных установок. Для решения данной проблемы было предложено создание единой информационной системы.

Разрабатываемая нами информационная система (ИС) построена на архитектуре клиент-серверных приложений. Термин "клиент-сервер" исходно применялся к архитектуре программного обеспечения, которое описы-

вало распределение процесса выполнения по принципу взаимодействия двух программных процессов, один из которых в этой модели назывался "клиентом", а другой — "сервером" [2]. Клиентский процесс запрашивал некоторые услуги, а серверный процесс обеспечивал их выполнение (рис. 1). При этом предполагалось, что один серверный процесс может обслужить множество клиентских процессов.

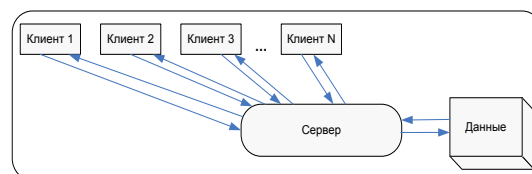


Рис. 1. Ответы сервера на множественные запросы клиентов

Методы и способы работы с данными постоянно модифицируются. Следовательно, довольно часто возникает необходимость в изменении или правке исходного кода программы. Даже для опытного программиста, правка части исходного кода программы связана с обязательным изучением логики ее работы. При современных темпах развития индустрии программирования приложениям нельзя оставаться «монолитными». Для этого необходимо разбить единый код программы на отдельные, взаимодействующие друг с другом, части или компоненты (рис.2).

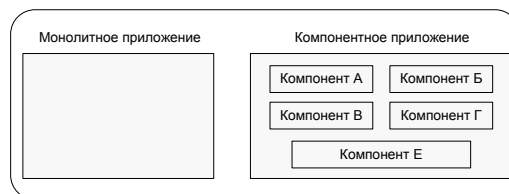


Рис. 2. Разбиение монолитного приложения на компоненты облегчает адаптацию

По мере развития технологии компоненты, составляющие приложение, могут заменяться новыми. В таком случае приложение не является статичным, обреченным устареть еще до выхода в свет. Вместо этого оно постепенно эволюционирует с заменой старых компонент на новые. Из существующих компонент легко создать и абсолютно новые приложения.

Воспользоваться всеми преимуществами динамической компоновки можно, только если компоненты и клиенты будут стараться не изменять свои интерфейсы. Интерфейс является специальной конструкцией в коде программы, используемой для определения гра-

ницы взаимодействия классов или компонент системы. Детали реализации клиента и компонента не должны отражаться в интерфейсе. Чем надежнее интерфейс изолирован от реализации, тем менее вероятно, что он изменится при модификации клиента и компонента.

К разрабатываемой информационной системе были предъявлены следующие требования:

- Возможность адаптации программного обеспечения под новое оборудование и новые алгоритмы обработки экспериментальных данных
- Централизованный доступ к БД эксперимента
- Удаленное управление экспериментом
- Возможность автоматического формирования отчетов эксперимента

Ядро нашей информационной системы построено таким образом, что с помощью дополнительных модулей, имеется возможность изменять или расширять способности системы в получении, обработке и представлении данных поляризационного лазерного зондирования атмосферы с разных типов экспериментального оборудования.

На данный момент предложено пять типов модулей.

Модули ввода/вывода позволяют, как сохранять, так и получать данные с различных источников, будь то локальные или удаленные хранилища данных. На данный момент разработан модуль работы с базой данных MySQL, и модуль локального файлового ввода/вывода данных.

Модули модификации опционально выполняют необходимые математические преобразования данных. Например, удаление фонового шума или калькуляция матрицы обратного рассеяния.

Модули визуализации необходимы для представления данных в удобном для пользователя виде, будь то графики, или сводные отчеты. В качестве графических библиотек вывода могут использоваться GDI, GDI+, OpenGL, DirectX и др.

Модули регистрации данных занимаются управлением и получением данных с таких типов регистрирующей аппаратуры как аналоговые цифровые преобразователи и счетчики фотонов.

Модули управления аппаратными средствами, взаимодействуют при помощи стандартных интерфейсов связи LPT, COM, USB с

поляризаторами и микроконтроллерами лазерных установок.

Для того, чтобы появилась возможность добавлять новые компоненты в информационную систему необходимо определить правила по которым они могут работать и передавать данные между собой. Данные правила реализуются в виде выше указанных интерфейсов.

Использование DLL (Dynamic-link library) для хранения разрабатываемых компонент облегчает способ передачи данных между ними [3]. В первую очередь, это связано с единым адресным пространством, образовавшимся вследствие динамической компоновки библиотеки в том же процессе, что и использующее ее приложение.

Предлагаемая распределенная информационная система позволяет представлять экспериментальные данные в необходимом для пользователя виде. База данных результатов поляризационного лазерного зондирования располагается на выделенном сервере, что дает возможность получить доступ к необходимой информации с любой точки Земли. Разделение единой процедуры обработки экспериментальных данных на независимые модули, позволяет разрабатывать собственные компоненты, зная лишь интерфейс взаимодействия модулей информационной системы.

Список литературы

1. Кауль Б.В., Самохвалов И.В. Поляризационные лидарные измерения характеристик атмосферных аэрозолей. В кн. Региональный мониторинг атмосферы. Ч.2. Под общей ред. М.В. Кабанова. Томск: Изд. СО РАН 1997, с. 34 – 58.
2. Смирнов Н.В. Проектирование информационных систем. Конспект лекций. Санкт-Петербург, 2008, с. 1047.
3. Richter J. Programming for Microsoft Windows, Addison-Wesley, 2004, p. 473

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Федерального агентства по образованию (АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы", проект № 2.1.1./6939), Федерального агентства по науке и инновациям ГК № 02.518.11.7156.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ КОНСЕНСУСА ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Тараканов Е.В..

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

В данной статье предлагается динамический способ назначения приоритетов для пакетов в сети сбора данных от мультисенсоров.

Первое приближение базируется на использовании медианы Кемени для нахождения отношений консенсуса. Однако, медиана Кемени не дает однозначного или сводимого к однозначному решения в большинстве случаев. Поэтому в качестве более оптимального метода поиска отношений консенсуса использован метод Борда, позволяющий гарантированно находить одно решение за линейное время.

Полученный способ использован в системе Pritrans для увеличения скорости прохождения критически важных пакетов через иерархическую структуру до центрального узла.

1. Определение отношений консенсуса

Одна из центральных идей исследований в теории социального консенсуса заключается в том что отношение консенсуса в группе может быть найдено через поиск дистанции между ранжированиями.

Предположим что мы имеем m ранжирований на наборе $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ из n объектов. Тогда мы получаем набор отношений $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$, где каждое из m ранжирований $\lambda = \{a_1 \succ a_2 \sim \dots \sim a_s \sim a_t \sim a_n\}$ может включать строгое отношение $\succ$, или эквивалентность $\sim$.

Ранжирование λ называется *слабым порядком* если включает как отношения строгого порядка, так и эквивалентности. Набор отношений Λ называется *профилем предпочтений* для заданных m ранжирований. Мы можем определить одно решение, дающее интегральную характеристику набору объектов. Пусть подпространство Π состоит из всех $n!$ строгих отношений $\succ$ на A . Каждый строгий порядок можно описать как перестановку из первых n натуральных чисел. Мы используем перестановку $\beta \in \Pi$ для представления профиля предпочтений и называем её *отношением консенсуса*.

Пусть λ представляет собой матрицу отношений $R = [r_{ij}]$, где

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } a_i \succ a_j \\ 0 & \text{if } a_i \sim a_j \\ -1 & \text{if } a_i \prec a_j \end{cases}$$

Расстояние между отношениями λ_k и λ_l выражается формулой:

$$d(\lambda_k, \lambda_l) = \sum_{i < j} |r_{ij}^k - r_{ij}^l|$$

Данное расстояние называется *дистанцией Кемени*. Соответственно, медианой Кемени называется отношение консенсуса β , заданное формулой:

$$\beta = \arg \min_{k=1}^m d(\lambda, \lambda_k) \quad (1)$$

Отношение β соответствует перестановке строк и столбцов матрицы профиля $P = [p_{ij}]$

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad (2)$$

где

$$d_{ij}^k = \begin{cases} 0, & \text{if } a_i^k \boxdot a_j^k \\ 1, & \text{if } a_i^k \sim a_j^k \\ 2, & \text{if } a_i^k \boxless a_j^k \end{cases}$$

Из выражения (1) следует что для отношения β сумма верхних треугольных элементов матрицы P минимальна. Другими словами, β находится на наименьшей дистанции от всех остальных возможных строгих порядков.

2. Задача динамического определения приоритета передачи данных

Рассмотрим необходимость динамического определения приоритета передачи данных на примере автоматической системы пожарного оповещения. Пусть у нас есть несколько датчиков, причем каждый измеряет несколько параметров – температуру, изменение температуры, степень задымленности, присутствие людей, работу системы пожаротушения.

Также для каждого помещения с датчиком есть дополнительная переменная «приоритет», задаваемая на этапе разработки системы и зависящая от присутствия в нем ценного оборудования. Таким образом, состояние каждого помещения описывается набором из шести переменных.

В случае пожара при одноуровневой системе может произойти перегрузка каналов связи датчиков с диспетчерским центром. Решить эту проблему можно двумя путями – либо увеличивать пропускную способность каналов (что приводит к удорожанию системы), либо построить многоуровневую систему сбора данных, на каждом уровне которой будут выделяться наиболее важные пакеты для передачи на следующий уровень.

Таким образом, на каждом узле системы с подключенными к нему n датчиками возникает профиль предпочтений Λ из 6 ранжирований по n элементов. Путем построения отношения консенсуса β мы можем выбрать заранее заданное число наиболее важных пакетов для передачи на следующий уровень.

3. Использование медианы Кемени для поиска отношений консенсуса

Предположим, у нас есть 7 датчиков. Тогда профиль предпочтений может иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}\lambda_1: a_5 > a_2 > a_3 > a_6 \sim a_7 > a_4 > a_1 \\ \lambda_2: a_5 > a_3 > a_2 > a_4 > a_6 > a_1 > a_7 \\ \lambda_3: a_3 > a_6 > a_5 > a_2 > a_7 > a_4 > a_1 \\ \lambda_4: a_5 > a_2 > a_3 > a_6 > a_4 > a_1 > a_7 \\ \lambda_5: a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_6 > a_1 \sim a_5 \sim a_7 \\ \lambda_6: a_3 \sim a_6 > a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 \sim a_7\end{aligned}\quad (3)$$

Профиль предпочтений (3) является входным параметром для алгоритма, осуществляющего поиск медианы Кемени методом ветвей и границ.

Медиана Кемени обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, задача нахождения медианы Кемени является NP-полной и требует экспоненциального времени, что критично в условиях ограниченных ресурсов беспроводной сети. Во-вторых, медиан Кемени может быть несколько. Например, в выбранном нами профиле предпочтений получается четыре медианы Кемени:

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \{a_5 > a_3 > a_2 > a_6 > a_4 > a_7 > a_1\} \\ \beta_2 &= \{a_3 > a_5 > a_2 > a_6 > a_4 > a_7 > a_1\} \\ \beta_3 &= \{a_5 > a_3 > a_2 > a_6 > a_4 > a_1 > a_7\} \\ \beta_4 &= \{a_3 > a_5 > a_2 > a_6 > a_4 > a_1 > a_7\}\end{aligned}$$

Проблему неоднозначности можно попытаться решить с помощью ослабления порядка. В нашем примере можно положить $a_5 \sim a_3$, а $a_7 \sim a_1$, что даст нам единственное решение. Но, во-первых, не всегда возможно свести решение к единственному, а во-вторых, для задачи выделения высокоприоритетных пакетов необходим строгий порядок.

Таким образом, для поиска отношения консенсуса необходимо воспользоваться другим методом.

4. Поиск отношения консенсуса методом Борда

В качестве альтернативы медиане Кемени лучше всего подходит счет Борда. В данном методе решение всегда существует и единственно.

Счет Борда основывается на расположении элементов ранжирования – последний элемент получает 0 баллов, предпоследний – 1 балл, первый – $n-1$ баллов. В итоговом ранжировании элементы распределяются по убыванию суммы баллов, набранных путем подсчета всех ранжирований профиля предпочтений.

Алгоритм 2. Счет Борда

1: Пусть S представляет из себя таблицу предпочтений из m ранжирований по n пакетов..

2: Пусть $RowSum_i$ будет суммой i -го столбца, где $i \in [1, n]$

3: Пусть $CR = \{cr1, cr2, \dots, crn\}$ будет отношением консенсуса.

4: **for** $i \leftarrow 1, n$ **do**

5: $cri \leftarrow i + +$; $RowSum_i \leftarrow 0$;

6: **end for**

7: **for** $i \leftarrow 1, n$ **do**

8: **for** $j \leftarrow 1, n$ **do**

9: $RowSum_i + = si j$;

10: **end for**

11: **end for**

12: Сортируем $RowSum_i$ и cri в порядке убывания.

Итогом работы алгоритма в нашем примере станет следующее отношение консенсуса:

$$\beta_1 = \{a_3 > a_2 > a_5 > a_6 > a_4 > a_1 > a_7\}$$

Поиск отношения консенсуса с помощью счета Борда занимает полиномиальное время, что обеспечивает достаточную систему.

Заключение

Рассмотренный в данной статье метод поиска отношения консенсуса используется в системе Pritrans, разработанной Сингапур-

ским Национальным университетом совместно с Томским Политехническим университетом. Проведенное моделирование показало что с использованием Pritrans скорость доставки приоритетных пакетов данных возрастает в 3-4 раза.

Список литературы

1. 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.

2. 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.

3. Muravyov S.V. Rankings as ordinal scale measurement Results. - Metrology and Measurement Systems, Vol. 13, No. 1, 2007, pp. 9-2

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ «РОБОФУТБОЛ»

Ушаков А. С.

Научный руководитель: Ходашинский И. А., д.т.н., профессор
ТУСУР, 634050, г.Томск, пр.Ленина, 40
E-mail: ushal@list.ru

Введение

«РобоФутбол» – это проект, предназначенный для разработки технологий, используемых для создания автономных роботов, мультиагентных систем, систем технического зрения, интеллектуальных систем принятия решений и т.д.

Соревнования по РобоФутболу проводятся в нескольких лигах, отличающихся концепцией поведения роботов и, следовательно, их конструкцией. Данный проект разрабатывается на основе лиги MiroSot. Роботы в данной лиге не имеют собственного центра принятия решений и приборов видения. Они управляются из одного центра.

Оборудование, необходимое одной команде для проведения игры, состоит из персонального компьютера, оснащённого радиомодулем, видеокамеры, устанавливаемой над полем и пяти роботов. Игра ведётся на чёрном прямоугольном поле 220x180 см оранжевым мячом для гольфа. Информация об игровой ситуации подаётся с камеры на компьютер, который принимает решение о дальнейших действиях и затем, по радиоканалу, передаёт команды каждому роботу в виде пары чисел – скоростей правого и левого колёс.

Постановка задачи

Программный комплекс управления роботами должен содержать модуль работы с камерой (распознавание), модуль принятия ре-

шений (программа-стратегия) и модуль работы с радиоканалом. Для принятия решения необходима не только информация об игровой обстановке на поле, поступающая с видеокамеры, но и инструменты, позволяющие предсказать поведение робота команды противника, мяча и формировать корректные команды управления собственными роботами. Таким инструментарием становится подсистема моделирования.

Учитывая возможность внесения погрешностей системой распознавания, логично предположить, что разработка моделей должна вестись изначально не на реальных роботах, а на специально созданном симуляторе игры «Робофутбол» [1]. Имеющиеся симуляторы распространяются в уже скомпилированном виде для проведения виртуальных игр, без возможностей изменения параметров используемых моделей. Поэтому для настройки моделей необходимо реализовать собственный симулятор.

Описание моделей

В качестве объектов платформы робофутбол выступают мяч и роботы, поэтому для моделирования ситуации нами были разработаны модели, описывающие их движения, взаимодействия друг с другом и с бортами поля.

Модель мяча. В качестве мяча в игре «Робофутбол» используется мяч для игры в гольф диаметром 4,2 см. Мяч это пассивный объект, чьё движение через игровую площад-

ку обусловлено действием внешних сил. Таким образом, уравнения его движения имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{F(t) - \dot{x} \times f_D}{m + J/r^2} \\ \ddot{y} = \frac{F(t) - \dot{y} \times f_D}{m + J/r^2} \end{cases},$$

где $F(t)$ – внешняя сила отличная от нуля, когда мяч сталкивается с роботом или бортом; m – масса мяча; J – момент инерции; r – радиус мяча (мяч представляется идеальной сферой); f_D – коэффициент затухания; $\ddot{x}$ и $\ddot{y}$ – ускорения по осям ординат и абсцисс соответственно; $\dot{x}$ и $\dot{y}$ – скорости [1].

Модель робота. Учитывая жёсткую фиксацию колёс робота, позволяющую быстро изменять скорость робота, и то, что робот движется за счёт своих двигателей, будем рассматривать равномерное движение робота, без учёта потери энергии.

$$\begin{cases} x = x_0 + \dot{x}t \\ y = y_0 + \dot{y}t \end{cases},$$

где x, y – координаты робота через время t ; x_0, y_0 – координаты робота в начальный момент времени.

Модель столкновения робот-борт. Изначально выясняется количество углов робота ударившихся в борт. Если их нет, то столкновения не было. Если их два, то робот останавливается. Если угол один, то робот начинает вращаться вокруг этого угла. Если угол между роботом и бортом больше чем выбранное пороговое значение, то робот начинает поворачиваться вокруг угла. Тогда уравнения кинематики робота принимают вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{2}{5}}r \cos(\alpha) \cos(\phi + \frac{\pi}{4}) & 0 \\ \sqrt{\frac{2}{5}}r \cos(\alpha) \sin(\phi + \frac{\pi}{4}) & 0 \\ -\sqrt{\frac{4}{5}}\frac{r}{L} \cos(\alpha) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix},$$

где $\alpha = \arctg(\frac{L}{L/2})$; r – радиус колеса; ω_L, ω_R – угловые скорости колёс; L – расстояние между колёсами робота [1].

Модель столкновения робот-робот. Процедура обнаружения столкновений состоит из двух шагов. Первый шаг только получает информацию о возможном столкновении. Второй шаг выполняется, только если вероятность, полученная на первом шаге не равна нулю. Для определения нового положения обоих роботов вычисляется их относительные скорости через импульс силы, который возникает в результате столкновения.

Модель столкновения мяч-робот. Если учесть, что масса мяча незначительно по сравнению с массой робота, то уравнения столкновения запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} w_{xr} &= v_{xm} \\ w_{xm} &= v_{xr} + k_{rM}(v_{xr} - v_{xm}) \\ w_{yr} &= v_{ym} \\ w_{ym} &= v_{yr} \end{aligned},$$

где индексы r и M означают робота и мяч, соответственно; v и w – скорости до и после столкновения соответственно; k_{rM} – эмпирический коэффициент потери энергии.

Модель столкновения мяч-борт. Столкновение мяча с бортом предполагается упругим. Составляющая скорости, параллельная борту остаётся той же, в то время как перпендикулярная составляющая изменяет знак и уменьшается за счёт потери энергии. Тогда скорость мяча будет меняться следующим образом, в зависимости от того, с каким бортом произошло соударение:

$$\begin{cases} \dot{x} = \dot{x}_0 \\ \dot{y} = -k_{Mb}\dot{y}_0 \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \dot{x} = -k_{Mb}\dot{x}_0 \\ \dot{y} = \dot{y}_0 \end{cases},$$

где k_{Mb} – эмпирический коэффициент потери энергии.

Реализация

Описанные алгоритмы реализованы в нашем симуляторе «Робобол», внешний вид которого представлен на рис. 1. Для написания программы использовался язык Visual C++, для создания графического интерфейса технология .NET, а для отображения игрового поля библиотека OpenGL.



Рис. 1. — Симулятор «Робобол 2009».

Программа имеет функцию изменения ряда параметров моделей (физические характеристики робота и мяча, коэффициенты потери энергии при соударениях), а также параметров игры (размеры поля и количество игроков в команде). Таким образом, достигается возможность подстройки симулятора под конкретный набор аппаратуры без вме-

шательства в программный код и позволяет адекватно моделировать ситуации, происходящие на реальном поле.

Настройка

Был проведен ряд опытов для получения характеристик имеющейся аппаратуры. Опыты заключались в генерации управляющих воздействий и передачи их на вход как системе управления реальными роботами, так и системе моделирования. Затем сравнивались конечные результаты, с помощью передачи реальных данных через систему распознавания в симулятор, и корректировались параметры моделей. Учитывая наличие ошибок со стороны системы распознавания, удалось добиться минимальной степени расхождения результатов. Полученные значения для параметров моделей отображены на рис. 2 (значения указаны в системе СИ).

Изменение параметров	
Количество игроков: ☒ 3x3 ☐ 5x5	
Размеры поля: Ширина 2.2 Высота 1.8	
Параметры моделей:	
Расстояние между колёсами робота.....	0.063
Масса мяча.....	0.046
Радиус мяча.....	0.021
Потеря энергии "мяч-робот".....	0.83
Потеря энергии "мяч-борт".....	0.76
Пороговое значение угла "робот-борт".....	10
Принять Отмена	

Рис. 2. — Форма для изменения параметров с полученными при настройке значениями

Заключение

Созданная система моделирования будет использоваться для управления реальными роботами-футболистами. Симулятор в свою очередь является самостоятельным инструментом необходимым, как для дальнейшей настройки моделей, так и для создания алгоритмов управления роботами.

Список литературы

1. K lancar G ., Lep etic M. , K arba R . R obot soccer collision modelling and validation in multi-agent s imulator. / M athematical and c omputer modelling of d ynamiсal s ystems, 2003, Vol. 9 , No. 2. — P. 137-150.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫПИСКИ НАПРАВЛЕНИЙ ПАЦИЕНТАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-СЕРВИСОВ, СТАНДАРТА HL7 ПРИ ПОДДЕРЖКЕ MICROSOFT BIZTALK СЕРВЕРА

Фам Ван Тап

Научный руководитель: Пономарев А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: vantap2002@yahoo.com

Введение

Вместе с развитием экономики и уровня жизни общества, потребности человека в качественной заботе о его здоровье постоянно возрастают. Для повышения качества медицинских услуг требуются не только квалифицированный персонал, но и применение автоматизированных информационных систем.

Использование таких систем в медицине открывает качественно новые возможности:

- обеспечение взаимодействия региональных клиник с крупными медицинскими центрами;
- интеграция Российских систем с международными медицинскими ассоциациями;
- оперативное получение результатов последних научных исследований;
- подготовка и переподготовка кадров.

Практика показывает, что не в каждой поликлинике имеются все необходимые оборудования для удовлетворения всех медицинских потребностей. Это влечет за собой требование направлять пациентов в другие учреждения здравоохранения, например, в лабораторию для сдачи анализов. Ранее такая задача решалась с использованием бумажных носителей и обычно такая процедура занимала длительное время и требовала определенных навыков у медицинского персонала. В текущем положении здравоохранения реализация подобных задач обычно выполняется с применением медицинской информационной системы (МИС). В данной работе рассматривается решение задачи направления пациентов с использованием Web-сервисов, медицинского стандарта HL7 при поддержке Microsoft BizTalk сервера.

Методология HL7

Стандарт HL7 (Health Level 7) является одним из популярных стандартов для обмена медицинскими данными, который до этого времени широко применяется во многих странах [1]. В настоящее время этот стандарт адресует интерфейсы различных МИС, которые посылают или получают миграционные данные о пациенте: прием/регистрация, выписка или направление (ADT данные) и различные запросы, осуществляют планирование ресурсов, заказы, фиксирование результатов, клинические наблюдения, сохранение и модифицирование информации и т.д. До сих пор в области медицины применяются две версии стандарта 2х и 3. Фактически, в некоторых МИС применяется стандарт HL7 версии 2х, а в других – стандарт HL7 новой версии 3, третьи и вовсе не используют такой стандарт. HL7-сообщения бывают разных типов, и каждый тип сообщения применяется только в специфичной медицинской процедуре в зависимости от конкретной ситуации.

В данном проекте для выполнения задачи направления пациентов используется тип сообщения «выписка и направление – ADT A04» (Admission, Discharge and Transfer) [2]. Клиническое сообщение в формате HL7 по правилу содержит три части:

- *MSH* – заголовок сообщения, который содержит информацию о отправителе, получателе, дате отправления, событии и т.д. Заголовки сообщения имеет тип *System.Xml.XmlDocument*;
- *BodySegments* – тело сообщения, которое собственно содержит описание всей информации, необходимой для передачи. Данная часть сообщения в рассматриваемой ра-

боте имеет тип *BT\HL7Schemas.ADT_A04_22_GLO_DEF*;

- *Zsegments* – дополнительная информация, которая не входит в состав тела сообщения *BodySegments*. В данном проекте *Zsegments* имеет тип простого текста *String*.

Медицинские сообщения в формате HL7 передаются между разными системами с помощью транспортного протокола MLLP (Minimal Low Layer Protocol). В отличие от других способов передачи информации, протокол MLLP принимает сообщения для передачи по следующему шаблону: *<SB>клиническое сообщение<EB><CR>*, где: *<SB>* - начало блока переданного сообщения, *<EB>* - конец блока сообщения и *<CR>* - знак каретки.

BizTalk сервер и SOAP адаптер

BizTalk сервер является центральным сервером, который управляет бизнес-процессом одного или нескольких учреждений здравоохранения. Такой сервер предназначен для интеграции программных продуктов и создания информационной инфраструктуры взаимодействия между ними [3]. BizTalk сервер контролирует входные и выходные данные с помощью адаптеров. На самом деле, бывает много видов адаптеров для работы с разными данными, например SQL, FILE и т.д., их выбор использования будет зависеть от форматов поступающей в систему и выходящей из системы информации.

В данном проекте рассматривается выполнение задачи направления пациентов на лабораторные анализы, при котором пользователь, с помощью клиентского Web-сервиса, отправляет клиническое сообщение в XML-формате через SOAP адаптер в BizTalk сервер. BizTalk сервер получает входное сообщение через настроенный порт, затем направляет полученное сообщение в оркестру (*Orchestration*), которая опубликована как Web-сервис. XML-сообщение содержит основную информацию для обслуживания лабораторного анализа, такую как данные о пациенте, о направляющем и принимающем врачах и о требуемой процедуре. В проекте BizTalk, используется компонент Mapper для преобразования входного сообщения формата XML в выходное сообщение формата HL7. Напоследок, полученное сообщение передается в назначенную клинику для проведения лабораторного анализа. На следующем рисунке показан процесс обработки медицинского сообщения:

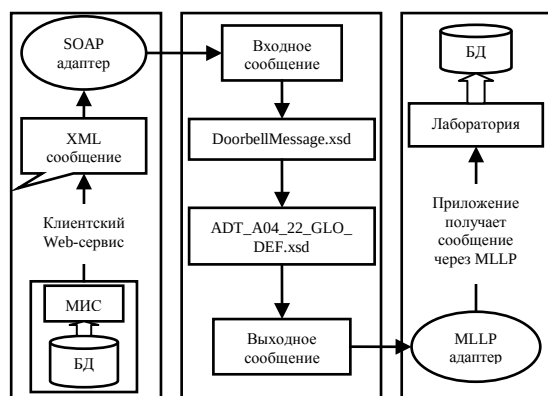


Рис. 2. Процесс обработки сообщения

На рис. 2 показан компонент – BizTalk Mapper, предназначенный для преобразования сообщения из XML-формата в формат HL7. Левая панель на данном рисунке отражает переданные атрибуты из исходного XML-сообщения, а правая, соответственно структурные схемы атрибутов HL7-сообщения типа ADT-A04.

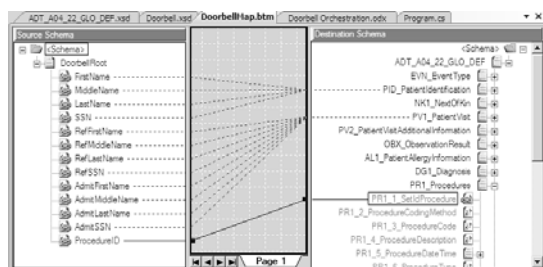


Рис. 3. BizTalk Mapper для преобразования формата сообщения

Чтобы обеспечить доступ в BizTalk Orchestration, в данном проекте рассматривается использование SOAP сервиса, по которому BizTalk Orchestration публикуется как Web-сервис (IIS), а клиентские приложения через известный адрес получают доступ к BizTalk серверу. С целью демонстрации реализации такого подхода, в данной работе была создана консольная программа в среде Visual Studio 2008. В качестве программного продукта, принимающего HL7-сообщение через протокол MLLP, в рамках данной работы была использована утилита, предоставленная вместе с пакетом акселераторов BizTalk сервера «MLLPReceive.exe». Ниже представлены входные данные и результирующее сообщение в формате HL7.

Листинг 1. Командная строка, описывающая входные данные из клиентского приложения WSCClient.exe

```
WSCClient.exe Ivan Ivanovich 239811 Shapko Valery Ivanovich 1978 Timoshenko Anna Vladimirovna 1983 555
```

Листинг 2. Полученный результат в формате HL7

```
MSH|^~\&|SrcApp^SrcAppUid|srcFac^srcFacU-  
id|dstApp^dstAppUid|dstFac^dstFacUid  
|201002170035|sec|ADT^A04|msgid2134|  
P|2.2  
PID|||239811||Ivanovich^Ivanov^Ivan  
PV1|||||1978^Ivanovich^Shapko^Val  
ery|||||1983^Vladimirovna^Timosh  
enko^Anna  
PR1|555
```

Выводы

В данной работе, не смотря на узкие решения задачи в медицинской области, но были рассмотрены широкие спектры способов, применяемых современных технологий в IT-областях, частично в области здравоохранения. В проекте был обоснован известный медицинский стандарт для обмена данными – HL7, в текущем времени методология широко распространяется не только в России, но и во всем мире. Использование BizTalk сервер для решения задач интеграции в МИС является одним из предпочтительных способов, так как фактически такой подход снимает с разработчиков большую часть работы и обеспечивает хорошую эффективность по сравнению с другими способами.

Список литературы

1. Health Level Seven [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.hl7.org/>. – 17.02.2010.
2. HL7 ADT Message Overview [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://knol.google.com/k/hl7-adt-message-overview#>. – 17.02.2010.
3. Брайан Трэвис. XML и SOAP: программирование для серверов Biztalk : пер. с англ. / Б. Трэвис. – М. : Русская редакция, 2001. – 469 с.

МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ШУМОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Фан. Н.Х., Спицын В.Г.

Научный руководитель: Спицын В.Г.
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: hoangpn285@gmail.com

Введение

На практике изображения часто искажаются шумом, появляющимся на этапах его получения и/или передачи. Причинами возникновения шума на изображении могут быть шум видеодатчика, сбой в работе канала связи и др. Фундаментальной задачей в области обработки изображений является эффективное удаление шума, то есть построение некоторого приближения исходного изображения по заданному (искаженному) изображению. При этом наше приближение должно быть как можно ближе к исходному изображению. Сложность решения данной задачи существенно зависит от рассматриваемой модели шума. В принципе, чем больше мы знаем об искажающем операторе и о функции шума, тем ближе будет обработанное изображение к исходному изображению [11].

В данной работе сделан обзор существующих публикаций по удалению шумов с использованием искусственной нейронной сети. Совершенно очевидно, что свою силу нейронные сети черпают, во-первых, из распараллеливания обработки информации и, во-вторых, из способности самообучаться, т.е. создавать обобщения. Эти свойства позволяют нейронным сетям решать сложные задачи, на сегодняшний день считающиеся трудноразрешимыми. Существуют разные виды модели нейрона, архитектуры сети и методы их обучения [12], [13].

Модель процесса искажения/восстановления изображения

Как показано на рис. 1, модель искажения предполагает действие некоторого искажающего оператора H на исходное изображение $f(x,y)$, что после добавления адаптивного шума дает искаженное изображение $g(x,y)$. Задача восстановления состоит в построении некоторого приближения $\hat{f}(x,y)$ исходного изображения по искаженному изображению $g(x,y)$, по некоторой информации относительно искажающего оператора H и аддитивного шума $\eta(x,y)$. При этом наше приближение должно быть как можно ближе к исходному

изображению. Искаженное изображение может быть представлено в пространственной области в виде

$$g(x,y) = h(x,y)*f(x,y) + \eta(x,y),$$

где $h(x,y)$ – функция, представляющая искажающий оператор в пространственной области, а символ «*» используется для обозначения свертки. Свертка в пространственной области эквивалентна умножению в частотной области, поэтому задающее модель равенство в пространственной области может быть представлено в частотной области:

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + N(u,v),$$

где обозначенные функции суть фурье-образы соответствующих функций в пространственной области.

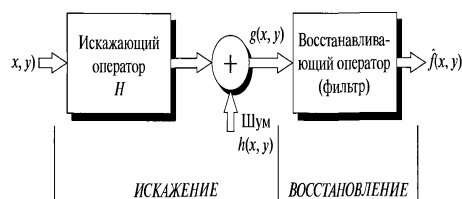


Рис. 4. Модель процесса искажения/восстановления изображения

Методы удаления шумов на изображениях на основе использования нейронной сети

Метод удаления Гауссовского шума на изображениях на основе применения клеточной нейронной сети (КНС) представлен в статье [14]. При этом в указанной работе оператор усреднения использован для функции обратного обучения сети.

КНС применяются для удаления шума на изображениях в медицинской области [15], [16]. КНС, построенная на основе вариационной модели Chan и Esedoglu, предложена в работе [15]. Дискретно-временная КНС вместе с генетический алгоритмом использованы для удаления шума на изображениях в работе [16].

Эффективный алгоритм для КНС, который может использоваться для восстановления цифровых изображений или видео кадров,

искаженных высоким коэффициентом шума представлен в статье [17].

В статье [18] разработана нейронная сеть на основе метода удаления шума, использующего вейвлет-преобразование. Сначала искаженное изображение преобразовано вейвлетом на 4 подзоны. Затем для каждой подзоны использована обученная нейронная сеть, чтобы сгенерировать вейвлет-коэффициент удаления шума. Этот коэффициент использован в процессе обратного преобразования для получения обработанного изображения.

В статье [19] представлены методы, разработанные на основе теории вейвлет-преобразования для снижения шума в нейронной сети прямого распространения.

В работе [20] разработана обобщенная нечеткая система гипотетических умозаключений для удаления шума на изображениях. Эта система построена на основе многослойной нейроно-нечеткой архитектуры, которая сочетает в себе модель Мамдани и ТС нечеткую модель для формирования гибридной нечеткой системы.

Новый метод гибридной фильтрации на основе использования нейроно-нечеткой сети представлен в статье [21]. Метод построен на основе применения фильтрации в пространственной области и концепции нейронной нечеткой сети. В этом методе соединяются улучшенная адаптивная фильтрация Винера и адаптивная медианная фильтрация для удаления белого Гауссов шума и импульсного шума.

В статье [22] представлен новый алгоритм регуляризации совместного нейронного слияния для восстановления изображений, искаженных негауссовым шумом.

Новый подход, использованный для удаления шума на изображениях на основе стохастической нейронной сети с шумом, представлен в статье [23]. Эта сеть сочетает в себе технологию модельной «закалки» с нейронной сетью Хопфилда для решения задачи оптимизации.

В статье [24] представлен новый тип пороговой нейронной сети с гладкой нелинейной пороговой функцией вместо функции активации. В отличие от стандартной мягкой пороговой функции, эти новые нелинейные пороговые функции являются бесконечно дифференцируемыми. В этой указанной работе разработан новый нелинейный 2-D пространственный масштабный адаптивный метод фильтрации на основе вейвлет-пороговой нейронной сети для снижения шумов на изображениях.

Заключение

В данной работе составлен обзор существующих публикаций по удалению шумов на изображениях на основе применения искусственных нейронных сетей. По результатам анализа можно сделать вывод о перспективности применения нечеткой нейронной сети для удаления шумов на изображениях. На следующем этапе работы предполагается разработка алгоритма и осуществление программной реализации в среде C# для удаления шумов на изображениях.

Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005г. - 1070с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006г. - 1104с.
3. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. М.: Финансы и статистика, 2002г. - 344с.
4. Chua L. O., Yang L. Cellular Neural Networks: Applications. // IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol. 35, No. 10, October 1988, pp. 1273-1290.
5. Gacsadi A., Grava C., Straciuc O., Gavriliu I. P. DE-based medical images denoising using Cellular Neural Networks. // IEEE Transactions on Signals, Circuits and Systems, July 2009, pp. 1-4.
6. Su T., Jhang J. Medical image noise reduction using Cellular Neural Networks. // IEEE Transactions on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Dec. 2006, pp. 228-231.
7. Elango P., Murugesan K. Digital image inpainting using Cellular Neural Network. // Int. J. Open Problems Comp. Math., Vol. 2, No. 3, Sep. 2009, pp. 440-450.
8. Zhang S., Salari E. Image denoising using a neural network based non-linear filter in wavelet domain. // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 2, March 2005, pp. 989-992.
9. Li Jianwei, Zhong Chengge, Dong Huachun, Qian Taifan. Feedforward neural network's denoising with wavelet basis. // IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 2, Oct. 1996, pp. 1373-1376.
10. Nguyen Minh Thanh, Mu-Song Chen. Image denoising using adaptive Neuro-Fuzzy System // IAENG International Journal of Applied Mathematics, Vol. 36, Issue 1, Feb. 2007.
11. J. Najeer Ahmed, V. Rajamani. Design of hybrid filter for denoising images using fuzzy network and edge detecting // American Journal of Scientific Research, Issue 3, 2009., pp. 5-14.
12. Youshen Xia, Mohamed S. Kamel, Novel Cooperative Neuro Fusion Algorithms for Image

Restoration and Image Fusion // IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 16, No. 2, Feb. 2007, pp. 367-381.

13. Leipo Yan, Lip Wang, Kim-Hui Yap, A noisy chaotic neural network approach to image denoising. // IEEE Transactions on Image

Processing, Vol. 2, 24-27 Oct. 2004, pp. 1229-1232.

14. Xiao-Ping Zhang, Space-scale adaptive noise reduction in images based on thresholding neural network // IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. 3, Issue 2001, pp. 1889-1892.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОНТРАСТНЫХ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ВОСХОДЯЩЕГО ВНИМАНИЯ

Е.Н. Худоба

Научный руководитель: С.В. Аксенов, к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: khen@vtomske.ru

В настоящее время существует много систем, которым необходимо обрабатывать получаемые с камеры графическое изображение или видеопоток. Например: системы распознавания лиц, системы мониторинга дорожного движения, системы автоматического управления транспортным средством и другие. Как правило, такие системы относятся к системам мониторинга и распознавания образов. Очевидно, что для подобных систем количество производимых вычислений является критическим фактором. Таким образом, актуальность проблемы заключается в увеличении эффективности вычислений систем мониторинга и распознавания образов.

Очевидным решением проблемы является анализ не всего изображения или кадра видеопотока, а только наиболее значимой их части, поэтому целью работы является повышение эффективности систем мониторинга и распознавания образов путем выделения контрастных фрагментов в графическом изображении или видеопотоке.

Поставленную задачу позволяет решить алгоритм восходящего внимания. Он позволяет выделять наиболее контрастные области анализируемого изображения и, в зависимости от дальнейшей задачи, либо не анализировать область за пределами выделенной зоны внимания, либо изменить порядок анализа изображения так, чтобы дальнейший анализ происходил в порядке убывания значимости анализируемых фрагментов изображения. В любом случае время реакции системы должно уменьшаться, что является очень важным критерием для таких систем, как системы автоматического управления транспортным средством.

В данной работе используется алгоритм восходящего внимания (на рисунке 1 изображена общая структура), представляющий со-

бой модификацию Итти[1], основанную на модели восходящего внимания представленную Ульманом и Кохом[2]. Используя линейные фильтры, из исходного изображения выделяются такие низкоуровневые нормализованные признаки, как интенсивность(I), красный(R), зеленый(G), синий(B) и желтый(Y) цвета. Нормализация проводится по следующим формулам (отрицательные значения устанавливаются в ноль):

$$\begin{aligned} I_n &= \frac{r_n + g_n + b_n}{3} \\ R_n &= r_n - \frac{g_n + b_n}{2} \\ G_n &= g_n - \frac{r_n + b_n}{2} \\ B_n &= b_n - \frac{r_n + g_n}{2} \\ Y_n &= r_n + g_n - 2 * (|r_n - g_n| + b_n) \end{aligned}$$

где r, g, b – соответственно красный, зеленый и синий цвета исходного изображения, а n -номер обрабатываемого в данный момент кадра. При работе с отдельными графическими изображениями его можно опустить.

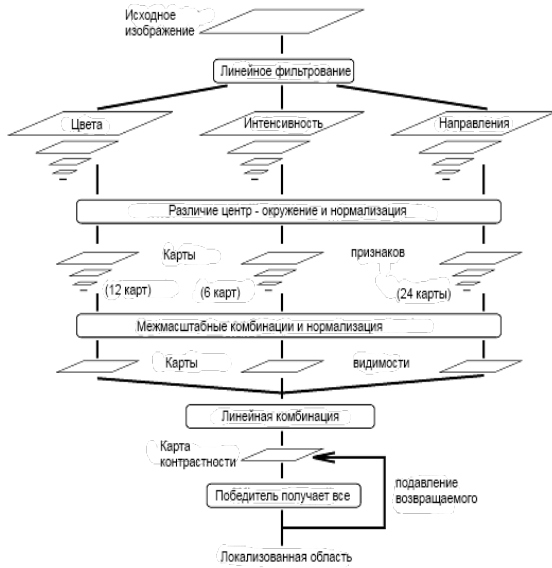


Рис. 1. Общая структура модели

Для интенсивности и цветов строятся пирамиды Гаусса[3]. Кроме того, для интенсивности вычисляются пирамиды Габора[4] (для углов 0° , 45° , 90° и 135°), с помощью которых и определяется локальная направленность (O_θ) в изображении.

При работе с видеоданными часто помимо указанных выше признаков выделяют еще признаки мерцания и движения[5]:

$$F_n = I_n - I_{n-1}$$

$$R_n = |O_{n,\theta} * S_{n-1,\theta} - O_{n-1,\theta} * S_{n,\theta}|$$

где * - поточечная продукция.

Используя различие центр-окружение, из полученных пирамид вычисляются карты признаков ($c \in \{2,3,4\}$ и $s = c + \delta$, где $\delta \in \{3,4\}$):

$$F_{n,I,c,s} = \mathcal{N}(|I_n(c) \ominus I_n(s)|)$$

$$F_{n,RG,c,s} = \mathcal{N}(|(R_n(c) - G_n(c)) \ominus (R_n(s) - G_n(s))|)$$

$$F_{n,BV,c,s} = \mathcal{N}(|(B_n(c) - Y_n(c)) \ominus (B_n(s) - Y_n(s))|)$$

$$F_{n,O_\theta,c,s} = \mathcal{N}(|O_{n,\theta}(c) \ominus O_{n,\theta}(s)|)$$

$$F_{n,F,c,s} = \mathcal{N}(|F_n(c) \ominus F_n(s)|)$$

$$F_{n,R_\theta,c,s} = \mathcal{N}(|O_{n,\theta}(c) \ominus O_{n,\theta}(s)|)$$

где $\ominus$ - операция попиксельного вычитания уровней окружения (s) из уровней центра(c) указанных пирамид, для этого уровень окружения интерполируется до размера уровня центра; $\mathcal{N}(\cdot)$ - оператор нормализации карты признака (для деталей смотри [1]).

Комбинируя полученные карты признаков, вычисляются соответствующие карты видимости:

$$C_{I,n} = \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} \mathcal{N}(F_{n,I,c,s})$$

$$C_{C,n} = \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} (\mathcal{N}(F_{n,RG,c,s}) + \mathcal{N}(F_{n,BV,c,s}))$$

$$C_{O,n} = \sum_{\theta} \mathcal{N} \left(\bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} \mathcal{N}(F_{n,I,c,s}) \right)$$

$$C_{F,n} = \bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} \mathcal{N}(F_{n,F,c,s})$$

$$C_{R,n} = \sum_{\theta} \mathcal{N} \left(\bigoplus_{c=2}^4 \bigoplus_{s=c+3}^{c+4} \mathcal{N}(F_{n,R,c,s}) \right)$$

Их линейная комбинация представляет общую карту контрастности (S):

$$S_n = \frac{1}{5} (\mathcal{N}(C_{I,n}) + \mathcal{N}(C_{C,n}) + \mathcal{N}(C_{O,n}) + \mathcal{N}(C_{F,n}) + \mathcal{N}(C_{R,n}))$$

Формулы получения карты контрастности из карт признаков могут варьироваться для наилучшего выделения из исходного изображения необходимых объектов.

Получив карту контрастности, можно выделить области фокусировки внимания и определить порядок их обработки на последующих этапах. Для этого в представленной модели восходящего внимания используется двухмерная нейронная сеть типа WTA (winner take all - победитель получает все). Как можно догадаться из названия результатом работы нейронной сети является локальная область изображения с наибольшей контрастностью, которая и является самым первым претендентом на дальнейшую обработку. При этом выделенная область изображения подавляется, то есть указанная область на карте контрастности перестает относиться к области фокусировки внимания. Используя новую карту контрастности, нейронная сеть определяет следующую область фокусировки внимания и так далее.

На приведенном примере (рис. 2) видно как алгоритм выделяет знаки дорожного движения, которые являются наиболее контрастными объектами на изображении. Данный пример показывает, что алгоритм восходящего внимания можно использовать, например, в системе автоматического управления транспортным средством для увеличения эффективности ее работы.

Алгоритм восходящего внимания может работать независимо от конечной цели обработки изображения, но при необходимости он может быть настроен выделение объектов с указанными низкоуровневыми параметрами. В основе работы этого алгоритма лежат низкоуровневые признаки объектов, что позволяет эффективно обрабатывать сложные сцены. Кроме того, несомненным плюсом данной модели внимания является её скорость работы и широкие возможности по распараллеливанию алгоритма.

В работе был рассмотрен алгоритм восходящего внимания Итти для обработки статических изображений и видеопотока, а также показана его практическая применимость для увеличения эффективности работы системы автоматического управления транспортным средством.

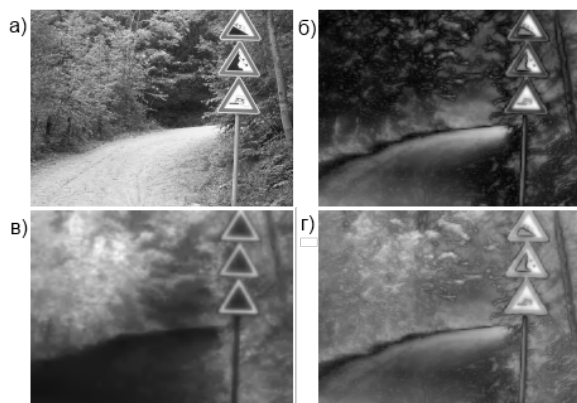


Рис. 2. Пример работы алгоритма.

а) исходное изображение;
б) карта контрастности интенсивности;

в) карта контрастности цветов;
г) общая карта контрастности

Список литературы

1. L. Itti, C. Koch, and E. Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis// IEEE PAMI, vol.20 - 1998 – p. 1254–1259.
2. C. Koch and S. Ullman. Shifts in selective visual-attention towards the underlying neural circuitry// Human Neurobiology, vol. 4 - 1985 - p. 219–227.
3. J. Clark and N. Ferrier. Control of visual attention in mobile robots// IEEE Conference on Robotics and Automation - 1989 - p. 826–831.
4. R. Manduchi, P. Perona, and D. Sny. Efficient deformable filter banks// IEEE T. on Signal Processing, 46(4) – 1998 – p. 1168–1173.
5. C. Yee and D. Walthers. Motion detection for bottom-up visual attention// California Institute of Technology, 2002

ГЕНЕРАЦИЯ СТРАТЕГИИ КОМПОНОВКИ И ТРАССИРОВКИ ДЛЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ

Чебуренко Д.С., Иванов И.В.

Научный руководитель: Иванов И.В., ассистент
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: denleader@mail.ru

Проектирование современной электронной вычислительной аппаратуры (ЭВА) заключается в поиске сочетаний оптимальных вариантов схмотехнического и конструкторско-технологического проектных решений. Опыт проектирования, эксплуатации ЭВА, исследование факторов, влияющих на надежное выполнение функций электронной аппаратурой, показывает, что качество работы схем зависит не только от правильного схмотехнического решения, но и в большой степени от корректного решения задач электронного конструирования.

Современный процесс проектирования становится немыслимым без применения вычислительной техники (ВТ) и систем автоматизированного проектирования (САПР). Современные САПР обладают широкими возможностями, а их оптимальное применение при проектировании технических средств ВТ

и радиоэлектроники является актуальной проблемой [1].

На сегодняшний день насчитывается большое количество разнообразных САПР, ориентированных на решение специфических проблемных задач. Одной из популярных САПР электронной аппаратуры является P-CAD. Ее возможности позволяют применять в процессе проектирования программу автоматической компоновки и трассировки SPECCTRA, которая считается одной из лучших в своем классе.

Отсутствие необходимых программ для оптимального размещения фильтрующих (развязывающих) емкостей требует дополнительного анализа, экспериментов с целью написания новых инструкций и методик по применению конкретных программ, как на производстве, так и в учебном процессе. Это является весьма актуальным для сокращения

сроков на внедрения и грамотного применения новых информационных технологий.

Применение развязывающих конденсаторов позволяет распределить рабочий ток между потребителями, используя низкоимпедансные (т.е. низкоиндуктивные для токов высоких частот) пути прохождения тока. Практически это означает, что развязывающие конденсаторы непосредственно обслуживают цифровые компоненты, в то время как источник питания занимается их перезарядом. Ключом к созданию работоспособной и удачной схемы развязки является правильный выбор применяемых конденсаторов и правильная разводка цепей их подключения [3]. В большинстве случаев начинающий разработчик чисто механически устанавливает конденсаторы, где придется, руководствуясь только нормой установки блокирующих емкостей на число тех или иных микросхем, и пытаясь подобрать конденсаторы с собственной резонансной частотой, находящейся близко от рабочей частоты системы.

Ввиду того, что поведение реального конденсатора не такое, как у идеального (физическое устройство реального конденсатора включает в себя эквивалентное последовательное сопротивление, эквивалентную последовательную индуктивность и сопротивление утечки), то при проектировании печатной платы следует учитывать эти паразитные эффекты, сумма которых приводит к изменению характера частотной зависимости импеданса (рис. 1).

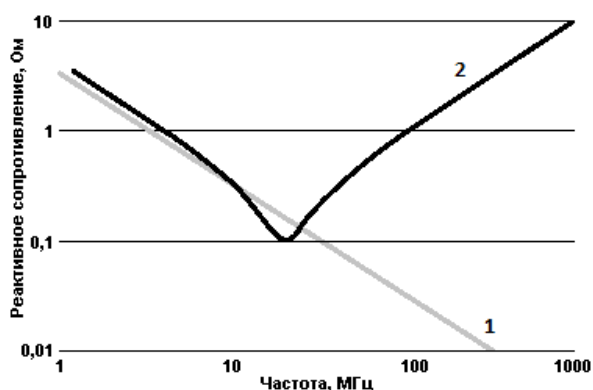


Рис. 1. Зависимость импеданса от частоты для идеального (1) и реального (2) конденсаторов

Следует помнить, что для того, чтобы фильтрующие емкости эффективно работали, длина цепи от вывода микросхемы до емкости должна быть минимальной [2].

Возможности программы SPECCTRA позволяют автоматически размещать фильтрующие емкости рядом с соответствующими компонентами, а также контролировать длину

отдельных сегментов проводников при авто-трассировке. Стратегия для SPECCTRA задается в специальном DO-файле.

Для того, чтобы определить необходимые команды, их порядок для генерации правил размещения конденсаторов, в среде P-CAD и SPECCTRA был проведен ряд экспериментов над различными печатными платами (ПП).

В результате экспериментов была разработана необходимая последовательность команд для размещения компонентов на ПП и корректной трассировки проводников шин питания.

Для ПП, представленной на рис.2, правила автокомпоновки следующие:

```
# Place the large components
define ( room room1 ( rect signal 6 5 16 2.5
197.5 230))
room_rule room1(include U1 U2 U3 U4 U5
U6 U7 U8 U9 (type hard))
associate U5 U1 U2
associate U6 U3
associate U9 U4 U8
unplace
initplace (prefer_side prefer_front)
#
# Place the small components
autodiscrete ( type small)(prefer_side
front_only)
```

Эта часть DO-файла организует комнату room1, включает в нее все компоненты (U1 U2 U3 U4 U5 U6 U7 U8 U9), производит привязку к компоненту U5 компоненты U1, U2, компонент U6 к U3 и U9 к U4, U8. Затем все компоненты перемещаются за пределы контура ПП, и командой initplace расставляются большие компоненты. В параметрах этой команды указано то, что компоненты расставляются только на переднем слое печатной платы. После этого, команда autodiscrete расставляет маленькие компоненты на ПП.

В ходе экспериментов выявлено, что команда associate не всегда работает корректно (при размещении не все компоненты устанавливаются на места согласно правилам привязки). В таком случае необходимо организовать «комнату» по контуру ПП, используя команды define room и room_rule. В первой из них нужно задать идентификатор комнаты room_ID, слой ПП на котором будет расположена комната, и ее координаты. Во второй команде следует указать все корпуса, находящиеся на печатной плате.

На рис. 2 показан первоначальный вариант компоновки ПП. После автоматической компоновки в SPECCTRA с применением вышеописанных правил, фильтрующие емкости были размещены согласно привязке к компонентам (рис. 3).

Для трассировки данной печатной платы требуется применять следующее правило:

Define (group G1 (fromto U5-27 U1-2)(fromto U5-27 U 2-2)(fromto U 6-27 U 3-2)(fromto U 9-27 U4-2)(fromto U 9-27 U 8-2)(circuit (length 5 - 1(type actual))))).

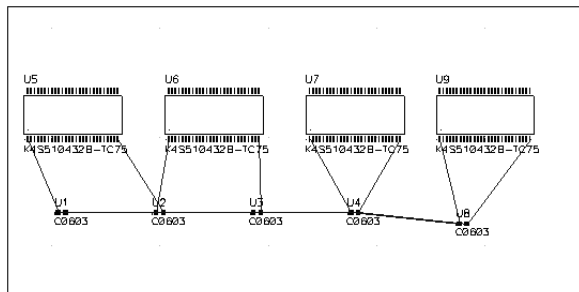


Рис. 2. Первоначальный вариант компоновки

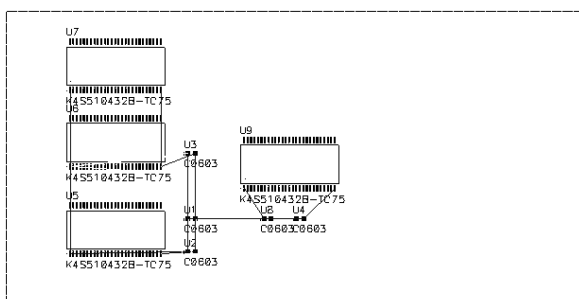


Рис. 3. Результат автоматической компоновки

Данное правило ограничивает длину проводников к фильтрующим емкостям до 5мм при трассировке.

Для генерации правил компоновки и трассировки по заданным характеристикам кон-

денсаторов и частотным диапазонам токов в шинах питания разработана программа Decoupling Strategies (среда Visual Studio 2005), основными возможностями которой являются:

- получение номиналов емкостей, а также сведений о привязке фильтрующих конденсаторов к компонентам из открытого проекта P-CAD PCB;
- вычисление допустимой длины сегмента проводника, соединяющего вывод питания микросхемы, и фильтрующий конденсатор;
- генерация правил стратегии компоновки и трассировки в соответствии с полученными сведениями.

Применение программы Decoupling Strategies, позволяет значительно сократить время создания стратегий компоновки и трассировки, а также уменьшить число возможных ошибок при многократных экспериментах в процессе проектирования ПП.

Список литературы

1. Лопаткин А. В. P-CAD 2004 – СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
2. Стешенко В.Б. ACCEL EDA - PCAD2001: Проектирование печатных плат. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.dsol.ru/chapter2/119.html>.
3. Томсон Дж. Стратегии развязки для PCB 11'2003 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://pcbroute.net/index.php?option=com_content&task=view&id=37&Itemid=100.

ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД РАЗМЫТЫХ ЧАСТИЦ

Черепанов Р.О.

Научный руководитель: Герасимов А.В., д.ф.-м.н., профессор
Томский государственный университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: cro096@ngs.ru

В работе предложена модификация метода размытых частиц, позволяющая использовать его для моделирования процессов высокоскоростного соударения тел со свободными и контактными поверхностями скольжения без необходимости введения дополнительных сил отталкивания на границах контакта.

Метод размытых частиц, в англоязычной литературе сокращенно называемый SPH- от smoothed particle hydrodynamics - гидродина-

мика размытых частиц, это численный бессточный метод решения уравнений движения жидкости и газа, изначально разработанный [1] для моделирования гравитирующего газа. В дальнейшем метод стал применяться для решения задач гидродинамики, гиперсверхзвукового соударения и других задач механики деформируемого твердого тела, задач теплопроводности, диффузии и т.д.

В оригинальном методе SPH [1], [2] ядерная аппроксимация произвольной функции в точке j имеет вид:

$$f^i = f(\bar{x}^i) \cong \int f(\bar{x}) W(\bar{x} - \bar{x}^i, h) d\bar{x} \quad (1)$$

где h - параметр размывания, выбираемый достаточно произвольно, $\bar{x}$ – пространственная координата. На основе (1) для производной функции можно записать аналитическую аппроксимацию:

$$f_{,\alpha}^i = \frac{\partial f^i}{\partial x_\alpha} \cong \int f(\bar{x}) W_{,\alpha}(\bar{x} - \bar{x}^i, h) d\bar{x} \quad (2)$$

Соответствующая (2) узловая аппроксимация имеет вид:

$$f_{,\alpha}^i = \frac{\partial f^i}{\partial x_\alpha} \cong \sum_k \left\{ f^k W_{,\alpha}(\bar{x}^k - \bar{x}^i, h) \Delta v^k \right\}$$

где $\bar{x}^k$, f^k , Δv^k – радиус-вектор, значение аппроксимируемой функции и некоторый ассоциированный объем, соответствующие k -й точке. Для более подробного знакомства с методом можно обратиться, например, к [4].

Было показано [4], что аппроксимация (3) имеет первый порядок точности во внутренних областях при однородном распределении частиц, и нулевой на границах и/или при неоднородном распределении частиц. Для повышения точности аппроксимации было разработано несколько подходов, в частности, использованный нами подход М.Б. и Г.Р. Лю [5]. На его основе было установлено, что при построении аппроксимационных формул второго порядка точности аппроксимацию произвольной функции f или ее производных $\partial f / \partial x_\alpha$ можно записать в виде

$$f_{,\alpha}^n = \sum_m \left\{ f^m \Phi_{\alpha}^{nm} \right\}; \quad (4)$$

Где $f_{,\alpha}^n$, f^m , Φ_{α}^{nm} – аппроксимация производной или самой функции (при $\alpha = -1$) в узле n , значение функции в узле m и коэффициенты дифференцирования соответственно. Считая, что скорость движения физической среды в некоторой точке равна SPH-аппроксимации узловых значений скорости, было установлено, что эффективная масса SPH- узла отличается от его переносимой массы и формула, связывающая эти значения имеет вид

$$M^m = \Delta m^m \cdot \sum_N \left\{ \frac{A^n}{A^m} \cdot \Phi_{-1}^{nm} \right\} \quad (5)$$

где Δm^m – переносимая масса узла, то есть, часть массы моделируемой среды, ко-

торая по каким-либо причинам нами отнесена к рассматриваемому узлу, A^m – площадь узла.

Оказалось, что полученная таким образом эффективная масса может быть использована для аппроксимации граничных условий методом Джонсона [6].

Анализ влияния вариаций координат произвольного узла на вариации аппроксимаций деформаций, напряжений и на вариацию потенциальной и полной энергии всего тела в целом позволил вычислить аналог силы, действующей на узел, которая имеет вид:

$$F_\gamma^m = \sum_N \frac{(\delta_{i\gamma} \Phi_j^{mn} + \delta_{j\gamma} \Phi_i^{mn}) \sigma_{ij}^n \Delta V^n}{2}$$

Из (6) следует естественный способ вычисления ускорения узлов в виде: (3)

$$\frac{dv_\gamma^m}{dt} = F_\gamma^m / m^m \quad (7)$$

Формулы (6-7) позволяют вычислить единым образом ускорения всех узловых точек с первым порядком точности как внутри расчетной области, так и на ее границе и/или при неоднородном распределении узловых точек по пространству, массе и т.п.

Формула эффективной массы (5) позволяет вычислять приращения скоростей и координат узлов в ходе процедуры сноса на поверхность контакта в методе Джонсона [6]. Это позволяет унифицировать процедуры расчета условий на контактных границах для конечно-разностных и SPH методов. Кроме того, метод Джонсона рассматривает «строгие» границы – то есть, нулевой толщины, в отличие от распространенных SPH-подходов, где граница тела является переходным слоем толщины $h/2$.

На рисунке 1 представлены результаты тестового расчета соударения двух алюминиевых цилиндров размерами 20*20 см с начальной скоростью 400 м/с каждый в момент времени 21,8 мкс после начала соударения. Правый из цилиндров моделировался методом Уилкинса на сетке 40*40 ячеек, левый – вариационным SPH-методом с изначально однородным расположением точек в узлах квадратной сетки размера 40*40 ячеек. Полные потери энергии в ходе расчета находились в пределах 3%, при этом основная часть этих потерь (2,5%) произошла за первые несколько шагов в граничных ячейках. В ходе начальной стадии расчета (несколько пробегов упругой волны) потери импульса при передаче через границу контакта составляли 1,13%.

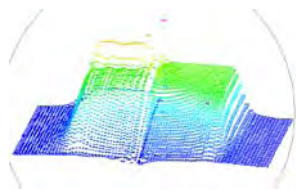


Рис. 1. Профили давления, $t=22$ мкс

На рисунке 2 приведены формы цилиндров при продолжении расчета до времени 76 мкс, видно, что качественно и количественно картины хорошо совпадают.

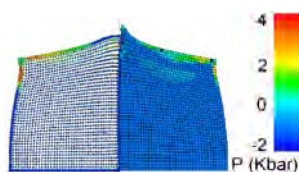


Рис. 2. Форма цилиндров, $t=76$ мкс.

При увеличении времени счета до 180 мкс (рисунок 3) в области, моделируемой вариационным SPH, стало наблюдаться сильное численное разрушение, но в целом формы цилиндров продолжают оставаться очень похожими.

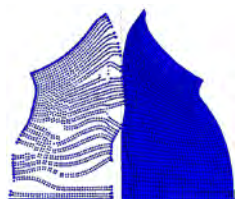


Рис. 3. Форма цилиндров, $t=180$ мкс.

Полные потери импульса в модели к этому моменту времени составили 4%, потери энергии- 3%, что свидетельствует о хорошей точности метода.

Таким образом, разработанная численная методика позволяет единым образом решать уравнения движения среды как во внутренних областях, так и на свободных и контактных

поверхностях и совмещать решения конечно-разностными методами с решениями SPH. Аппроксимационные формулы имеют второй порядок точности во внутренних областях при однородном распределении частиц и первый порядок точности во всей расчетной области при неоднородном распределении частиц и/или вблизи границ. Отличительной особенностью методики является то, что границы тел представляются в виде линий, в отличие от большинства существующих подходов, где границы тел в SPH-методе представляются в виде некоторого переходного слоя ненулевой толщины.

Список литературы

1. L.B. Lucy. A numerical approach to the testing of fusion hypothesis // *Astronomical Journal* 1977; 82:1013-1024.
2. R.A. Gingold, J.J. Monaghan. Smoothed particle hydrodynamics: theory and applications to non-spherical stars. // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 1977; 181:375-389.
3. J. Bonet, S. Kulasegaram. Correction and stabilization of smooth particle hydrodynamics methods with applications in metal forming simulations. // *Int. J. Numer. Meth. Engng.* 2000; 47: 1189-1214
4. P.W. Randles, L.D. Libersky et al. Recent improvements in SPH modeling of hypervelocity impact // *International Journal of Impact Engineering* 1997; 20:525-532.]
5. M.B. Liu, G.R. Liu. Restoring particle consistency in smoothed particle hydrodynamics. // *Applied Numerical Mathematics*, Elsevier, ANM1760.
6. G.R. Johnson, R.A. Stryk. Symmetric contact and sliding interface algorithms for intense impulsive loading computations. // *Computer methods in applied mechanics and engineering*. Elsevier, 190 (2001), 4531-4539

ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Чуонг Дук Чуонг, Скороспешкин В.Н.

Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: truongductrung@hotmail.com

В настоящее время в системах автоматического регулирования наиболее широко применяются ПИД-регуляторы [1]. Однако системы автоматического регулирования

(САР) с ПИД-регуляторами не всегда обеспечивают требуемое качество регулирования. Недостатком классического ПИД-регулятора является наличие фазового запаздывания.

Для устранения данного недостатка используют различные способы, например, в регулятор вводят фазо-опережающий фильтр [2], либо используют интегратор Клегга [3].

В данной работе предложена структура регулятора, которая включает четыре параллельных канала, выполненных на базе следующих звеньев:

- пропорционального;
- дифференциального;
- интегратора Клегга;
- псевдолинейного фазо-опережающего звена.

Функциональная схема интегратора Клегга показана на рис.1. Звено состоит из двух линейных звеньев, выпрямителя, оператора *sign* и перемножающего устройства.

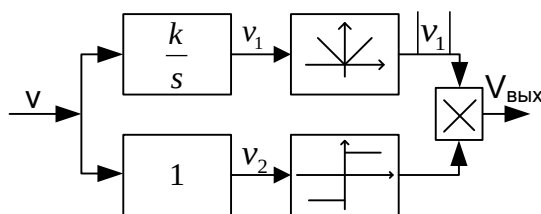


Рис.1. Функциональная схема интегратора Клегга

Мгновенная величина выходного сигнала определяется выходом верхнего канала $v_1(t)$. Знак выходного сигнала определяется знаком выхода нижнего канала. В итоге выходной сигнал звена определяется по формуле 1

$$v_{\text{вых}} = |v_1(t)| \text{sign} v_2(t) \quad (1).$$

Анализ выходного сигнала интегратора Клегга методом гармонической линеаризации показывает что, коэффициент передачи интегратора уменьшается с частотой без внесения 90° фазового запаздывания. При введении данного интегратора в псевдолинейный ПИД-регулятор уменьшается фазовый сдвиг, вносимый регулятором.

Функциональная схема псевдолинейного фазо-опережающего звена приведена на рис.2. Звено состоит из выпрямителя, оператора *sign*, перемножающего устройства и опережающего звена. Данное звено применяется для коррекции сигнала путем внесения в САУ положительного

фазового сдвига и тем самым улучшает качество регулирования.

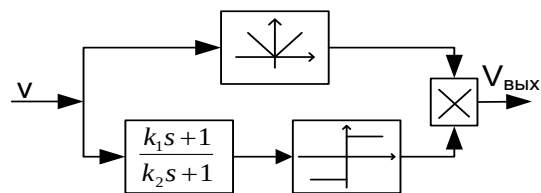


Рис.2. Функциональная схема псевдолинейного фазо-опережающего звена

Функциональная схема псевдолинейного ПИД-регулятора приведена на рис.3. В этом регуляторе постоянная и дифференциальная составляющие остаются как в обычном ПИД-регуляторе. Но интегральная составляющая заменяется на интегратор Клегга и в состав регулятора дополнительно включается псевдолинейный фазоопережающий канал.

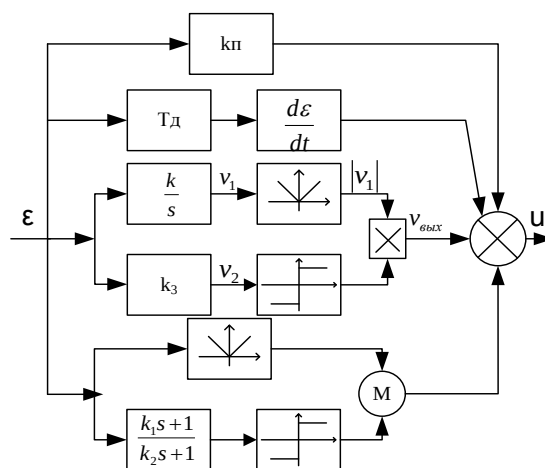


Рис.3. Функциональная схема псевдолинейного ПИД-регулятора

Для исследования работы псевдолинейного ПИД-регулятора была реализована модель в среде Matlab 2008, которая показана на рис.4. Модель включает три САУ с одинаковыми объектами управления (ОУ). В первой САУ

применяется классический ПИД-регулятор. Во второй - псевдолинейный ПИД-регулятор со структурой, приведенной на рис.3. В третьей САУ используется ПИ-регулятор с управляемым интегратором и управляемым фазоопережающим фильтром.

В системе используются ОУ второго порядка, имеющие передаточную функцию вида 2,

$$W_o(s) = \frac{K_o}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}. \quad (2)$$

Перед тем как запустить САУ в работу регуляторы настраиваются одинаково.

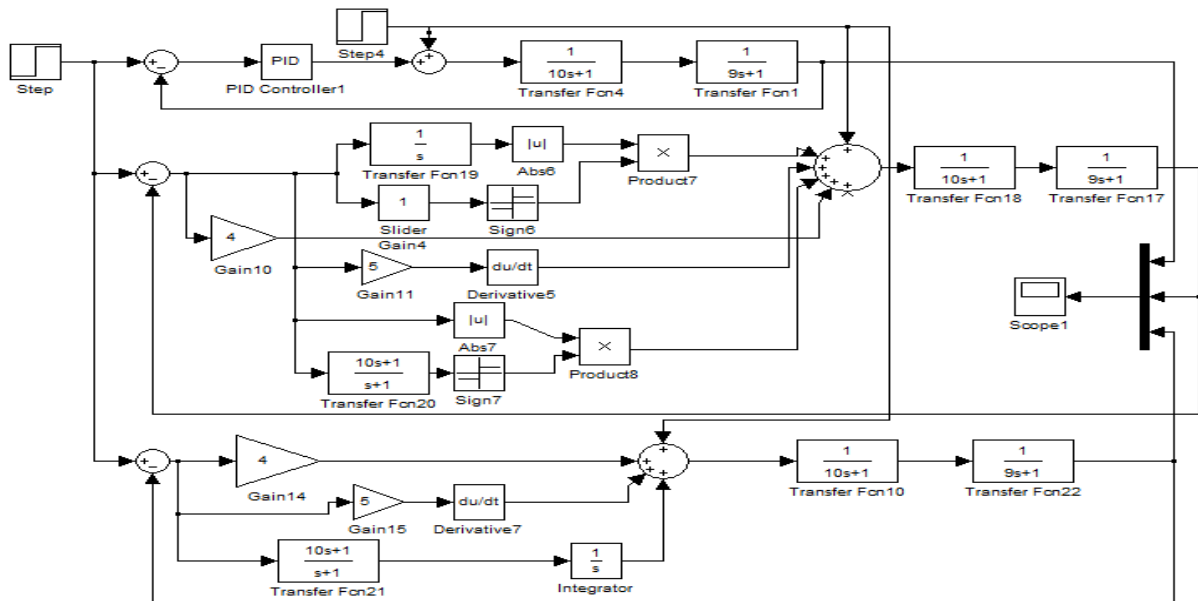


Рис.4. Модель САР с псевдолинейным ПИД-регулятором

Результаты исследования приведены на рис.5. Кривая 1 показывает переходный процесс САР с обычным ПИД-регулятором. Кривая 2 показывает переходный процесс САР с псевдолинейным ПИД-регулятором. Кривая 3 показывает переходный процесс в САР, где применяется ПИ-регулятор с управляемым интегратором и управляемым фазоопережающим фильтром.

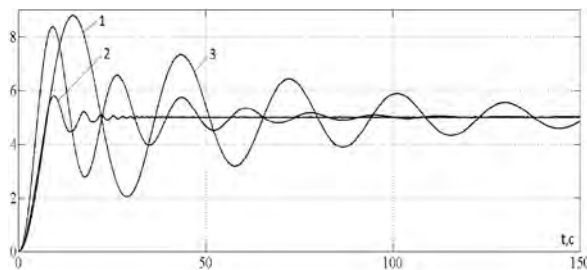


Рис.5. Результаты исследования

Исследование показывает, что псевдолинейный ПИД-регулятор является наиболее эффективным.

Для ОУ, имеющего вид 3,

$$W_{oy}(s) = \frac{1}{(10s+1)(9s+1)}, \quad (3)$$

проведено исследование влияния отдельных параметров регулятора на переходный процесс.

Семейство переходных процессов при различных параметрах настройки псевдолинейного ПИД-регулятора показано на рис.6. На рис.6а приведено семейство переходных процессов при различных значениях $k_{\text{п}}$. На рис.6б приведены переходные процессы с различными $T_{\text{д}}$. На рис.6в показаны переход-

ные процессы при различных значениях параметра k интегратора Клегга.

Результаты исследования показывают, что псевдолинейный ПИД-регулятор является более эффективным по сравнению с классическим, а

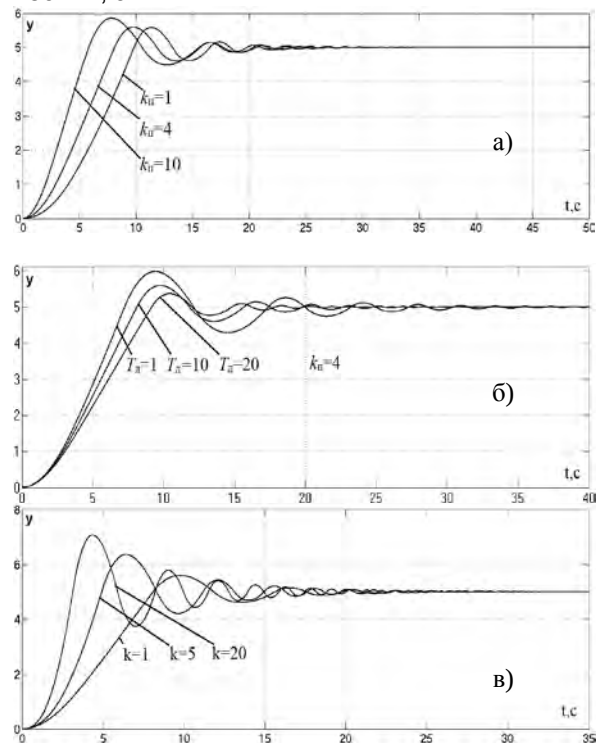


Рис.6. Семейство переходных процессов САР

влияние параметров настройки на качество САР аналогично влиянию параметров обычного ПИД регулятора.

Список литературы

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Изд. Наука, 1975.

2. Лурье. Б.Я. Классические методы автоматического управления. Спб.: БХВ-Петербург, 2004.

3. Скобелев М.М. Патент номера RU 2103714 С1. Способ автоматического регулирования астатического объекта, 1988.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Шабельникова А.Ю., Васильев Д.А.

Научный руководитель: Васильев Д.А., к.т.н.

Саратовский государственный технический университет,
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, д.77

E-mail: shabelnikova_au@mail.ru

Современное оборудование промышленных предприятий имеет достаточно высокие расчетные показатели надежности. Однако в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов, условий и режимов работы исходное состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижается его эксплуатационная надежность и увеличивается вероятность возникновения отказов.

В настоящее время в промышленности для ведения производственной эксплуатации и поддержания технического состояния оборудования в соответствии с требованиями нормативно-технической документации применяется система планово-предупредительного ремонта (ППР). Однако во многих случаях эта система не обеспечивает принятие оптимальных решений. Это объясняется тем, что график ППР строится по нормативным данным. В связи с этим, возможна ситуация, когда одновременно в ремонт будет выведено достаточно большое количество оборудования и в силу ограниченности в ресурсах, предприятие может не справиться с организацией проведения всех ремонтных работ. Поэтому без учета ограничений (материальных, временных, трудовых) на используемые ресурсы нельзя обеспечить надежную эксплуатацию оборудования при существующей системе ППР.

В данной статье предлагается на основе генетического алгоритма [1] получить наиболее оптимальный состав оборудования, выводимого в ремонт на текущий месяц (год), с учетом всех ограничений на используемые ресурсы предприятия.

Генетические алгоритмы (ГА) представляют собой методы оптимизации, основанные

на концепциях естественного отбора и генетики.

ГА работают с совокупностью особей (популяцией), каждая из которых представляет возможное решение задачи. Для решения задачи оптимизации графика ППР каждая особь популяции (Z) кодируется одной хромосомой (G), определяющей состав выводимого в ремонт оборудования. Количество ген, образующих хромосому определяются числом оборудования n , представленного в план-графике ППР на текущий месяц (год).

Оценка качества выбора состава оборудования для вывода его в ремонт или на техническое обслуживание осуществляется по векторному критерию $F^Z = (F_1^Z, F_2^Z)$, составляющие которого определяются выражениями:

$F_1^Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot G_i^Z$, $F_2^Z = \sum_{i=1}^n S_i \cdot G_i^Z$, где F_1^Z – функция оценки общей сложности ремонтов оборудования из текущего списка, рассчитываемая для особи Z ; F_2^Z – функция оценки степени участия оборудования в технологическом процессе для Z -й особи популяции; C_i – коэффициент, задающий степень сложности ремонта i -го оборудования, определяющийся видом ремонта (капитальный ремонт, средний ремонт, малый ремонт, техническое обслуживание); S_i – коэффициент, задающий степень участия i -го оборудования в технологическом процессе; n – количество оборудования, включенного в план-график ремонта на текущий месяц (год).

Целевая функция F^Z рассчитывается для каждой особи (списка оборудования, выводимого в ремонт) популяции, для нахождения которой применима свертка критериев вида:

$$F^Z = F_1^Z \varphi_1 + (-F_2^Z) \varphi_2 \rightarrow \max, \quad (1)$$

где φ_1, φ_2 – коэффициенты, определяющие значимость критериев F_1^Z и F_2^Z соответственно и устанавливающиеся лицом, принимающим решения, на этапе формирования и оптимизации план-графика ремонта оборудования.

Оптимизация осуществляется в области допустимых состояний системы с учетом ограничений:

- на материальные ресурсы:

$$\sum_{i=1}^n a_i \cdot G_i^z \leq A, \forall Z \in [1, \lambda_j]; \quad (2)$$

где A – суммарный материальный ресурс, необходимый для проведения всех ремонтных работ, связанный с обеспечением их материалами; a_i – материальный ресурс, необходимый для проведения ремонтных работ i -го оборудования;

- на временные ресурсы:

$$\sum_{i=1}^n t_{mi} \cdot G_i^z \leq T_m, \forall Z \in [1, \lambda_j]; \quad (3)$$

где T_m – общее время на технологическую подготовку к ремонтным работам, включающее время на изготовление специального оборудования и приспособлений для ремонтных работ; t_{mi} – время, необходимое на технологическую подготовку к ремонтным работам i -го оборудования;

- на трудовые ресурсы:

$$\sum_{i=1}^n w_i^k \cdot G_i^z \leq W_k, \forall k \in [1, M], \forall Z \in [1, \lambda_j]; \quad (4)$$

где W_k – имеющееся количество рабочих для проведения k -го вида ремонтных работ; w_i^k – количество рабочих, задействованных в k -м виде ремонтных работ i -го оборудования; M – количество видов ремонтных работ.

Поэтому каждое оборудование (ген хромосомы) связано с набором параметров ($C_i, S_i, a_i, t_{mi}, w_i^k$) задачи.

При создании исходной популяции в хромосому каждой особи на место гена оборудования (G_i^Z) случайным образом записывается число из двоичного множества D , определяющее факт присутствия или отсутствия оборудования в списке. После получения исходной популяции начинается ее развитие и размножение, т.е. движение к оптимуму (1). Для этого применяют процедуры скрещивания и мутации. Процедура скрещивания заключается в следующем: из текущего поколения особей случайно выбираются две различные особи и далее каждый ген хромосомы потомка с одинаковой вероятностью $p = 0,5$ принимает значение соответствующего гена либо одного, либо другого родителя. Затем для потомка вычисляются параметры $A_{nom}, T_{nom}, W_{nom}$. После чего проверяется допустимость полученного решения. Если получен-

ное решение удовлетворяет ограничениям задачи (2) – (4) – потомок выживает (полученное решение является допустимым), в противном случае потомок погибает (полученное решение считается неудовлетворительным). В случае, если эти условия для полученного потомка выполняются, то производится сравнение целевой функции потомка F_{nom} с целевой функцией наихудшей особи F^H текущего поколения.

В случае, когда целевая функция потомка меньше целевой функции наихудшей особи, полученный потомок погибает (не приближается к оптимальному решению), иначе выживает и записывается в следующее поколение (поколение потомков), а в текущем поколении родителей уничтожается наихудшая особь (с наименьшей целевой функцией).

Таким образом, при скрещивании особей популяции текущее поколение родителей убывает, а следующее поколение потомков возрастает.

В процессе эволюции возможна такая ситуация, когда среди всех генов особей популяции может не оказаться того гена, который соответствует оптимальному решению. С целью исключения этого применяется процедура мутации, которая заключается в следующем: из текущего поколения случайным образом выбирается некоторая особь G^L , параметры этой особи ($A^L, T_{mi}^L, W_k^L, G_i^L$) записываются в некоторый буфер памяти, из хромосомы данной особи случайно выбирается ген, значение которого изменяется путем инвертирования его значения, в результате этого образуется особь G^{L*} – мутант особи G^L , далее рассчитываются параметры мутанта ($A^{L*}, T_{mi}^{L*}, W_k^{L*}, G_i^{L*}$), причем, если выполняются условия представленные системой, то считается, что произошла «хорошая мутация» и особь G^L , приобретая характеристики и параметры образованного мутанта, остается в текущем поколении особей, качественно улучшая данное поколение.

Если условия не выполняются, то мутация отменяется, «плохая мутация», и из буфера памяти возвращаются исходные значения выбранной для мутации особи.

Последовательное выполнение процедур скрещивания и мутации дает новое поколение особей (потомков, представляющих новые сочетания оборудования, выводимых в ремонт), которое качественно превосходит предыдущее поколение потомков (находится ближе к оптимальному решению).

Таким образом, для задачи выбора оптимального состава оборудования, выводимого в ремонт, каждое новое поколение содержит списки, выбранных оборудования, позволяющих качественно улучшить проведение

ремонтных работ и технического обслуживания.

В предложенном алгоритме процесс развития текущего поколения особей организован таким образом, что при наблюдении последовательности длиной ω из подряд идущих неудачных скрещиваний, развитие текущего поколения прекращается и осуществляется переход к следующему поколению. Это позволяет получать качественно лучшие поколения потомков, снизить их размерность, достигая при этом приемлемые по точности результаты работы алгоритма. При этом уменьшается время, затрачиваемое на решение поставленной задачи, что является существенным при большой ее размерности (большом количестве оборудования).

Предлагаемый в статье метод решения задачи выбора оптимального состава оборудования, выводимого в ремонт, позволят повысить эффективность организации системы планово-предупредительного ремонта оборудования на промышленных предприятиях и может быть использован в других сферах производственно-хозяйственной деятельности при решении оптимизационных задач.

Список литературы

1. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. Харьков: Изд-во «ОСНОВА», 1997. 112 с

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ С ЗАПРЕТАМИ ПОВОРОТОВ

Шестаков Н.А.

Научный руководитель: Марков Н.Г., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nishe@tpu.ru

Введение

Развитие технологий спутниковой навигации а также вычислительной техники и телекоммуникации обусловили резкий рост интереса к мобильному навигационному программному обеспечению (ПО). С появлением подробных и доступных цифровых векторных карт стало возможным распространение сервисов, использующих информацию о местоположении пользователей (location-based services). Актуально создание интеллектуальных систем, способных прокладывать оптимальные маршруты, просчитывать их время, предсказывать маршруты пользователей в условиях меняющейся дорожной обстановки, учитывая дорожные ограничения, привычки пользователей и другую доступную информацию.

В данной работе описываются некоторые подходы, которые представляются автору разумными при реализации алгоритмов маршрутизации, решении транспортных и прочих задач, использующих графы дорожных сетей.

Представление дорожной сети в виде графа

Большинство алгоритмов, решающих задачи на графах, предполагают на входе на-

личие ориентированного графа с заданными весами дуг, либо частные случаи таких графов. Поэтому дорожную сеть (ДС) чаще всего представляют в виде графа (рис.1, справа), в котором узлами являются места пересечения или соединения дорог, а дугами – сегменты дорог. Значениями весов дуг могут быть длины сегментов, время проезда сегмента или другие коэффициенты, определяющие критерий оптимальности маршрута. Кроме топологии ДС необходимо хранить информацию о геометрии (географические координаты узлов и линий-сегментов), атрибутивную информацию (названия улиц и т.п.). Отдельно может храниться информация о дорожных ограничениях: ограничения скорости, запреты поворотов, запрещение движения для различных категорий транспорта, запреты остановки или стоянки и т.п.

Имея представленную в виде графа ДС, можно использовать известные алгоритмы на графах для решения различных задач логистики: поиск оптимального (кратчайшего) маршрута, прогнозирование времени движения по заданному маршруту, решение транспортной задачи и другие. Однако при этом могут возникать проблемы, связанные с тем, что описанная модель не может учесть многие ограничения, существующие в реальной дорожной обстановке.

Пример №1. Ограничения поворотов

Предположим (рис.1), на перекрёстке *A* запрещён поворот налево от сегмента *e1* на сегмент *e2*. Тогда, чтобы попасть на *e2*, необходимо двигаться прямо, миновать *e3*, на перекрёстке *B* повернуть направо, и, двигаясь по *e4*, пересечь *A* в прямом направлении. Таким образом, полученный путь в дорожном графе будет включать узел *A* два раза.

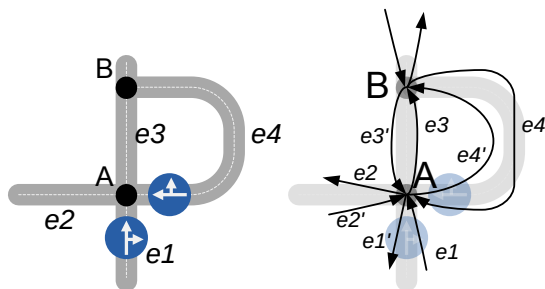


Рис.1 Участок ДС с ограничениями поворотов

Предположим, мы знаем, сколько времени в среднем занимает проезд по каждому сегменту дороги. Зная топологию ДС нам необходимо реализовать алгоритм поиска кратчайшего (в смысле времени) пути в графе ДС. При реализации мы неизбежно столкнёмся с проблемой: ни алгоритм Дейкстры, ни A^* (улучшенный алгоритм Дейкстры с эвристикой) не учитывают запреты поворотов. Как показано в примере №1, результирующий путь может включать в себя повторяющиеся узлы, чего при решении задачи алгоритмом Дейкстры или ему подобным просто не может быть.

Алгоритмы, учитывающие запреты поворотов, существуют. Например, библиотека RouteWare [1] позволяет указывать ограничения поворотов и даже задавать для них веса. В проекте pgRouting [2] используется алгоритм «Shortest Path Shooting Star» (модификация A^*).

Тем не менее, большинство библиотек работы с графами не поддерживают запреты поворотов. С точки зрения разработчика это означает, что не получится использовать стандартный библиотечный алгоритм, а придётся создавать свой модифицированный.

Пример №2. Время проезда сегментов

Выше предполагалось, что для поиска быстрого маршрута каждой дуге графа ставится в соответствие вес, который является усреднённым (или просчитанным каким-либо иным способом) временем проезда соответствующего сегмента дороги. Алгоритм ищет

путь с минимальным суммарным весом дуг. Однако здравый смысл подсказывает, что один и тот же сегмент можно проехать быстро, если двигаться прямо, а можно долго простоять, ожидая левого поворота. Очевидно, что описанная модель снова проявляет свои недостатки.

Предлагаемое решение

Очевидно, что можно создать алгоритмы, учитывающие нюансы ограничений ДС. Но при этом нельзя будет воспользоваться готовыми реализациями в какой-нибудь сторонней библиотеке. Предлагаемый способ заключается в том, чтобы модифицировать исходный граф и на нём решать задачи стандартными алгоритмами.

Чтобы была возможность запретить поворот или назначить отдельный вес тому или иному повороту, каждый поворот сам должен быть дугой графа. Т.е. каждый узел должен быть разбит на несколько вспомогательных узлов, а дуги между вспомогательными узлами будут разрешать движение в соответствующем направлении.

Формальный алгоритм для такого преобразования можно представить следующим пошаговым описанием.

1. Начальные условия. ДС представлена ориентированным графом, в котором узлы – это пересечения или соединения дорог, а дуги – сегменты дорог. Отдельно хранится информация о запретах поворотов с указанием узла, входящей дуги узла и исходящей дуги узла, для которых поворот запрещён.

2. Для каждого узла v_i выполнить пункты 2.1 ... 2.3

- 2.1. Для каждой входящей дуги $e\_in(v_i, j)$ создать новый узел $v\_new\_in(v_i, j)$ и назначить его новой конечной вершиной дуги $e\_in(v_i, j)$.

- 2.2. Для каждой исходящей дуги $e\_out(v_i, k)$ создать новый узел $v\_new\_out(v_i, k)$ и назначить его новой начальной вершиной дуги $e\_out(v_i, k)$.

- 2.3. Для всех возможных сочетаний $v\_new\_in(v_i, j)$ и $v\_new\_out(v_i, k)$ создать новую дугу с началом в узле $v\_new\_in(v_i, j)$ и концом в узле $v\_new\_out(v_i, k)$, если проезд от дуги $e\_in(v_i, j)$ через узел v_i по дуге $e\_out(v_i, k)$ не запрещён.

- 2.4. Удалить узел v_i .

На рис. 2а показан исходный участок графа для крестообразного перекрёстка без ограничений. На рис. 2б изображён граф после выполнения трансформации. На рис. 2в изображён граф, полученный после трансфор-

мации узла *A*, изображённого на рис.1 (учитывающий ограничения поворотов).

Можно заметить, что в случаях, когда отсутствуют дороги с односторонним движением и нет запретов поворотов, количество узлов графа после трансформации составит $4N$, где N – число узлов начального графа. Количество добавленных дуг будет примерно равняться $N \cdot (s/2)^2$, где s – средняя степень вершины начального орграфа. Также интересно отметить, что трансформированный граф – направленный (две вершины могут быть соединены только одной дугой). Согласно статистике, подсчитанной на данных OpenStreetMap [3], для г. Томска число узлов увеличилось примерно с 3400 до 13000, дуг – с 2700 до 16000. Для г. Новосибирска: число узлов с 5300 до 19000, число дуг – с 4000 до 23300. При подсчёте учитывались дороги с односторонним движением, но не учитывались запреты поворотов (эти данные полностью или частично отсутствуют).

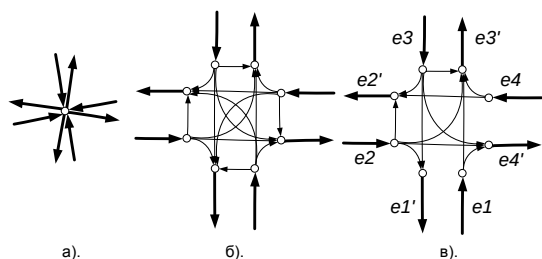


Рис.2. Преобразование участка графа ДС

Будучи сам довольно простым, показанный способ оставляет пространство для исследования. Т.к. он даёт возможность задавать веса для поворотов, возникает проблема вычисления этих весов на основе собранной статистики перемещений транспортных средств, в том числе с учётом сложного контекста: времени суток, дня недели, индивидуальной статистики пользователя и прочей информации.

Заключение

Представленный способ представления дорожной сети позволяет задать запреты поворотов структурой самого графа. Это даёт возможность использовать обычные алгоритмы, в которых запреты поворотов не учитываются. Также становится возможным задавать дополнительные веса на прохождение самого поворота, что позволяет эффективнее решать задачи поиска самого быстрого пути и точнее рассчитывать время маршрута.

Список литературы

1. Сайт картографической библиотеки RouteWare.
URL: <http://www.routeware.dk>
2. Сайт проекта pgRouting.
URL: <http://pgrouting.postlbs.org>
3. Сайт проекта OpenStreetMap.
URL: <http://openstreetmap.org>

СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ЯХТОЙ

Ярошук В.В., Акмайкин Д.А.

Научный руководитель: Завьялов В.В., д.т.н., профессор
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а
E-mail: vlad-byer.88@mail.ru

Управление парусной яхтой в гонке, это увлекательный, но сложный процесс. Для правильной настройки парусов требуется учет большого количества фактических и эмпирических факторов. При одинаковом состоянии материальной части яхт в гонке и равном градиенте ветра для всех участников гонки, победа достается яхте, экипаж которой сумел наиболее точно настроить такелаж своей яхты. Для этого требуется правильно установить каретку стакселя, натяжение бакштагов и штага, выбрать натяжение шкотов грота и стакселя и других вспомогательных шкотов и фалов. Только совместный учет

множества факторов помогает занять лидирующее положение яхты в гонке. Опытные яхтсмены «чувствуют» ветер и яхту и настраивают такелаж оптимальным образом.

Однако в начале спортивной карьеры, когда начинающий капитан выходит в рейс ему сложно учесть все нюансы, возникающие от изменения ветра и распределения нагрузок на такелаж и рангоут яхты. Для помощи молодым и неопытным яхтсменам предлагается разработать программный продукт, помогающий учесть максимум факторов влияющих на скорость движения парусного судна. Смысл заключается в том, чтобы неопытный

рулевой не акцентировал свое внимание на ускорение яхты, так как на эту работу тратиться 15-20% всего участия в гонке. Вся сложность заключается в настройке яхты, это касается, например малейшего передвижения пятки мачты в диаметральной плоскости - яхта будет вести себя по-другому (приводиться, уваливаться, идти быстрее или медленнее). Программа будет отлично работать в длинных гонках, нежели в коротких, где частая смена галсов не даст времени на тонкую настройку. Больше всего она подойдет для крейсерских яхт от 25 футов и выше.

Для того чтобы программа работала, необходимы: ноутбук, приемник системы местопределения (GPS), лаг, виндэкс с анемометром (измеритель направления и силы ветра), радар, аксиометр либо датчик пера руля, также можно использовать картплоттер, тензометр, эхолот, АИС транспондер.

Средняя цена ноутбука 15000 рублей, он нужен чтобы вся информация обрабатывалась и предлагало действие. GPS примерно 12000 рублей, необходим для определения координат, скорости, высоты. Лаг стоит около 14000 рублей, определяет скорость судна относительно воды; может использоваться совместно с эхолотом. Анемометр приблизительно стоит 27000-30000 рублей, он показывает направление ветра и скорость. Радар стоит от 20000 рублей, он служит для обнаружения объектов на расстоянии в заданном радиусе. Картплоттер стоит около 20000 рублей, и показывает местоположение судна на карте. АИС служит для идентификации соседних судов. Аксиометр стоит 5000, служит для определения угла поворота руля. Тензометр стоит 20000, определяет натяжение штага.

Полярная диаграмма скоростей яхты - это графическое представление скорости яхты в зависимости от курса относительно истинного ветра и его скорости. Она называется так потому, что строится "в полярной системе координат": угол выпельного ветра и максимальная скорость яхты при этом ветре. Принцип построения диаграммы ясен из рис.1.

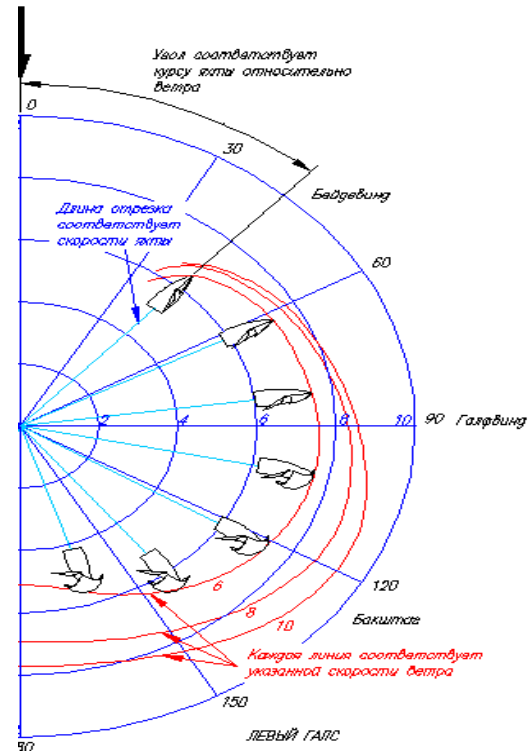


Рис. 1. Принцип построения полярной диаграммы скоростей яхты

Принято показывать только половину диаграммы - для одного из галсов, но для яхтсменов удобнее изображать ее "на оба борта". Используя полярную диаграмму, можно легко определить скорость яхты при любых скорости ветра и курсе относительно ветра, и составить полное впечатление о ее ходовых качествах. В ряде пособий по парусному спорту "курсом относительно ветра" неправильно называется угол между диаметральной плоскостью (ДП) яхты и направлением истинного ветра: такое представление не учитывает наличия у яхты при движении угла дрейфа (рис.2). По-видимому, это определение "перекочевало" из навигации, где под курсом понимается угол между северной частью меридиана и ДП, а аналогичный угол с направлением движения (т.е. путем) называется путевым углом. Необходимо иметь в виду, что курс показывает компас (конечно, с учетом соответствующих поправок), а путь показывает приемник GPS. Разность между их показаниями, это и есть угол дрейфа.

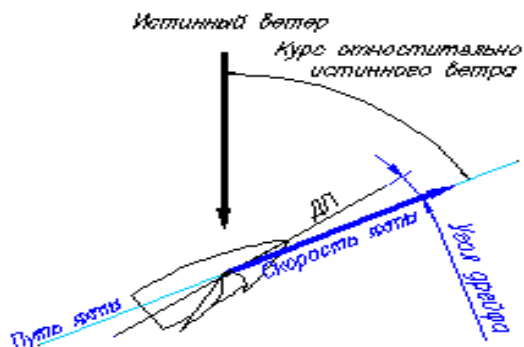


Рис. 2. Величины, отображенные на полярной диаграмме

На правильно построенной полярной диаграмме скорости яхты в качестве курса относительно ветра откладывается угол между направлением движения (т.е. вектором скорости яхты, путем) и направлением истинного ветра.

Принцип работы программы заключается в решении систем трех алгебраических уравнений, описывающие установившееся движение яхты под действием равновесия гидродинамических и аэродинамических сил при заданных курсовом угле истинного ветра γ_T и его скорости v_T .

Данные могут передаваться как по проводам, так и по беспроводному интерфейсу. В результате диалога, программа будет предлагать действия для увеличения скорости, в это будет входить замена парусов, изменение курса, натяжение шкотов и т.д.

Самым распространенным аналогом предлагаемой программы считается разработка института Брюса Фарра. В ней заложена информация о проектных скоростях, которые должна достигнуть яхта при различных углах к ветру и скоростях ветра. Внешними датчиками является индукционный лаг, анемометр, указатель вымпельного ветра, электронный компас, датчик угла поворота руля и тензометрический датчик натяжения штага. Компьютер выдает в цифрах информацию – истинный угол к ветру, относительная скорость яхты и магнитный курс – на три монитора, установленных на мачте под гиком. Управление яхтой сводится к удерживанию рекомендованного угла к ветру и поддержанию скорости на волне. Например, во время лавировки при вымпельной силе ветра 15

узлов от рулевого требуется угол к ветру 35 градусов. Если шкоты выбраны правильно, и бакштаги набиты в нужную силу, компьютер на одном из малых дисплеев выдает рулевому оценку – на сколько процентов выдерживается скорость выхода на ветер. Следует набрать не менее 100 %. Хороший рулевой «выдавливает» 105 – 110 %. На другом дисплее следят за силой натяжения бакштагов. Другой дисплей сообщает скорость вымпельного ветра.

Перспектива развития данной программы очевидна, так как с каждым годом растет количество гоночных и круизных яхт и не все понимают, что можно и чего нельзя делать при управлении парусником. Для развития программы планируется проводить испытания на яхте типа «Конрад 25Р» при разных погодных условиях и настройках яхты в целях повышения точности программы. Также в перспективе можно проводить исследование с автопилотом яхты. Так как это будет незаменимо для участников одиночных гонок. В этих гонках экипаж состоит из одного, максимум двух человек. При смене парусов придется решать задачу об удержании пера руля в заданном положении, т.к. руки заняты установкой паруса. Подключение же к рулевой машине автомата, позволит выиграть необходимые мили до финиша.

В последующем в программу планируется вводить динамические характеристики обмера любой яхты, что позволит использовать ее на любых яхтах. Заменить большое количество дисплеев на два и оставить необходимые: компас, GPS и лаг. С дальнейшим развитием программной части, возможно создание адаптивного модуля, который бы обучался в процессе гонки. Запоминая курс и скорость яхты, при различных курсах, программа может построить математическую модель полярной диаграммы. Для этого необходимо осуществление движения яхты по круговой траектории при любом ветре. Программа рассчитывает приблизительную полярную диаграмму для одной скорости ветра, а в процессе эксплуатации программы точность ее работы будет возрастать с каждым разом. Также такая программа будет учитывать любые изменения на яхте, даже такие факторы, как обрастание корпуса ракушками.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 5. СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ И СОБСТВЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МОЗГА Андрющенко О. И.	7	Е.В. Жогло, А.А. Аристов, А.С. Рафальский РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕЧИ У БОЛЬНЫХ СЕНСОРНОЙ АФАЗИЕЙ Белик К. Д., Журбей Д. С.	33
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ КОРОТКОЛАТЕННЫХ СЛУХОВЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ Батищева Ю.Н., Назарова В.А.	9	УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ХОЛОДОВЫХ ТРАВМ Камартинова А. Р.	36
ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В СФЕРЕ КАРДИОЛОГИИ Боброва Ю. В., Малахова Е.С.	11	ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВРАЧА- ПЕДИАТРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ Клышников К.Ю.	38
ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТА ГИДРОКСИАПАТИТ/СОПОЛИМЕР ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА С ВИНИЛИДЕНФТОРИДОМ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ Большасов Е.Н., Твердохлебов С.И.	13	РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ РЕГРЕССИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУПП ДЕТЕЙ С ПОВЫШЕННЫМ РИСКОМ РАЗВИТИЯ ТЯЖЕЛЫХ СОСТОЯНИЙ Коломейцев А.О.	40
РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИГИРОВАНИЯ СОСУДОВ Гормаков А.Н., Брахнова Е.Ю., Пайгин Д.В.	16	СВМПЭ В ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА Краснова Е.В., Скворцевич Е.М.	43
РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ ГЛЮКОЗЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОТА Валекжанин П.С., Аристов А.А, Асадулина В.Х.	18	НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЭПИЛЕПТОФОРМНОЙ АКТИВНОСТИ Крючкова М.В.	45
РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ ДЛЯ ВРАЧЕЙ- ПЕДИАТРОВ «ПНЕВМОНИИ У ДЕТЕЙ» Губайдуллина Р.Р., Сизов Е.Е.	20	РЕАЛИЗАЦИЯ ОБМЕНА МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ МЕДИЦИНСКИМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ Кузьмин Д.А.	47
ИЗУЧЕНИЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКА НЕРАВНОВЕСНОЙ ПЛАЗМЫ НА ОСНОВЕ БАРЬЕРНОГО РАЗРЯДА Денекко О.И., Жданова О.С., Семичев Е.В.	22	ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОЦЕНКИ СДВИГА СЕГМЕНТА ST КАК ВОЗМОЖНЫЙ ПРИЗНАК ИШЕМИИ МИОКАРДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЕРДЦА МЕТОДОМ ХОЛТЕРОВСКОГО МОНИТОРИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МЕДИЦИНСКИХ НАНОЭЛЕКТРОДОВ Лежнина И.А.	49
МНОГОКОМПОНЕНТНАЯ БИОМЕТРИЧЕСКАЯ СИЛОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА Денисова А.А.	25	ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ВЗРЫВНОГО ИСПАРЕНИЯ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИМПЛАНТАТЫ Мальчихина А.И.	51
ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ КЛЮЧЕВЫХ МОЛЕКУЛ СИГНАЛЬНЫХ ПУТЕЙ МАКРОФАГОВ С МАЖОРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ ТАБАЧНОГО ДЫМА IN SILICO Дугаров Ж.Б-Д.	27	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕМОДИНАМИКИ БЕРЕМЕННОЙ ЖЕНЩИНЫ Маркелова Е.П., Самбуева Е.Д.	54
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ФАРМАКОЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭКСТРЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ ПРИ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЕ Н.Л.Дутова	29	СИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭПИЛЕПТОФОРМНОЙ АКТИВНОСТИ В ПЕРИОД БЕРЕМЕННОСТИ И РОДОВ У ЖЕНЩИН, СТРАДАЮЩИХ ЭПИЛЕПСИЕЙ Маркелова Е.М., Бусыгина Т.В.	56
АПРОБАЦИЯ МЕТОДА ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ КАПЕЛЬНОЙ ПРОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ И ИММУННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОРГАНИЗМА	31		

ПОИСК ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧЕВОГО СИГНАЛА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПАТОЛОГИИ ГОЛОСОВЕДЕНИЯ Марков А. В., Дериглазов С. С.	58	ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ ТЕПЛОВЛАГООБМЕНА В ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЯХ ЧЕЛОВЕКА Стертюков С.В.	80
ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ МОЧИ ЗДОРОВОГО ОРГАНИЗМА Машевский Г.А.	60	РЕАЛИЗАЦИЯ АВС/VEN- И ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАРМАКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УЧРЕЖДЕНИЙ ЗДРАВООХРАНЕ-НИЯ В РАМКАХ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АССПЕД». Супроненко О.С.	83
РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА КОМБИНИРОВАННОЙ ДИАГНОСТИКИ ХОЛОДОВОЙ ГИПЕРРЕАКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ Моисеев А.В., Соколенко А. В., Ульянычев Н.В.	62	ПРИБОР ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ КАМНЕЙ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА Лернер М.И., Иванова Л.Ю., Титова О.С.	85
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПЕКТРА ПОГЛОЩЕНИЯ ВЫДЫХАЕМОГО ВОЗДУХА У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЁГКИХ Николаев М. А.	65	ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ГЕННОЙ СЕТИ АЛЬВЕОЛЯРНЫХ МАКРОФАГОВ ПРИ ХОБЛ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПО ГЕННОЙ ЭКСПРЕССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ GRATIO Хабудаев К.В.	87
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА ИНФИЦИРОВАННЫХ РАН Петренко А.Б.	67	ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОСАЖДЕНИЯ ИЗ АБЛЯЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОАКТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИМПЛАНТАТАХ Швецов Е.Е., Салтымаков М.С., Волокитина Т.Л.	89
ВЛИЯНИЕ ИМПУЛСНО-ПЕРИОДИЧЕСКОГО МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕГЕНЕРАТОРНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОРГАНИЗМЕ МЫШЕЙ Пигузова А.И., Жаркова Л.П.	69	АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ВРАЧА – НЕВРОЛОГА, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩЕГОСЯ НА ЛЕЧЕНИИ И ДИАГНОСТИКЕ ПАЦИЕНТОВ С ЭКСТРАПИРАМИДНЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ Юровская Е.С.	91
СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА TiO2 МЕТОДОМ АНОДИРОВАНИЯ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ Родионов И.В.	71		
ГАЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ БИОСОВМЕСТИМЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗДЕЛИЯХ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ Родионов И.В.	74		
СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ А. О. Садвакасова	76		
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБЕЗЗАРАЖИВАТЕЛЬ МОЛОКА ПРОТОЧНОГО ТИПА Скорик Д.А., Торгаев С.Н., Тригуб М.В.	78		

СЕКЦИЯ 6. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

НЕОДНОРОДНОСТЬ ДЕФОРМАЦИИ И ФРАГМЕНТАЦИЯ СДВИГА [110]- МОНОКРИСТАЛЛОВ НИКЕЛЯ Алфёрова Е.А.	97	ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩИЙ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ВЧ- МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И. Ю. Грубова, В.С. Теряева, М.А. Сурменева	122
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КИСЛОТНОСТИ СРЕДЫ НА СОРБЦИОННОЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ИОНОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА НОВЫХ ХЕЛАТНЫХ СОРБЕНТАХ Баранова Н.В., Неудачина Л.К., Старцев В.А.	99	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕХАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Nb-Al Денисов К.И.	125
О СЫРЬЕВЫХ ИСТОЧНИКАХ СИЛИКОТЕРМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА МАГНИЯ Белоусов М.В., Ракипов Д.Ф.	101	ОСОБЕННОСТИ УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ ПРИ ИОННОМ АЗОТИРОВАНИИ В БЕЗВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО РАЗРЯДА Дирксен Р.Н., Баев А.Г., Гончаренко И.М.	127
ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В АЗОТЕ Болгару К.А., хухлома Л.Н.	104	ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СВС- ПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ Дурницын К.С.	129
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ КАШИРОВАНИЯ БУМАГОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ Борисова А.С.	106	ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ Елисеев К.А., Саушкин Р.Н.	132
ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ТОНКОЙ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ С УРОВНЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА Mo-Re ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ КРУЧЕНИЕМ ПОД ДАВЛЕНИЕМ Винс С.А.	109	КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКОГО ИОНООБМЕННИКА, ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННОГО 2-АМИНОЭТИЛПИРИДИНОВЫМИ ГРУППАМИ Засухин А.С., Осипова В.А., Москалева Ю.С.	134
СВС - АЗОТИРОВАНИЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРИСУТСТВИИ ПРИРОДНОГО ОКСИДНОГО СЫРЬЯ Витушкина О.Г., Чухлома Л.Н.	111	САМОУПРОЧНЯЮЩИЕСЯ ИЗНОСОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ ХРОМОВАНАДИЕВОГО ЧУГУНА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ Зинченко А. Д., Дампилон Б.В.	136
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСТРУКТУРЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ БРОНЗЫ БРОСЦН-10-8-2-2. Гизатуллин И.И., Петренко Ю.Н., Мартюшев Н.В.	113	ДЕКОРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ШИХТ, СОДЕРЖАЩИХ ДИОПСИД Зыкова Ю.А., Сафонова Т.В.	139
ЛИТЬЕ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДИФИКАТОРОВ РАЗЛИЧНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА Голиков А.Ю., Головин Е.Д., Журавина Т.В.	116	КЕРАМИЧЕСКИЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА Иванов А.А., Булавин А.А.	141
АНИЗОТРОПИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА СИСТЕМЫ V-4Ti-4Cr ПОСЛЕ МНОГОКРАТНОГО ВСЕСТОРОННЕГО ПРЕССОВАНИЯ Гриняев К.В.	118	ВЛИЯНИЕ НАВОДОРАЖИВАНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА ВТ1-0 Кретьова О.М., Таразанова Е.И., Казаченок М.С.	144
О НЕОБХОДИМОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТАВА ПВХ-ПЛАСТИКАТОВ В КАБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ Иванова Н.А., Шатова Е.В., Анисимова О.А.	120	СТРУКТУРА СТАЛИ 05Г2МФБ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ Ивановская Л.В., Деревягина Л.С.	146

ПРОЦЕССЫ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА ВОЛЛАСТОНИТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ Карионова Н.П.	149	ПОЛИМЕРНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СОДЕРЖАЩИЙ В КАЧЕСТВЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ФАЗЫ УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ Лаптев И.С., Огнев А.Ю., Теплых А.М.	175
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА ПГС27 ЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОМ Кацай О.П., Дампилон Б.В.	151	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТАКТОРОВ ДЛЯ ВАКУУМНЫХ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР Дробяз А.А., Ложкин В.С.	177
ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ СВИНЦОВЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВИНЦОВИСТЫХ БРОНЗ Кван Р.Ю., Жанчипов А.О., Мартюшев Н.В.	153	ФИЛЬТРУЮЩИЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ОЧИСТКИ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД НА ОСНОВЕ БАЗАЛЬНОГО ВОЛОКНА Лубнина А.Ю.	178
ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ ВЫРАЩЕННЫХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ Козельская А.И.	156	ДЕГРАДАЦИЯ ПЛЕНОК Cu/ПОЛИИМИД В ПРОЦЕССЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА Лязгин А.О., Козельская А.И.	181
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО СТАРЕНИЯ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ИЗОЛЯЦИЯ – ОБОЛОЧКА» КАБЕЛЕЙ МАРКИ ЦLFLEX Козобина Л.А.	158	СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ЗОНАХ СВАРКИ ВЗРЫВОМ ТОНКОЛИСТОВЫХ ПЛАСТИН ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 20 Макарова Е.Б., Журавина Т.В.	183
ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ СТАЛИ 20 Корниенко Е.Е., Ромашова Ю.Н., Савенко Т.И.	160	СНИЖЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ Машкарова О. В.	185
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ ОПОКОВИДНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА Котляр В.Д., Братский Д.И., Котляр А.В.	163	ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III) С ХЛОРИДОМ АММОНИЯ Петлин И.В., Чергинцев С.Н.	188
О ХАРАКТЕРЕ ВЛИЯНИЯ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕДИ РЕЖИМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА Котова Н.В.	165	СОЗДАНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ СТРУКТУРЫ В СТАЛИ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ Мочалина Н.С.	190
ИЗУЧЕНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФОРМАЦИИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛОВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ Е.В. Мельников, Г.Г. Захарова	168	ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРОЧНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Д16 Мошняков М.Г., Быкова Н.В.	192
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД КРОВЛИ ПРИ РАЗНЫХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЯ Кузнецова А.В., Смолин И.Ю.	170	ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ Муленков А.Н., Зиганшин А.И., Кондратюк А.А.	194
ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS ДЛЯ РАСЧЕТА НДС ОБРАЗЦОВ СПЛАВА Д16 Куприянов С.Н., Панин С.В., Бяков А.В.	172	ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЛОГО ЧУГУНА ПОСРЕДСТВОМ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Мусатов И.Л.	197
		ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ МИКРОЛЕГИРОВАННОГО СПЛАВА Cu+Fe ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ЖЕЛЕЗА Нефедьев А.А., Дубский Г.А., Егорова Л.Г.	199
		ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПЕРЕЖОГА АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ Олейникова О.С.	202

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КАРБИДОСТАЛЕЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТИГЕЛЬНОГО ПЛАВЛЕНИЯ Оспанов Е.С.	204	ДИОПСИДСОДЕРЖАЩИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СУГЛИНКОВ РАЗЛИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА Сафонова Т.В., Зыкова Ю.А.	231
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ РАЗНОРОДНЫХ СТАЛЕЙ Батаев И.А., Павлюкова Д.В.	206	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ Углинских М.Ю., Скоморохова И.В.	234
КАПИЛЛЯРНАЯ ПРОЧНОСТЬ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ О.Л. Парамонова, И.В. Панов	209	ТЕРМОДИНАМИКА ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И РАСТВОРОВ КИСЛОРОДА В СИСТЕМЕ ЖЕЛЕЗО-ХРОМ- КРЕМНИЙ Сергунцова В.В., Рукавицин А.Н.	235
ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ ОБЛЕГЧАЮЩЕГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР Семёнов В.С.	211	СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СВМПЭ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СПЕКАНИЯ Смачная О.В., Панин С.В., Степанова И.В.	238
ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЛИТОВОГО И МУЛЛИТОКОРУНДОВОГО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПО ФТОРИДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ Погребенкова В.В., Грехова М.В., Горбатенко В.В.	213	НЕОБЫЧНАЯ МЕХАНИКА КРИСТАЛЛА ХЛОРАТА НАТРИЯ Соболева Э. Г.	240
РАЗРАБОТКА ОСНОВ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ВСТРОЕННОГО КОНТРОЛЯ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ АГРЕГАТОВ ПЛАНЕРА М. А. Полтаранин	216	ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 19ХГНМА Соловьева Ю.Б., Клименко А.В.	242
ВЫСОКОНАДЕЖНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ КОМПОЗИТНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ, ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ М.В. Пономарева, А.К. Казак,	217	МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА МЕДНОЙ, НИКЕЛЕВОЙ, МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ И ХРОМ-НИКЕЛЕВОЙ ОСНОВАХ ВВЕДЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ ЧАСТИЦ ДИБОРИДА ТИТАНА Степанова И.В., Корчагин М.А., Бондарь М.П.	245
МЕХАНИЗМ ДЕСТАБИЛИЗАЦИИ МЕТАЛЛА В ВЕРШИНЕ УСТАЛОСТНОЙ ТРЕЩИНЫ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ Полкова Ю.Ф., Елсукова Т.Ф.	220	МЕХАНИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ЦЕМЕНТА И ПОЛУЧЕНИЕ НА ЕГО ОСНОВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ Сударев Е.А.	247
СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ФОТОИНДУЦИРОВАННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА, НАВЕДЕННЫЕ В КРИСТАЛЛЕ Bi ₁₂ TiO ₂₀ :Al ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 660 НМ Попугаева В.В., Акрестина А.С.	222	КРЕМНИЙСОДЕРЖАЩЕЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНОЕ ПОКРЫТИЕ, СФОРМИРОВАННОЕ МЕТОДОМ ВЧ- МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ М.А. Сурменева, Р.А. Сурменев	249
ИЗУЧЕНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ХРУПКИХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ПОДВИЖНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ Роман Н.В.	224	ПОЛУЧЕНИЕ ГЛАЗУРЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТРАБОТАННОГО СВД – КАТАЛИЗАТОРА И НЕФЕЛИНОВОГО ШЛАМА Тодовянская О.В., Недопекина Е.В.,	251
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СВАРКИ ВЗРЫВОМ Руктуев А.А., Батаев И.А.	227	НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРЕГРАДЫ ПРИ ЕЕ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ Туч Е.В., Кривошеина М.Н.	253
ОСОБЕННОСТЬ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ИНОКУЛЯТОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ Савенко Т.И., Шелудько Н.В.	229	ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ20 С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОДИСПЕРСНЫХ ИНОКУЛЯТОРОВ Шелудько Н.В., Головин Е.Д., Павлюкова Д.В.	255

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ВІВЕVOX Хисаметдинова В.В., Тарасова О.А., Морозова М.В.	257	ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СТАРЕНИЯ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КАБЕЛЬНЫХ ПВХ ПЛАСТИКАТОВ Шатова Е.В., Иванова Н.А., Анисимова О.А.	271
ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГРАФИТА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ СПЕЧЁННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ Х13М2 Цовмина Н.В., Алеутдинова М.И., Фадин В.В.	259	СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ ЭК-181 ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ Шевяко Н.А.	273
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МИКРОСТРУКТУРЫ ТИТАНА ВТ1-0, ПОДВЕРГНУТОГО КОМБИНИРОВАННОМУ МЕТОДУ АВС-ПРЕССОВАНИЯ И МНОГОХОДОВОЙ ПРОКАТКИ Чабанец А.А.	262	ВЛИЯНИЕ ЛИГАТУР НА СВОЙСТВА СЕРОГО ЧУГУНА СЧ 15 Шелудько Н.В., Голиков А.Ю.	276
ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ СВС- ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ НИТРИДА ЦИРКОНИЯ МЕТОДОМ СЖИГАНИЯ В ВОЗДУХЕ СМЕСЕЙ СОСТАВА «Zr-ZrO ₂ » Чаплина Е.В., Строкова Ю.И., Громов А.А.	264	ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МАГНЕТРОННОГО ОСАЖДЕНИЯ НА СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОХРОМНЫХ СЛОЕВ WОЗ Шпакова Н.Ю., Соловьев А.А.	278
ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО МЕДНОГО ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ Чумаевский А.В., Пугачева И.В.	267	ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И ВИДА МОДИФИКАТОРА НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПЛАСТМАСС Юркова С.А., Муленков А.Н., Кондратюк А.А.	280
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАРГАНЦОВИСТЫХ СТАЛЕЙ Шакиров С.А. Безбородов В. П.	269	ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ИОННЫМ АЗОТИРОВАНИЕМ Яковлев А. В.	283

СЕКЦИЯ 7. ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА 3D STUDIO МАХ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ Алина Т.А., Рыбалка С.А.	289	ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ АСУ ТП ОБЪЕКТОВ СБОРА И ПОДГОТОВКИ НЕФТИ Ганджа Т.В., Гиркин Н.А.	300
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ Арефьева Е.А.	291	ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ОБРАЗОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ Н. С. Дикий	303
ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ Березняк О.В., Шалаев Ю.Н.	293	РАСЧЕТ ТРУДОЕМКОСТИ СОЗДАНИЯ ПО Дыкина К.А.	305
ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ И РАЗЛИЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ЕЕ РЕШЕНИЮ Буй Т. Т. Ч., Спицын В.Г.	296	АЛГОРИТМ ПОДБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ Егоров Л.Л. Мелихов С.Е.	307
ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА МАТЛАВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ Бурцев К.Ю., Веремеенко Е.С.	298	МЕТОД ПЕРЕСТАНОВОК В ПОСТРОЕНИИ СТЕГОСИСТЕМ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ Елтышева Е.Ю.	309

СЛУЧАЙНЫЙ ПОИСК КАК МЕТОД РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ. ОБЗОР МЕТОДОВ Живаева В.И., Рейзлин В.И.	311	АНАЛИЗ ВЫСОКОУРОВНЕВЫХ ЯЗЫКОВ ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИЯ Кожина Е.Д., Агеева А.С.	337
РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО КОМАНДНОГО ИНТЕРПРЕТАТОРА ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОГО РЕДАКТИРОВАНИЯ ОНТОЛОГИЙ Заикин И. А.	314	АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ SIEMENS-РЕАКТОРОМ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ К.А. Козин, А.Г. Горюнов	339
СОРТИРОВКА МАССИВОВ С МАЛЫМ ЧИСЛОМ ЭЛЕМЕНТОВ НА АССЕМБЛЕРЕ ДЛЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ 51 СЕРИИ Зайцев Е.С.	316	ОСОБЕННОСТИ ПОИСКА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПОСТРОЕНИИ ПРОГНОЗНЫХ КАРТ Ковин Р.В., Копнов М.В.	342
ТЕХНОЛОГИЯ ОБМЕНА ДАННЫМИ МЕЖДУ ГИС И САПР CADGIS INTEGRATOR Зайцева М.А., Лысак А.П.	318	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЭМИССИИ УГЛЕКИСЛО-ГО ГАЗА С ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ Корнев Е.В., Дюкарев Е.А., Ботыгин И.А.	344
ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ РАБОТЕ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ МЕТОДА ВЫБОРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЭЦН Заусалин Е.С., Каранкевич А.Г.	321	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ДЛЯ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ И КАСКАДОВ РАДИОПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ Красильников Ф.Ф., Малышев Р.А.	346
ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ИСКУССТВЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Зверев П. С.	323	СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ РЕАКЦИОННОЙ ЗОНЫ АКТ Криницын Н.С., Байдали С.А.	348
АСИМПТОТИЧЕСКИ РОБАСТНЫЙ ИНВАРИАНТНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ CDMA СИСТЕМ Богданович В. А., Исая Али М. Х.	325	РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМОЙ ГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА В MathCAD Кухарева Д. А., Кузьмин В.А.	351
ПЛАТФОРМА INDESYS FRAMEWORK ДЛЯ СОЗДАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПРОГРАММ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЧ УСТРОЙСТВ Каратаев Е.В., Песков М.А.	328	СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО СОСРЕДОТОЧЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДЛИННЫМ ТРУБОПРОВОДАМ С УЧЕТОМ КОМПРЕССОРА Лазарева П.А.	353
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА Каргин А.А., Соседов Е.А., Ефремов Е.В.	330	О РАСКРЫВАЕМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВКОЙ НЕФТИ И ГАЗА Лазарева П.А.	355
К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ПОМЕЩЕНИЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ ДОМ» Клёпова И.Г., Яновский Т.А.	332	ОЦЕНКА СОХРАНЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ГРАФОВ Лукиянов А.С., к.т.н., Бабкин С.А.	358
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ «УМНЫЙ ДОМ» В РОССИИ Клёпова И.Г., Яновский Т.А.	335		

БЫСТРОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ СУММЫ CRC32 Мальчуков А.Н., Осокин А.Н.	360	ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА УРОВНЕ РЕГИОНА И ПРЕДПРИЯТИЯ Сарапулова Т.В.	383
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БИБЛИОТЕКИ ЮТИ ТПУ Е.В. Маркелова	362	АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫМ УЧАСТКОМ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА Северин М. Ю.	385
«БАЗА ДАННЫХ»: О РАЗЛИЧИЯХ В ОПРЕДЕЛЕНИИ Мирошниченко Е.А.	364	АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ КОДИФИКАТОРА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ Семёнов Д.Е., Муратова М.А.	387
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКЦИОННЫХ КАСКАДОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ Михалевич С.С., Рогозный Д.Г., Самусенко Ш.П.	367	ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ КАК СРЕДСТВО ИНТЕГРАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ Соковых О.В., Самохвалов И.В.	389
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИНТЕРЕСОВ СУБЪЕКТОВ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ Морозов Н.С., Сарапулова Т.В.	369	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЙ КОНСЕНСУСА ДЛЯ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ Тараканов Е.В.	392
КОМПЕНСАЦИЯ ВЕСА ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА ПОСРЕДСТВОМ ВВЕДЕНИЯ В СТРУКТУРУ ГИДРОПРИВОДОВ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Назаров Е.В., Сапунов Е.А., Савельев А.В.	371	СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМЫ «РОБОФУТБОЛ» Ушаков А. С.	394
ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА СЕТЕЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ Нигманов Р.Р.	373	РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫПИСКИ НАПРАВЛЕНИЙ ПАЦИЕНТАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ WEB-СЕРВИСОВ, СТАНДАРТА HL7 ПРИ ПОДДЕРЖКЕ MICROSOFT BIZTALK СЕРВЕРА Фам Ван Тап	396
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ Плотников О.О.	376	МЕТОДЫ УДАЛЕНИЯ ШУМОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ Фан. Н.Х., Спицын В.Г.	399
ОПТИМИЗАЦИЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ КОМПОНОВКИ В САПР P-CAD Радченко Е. Ю., Иванов И. В.	378	ЛОКАЛИЗАЦИЯ КОНТРАСТНЫХ УЧАСТКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ АЛГОРИТМА ВОСХОДЯЩЕГО ВНИМАНИЯ Е.Н. Худоба	401
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ОШИБОК ВЫРАБОТКИ КООРДИНАТ ЦЕЛЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ Савченко Д. И.	380	ГЕНЕРАЦИЯ СТРАТЕГИИ КОМПОНОВКИ И ТРАССИРОВКИ ДЛЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЕМКОСТЕЙ Чебуренко Д.С., Иванов И.В.	403
		ВАРИАЦИОННЫЙ МЕТОД РАЗМЫТЫХ ЧАСТИЦ Черепанов Р.О.	405

ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИОВАНИЯ		ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ГРАФАХ ДОРОЖНЫХ СЕТЕЙ С ЗАПРЕТАМИ ПОВОРОТОВ	
Чуонг Дук Чунг, Скороспешкин В.Н.	407	Шестаков Н.А.	412
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАФИКА ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ		СИСТЕМНАЯ ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ЯХТОЙ	
Шабельникова А.Ю., Васильев Д.А.	410	Ярощук В.В., Акмайкин Д.А.	414

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

**СБОРНИК ТРУДОВ
XVI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

В трех томах

Том 2

Компьютерная верстка *В.П. Аршинова*

Дизайн обложки *А.М. Петелин*

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 01.06.2010. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. 24.72. Уч.-изд. л. 22.36.
Заказ 000-10. Тираж 150 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru