МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ XX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

14–18 апреля 2014 г.

В трех томах

Том 2

Томск 2014

УДК 62.001.001.5(063)
ББК 30.1л.0
С56

Современные техника и технологии: сборник докладов XX Международной юбилейной научно-практической конференции студентов, аспи-
С56 рантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 2 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 333 с.

Сборник содержит научные статьи студентов, аспирантов и молодых ученых – участников ежегодной Международной конференции «Современные техника и технологии», разделенные по научным направлениям: электроэнергетика; приборостроение; технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств; электромеханика; системы и приборы медицинского назначения.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, преподавателей, исследователей в сфере энергетики, электромеханики, приборостроения, машиностроения, медицинской техники.

Сборник докладов XX Международной юбилейной научно-практической конференции «Современные техника и технологии» издан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 14-08-06810, направление «мол _г_1».

УДК 62.001.001.5 (063)
ББК 30.1л.0

Редакционная коллегия сборника:

Сидорова О.В., эксперт ЦНК УМАД НУ
Зенин Б.С., к.ф-м.н., доцент каф. ММС ИФВТ ТПУ, председатель секции № 6
Рудницкий В.А., к.т.н., доцент каф. ИКСУ ИК ТПУ, сопредседатель секции № 7

Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание представленной научной информации ответственность несут авторы докладов.

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 2014
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2014

СЕКЦИЯ 6

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

SECTION 6

MATERIAL SCIENCE

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЕФЕКТНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ В МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

Аккузин С.А.[1]
Научный руководитель: Литовченко И.Ю.[1,2], к.ф-м.н., доцент
[1] Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36
[2] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: akkuzin.spti@mail.ru

Известно [1], что материалы в субмикрокристаллических (СМК) и нанокристаллических (НК) структурных состояниях, получаемых методами интенсивной пластической деформации, обладают высокими прочностными свойствами. Одним из способов формирования указанных состояний в метастабильных аустенитных сталях является использование прямых ($\gamma \rightarrow \alpha$) мартенситных превращений при охлаждении, и обратных ($\alpha \rightarrow \gamma$) превращений при нагреве [2].

В настоящей работе представлены результаты исследований особенностей СМК и НК структурных состояний в метастабильной аустенитной стали Fe-18Cr-8Ni-Ti (Fe-18.02%Cr-9.77%Ni-1.4%Mn-0.59%Ti), сформированных в результате прямых ($\gamma \rightarrow \alpha'$) превращений в процессе низкотемпературной деформации и последующих обратных ($\alpha' \rightarrow \gamma$) превращений в процессе «теплой» деформации.

Исходное состояние получено закалкой (T = 1100 °C, 1 час) из аустенитного состояния. При этом в стали формируется ~ 100 % аустенита. Средний размер зерна в исходном состоянии ~ 40 мкм. Дефектная структура характеризуется множественными дефектами упаковки и ячеистой дислокационной структурой.

Исходный размер образцов составлял ~ 20x10x10 мм. Низкотемпературную деформацию стали осуществляли прокаткой в несколько проходов ($\varepsilon \approx 10\%$). Перед помещением в прокатный стан образцы выдерживали при температуре жидкого азота (T = - 196 °C) до прекращения «кипения» образцов. Между проходами образцы выдерживались в жидком азоте. После заключительной низкотемпературной деформации образцы отогревались до комнатной температуры.

Последующая «теплая» деформация ($\varepsilon \approx 30\%$) проводилась при температурах T = 600 °C и T = 700 °C. По достижению в печи указанных температур образцы выдерживались в течении 10 минут для выравнивания температуры по сечению образцов и сразу помещались на прокатный стан. После выхода из прокатного стана образцы закаливали в воду комнатной температуры.

Дефектную структуру аустенитной стали на различных этапах деформации изучали методами просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе Philips CM-12 (120кВ). Тонкие фольги для просвечивающей электронной микроскопии готовили из сечений, перпендикулярных плоскости прокатки методом электролитической полировки на плоских электродах в электролите H_3PO_4.+ CrO_3 при напряжении 12В.

Изменение фазового состава в процессе деформации исследовали методами рентгеноструктурного анализа (РСА) на дифрактометре Shimadzu XRD-6000, с использованием Cu K_α-излучения. Расчет объемной доли фаз проводили в программе POWDER CELL 2.4 с учетом текстуры фаз. Изменение содержания магнитной α'- фазы определяли методом измерения удельной намагниченности в зависимости от напряженности магнитного поля на установке «Магнитометр Н-04». Микротвердость измеряли на приставке к оптическому микроскопу Neophot-21.

По данным РСА и магнитных измерений объемное содержание α' – мартенсита составляет ~ 70-75%, а ε – мартенсита ~ 5%. Электронно-микроскопические исследования показали, что пластическая деформация вблизи температуры жидкого азота приводит к формированию α' и ε мартенситных фаз (рис. 1).

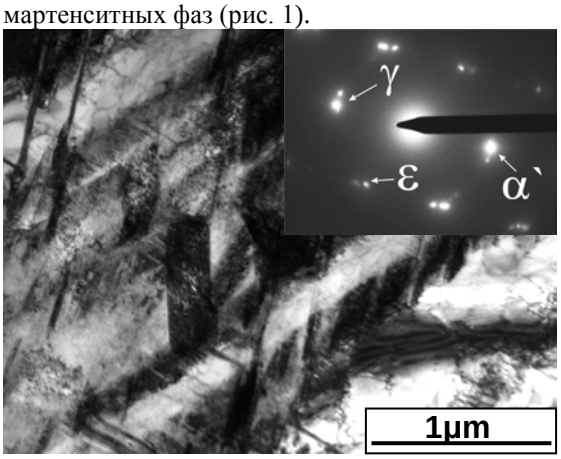


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения стали после низкотемпературной пластической деформации: светлопольное изображение и соответствующая дифракционная картина.

При этом дефектная структура стали представлена тонкими микродвойниками аустенита, пакетами α'– мартенсита и отдельными пластинами ε– мартенсита (рис. 1).

Последующая «теплая» деформация при температурах T = 600 °C и T = 700 °C приводит к обратному (α′ → γ) мартенситному превращению. Результаты РСА и магнитных измерений показали, что объемное содержание α' – мартенсита при этом составляет ~ 5-14%.

После деформации при 600 °C дефектная структура представлена преимущественно аустенитными ламелями с размерами СМК масштаба (рис. 2 *а*). Между ламелями аустенита наблюдаются малоугловые и высокоугловые разориентировки, среди которых есть близкие к θ = 60-70° <110>. Также в структуре встречаются отдельные ламели α' – мартенсита.

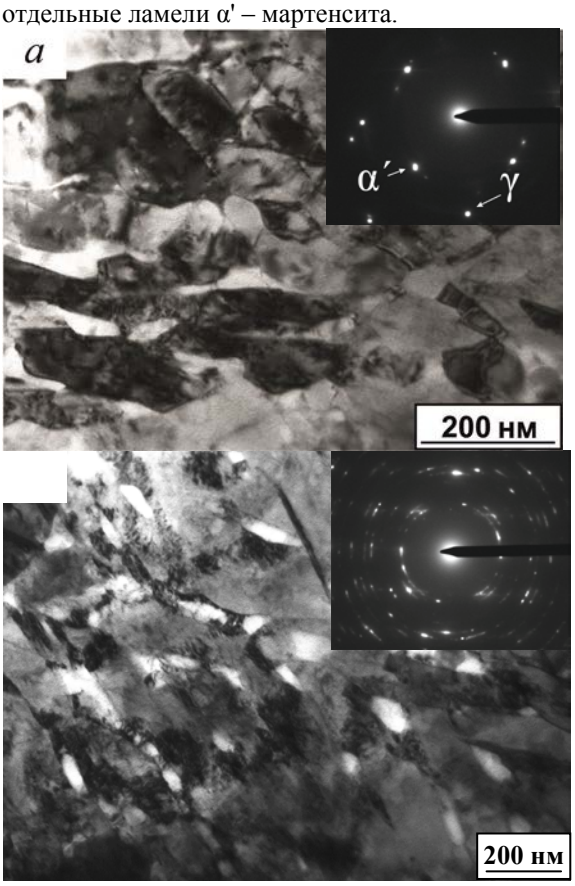


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения стали после низкотемпературной прокатки и «теплой» прокатки: *а* – при T = 600 °C, *б* - при T = 700 °C. Светлопольные изображения и соответствующие дифракционные картины.

Деформация при T = 700 °C приводит к увеличению размеров областей с аустенитной структурой и уменьшению объемного содержания α' – мартенсита (по сравнению с прокаткой при T = 600 °C). Особенностью структуры является высокая плотность микродвойников и высокоугловых θ ~ (60–70)° <110> разориентировок в аустените. Также обнаружены зерна аустенита, содержащие высокую плотность дислокаций, и практически бездефектные зерна, сформированные в процессах динамического возврата и динамической рекристаллизации.

В исходном состоянии аустенит имеет значения микротвердости H = 1,7-2 ГПа. После пластической деформации вблизи температуры жидкого азота значение микротвердости стали увеличивается до H = 4,63 ГПа, но при этом объемное содержание мартенситных фаз составляет ~ 80%. Субмикрокристаллический аустенит полученный в результате прямых (γ → α') и обратных (α' → γ) мартенситных превращений имеет значения микротвердости H = 4,79 ГПа (T = 600 °C) и H = 4,34 ГПа (T = 700 °C). Следовательно, в метастабильной аустенитной стали Fe-18Cr-8Ni-Ti после низкотемпературной и последующей высокотемпературной деформации получен СМК аустенит, твердость которого более чем в 2 раза превосходит твердость в исходном состоянии и сравнима с твердостью мартенсита.

Таким образом, используя низкотемпературную деформацию прокаткой и последующую «теплую» деформацию в метастабильной аустенитной стали были сформированы СМК структурные состояния, в которых объемное содержание аустенита составляет ~ 86-95%. Показано, что СМК структурные состояния в аустените формируются в процессе прямых (γ → α′) и обратных (α′ → γ) мартенситных превращений. При этом в аустените наблюдается ламельная структура, подобная структуре пакетного α′ - мартенсита с малоугловыми и высокоугловыми разориентировками. В части СМК зерен аустенита наблюдаются динамический возврат и динамическая рекристаллизация.

Предполагается, что обратное α′ → γ превращение реализуется преимущественно бездиффузионным (мартенситным) путем, что приводит к увеличению ориентации аустенита (относительно ориентации исходного зерна) и формированию ламельной СМК структуры.

Литература

1 Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Валиев Р.З., Александров И.В. // М.: Логос. – 2000. – 272с.

2 Упрочнение и свойства аустенитных сталей / Сагарадзе В.В., Уваров А.И. // Екатеринбург: РИО УрО РАН. – 2013. – 720 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ

Бабина (Порядина) А.Н.
Научный руководитель: Апасов А.М., к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический
университет»,652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26
E-mail: mchmyti@rambler.ru.

Введение

Ушедший XX век, особенно его вторая половина, вошел в историю как период массового использования ранее неизвестных человечеству функциональных материалов, таких, как полупроводники, диэлектрики, сверхпроводники, опто-, пьезо-, нано-, фемто- и другие материалы.

Вместе с тем, объективным является и то обстоятельство, что главными конструкционными материалами XXI века, все-таки, останутся сталь и некоторые цветные металлы. Именно этим объясняется их исключительно важная роль в создании материальной базы всего человечества.

Для повышения надежности и долговечности машин и сооружений, работающих в экстремальных условиях, необходимо опережающее развитие фундаментальной металлургической науки [1]. Это позволит получать металлы и сплавы особо высокого качества с максимальной степенью физической (полное отсутствие дефектов различного структурного уровня), химической (более равномерное распределение примесей по всему объему слитка или дендрита при их минимальной концентрации) и структурной однородности. Тем не менее, отказ в работе или разрушение практически неизбежно завершают функционирование любого изделия и могут привести к необратимым гуманитарным и экологическим последствиям не только в пределах одного региона, государства, но и более того, в планетарном масштабе [2].

Поэтому, составной частью данной проблемы является достижение очень высокой степени чистоты металлов. Это обусловлено тем, что: во-первых, резервы улучшения свойств металла путем оптимального легирования и термообработки к настоящему времени почти исчерпаны; во-вторых, установлено, что некоторые химические элементы могут отрицательно влиять на служебные свойства металлов. Эти элементы получили название вредных примесей [1].

Анализ методов получения металлов и сплавов особо высокого качества

Известно, что по способу производства или по качеству классифицируют стали, которые определяются условиями металлургического производства и контролируются, прежде всего, по содержанию в них вредных примесей [3]. В частности:

1. Стали *обыкновенного качества* имеют повышенное содержание вредных примесей: а) серы – до (0,05÷0,06)%; б) фосфора – до (0,04÷0,07)%.

Кроме того, они содержат повышенное количество неметаллических включений.

2. Содержание серы и фосфора в *качественных сталях* менее 0,035%.

3. В *высококачественных сталях* содержание серы и фосфора менее 0,025%.

4. Расширению масштабов производства специальных сталей и сплавов *особого качества* способствовало появление процесса вакуумного дугового переплава (ВДП), создание способа электрошлакового переплава (ЭШП) расходуемых электродов, методов электронно-лучевого переплава (ЭЛП) и плазменно-дугового переплава (ПДП) металла в охлаждаемых кристаллизаторах, вакуумной индукционной плавки (ВИП) [1].

Концентрация серы и фосфора в сталях и сплавах особого качества менее 0,015%.

5. Понятие *высокочистых металлов* постоянно изменялось во времени [1, 4, 5]. В настоящее время в наиболее чистых металлах содержание отдельных примесей лежит на уровне 10^{-6}–10^{-8} % при суммарном содержании примесей, равном 10^{-3}–10^{-4} %. В конденсированном состоянии в каждом кубическом сантиметре еще содержится 10^{11}–10^{12} посторонних атомов. Удаление примесей может привести к открытию новых, ранее неизвестных свойств.

Оказалось, что ядерные и электрофизические свойства металлов более чувствительны к их чистоте и сильно зависят от природы примесей, называемых *лимитируемыми*. Тогда же получил распространение термин **«элементы особой чистоты»**. Так стали называть металлы, подвергнутые очистке до такого содержания лимитируемых примесей, когда начинали проявляться свойства, неизвестные до сих пор.

Проблема веществ особой чистоты, таким образом, становится проблемой **материаловедения**, от прогресса которого зависит само существование и развитие отрасли-потребителя.

До настоящего времени не существовало единой международной классификации химических веществ по степени их чистоты. В частности, содержание примесей или основного компонента в веществе выражается в массовых (масс. %), атомных (ат. %) процентах или в мольных долях. Иногда концентрацию примесей

выражают в частях на миллион (ppm) – [ppm – *parts per million*; 1ppm = 0,0001 % (масс.)] [1], в частях на миллиард (ppb) – [ppb – *parts per billion*; 1ppb = 0,000 0001 % (масс.)]. При такой маркировке часто не указывается, какие части (атомы или их масса) имеются в виду.

С другой стороны, все чистые металлы делятся на три класса: А, В, С. Вещества с содержанием суммы примесей 10^{-1}–10^{-2} % составляют класс А и обозначаются А1-А2. Вещества с содержанием примесей 10^{-3}–10^{-6} % составляют класс В и обозначаются В3-В6. И наконец, металлы с содержанием примесей 10^{-7}–10^{-10} % составляют класс С и обозначаются С7-С10.

В металлургии содержание основного компонента принимается равным разности $100 - \sum_i c_i$ %, где $\sum_i c_i$ % – суммарное процентное содержание определяемых примесей. Если общее содержание в металле примесей составляет ~10^{-2} %, то этот металл имеет чистоту 99,99 %, или не выше четырех девяток.

Характерной особенностью применяемых в настоящее время методов глубокой очистки является то, что все они основаны на использовании различий, обусловленных главным образом строением электронных оболочек атомов или молекул разделяемых металлов.

В общем случае все методы очистки металлов можно разделить на химические и физико-химические.

Физико-химические методы включают в себя электрохимические, дистилляционные, кристаллизационные и др.

Вакуумная дистилляция занимает особое место среди методов рафинирования в промышленности.

Процессы испарения и конденсации паровой фазы в вакууме на тарелях конденсатора позволяют осуществлять процесс синтеза буквально из отдельных атомов и получать новые материалы с заранее заданной структурой и свойствами [6, 7]. Высшие технологии подобного класса точности называют **нанотехнологиями.**

Накопленные к настоящему времени результаты лабораторных исследований и промышленного применения сверхчистых металлов, осаждаемых из паровой фазы в вакууме, позволяют выделить несколько наиболее перспективных направлений [8].

1. Получение фольги, листа, труб и изделий более сложной формы из труднообрабатываемых материалов (например, бериллия).

2. Осаждение массивных заготовок (более 100 кг) известных высокопрочных материалов.

Выводы

Установлено, что для получения особо чистых металлов нанокристаллического уровня необходимо:

1. Рафинируемый металл из расплавленного состояния полностью перевести в паровую фазу.

2. Последовательно и избирательно в зависимости от температуры кристаллизации конденсировать остатки компонентов вредных примесей, лигатур из паровой фазы с окончательным выделением рафинируемого металла на поверхности тарелей конденсатора.

Список литературы

1. Апасов А.М.Специальная электрометаллургия: учебник / А.М. Апасов; Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 286 с.

2. Апасов А.М. Активная диагностика разрушения и предотвращение техногенных катастроф: монография / А.М. Апасов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 216 с.

3. Апасов А.М., Галевский Г.В. Методы исследования, испытания, анализа и контроля в металлургии и материаловедении: учебное пособие / А.М. Апасов, Г.В. Галевский – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 488 с.

4. Девятых Ю.Е. Еллиев. Введение в теорию глубокой очистки веществ. – Москва: Наука, 1981. – 320 с.

5. Ажажа В.М., Ковтун Г.П., Неклюдов И.М. Комплексный подход к получению высокочистых материалов для микроэлектроники. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2002. № 6. – С. 3-6.

6. Бабина А.Н. К вопросу получения сверхчистых металлов нанокристалического уровня // Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием: инновации в материаловедении. – Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, г. Москва, 3-5 июня 2013 г. – С. 26.

7. Порядина А.Н., Апасов А.М. К вопросу о получении особо чистых металлов нанокристаллического уровня // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т.320. – №2. – С.114-119.

8. Мовчан Б.А. Получение новых неорганических материалов путем конденсации паров фазы в вакууме // Вест. АН СССР. – 1985. – № 7. – С. 21–29

ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА КАРБИДОМ ФОЛЬФРАМА С МОДИФИЦИРОВАНИЕМ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ

Балушкина М.А., Макаров С.А. *, Тетюцкая М.В. *
Научный руководитель: Полетика И.М., д.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), г. Томск, Россия
E-mail: baly-5228@yandex.ru

Для увеличения срока службы машин и механизмов, которые претерпевают абразивный износ под воздействием внешней среды, можно использовать метод электронно-лучевой наплавки на ускорителе электронов, разработанный ИЯФ СО РАН совместно с ИФПМ СО РАН [1-3]. Этот метод характеризуется высоким качеством получаемых покрытий и простотой введения легирующих элементов. Наплавляли порошок карбида вольфрама WC на низкоуглеродистую сталь Ст3. Слой порошка наносили на поверхность образца перед обработкой. Энергия электронов U составляла 1,4 МэВ. На первом этапе исследований ток пучка I менялся в пределах 27 - 51 mA, скорость обработки V принимала значения 2,5; 1,6; 1,0 см/с. Во второй серии опытов при той же энергии электронов с целью увеличения износостойкости для наплавки использовали смесь порошков WC+Ni+TiC при их относительном содержании 6:3:1. Ток пучка I равнялся 40 mA, а скорость обработки V - 2,0; 1,8; 1,65; 1,55; 1,45; см/с. Для защиты от влияния окружающей среды в наплавочные смеси в обоих случаях вводили флюс MgF_2. Структуру покрытий исследовали на металлографическом микроскопе “Neophot”, фазовый состав покрытий определяли методом рентгеноструктурного фазового анализа на дифрактометре ДРОН-2М. Измеряли распределение микротвердости по глубине слоя на приборе ПМТ-3 и находили ее среднее значение в покрытии $Hμ^{ср}$. Проводили испытания на абразивную износостойкость по ГОСТ 23.208-79.

После наплавки карбида вольфрама на поверхности образцов стали Ст3 образуются слои толщиной 1,5 - 3,0 мм. Распределение микротвердости в поперечных срезах носит характер локальных колебаний, что связано с гетерофазностью образующейся структуры. По данным рентгеноструктурного фазового анализа в структуре покрытий присутствует α- железо (мартенсит), незначительное количество γ - железа (аустенит), соединение Fe_3W_3C, некоторое количество карбидов WC, W_2C, $W_{23}C_6$.

В слое наплавки образуется целый спектр структур. При малых значениях удельной поверхностной энергии E структура слоя доэвтектическая, закаленная на мартенсит. С увеличением E мартенситная структура сменяется сначала мартенситно-бейнитной, а затем ферритно-мартенситной (рис. 1).

Структура слоя определяет и его износостойкость.

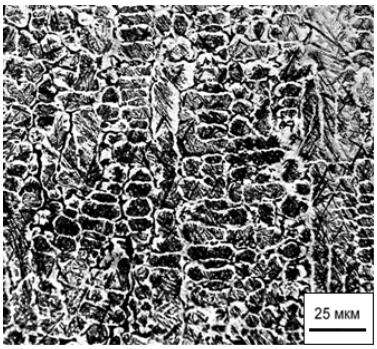


Рис. 1. Структура слоя при E=5,68 кДж/см^2.

Появление твердых, но хрупких мартенситной и бейнитной составляющих в структуре обуславливает низкие значения износостойкости (рис. 2, кривая 1).

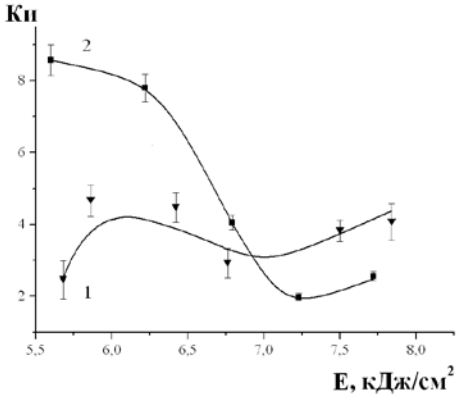


Рис.2. Зависимость износостойкости от плотности энергии излучения: 1 - наплавка WC; 2 - наплавка смесью WC+TiC+Ni.

При абразивном изнашивании твердые частицы абразива действуют на металл как множество режущих инструментов. Хрупкие структуры мартенсита и бейнита прорезаются абразивными частицами, возникают микротрещины. Кроме того, в хрупких мартенситной и бейнитной матрицах создаются благоприятные условия для выкрашивания карбидов.

С ростом плотности энергии излучения средние значения микротвердости в слое уменьшаются. Падение твердости по Виккерсу при увеличении E связано с изменением одновременно двух параметров – средней концентрации легирующих элементов в покрытии и скорости охлаждения расплавленного металла.

Во второй серии опытов средние значения уменьшаются с увеличением плотности энергии излучения Е. Износостойкость же, наоборот, существенно возрастает в интервале энергий (5,6 - 6,8 кДж/см^2) (рис. 2, кривая 2). В этом интервале энергий фиксируется значительное количество γ - железа, небольшое количество α - железа, карбид вольфрама Fe_3W_3C и карбид титана TiC. Причем, интенсивность линий γ - железа намного превышает интенсивность линий α -железа, что свидетельствует об образовании аустенитно-мартенситной структуры с большой объемной долей аустенитной фазы и малой объемной долей фазы мартенсита. Соединения никеля, как химически малоактивного элемента, не выявляются. Очевидно, весь никель находится в твердом растворе.

С увеличением плотности энергии Е интенсивности линий γ - железа и карбидов вольфрама и титана на рентгенограммах уменьшается, а интенсивности линий α - железа (мартенсита) увеличивается. Это свидетельствует об уменьшении объемной доли аустенитной фазы. Наблюдаемое явление связано с увеличением толщины наплавленного слоя и с уменьшением в нем средней концентрации легирующих элементов, в том числе, и никеля, который стабилизирует аустенит. Соответственно, при больших значениях Е износостойкость уменьшается (рис. 2, кривая 2).

Важной особенностью сформированных покрытий является то, что в них происходит сильное измельчение структуры. На микрофотографиях наплавленных слоев наблюдается существенное уменьшение размера зерна (рис. 3).

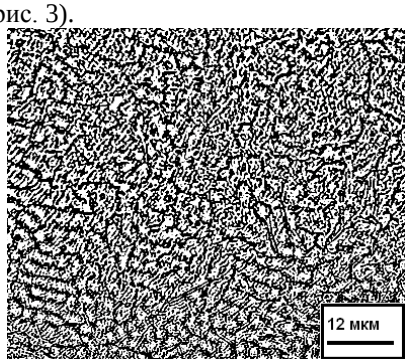


Рис. 3. Структура слоя, наплавленного смесью WC+TiC+Ni при Е=5,68 кДж/см^2.

В расплавленном слое выделяется множество новых центров кристаллизации в виде дисперсных частиц TiC. Высокодисперсные частицы TiC, обладающие высокой температурой плавления (3180°С), первыми выпадают из расплава и не только служат множественными центрами кристаллизации, но и препятствует росту аустенитного зерна, что обеспечивает формирование ультрадисперсной структуры (рис. 3). Кроме того, высокие скорости охлаждения при закалке в области существования твердой фазы способствуют образованию ультрадисперсного пакетного мартенсита. Все это приводит к существенному росту износостойкости.

При значениях плотности энергии излучения Е выше 6,8 кДж/см^2 дисперсность структуры как зеренной, так и мартенситной, уменьшается. Согласно данным рентгеноструктурного фазового анализа в слое сохраняется аустенитно-мартенситная структура. При этом интенсивность линий α – железа возрастает по сравнению с интенсивностью линий γ – железа, что свидетельствует об уменьшении объемной доли аустенита. Интенсивность линий карбидов вольфрама и титана на рентгенограммах заметно уменьшается.

Заключение

1. Электронно-лучевой вневакуумной наплавкой карбида вольфрама на низкоуглеродистую сталь получены слои толщиной 1,5 - 3 мм, обладающие повышенной твердостью, но низкой износостойкостью, что связано с образованием в их основе хрупких мартенситной и мартенситно-бейнитной структур при плотности энергии излучения < 7 кДж/см^2 и мартенситно-ферритной структуры, содержащей хрупкую мартенситную и легко изнашиваемую ферритную фазу, при Е > 7 кДж/см^2.

2. Введение в наплавочную смесь никеля и карбида титана при глубине наплавленного слоя, не превышающей 2,5 мм (Е< 7 кДж/см^2), приводит к существенному приросту износостойкости при незначительном уменьшении твердости. Наблюдаемый эффект связан со способностью никеля стабилизировать износостойкую фазу - аустенит, с избавлением от хрупких мартенситной и бейнитной фаз, аустенизацией наплавленного слоя и с выпадением множества дисперсных выделений TiC, приводящих к формированию однородной ультрадисперсной структуры.

Литература

1. Скринский А.Н., Мизин В.Г., Фоминский Л.П. и др. Высокопроизводительная наплавка и оплавление порошковых покрытий пучком релятивистских электронов // ДАН СССР. - 1985. - Т. 283. - № 4. - С. 865-869.

2. Полетика И.М., Голковский М.Г., Борисов М.Д., Салимов Р.А., Перовская М.В. Формирование упрочняющих покрытий методом наплавки в пучке релятивистских электронов // Физика и химия обработки материалов. - 2005. – № 5. - С. 29-41.

3. Полетика И.М., Голковский М.Г., Крылова Т.А., Перовская М.В. Структура и свойства хромсодержащих покрытий, полученных методом электронно-лучевой наплавки в атмосфере // МиТОМ. – 2009. - № 3. - С. 15-22.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 14-03-00410-а).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

А.А. Белоусова, Кузнецова В.В.
Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20
E-mail: Belousova_Anna_Aleksandrovna@mail.ru

Диборид циркония обладает комплексом уникальных физико-механических свойств: высокая температура плавления, высокая теплопроводность, высокая твердость, стойкость к абразивному износу и к агрессивным средам. В связи с этим он нашел применение в промышленности: чехлы и электроды высокотемпературных термопар для измерения температур расплавленных сталей, чугунов, цветных и редких металлов и сплавов. Нагреватели высокотемпературных печей сопротивления. Испарители и лодочки для вакуумной металлизации, тигли для прецизионной металлургии. Кроме того, из него изготовляют трубы для перекачки металлических расплавов [1].

Из всех существующих методов получения этого соединения (синтез из элементов, карботермический, карбидоборный) наиболее часто используется последний, протекающий по реакции [2]:

$2ZrO_2 + 3C + B_4C = 2ZrB_2 + 4CO$.

Источником углерода является ламповая сажа с удельной поверхностью 14-18 $м^2/г$. Используемый карбид бора (ГОСТ 5744) имеет дисперсность от 3 до 200 мкм и может содержать значительное количество примесей. Температура процесса 1900 ^oC, время синтеза 1 час [3].

Использование более дисперсных исходных реагентов позволит снизить параметры (температуру и время) этого процесса, а применение карбида бора с небольшим содержанием примесей получить наряду с этим более чистый диборид циркония. В связи с этим при исследовании данного процесса в качестве восстановителя использовался нановолокнистый углерод (НВУ).

В данной работе приведены результаты исследования процесса синтеза диборида циркония с использованием нановолокнистого углерода (НВУ) и анализ его характеристик.

Согласно диаграмме состояния системы цирконий-бор [4], диборид циркония практически не имеет области гомогенности, поэтому шихта для его синтеза была составлена по стехиометрии на приведенную выше реакцию.

В качестве углеродного материала применяли нановолокнистый углерод (НВУ), который получается при каталитическом разложении метана с использованием Ni-содержащих катализаторов при температуре 550°С. Размер гранул нановолокнистого углерода составляет 4-8мм.

Гранулы НВУ образованы плотно переплетенными волокнами диаметром 10-100 нм. Нановолокнистый углерод достаточно чист: содержащиеся в нем примеси представляют собой остатки исходного катализатора (90 % Ni/10 % Al_2O_3); их содержание не превышает 1 %.

Гранулы сравнительно легко растираются в порошок. Величина его удельной поверхности находится в пределах 140-160 $м^2/г$, т.е. значительно выше, чем у ламповой сажи [5, 6]. Используемый в экспериментах карбид бора был получен синтезом из элементов с использованием нановолокнистого углерода при температуре 1900°С [7]. Содержание примесей в нем находится на уровне 1,5 % масс., а средний размер частиц не превышает 1 мкм.

Расчетным путем, с использованием данных по изобарно-изотермическим потенциалам образования соединений определена температура начала восстановления вышеуказанной реакции (при давлении CO 0,1 МПа), с использованием справочных данных, приведенных в [1,8]. Температура начала восстановления составляет примерно 1660 К (1390 ºС). С учетом возможного протекания реакции через образование низших оксидов циркония ($ZrO_2 \rightarrow Zr_3O_5 \rightarrow Zr_2O_3 \rightarrow ZrO$) реальная температура процесса должна быть значительно выше и в то же время не превышать температуру плавления диборида циркония (3473 ^oC) [1], поскольку целью данной работы является получение этого соединения в порошкообразном состоянии.

Процесс синтеза проводился в индукционной печи тигельного типа в среде аргона при температуре 1800^{0}С в течение 30 и 60 мин. Защитная среда из инертного газа выбрана для предотвращения азотирования карбида бора при высоких температурах [1, 2]. Температура процесса была выбрана исходя из вышеуказанных соображений. Экспериментальная убыль массы составляла 33,8 %, 34,2 % масс. соответственно. Расчетная убыль массы в предположении полного протекания реакции боридообразования 33,1 % масс.

Определение содержания циркония проведено рентгеноспектральным флуоресцентным методом на анализаторе ARL -Advant'x с Rh - анодом рентгеновской трубки.

Продукты синтеза исследовались рентгенофазовым анализом (РФА) на дифрактометре ДРОН-3 с использованием Cu Kα

излучения (λ = 0,15406 нм).

Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ) S–3400N производства фирмы «Hitachi», оборудованным приставкой для энергодисперсионного анализа производства фирмы «Oxford Instruments». Микрофотографии поверхности образцов были получены в режиме низкого вакуума детектором обратно-рассеянных электронов.

Содержание циркония в образцах составило 81-82% (расчетное содержание 80,5%), это свидетельствует о высоком содержании диборида циркония в образцах.

Рентгенофазовым анализом установлено, что полученный материал в обоих экспериментах состоит из одной фазы – диборида циркония. Дифрактограмма образца приведена на рисунке 1.

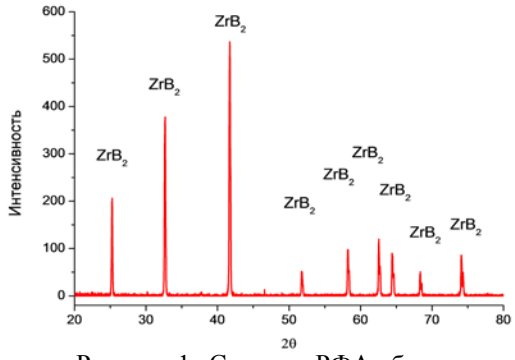


Рисунок 1- Спектры РФА образца

С привлечением метода сканирующей электронной микроскопии (рис.2) установлено, что материалы состоят из частиц длиной 3-5 мкм и диаметром 2 мкм.

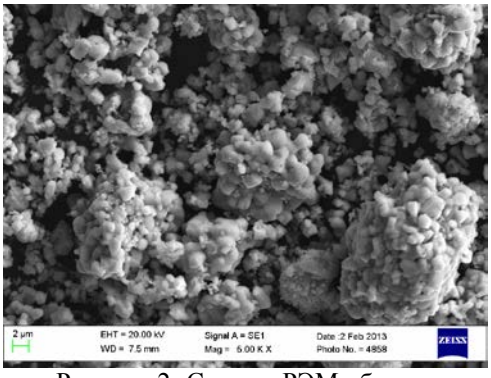


Рисунок 2- Снимок РЭМ образца

Полученный материал вследствие высокой чистоты и дисперсности может быть использован для изготовления керамики.

Список литературы

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений / под ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. 928 с.

2. Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Пешев П.Д. Высокотемпературные бориды. М.: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. 368 с.

3. Карасев А.И. Получение порошков технических боридов титана, циркония, хрома и вольфрама борокарбидным методом. Порошковая металлургия, 1973, № 10, с. 1-5.

4. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. М.: Металлургия, 1975, 560с.

5. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Yermakov D.Yu., Yermakova M.A., Salanov A.N., Rudina N.A. Mechanism of Porous Filamentous Carbon Granule Formation on Catalytic Hydrocarbon Decomposition. Carbon. – 1999. - 37. - P.1239-1246.

6. Соловьев Е.А. Получение водорода и нановолокнистого углерода селективным каталитическим пиролизом легких углеводородов. Автореферат дис.канд.тех.наук. –М. 2008.22 с.

7. Krutskii Yi.L., Bannov A.G., Sokolov V.V. a. o. Synthesis of Highly Dispersed Boron Carbide from Nanofibrous Carbon. Nanotechnologies in Russia, 2013, V. 8, N 3-4, p. 191-198.

8. Физико-химические свойства окислов. / Под ред. Самсонова Г.В. М.: Металлургия, 1978. 472с.

9.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКА СВМПЭ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Бондаренко Я.А.
Научный руководитель: Панин С.В., д.т.н., доцент
[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: bondarenkoyana@yandex.ru

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – это разновидность полиэтилена, в котором длина молекулярной цепи ($-C_2H_2-$) превышает один миллион углеродных единиц. Благодаря его уникальным свойствам – высокому сопротивлению изнашиванию и высокой ударной вязкости, СВМПЭ все чаще используется в промышленности в узлах трения деталей машин и механизмов, а также медицине. Изделия из СВМПЭ, помимо низкого коэффициента трения, химической стойкости и сохранении свойств при низких температурах должны обладать и высокой износостойкостью, что может быть достигнуто за счет его наполнения либо поверхностной модификации. Таким образом, поиск дальнейших путей повышения износостойкости СВМПЭ и композитов на его основе является актуальной научно-технической проблемой [1].

Распространенным способом повышения механических и триботехнических свойств полимеров является их облучение пучками заряженных частиц. Так при обработке полиэтилена электронным лучом возникает разрыв цепочки полимера, что может приводить к поперечной сшивке, и, как следствие, заметному увеличению его износостойкости.[2]

Таким образом, актуальной проблемой научных исследований является поиск путей создания композиционных материалов на основе СВМПЭ с повышенными триботехническими характеристиками, путем облучения порошка СВМПЭ импульсным электронным пучком.

Целью настоящей работы является исследование влияния импульсного электронно-лучевого облучения исходного порошка СВМПЭ, на изменение структуры, механических и триботехнических свойств композиционных материалов на основе СВМПЭ.

В работе для получения объемных материалов на основе СВМПЭ был использован метод спекания под давлением (компрессионное спекание).

Получаемые полуфабрикаты в виде листов, пластин, блоков, цилиндров могут далее подвергаться механической обработке в изделия практически любых форм и видов для самых различных областей применения. 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.

Метод спекания под давлением обеспечивает более высокие плотность и механические свойства спрессованного материала. [3]

Электронное облучение порошка производилось на импульсном электронно-лучевом стерилизаторе для термолобильных порошковых и сыпучих материалов (Институт сильноточной электроники).

Далее представлены экспериментальные результаты исследований износостойкости, механических свойств и структуры СВМПЭ, подвергнутого облучению электронным пучком.

Образцы СВМПЭ были подвергнуты облучению импульсным электронным пучком с энергией до 2.2 Мегаэлектровольт (МэВ), с частотой импульсов 50 Гц. Поглощенная доза излучения 12 кГр.

В качестве испытываемых образцов, мы использовали композиты на основе СВМПЭ: LLDPE,PP(полипропилен),HDPE-b-EVA,HDPE-b-SMA, HDPE-g-VTMS,PEX-b, сэвилен.

Все композиции составлены из соотношения – 90 %вес. СВМПЭ и 10 %вес. полимера добавки

Таблица 1. Свойства облученных образцов

	Плотность, г/см^3	Твердость по Шору D	Интенсивность абразивного износа, мм^3/м	Коэффициент трения при абразивном износе
Чистый СВМПЭ	0,934	59,07	0,169	0,385
10% PP-b-LLDPE +ЭО	0,942	55,59	0,123	0,306
10% PP +ЭО	0,943	56,12	0,146	0,275
10% HDPE-b-EVA +ЭО	0,943	53,93	0,108	0,275
10% HDPE-b-SMA +ЭО	0,949	56,52	0,217	0,336
10% HDPE-g-VTMS +ЭО	0,967	53,62	0,202	0,397
10% PEX-b +ЭО	0,974	54,48	0,152	0,367
10% Сэвилен +ЭО	0,937	53,87	0,221	0,393

Далее на рисунке 1 представлены изображения исходных и облученных образцов.

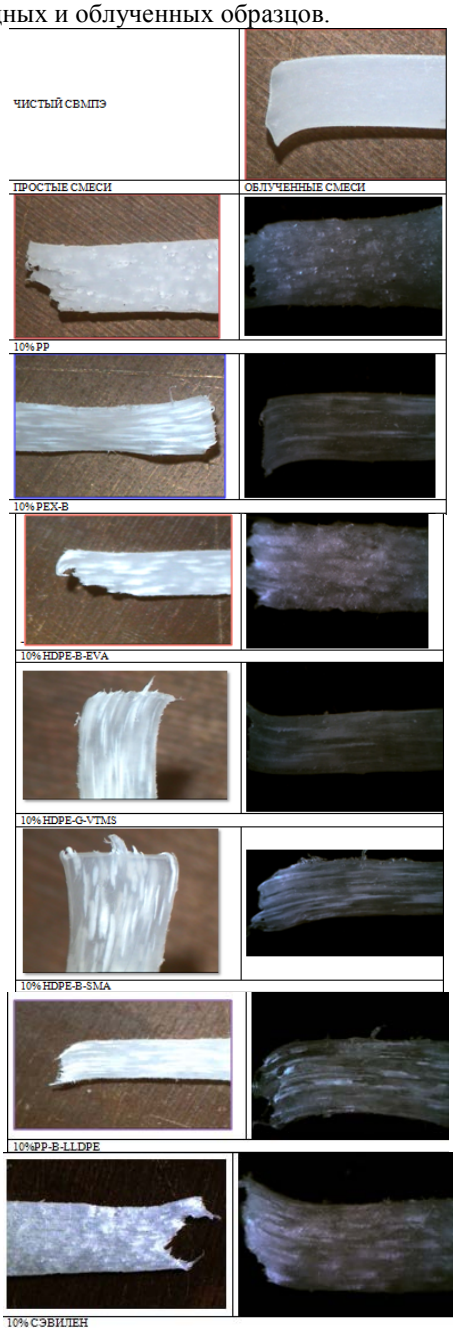


Рис.1. Образцы до и после облучения

На рисунке 2 представлена диаграмма, характеризующая интенсивности изнашивания на стадии установившегося износа. Видно, что все облученные образцы имеют более высокую интенсивность изнашивания, чем чистый СВМПЭ, для которого она составляет 0.17 мм^3/мин, в то время как у облученных образцов она меняется от 0.2 до 1,6 мм^3/мин. Таким образом, облученный материал изнашивался быстрее, чем исходный.

Предположительно, это происходит по причине того, что полимер приобрел ламеллярную структура, а также, в связи с его деструкцией.

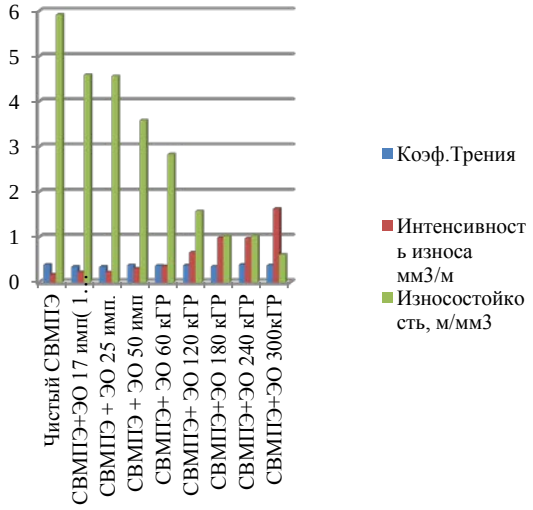


Рис.2. Интенсивность изнашивания СВМПЭ, облученного электронным пучком

На основе полученных экспериментальных данных и их анализа можно констатировать, что импульсное электронное облучение исходного порошка СВМПЭ небольшими дозами способно повышать механические характеристики, при этом облучение большими дозами значительно их снижает. Абразивная износостойкость снижается при всех режимах облучения. Твердость образцов меняется незначительно, и не может являться характерным признаком.

Для понимания причин наблюдаемых эффектов, необходимо дальнейшее исследование, в частности, структурные исследования – растровая электронная микроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия и ИК-спектроскопия.

Литература

1. M. Slouf, H. Synkova, J. Baldrian, A. Marek, J. Kovarova, P. Schmidt, H. Dorschner, M. Stephan and U. Gohs. Structural changes of UHMWPE after e-beam irradiation and thermal treatment. J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 85B (2008). P.240-251.

2. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-molecular-weight_polyethylene(5 September 2010)

3. С.В. Панин, Л.А. Корниенко, Т. Пувадин, Л.А. Мержиевский, С.В. Шилько, М.А. Полтаранин, Л.Р. Иванова, М.В. Коробейников, Е.А. Штарклев. Трение и изнашивание сверхвысокомолекулярного полиэтилена, модифированного высокоэнергетической обработкой поверхности электронным пучком. // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2011, №12. С.125-131.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ZR-NB

Булынко Д.Ю.
Научный руководитель: Грабовецкая Г.П., д.ф.-м.н., в.н.с. ИФПМ СО РАН
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: bulynko.dmitriy@gmail.com

Как известно, сплавы циркония имеют высокие биосовместимость и коррозионную стойкость. Однако, несмотря на это применение сплавов циркония в промышленности и медицине ограничено из-за их низкой прочности.

Известно, что эффективным способом повышения прочностных и эксплуатационных характеристик металлических поликристаллов является формирование в них ультрамелкозернистой структуры [1]. Наиболее распространенным методом получения ультрамелкозернистой структуры в металлах и сплавах является интенсивная пластическая деформация (ИПД), которая позволяет уменьшить элементы структуры в материале до наноразмеров. Однако прочностные характеристики ультрамелкозернистых сплавов существенно зависят не только от размеров элементов структуры, но от фазового состава. К настоящему время установлено [2], что ИПД может приводить к развитию в сплавах таких процессов как, фазовые превращения, распад вторых фаз и образование пересыщенных твердых растворов. В связи с этим является необходимым изучение влияния методов и режимов ИПД не только на дисперсность, но и на фазовый состав и, как следствие, на прочностные характеристики и деформационное поведение ультрамелкозернистой структуры.

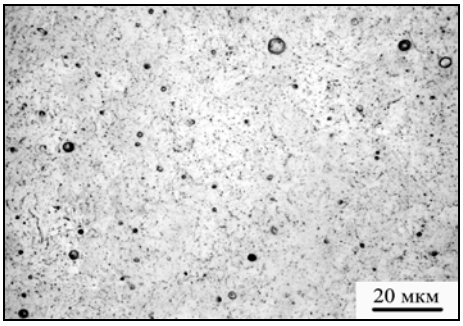


Рис. 1. Микроструктура сплава Zr-1Nb в исходном состоянии

Исследуемый циркониевый сплав Zr-1Nb (марка Э110) в исходном состоянии имеет поликристаллическую структуру с размером зерен 3-5 мкм (рис 1). В объеме и на границах зерен наблюдаются частицы вторичных фаз. Размеры этих частиц изменяются от нескольких десятков нанометров до нескольких микрон. Методами рентгеноструктурного анализа было установлено, что в сплаве кроме основной фазы Zr_α обнаруживается фаза Nb(Zr) (рефлексы 1 и 2 на рис. 2, *а*) и некоторое количество фазы Zr_β (рефлекс 3 на рис. 2, *а*).

Ультрамелкозернистая структура в исследуемом сплаве была получена методом прессования со сменой оси деформации, по двум разным режимам: прессованием с постепенным понижением температуры в интервале 973-573 К (режим 1) и прессованием при комнатной температуре с промежуточными отжигами в интервале температур 873–803 К, 1 час (режим 2). В обоих случаях прессование сплава было проведено за четыре цикла. Каждый цикл состоял из трех прессований. Деформация за одно прессование составляла 40-50 %.

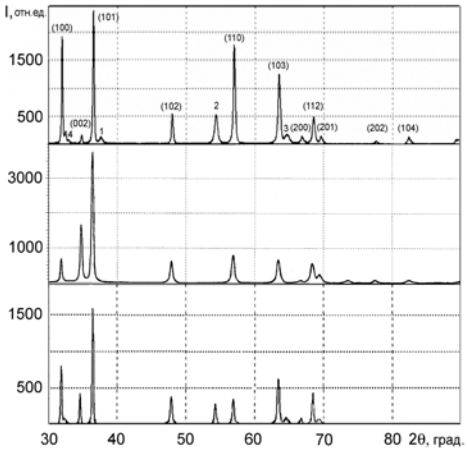


Рис. 2. Участки дифрактограмм сплава Zr-1Nb
а) – мелкозернистое состояние;
б) – ультрамелкозернистое состояние (режим 1);
в) – ультрамелкозернистое состояние (режим 2).

На рис. 3 представлено типичное электронно-микроскопическое изображение структуры сплава Zr-1Nb после прессования по режиму 1. На светлопольном изображении (рис. 3, *а*) сложный деформационный контраст не позволяет выявить особенности микроструктуры. На электронограммах такой структуры, снятой с площади 1,4 мкм^2, наблюдается значительное количество рефлексов, равномерно расположенных по окружности (рис. 3, *а*). Это свидетельствует о наличии в структуре большого числа элементов зеренно-субзеренной структуры в единице объема и существенной разориентации между ними. На темнопольном снимке (рис. 3, *б*) видны элементы зеренно-субзеренной структуры, средний размер элементов структуры составил 0,25±0,1 мкм. Рентгеноструктурные исследования показали, что после прессования по режиму 1 изменяется фазовый состав сплава Zr-1Nb (рис. 2, *б*). На дифрактограмме ультрамелкозернистой структуры не наблюдаются рефлексы, соответствующие фазам Nb(Zr) и Zr_β (рис. 2, *б*). Это свидетельствует о том, что в процессе прессования сплава по режиму 1 происходит либо растворение частиц вторичных фаз, либо их измельчение до наноразмеров.

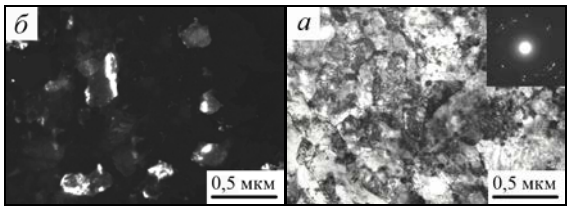


Рис. 3. Микроструктура ультрамелкозернистого сплава Zr-1Nb, полученного по режиму 1. а – светлое поле; б – темное поле

В результате обработки по режиму 2 в сплаве Zr-1Nb также формируется ультрамелкозернистая, однако неоднородная, зеренно-субзеренная структура. Средний размер элементов ультрамелкозернистой зеренно-субзеренной структуры после обработки сплава по режиму 2 составляет 0,45±0,18 мкм, что почти в два раза больше по сравнению с размерами элементов структуры, полученной по режиму 1. Характеристики электронограммы и темного поля ультрамелкозернистой структуры, полученной по режиму 2, свидетельствуют о том, что между ее элементами имеют место большие разориентировки (рис. 4, *а* и *б*). Методами рентгеноструктурного анализа было установлено, что в результате прессования по режиму 2 фазовый состав сплава Zr-1Nb практически не изменяется (рис. 2, *в*).

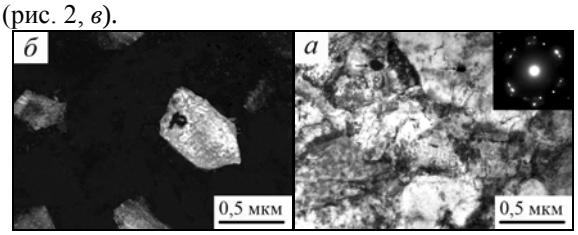


Рис. 4. Микроструктура ультрамелкозернистого сплава Zr-1Nb, полученного по режиму 2. а – светлое поле; б – темное поле

Типичные кривые деформации при растяжении сплава Zr-Nb в мелко- и ультрамелкозернистом состояниях при температуре 293 К представлены на рис. 5. Видно, что в общем случае на указанных кривых наблюдаются три стадии: упрочнения, установившейся деформации и падающего напряжения. Для кривых деформации сплава Zr-Nb в мелкозернистом состоянии характерна длительная стадия деформационного упрочнения (рис. 5, кривая *1*). За стадией упрочнения следуют стадии установившейся деформации и падающего напряжения.

На кривых деформации сплава Zr-1Nb в ультрамелкозернистом состоянии наблюдается короткая стадия деформационного упрочнения (рис. 5, кривые *2* и *3*). Стадия установившейся деформации на этих кривых отсутствует. Непосредственно за стадией упрочнения следует продолжительная стадия падающего напряжения.

Исследование рабочей части образцов, показало, что уже на стадии деформационного упрочнения на предварительно полированной поверхности образцов сплава Zr-1Nb в обоих ультрамелкозернистых состояниях появляются полосы локализованной деформации шириной несколько микрон (мезополосы). Мезополосы локализованной деформации имеют прерывистый характер и располагаются под небольшим углом (0–15°) к направлению приложенной нагрузки. На поверхности мелкозернистого сплава мезополосы локализованной деформации отсутствуют.

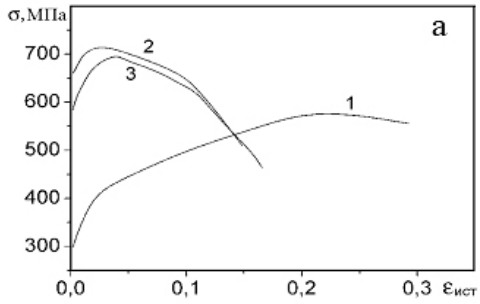


Рис. 5. Кривые деформации сплава Zr-1 Nb в мелкозернистом (1) и ультрамелкозернистом (2, 3) состояниях. 2 – режим 1; 3 – режим 2

Локализация деформации на макроуровне в мелкозернистом сплаве происходит путем образования слабо выраженной шейки. В сплаве Zr-1Nb в обоих ультрамелкозернистых состояниях локализация деформации на макроуровне развивается в две стадии. Первоначально формируется хорошо выраженная шейка, образование которой совпадает с началом стадии падающего напряжения на кривой деформации. Затем по мере развития деформации в области шейки одна за другой появляются полосы локализованной пластической деформации шириной 0,2-0,3 мм под углом ~120^{o} друг к другу.

Таким образом, в работе показано, что формирование ультрамелкозернистой структуры в сплаве Zr-1Nb приводит к существенному (в 1,5-2 раза) увеличению его значений пределов прочности и текучести при одновременном повышении склонности к локализации пластической деформации и уменьшении величины однородной деформации и деформации до разрушения. В зависимости от режима прессования со сменой оси деформации в исследуемом сплаве возможно формирование однофазной или гетерофазной ультрамелкозернистой структуры.

Список литературы:

1. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П., Жиляев А. П., Дударев Е.Ф., Иванов К.В., Иванов М.Б., Кашин О.А., Найденкин Е.В. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 213 с.

2. Гапонцев В.Л., Кондратьев В.В. Диффузионные фазовые превращения в нанокристаллических сплавах при интенсивной пластической деформации // Докл. Академии наук. – 2002. – Т.385. – №5. – С. 1–4.

ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОКСИДНЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕКИХ ПОРОШКОВ НА ПРОЦЕССЫ ИХ КОМПАКТИРОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ.

Васильев И.П.
Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: zarkvon@tpu.ru.

Известно, что ультрадисперсные порошки (УДП), полученные плазмохимическим способом, в исходном состоянии отличаются плохой прессуемостью, что связано с морфологическими особенностями синтезируемых оксидов[1]. При попадании раствора исходных компонентов в плазму, начинается интенсивное испарение растворителя с поверхности, приводящее к пересыщению внешнего слоя жидкости по отношению к растворенной в ней соли, что, в свою очередь, приводит к образовании на поверхности капель оболочек с жидкостью или парогазовой смесью внутри. Со временем происходит прорыв содержимого через образованные оболочки, благодаря чему после быстрого охлаждения образуется большое количество полых сфер и фрагментов полностью разрушенных оболочек. Отсюда становится ясным то, что необходима предварительная подготовка порошков перед компактированием.

В данной работе представлены результаты анализа влияния трех способов обработки порошков на эффективность их компактирования и уплотнения при последующем спекании. При исследовании использовались порошки двух составов: частично стабилизированного диоксида циркония и композиционной смеси, состоящей из 80 масс.% диоксида циркония и 20 масс.% оксида алюминия.

Суть первого способа заключается в предварительном статическом прессовании порошков исходной смеси при повышенном давлении (порядка 900МПа) с последующим помолом в агатовой ступке [2]. Суть второго способа состоит в помоле исходных порошков в планетарной мельнице типа ПМ «Активатор -2SL» с мелющими шарами из диоксида циркония. Параметры помола: соотношение массы шаров к массе исходной смеси — 1.5, частота вращения 1500 об/мин, для нескольких значений времени помола в промежутке от 7,5 до 30 мин. Третий способ заключался в предварительном отжиге композиционного порошка при температуре 1300°С в течение одного часа с целью перевода аморфного Al_2O_3 в α-Al_2O_3 и последующем его помоле. Образцы готовились в виде таблеток диаметром 10мм и толщиной 2.3-2.7мм. Компактирование осуществлялось путем одноосного статического прессования при давлении Р=150МПа.

В таблице 1 представлены экспериментальные данные, полученные при исследовании циркониевой керамики. Теоретическая плотность идеальной беспористой керамики для ZrO2 была рассчитана по формуле 1 и была равна $\rho_т$=5,85г/см^3.

В таблице 2 представлены экспериментальные данные, полученные при исследовании керамики, спеченной из смеси порошков оксида алюминия и диоксида циркония. Теоретическая плотность идеальной беспористой керамики для 80ZrO2-20Al2O3 была рассчитана по формуле 1 и была равна $\rho_т$=5,47г/см^3.

$$\rho_T = \left(M_1/\rho_1 + M_2/\rho_2 + \ldots + M_n/\rho_n\right)^{-1} \quad (1)$$

где М — массовые доли компонентов смеси, ρ-табличные значения плотности компонентов смеси.

Анализ данных, приведенных в таблицах 1 и 2, показывает, что однозначная связь, между плотностью компакта и плотностью керамики отсутствует. Помол порошка в планетарной мельнице в течение промежутка времени более 7,5мин приводит к увеличению плотности прессовок, которое приблизительно равно 17% для порошка диоксида циркония и 5% для корунд-циркониевой смеси. Что характерно, при увеличении плотности прессовок, плотность спеченной из них керамики для чистого диоксида циркония уменьшается, а для корунд-циркониевой композиции практически не меняется.

Кинетика уплотнения образцов в процессе их нагрева исследовали с помощью высокочувствительного толкательного дилатометра DIL 402 C фирмы NETZSCH (Германия). Кинетические зависимости линейной усадки ($\Delta L/L_0$) образцов из чистого диоксида циркония, полученные с его помощью представлены на рисунке 1.

Из характера кривых уплотнения образцов, представленных ниже можно сделать вывод о том, что увеличение времени предварительной обработки порошка ZrO2 в ПМ приводит к нарушению процесса усадки. Об этом свидетельствует расширение образца на стадии изотермической выдержки. Именно расширением образцов объясняется уменьшение плотности циркониевой керамики при увеличении времени обработки порошка в ПМ. Характерно, что увеличение времени предварительного помола для композиции КЦК, не приводит к расширению при тех же режимах нагрева.

Таблица 1. Влияние способа обработки исходных корунд-циркониевых УДП на плотность компактированных в режиме статического прессования образцов и спеченной из них керамики.

Способ обработки порошка	Плотн. компакта ρ, г/ см^3	Плотн. керамики $T_{сп}$=1550°С1час, $\rho_к$, г/см^3	Плотн. керамики $T_{сп}$=1600°С 1час, $\rho_к$, г/см^3
Прессов. Р=920 МПа, помол	2,57	5,14	5,25
Помол t= 7.5 мин.	2,43	5,01	5,14
Помол t=15 мин.	2,69	5,03	5,09
Помол t=30 мин.	2,7	5,04	5,15
Помол t=15мин, терм. отжиг Т=1300° С 1ч, пресс. Р=920 МПа, помол	3,26	5,14	5,26

Таблица 2. Влияние способа обработки исходных ультрадисперсных порошков диоксида циркония на плотность компактированных в режиме статического прессования образцов и спеченной из них керамики

Способ обработки порошка	Плотн компакта ρ, г/ см^3	Плотн. керамики $T_{сп}$=1550°С1час. $\rho_к$, г/см^3	Плотн. керамики $T_{сп}$=1600°С1час. $\rho_к$, г/см^3
Пресс. Р=920МПапомол	2,65	5,6	5,67
Помол в ПМ t=7,5мин.	2,64	5,47	5,5
Помол в ПМ t=15мин.	3,1	5,51	5,52
Помол в ПМ t=30мин.	3,12	5,21	5,12

Проведенные нами исследования показали, что помол УДП плазмохимических порошков в ПМ по сравнению с первым способом подготовки, приводит к уменьшению плотности готовой керамики, что справедливо как для ЦК, так и для КЦК. То есть сухой помол порошков в планетарной мельнице не может обеспечить получение композиционной керамики с максимальной плотностью. Самыми удачными, с точки зрения плотности, и практически одинаковыми, с точки зрения практических результатов, оказались первый и третий способы подготовки исходных порошков.

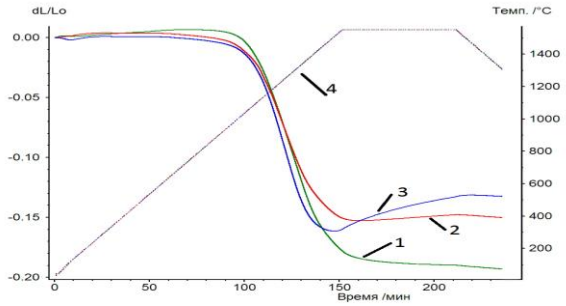


Рисунок 1 – Влияние времени обработки в планетарной мельнице порошков диоксида циркония на кинетику спекания циркониевой керамики. 1,2,3 – время обработки 7,5, 15, 30 минут, соответственно; 4 – температурный режим спекания.

Исходя из вышесказанного, для улучшения технологических свойств плазмохимических порошков наиболее оптимальным является подготовка порошков путем предварительного прессования порошка при повышенном давлении с последующим помолом агатовой ступке.

Список использованной литературы.

1. Ларин В. К., Кондаков В.М., Малый В.А. и др. Плазмохимический способ получения ультрадисперсных порошков оксидов металлов и перспективные направления их применения //Изв. Вузов. Цветная металлургия. – 2003. – №5. – С. 59–64.

2. Слосман А.И., Апаров.Н.Н. Апарова Л.С., Матренин. С.В. Влияние предварительной обработки на технологические свойства плазмохимических порошков // Огнеупоры. – 1994. – №2. – С.4-7.

Работа выполнена в рамках НИР по Госзаданию "Наука"

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ А12

Горев М.М.
Научный руководитель: Блесман А.И., к.т.н., доцент
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: misha_gorev@mail.ru

Сталь А12 (автоматная сталь) является сталью повышенной обрабатываемости резанием (ГОСТ 1414-75). Основное применение автоматных сталей сконцентрировано в массовом производстве для изготовления деталей на станках-автоматах (винтов, шпилек, болтов, гаек, мелких деталей сложной конфигурации и т.п.). Среди автоматных сталей наиболее широкое применение имеет сталь А20, из данной стали изготавливаются мелкие детали машин и приборов, малонагруженные детали сложной конфигурации, к которым предъявляются требования высокой точности размеров и качества поверхности. Однако экономически целесообразнее использовать сталь А12, которая при соответствующей модификации является заменителем стали А20.

Одним из наиболее эффективных технологических путей повышения надежности работы деталей машин и механизмов является нанесение на рабочую поверхность изделий различных покрытий. Покрытие представляет собой поверхностный слой детали, целенаправленно создаваемый воздействием окружающей среды на поверхность материала подложки (детали), и характеризующийся конечной толщиной, а также химическим составом и структурно-фазовым состоянием, качественно отличающимися от аналогичных характеристик материала основы. Большой выбор материалов, используемых для создания покрытий, позволяет обеспечить заданные свойства поверхности (или комплекс свойств) для любых деталей современного машиностроения.

В данной работе нанесение покрытия осуществлялось методом магнетронного распыления на установке ADVAVAC VSM-200. Магнетронное распыление используется для нанесения защитных, износоустойчивых, декоративных, упрочняющих и других видов покрытий на разнообразную основу. При данном методе размер и форма изделий, на которые наносятся покрытия, не имеют принципиального значения. Кроме того, низкое давление в рабочей камере (в нашем случае 10^{-3} мм рт.ст.) является причиной отсутствия в потоке осаждаемого на подложке вещества капельной фазы и микрочастиц примесей.

Перед напылением производилась очистка поверхности в аргоновой плазме тлеющего разряда, что позволяет улучшить качество получаемых пленок в результате повышения адгезии.

Бомбардировка подложки осуществлялась ионами вольфрама. Благодаря физическим свойствам вольфрама, таким как химическая стойкость, высокая теплопроводность, в результате магнетронного распыления возможно получение покрытий с большей термостойкостью и коррозионной стойкостью, чем у подложки – стали А12.

Рисунки 1, 2 иллюстрируют изменение морфологии поверхности при нанесении покрытия методом магнетронного напыления для двух различных образцов.

Анализ рисунков 1 и 2 позволяет сделать вывод, что при магнетронном напылении получается плотный поверхностный слой с пониженной пористостью и шероховатостью, что является причиной улучшения механических свойств материала подложки. Определены характеристики топографии поверхностей исходных и модифицированных образцов в режиме контактной атомно-силовой микроскопии, полученные на зондовом микроскопе NTEGRA-PRIMA.

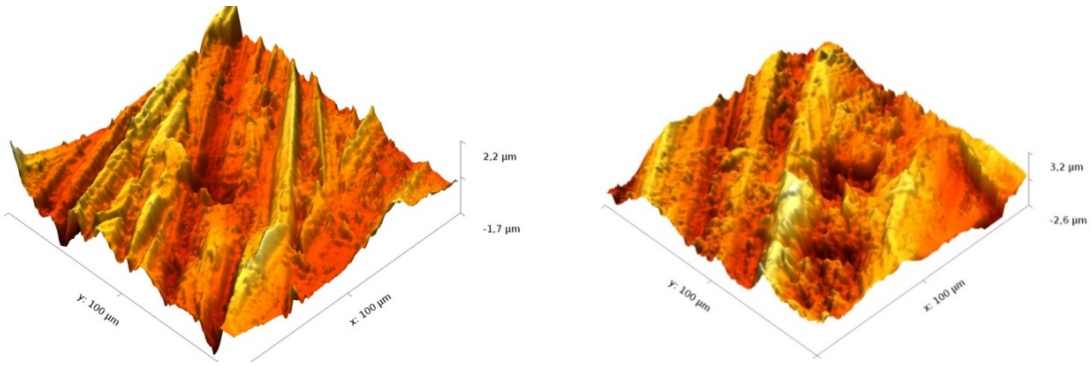


Рис. 1. Образцы №1 стали А12 без покрытия (слева) и с покрытием (справа).

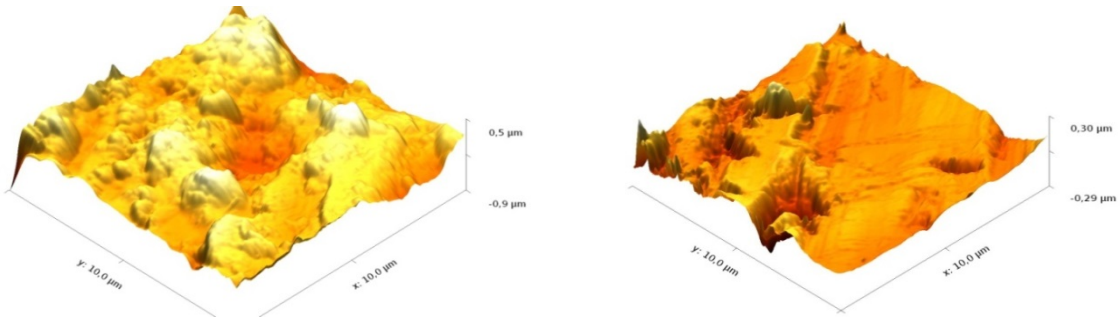


Рис. 2. Образцы №2 стали А12 без покрытия (слева) и с покрытием (справа).

Таблица 1. Параметры поверхности модифицированных образцов

Образец / Параметр	Характерный размер структуры D, нм	Шероховатость поверхности S_a, нм	Площадь поверхности S_{surf} 10^7, нм^2
Сталь А12 без напыления	> 280	3,72	4,97
напыление Та 25 мин	400 ÷ 650	3,6	4,67
напыление Та 30 мин		4,72	6,01
напыление Та 35 мин		2,65	3,36
напыление Та 40 мин		4,43	5,95
напыление Та 45 мин		2,27	2,93
напыление Мо 25 мин	200 ÷ 450	1,91	2,50
напыление Мо 30 мин		5,48	7,77
напыление Мо 35 мин		2,21	2,91
напыление Мо 40 мин		2,59	3,43
напыление Мо 45 мин		2,23	2,85

Полученные значения (таблица 1) характерного размера структурных элементов поверхности указывают на увеличение размера кристаллитов модифицированных образцов по сравнению с исходным состоянием. Также наблюдается увеличение шероховатости и площади 3D-поверхности образцов, подвергнутых 30-минутному ионно-плазменному напылению тантала и молибдена, в сравнении с характеристиками немодифицированной стали.

Список литературы:

1. Антоненко С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 104 с.

2. Фелдман Д., Майер Д. Основы анализа поверхности и тонких пленок: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 344 с.

3. Ивановский Г.Ф., Петров В.И. Ионно-плазменная обработка материалов. – М.: Радио и связь, 1986. – 232 с.

4. Аброян И.А., Андронов А.Н., Титов А.И. Физические основы электронной и ионной технологии: Учеб. Пособие для спец. Электронной техники вузов. – М.: Высш. Шк., 1984. – 320 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОРОШКА Al_2O_3 В БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Горяйнова О.А., Мельникова Е.В., Кузьмин К.
Научный руководитель: Белоусова Н.С., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20
E-mail: ola.ola91@mail.ru

В последние десятилетия значительно возросло количество разработок, направленных как на улучшение уже имеющихся типов материалов, так и на создание принципиально новых функциональных материалов для их использования в условиях с повышенными эксплуатационными требованиями. В ряде современных исследований доказано, что значительное повышение механических и функциональных свойств керамических материалов достигается за счет уменьшения размера частиц до 100 нм.

Современные технологии в области синтеза и измельчения порошковых материалов позволяют производить подготовку сырья с заданным комплексом свойств. Среди основных обеспечиваемых на сегодняшний день технологических требований следует отметить дисперсность материала, продолжительность процесса подготовки и количество загрязняющих примесей. Получаемые на сегодняшний день порошки обладают размером частиц в субмикронном или наноразмерном диапазоне с достаточно узким распределением на гранулометрической кривой.

В процессе хранения и транспортировки частицы слипаются, образуя конгломераты. Применение такого порошка приведёт к формированию дефектной, неплотной структуры в спеченной керамике, неравномерной усадке изделия. Поэтому обязательным этапом в производстве керамического материала, особенно при использовании мелкодисперсных и наноразмерных порошков является диспергирование.

Высокоэффективное измельчение возможно лишь в присутствии диспергаторов и эмульгаторов — поверхностно-активных веществ, снижающих поверхностную энергию диспергируемых твёрдых тел или жидкостей. Кроме того, они препятствуют агрегации, т. е. слипанию мелких частиц и слиянию капель.

Эффективность процесса измельчения зависит от метода диспергирования. В настоящей работе проведён анализ процесса диспергирования порошков на бисерной и шаровой мельницах.

Для проведения исследований была приготовлена 30% (по объему) водная суспензия порошка Al_2O_3. Для предотвращения слипания частиц в процессе диспергирования в суспензию был добавлен дифлокулянт Dolapix производства компании Zschimmer & Schwartz в количестве 2 % от веса порошка.

При проведении исследований использовался порошок Al_2O_3 марки CT 3000 SG производства компании Almatis (Германия). По данным производителя 50 % частиц этого порошка имеют размер 0,3 – 0,6 мкм, 90 % частиц размером не более 3 мкм. Однако проведённый гранулометрический анализ сырья подтвердил образование конгломератов частиц. Согласно анализу 50 % частиц порошка имеют размер 0,78 мкм, 90 % частиц имеют размер 36,5 мкм

Цель данной работы заключалась в определении режимов получения суспензии с гранулометрическими характеристиками, заданными к порошковому материалу производителем. Диспергирование производили на бисерной мельнице Netzsch MiniCer. В качестве мелющих тел при диспергировании в бисерной мельнице применялись шары диаметром 1 мм, изготовленные из диоксида циркония, стабилизированного иттрием. Мельницу заполняли бисером на 70 - 80 % объёма. Бисерная мельница работала в непрерывном (циркуляционном) режиме, то есть перемалывала прокачиваемую суспензию. Для отделения бисера от суспензии в конструкции мельницы имеется ситовый патрон. Диспергирование производили при скорости вращения вала 3000 об/мин, давлении 6,2 бар и температуре суспензии 28 ^oC. Анализ проб производили в течении часа работы мельницы каждые 10 минут.

При диспергировании на шаровой мельнице помол производился шарами диаметром 2,8 мм, изготовленными из диоксида циркония, стабилизированного иттрием. Скорость вращения барабана составляла 90 об/мин. Барабан заполняли суспензией и шарами на 45 % в соотношении 5:1. Время помола составляло 48 часов. Анализ состояния суспензии производили после 3, 6, 18, 21, 24, 27, 42, 45, 48 часов помола.

Полученные пробы анализировались с использованием лазерного анализатора частиц «Микросайзер» 201А. Гранулометрические исследования проводили в режиме фиксации размеров частиц с 0,2 до 50 мкм.

На рисунке 1 представлено изменение размеров 50 % частиц суспензий (d_{50}), полученных при разном времени диспергирования на бисерной мельнице. По гистограмме видно, что размер частиц постепенно уменьшается. После часа помола d_{50} частиц составляет 0,46 мкм.

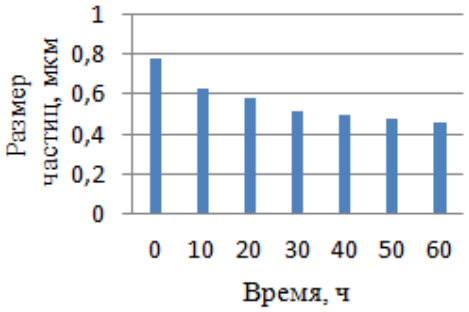


Рис. 1. Анализ количества 50% частиц суспензии в зависимости от времени диспергирования на бисерной мельнице

Анализ 90 % частиц суспензии (d_{90}) так же показывает значительное уменьшение фракций частиц порошка (рисунок 2). Согласно гранулометрическому анализу размер 90 % частиц суспензии уже через 10 минут помола уменьшился с 36,5 мкм до 1,41 мкм и в последующие 50 минут практически не изменялся. В итоге, d_{90} частиц суспензии после часа помола на бисерной мельнице составил 1,04 мкм.

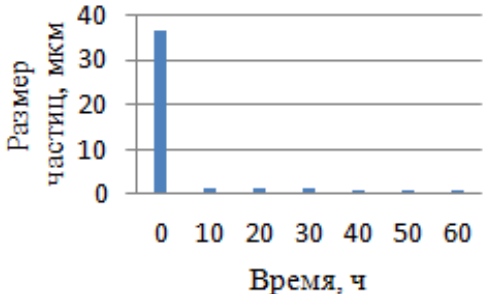


Рис. 2. Изменение размеров 90 % частиц суспензии в зависимости от времени диспергирования на бисерной мельнице

Результаты гранулометрического анализа в зависимости от времени диспергирования суспензии на шаровой мельнице приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Изменение размеров 50 % частиц суспензии в зависимости от времени диспергирования на шаровой мельнице

Время, ч	Размер частиц, мкм
0	0,78
3	0,77
6	0,75
18	0,69
21	0,63
24	0,53
27	0,52
42	0,49
45	0,48
48	0,46

Таблица 2. Изменение размеров 90 % частиц суспензии в зависимости от времени диспергирования на шаровой мельнице

Время, ч	Размер частиц, мкм
0	36,5
3	7
6	7
18	6
21	6
24	5,8
27	5,7
42	5,3
45	5,1
48	5

Сравнение результатов диспергирования на бисерной и шаровой мельницах показал, что гранулометрический состав суспензии, полученной при диспергировании в течении часа на бисерной мельнице (d_{50} = 0,46 мкм) достигается при помоле на шаровой мельнице по истечении только 48 часов. При этом надо отметить, что размер 90 % частиц суспензии при диспергировании в шаровой мельнице в течении 48 часов составил 5 мкм, тогда как при помоле на бисерной мельнице в течении часа размер частиц d_{90} составлял 1,04 мкм. Таким образом, использование бисерной мельницы по сравнению с шаровой позволяет значительно сократить время помола от нескольких суток до пары часов.

Исследования показали, что при работе с исходным порошком Al_2O_3 марки СТ3000 SG производства компании Almatis, для достижения характеристик порошкового материала, заявленного производителем, диспергирование на бисерной мельнице с мелющими телами из диоксида циркония диаметром 1 мм необходимо производить в течении 50 - 60 минут. Использование шаровой мельницы с мелющими телами диаметром 2,8 мм позволяет достичь требуемых значений показателя d_{50} после 24 часов диспергирования, однако размер частиц d_{90} даже при диспергировании в течении 48 часов не достигает требуемых значений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (договор № 02.G25.31.0060 от 12.02.2013 г.)

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ $CDWO_4$ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОННОМ И ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Гэ Гуанхуэй, Камрикова А.А., Петикарь П.В.
Научный руководитель: Корепанов В.И., профессор, д.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aidanabrilliant@mail.ru

Введение

Вольфраматы двухвалентных ионов кадмия, цинка обладают хорошими сцинтилляционными свойствами и применяются в томографии, рентгеновских сканирующих установках, при регистрации нейтронных потоков [1, 2]. Совершенствование сцинтиллятора происходит путем введения примесей, оптимизации технологии изготовления, создания пленочных структур [1, 2].

В настоящей работе представлены результаты исследований импульсных катодолюминесценции (ИКЛ) и фотолюминесценции (ИФЛ) кристаллов $CdWO_4$, $CdWO_4$-Li, $CdWO_4$- Li, Bi, выращенных в институте монокристаллов НАН Украины (г. Харьков).

Методики и объекты исследований

Исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции производились в спектральном диапазоне 350 – 750 нм, в температурном интервале 20 – 300 К с временным разрешением 7 нс. Возбуждение люминесценции производилось пучком электронов длительностью 7 нс и излучением азотного лазера с λ = 337 нм и длительностью 5 нс. Регистрация характеристик излучения осуществлялась с использованием монохроматора МДР 204, фэу 97, 83 и осциллографа Tektronix. Спектры люминесценции построены с учетом спектральной характеристики чувствительности измерительного тракта спектрометра.

ИКЛ кристаллов $CdWO_4$

На рис. 1 показаны нормированные спектры импульсной катодолюминесценции кристалла $CdWO_4$, измеренные в момент окончания электронного импульса при 20 К и 300 К. Видно, что при 300 К спектры состоят из совокупности полос с максимумами в области 420 – 430 нм, 480 – 490 нм, 570 – 580 нм, а также относительно слабого свечения с λ > 600 нм. С понижением температуры облучения происходит смещение максимума суммарного спектра люминесценции кристалла $CdWO_4$ в длинноволновую сторону. Объяснить этот эффект можно только изменением соотношения интенсивностей отдельных полос люминесценции при разных температурах.

Кинетика затухания ИКЛ $CdWO_4$ одинакова в пределах спектра основной «сине-зеленой» люминесценции и хорошо описывается экспоненциальным законом затухания. Значения характеристического времени затухания τ и его температурная зависимость совпадают с опубликованными для оптического возбуждения и изменяются от 25 мкс при 20 К до 12-15 мкс при 300 К. Значение τ не зависит от плотности возбуждения в пределах изменения поглощенных доз за импульс от 20 Гр до 250 Гр. Этот факт однозначно говорит о внутрицентровом характере люминесценции при возбуждении электронным пучком.

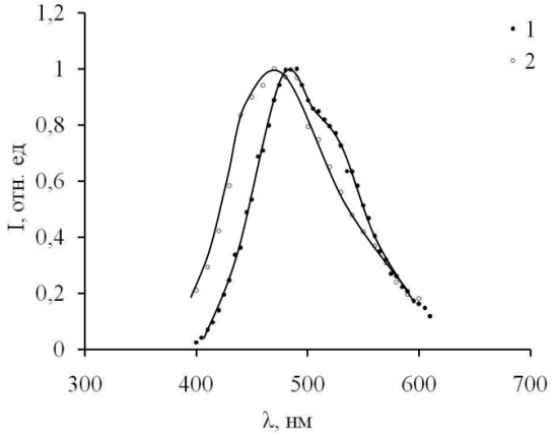


Рис. 1. Спектры импульсной катодо-люминесценции $CdWO_4$ при 15 К (1) и 300 К (2)

Особенности импульсной катодолюминесценции $CdWO_4$-Li, $CdWO_4$-Li,Bi

Спектр поглощения $CdWO_4$-Li совпадает с таковым для чистого кристалла $CdWO_4$, а в спектре поглощения $CdWO_4$- Li,Bi появляется очень интенсивная полоса с максимумом при 350нм.

На рис. 2 представлены, измеренные нами, спектры импульсной катодолюминесценции кристаллов $CdWO_4$-Li и $CdWO_4$-Li,Bi при 15 К. Введение в кристалл примесей Li и Bi приводит к достаточно заметным изменениям вида спектра ИКЛ, например, к смещению в длинноволновую область. Такое смещение в кристаллах $CdWO_4$- Bi объясняют появлением люминесценции оксида висмута и наличием собственных дефектов структуры примесного кристалла [2]. Также как в «чистых» образцах, при понижении температуры общий максимум спектра ИКЛ $CdWO_4$-Li, $CdWO_4$-Li,Bi смещается в длинноволновую область

Кинетика затухания катодолюминесценции кристалла $CdWO_4$-Li описывается двумя экспонентами с характеристическими временами затухания τ = 20 и τ = 4,2 мкс, соответственно. Значения времен затухания τ практически не зависит от температуры в измеренном нами диапазоне 15….300 и плотности возбуждения в

пределах изменения поглощенных доз за импульс от 20 Гр до 250 Гр.

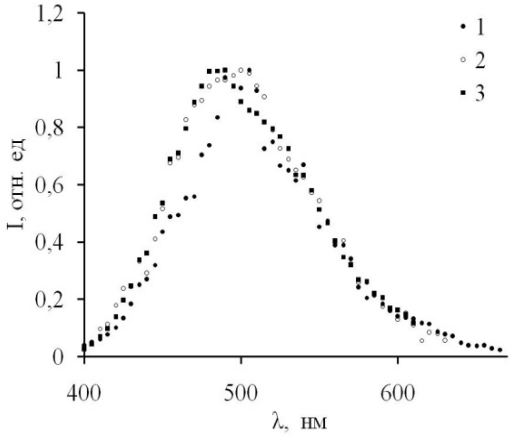


Рис. 2. Спектры импульсной катодолюминесценции $CdWO_4$-Li, Bi (1), $CdWO_4$-Li (2), $CdWO_4$ (3) при 15 К

Близкие значения параметров кинетики затухания свечения ИКЛ и их температурные зависимости характерны и для кристалла $CdWO_4$-Li,Bi. Присутствие в кристаллах $CdWO_4$-Li и $CdWO_4$-Li,Bi компонента с τ = 4,2 мкс, по-видимому, связано с присутствием в обоих кристаллах примеси Li. Близкие значения τ медленного компонента затухания во всех кристаллах говорит о том, что центр свечения имеет одинаковую структуру. Влияние примеси сводится лишь к незначительным изменения спектрально-кинетических характеристик люминесценции.

Импульсная фотолюминесценция $CdWO_4$

Значительный интерес для понимания механизма возбуждения сцинтилляционного свечения, выявления путей повышения светового выхода, устранения причин деградации представляют исследования при оптическом возбуждении вольфраматов Cd и Zn в области λ > 320 нм, то есть в области поглощения преимущественно дефектами структуры решетки. Нами изучены спектрально кинетические параметры и характеристики импульсной фотолюминесценции при возбуждении наносекундными импульсами излучения азотного лазера ($\lambda_{возб}$ = 337 нм). Излучение лазера попадает преимущественно в область примесного поглощения и, по крайне мере, при низких температурах слабо возбуждает область собственного поглощения кристалла $CdWO_4$.

Из представленных результатов видно, что спектры ИФЛ и ИКЛ отличаются, но не значительно. По-видимому, эти отличия также связаны с изменением соотношений элементарных полос излучения, из которых состоит суммарный спектр сцинтилляционного свечения.

Параметры кинетики затухания свечения ИФЛ при 300 К близки к параметрам кинетики затухания ИФЛ. Однако, как оказалось, температурные зависимости интенсивности ИФЛ (I_0), времени затухания свечения (τ) и высвеченной светосуммы ($S = I_0 \cdot \tau$) ИФЛ кристалла $CdWO_4$ очень сильно отличаются от соответствующих температурных зависимостей ИКЛ.

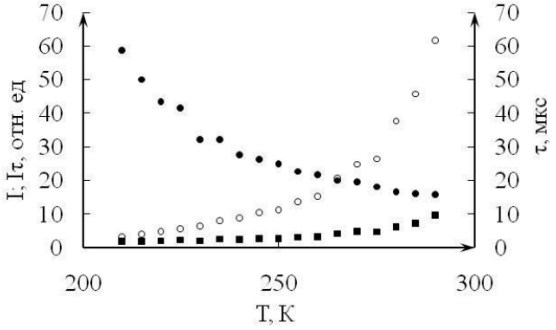


Рисунок 3 – Зависимости τ, I_0 и S ($S = I_0 \tau$) импульсной фотолюминесценции кристалла $CdWO_4$ от температуры (Т).
○ - I_0(T); ■ - S(T); ● – τ(T)

Литература

1. Гринев Б.В., Рыжиков В.Д., Семиноженко В.П. Сцинтилляционные детекторы и системы контроля радиации на их основе.- Киев: Наукова Думка, 2007.- 447 с.

2. Yuriy Zorenko, Vitaliy Gorbenko, Taras Voznyak, Ivan Konstankevych, Volodymyr Savchyn, Miroslaw Batentschuk, Albrecht Winnacker, and Christoph Josef Brabec.- Scintillators Based on CdWO and CdWO Bi Single Crystalline Films.- IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 59, NO. 5, OCTOBER 2012 .- P. 2281- 2285

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПЕСКОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СОВМЕСТНО ПРИСУТСТВУЮЩИХ Fe_2O_3 И Al_2O_3 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Душкина М.А.,
Научный руководитель: Казьмина О.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dushkinama@tpu.ru

Современная строительная и промышленная индустрия, наращивая темпы развития, занимает ранее незатронутые площади, в том числе в сейсмонестабильных областях и северных широтах, что повышает потребность в эффективных, надежных и безопасных конструкционно-изоляционных материалах.

Одной из групп материалов, отвечающих таким характеристикам как низкая теплопроводность, высокая прочность в сочетании с низкой плотностью и долговечностью является группа пеностекольных материалов.

На кафедре Технологии силикатов и наноматериалов (НИ ТПУ) проведен ряд работ, в результате которых предложена технология получения пеностеклокристаллических материалов (ПСКМ) на основе кремнеземистого сырья природного и техногенного происхождения [1].

Одним из сырьевых материалов, пригодных для синтеза стеклогранулята (промежуточный продукт для получения ПСКМ) является стекольный песок – продукт обогащения природных песков, он отличается высоким содержанием кремнезема и низким содержанием примесных оксидов, в частности Fe_2O_3 и Al_2O_3. Природные пески могут содержать значительное количество вышеуказанных примесных оксидов и пониженное по сравнению со стекольными песками содержание SiO_2, поэтому актуальным является вопрос о возможности применения песков, не относящихся к категории стекольных, в рассматриваемой технологии.

В связи с чем, целью настоящей работы является оценка пригодности по химическому составу песков, отличающихся повышенным содержанием совместно присутствующих Fe_2O_3 и Al_2O_3. Для достижения поставленной цели проектировали составы песков на базе расчетов стекольных шихт. Проектирование составов песков включает в себя два основных этапа:

1. Определение допустимых составов стеклофазы (рис.1) стеклогранулята.
2. Прогнозирование допустимых содержания Fe_2O_3 и Al_2O_3.

На первом этапе выбирали базовый состав стеклофазы на основе анализа трехкомпонентной диаграммы состояния Na_2O – CaO - SiO_2, затем рассчитывали по методу уравнений [2] пятикомпонентные шихты: кварцевый песок – сода – доломит - оксид алюминия - оксид железа. После уточнения составов стеклофазы и расчета параметров оптимальности, судили о пригодности химического состава синтезируемого стекла.



Рис. 1 Схема определения оптимальных составов стеклогранулята

В качестве параметров оптимальности химического состава стеклогранулята, получаемого на основе песков, выбраны три показателя (таб. 1): модуль вязкости ($М_в$), коэффициент структуры аниона (КСА) [3], фактор связности (У) [4].

Таблица 1.
Значения параметров оптимальности

Параметр	Оптимальные значения
Мв	1,6-1,8
КСА	2,2 – 3,0
У	3,30 – 3,36

Анализ проведенных расчетов показал, что для получения пеностекла оптимальными по химическому составу являются стекла, составы которых попадают в область, представленную в таб.2.

Таблица 2.
Область оптимальных составов стеклофазы

Оксид	SiO_2	Na_2O	Al_2O_3	Fe_2O_3
Содержание, мас. %	не менее 55	12-20	не более 11	не более 6

На втором этапе, основываясь на данных о граничных составах стеклофазы, оптимальной для получения ПСКМ, проектировали составы песков,

пригодных для синтеза промежуточного продукта. Рассчитывали составы трехкомпонентных шихт на основе песка соды и доломита, принимая составы двух последних постоянными, а оксидный состав песка – переменным за счет изменения в нем содержаний SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. При этом заменяли часть SiO_2 на Al_2O_3 и вводили в состав песка Fe_2O_3.

Таблица 3.
Допустимое содержание Al_2O_3 и Fe_2O_3 в песке, пригодном для получения пеностекла

Соотношение SiO_2/Na_2O	5,2-5,5		3,5 -3,9	
	Содержание оксидов, мас.%			
Примесный оксид в песке	Al_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	Fe_2O_3
Содержание в песке, мас. %	10,5	7, 3	13,3	7,6

С целью подтверждения теоретических данных, основываясь на рассчитанных данных, готовили трех- и пятикомпонентные модельные шихты (табл. 4) для синтеза стеклогранулята.

Таблица 4.
Компонентный состав модельных шихт

Шифр шихты	Содержание компонента, мас.%				
	Песок	Сода	Доломит	Al_2O_3	Fe_2O_3
1	61,0	22,0	17,0	0,0	0,0
2	54,6	17,8	16,2	6,6	4,8
3	63,0	30,0	7,0	0,0	0,0
4	54,6	25,0	6,5	5,2	8,8

Термический анализ показал, что для всех исследуемых шихт завершение реакций силикатообразования происходит в температурном интервале 810-830 ºС, при этом степень завершения реакций силикатообразования при Т=700 ºС находится на уровне 60 – 70%.

Дополнительно оценивали температуру размягчения шихт согласно методике, предложенной в патентном описании [5]. На рис. 2 представлена графическая зависимость, описывающая характер поведения исследуемых шихт при нагревании, из которой следует, что температура размягчения шихт 1 и 2, отличающихся меньшим содержанием соды, находится в интервале 830-850 ºС, а для шихт 3 и 4 составляет порядка 800 ºС. Максимальное количество расплава для всех шихт достигается при температурах не превышающих 900 ºС. Шихта 2, отличающаяся низким содержанием соды, показала наименьшую степень размягчения. Полученные данные свидетельствуют о появлении у шихт 1,3,4 достаточного для синтеза стеклофазы количества расплава при температурах до 900 ºС.

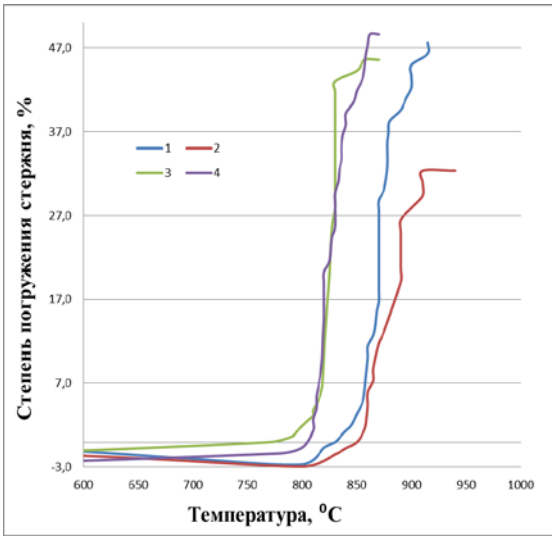


Рис. 2. Зависимость коэффициента погружения иглы от температуры.

Таким образом, расчетные и экспериментальные данные свидетельствуют о возможности применения песков с повышенным содержанием до 13 мас.% Al_2O_3 и 7,5 мас.% Fe_2O_3 для синтеза стеклогранулята при температурах не превышающих 900 ºС. При этом для получения качественного стеклогранулята стоит рекомендовать применение высокощелочных составов шихт.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» № 1235.

Список литературы

1. Патент 2 361 829 РФ МПК C03C 11/00 Шихта для изготовления стеклогранулята для пеностекла / Верещагин В.И., Казьмина О.В., Абияка А.Н. Заявлено: 21.05.2007 Опубликовано: 20.07.2009 Бюл. № 20

2. Матвеев М.А., Матвеев М.Г., Френкель Б.Н Расчеты по химиии и технологии стекла справочное пособие Стройиздат – 1972 240 с.

3. В.А. Лешина, Г.В. Катаева Использование коэффициента структуры анионов при проектировании стеклокристаллических материалов Стекло и керамика 2003 №3

4. Ермоленко Н.Н. Химическое строение и некоторые свойства оксидных стекол // Стеклообразное состояние. Труды 8 вс. совещания. Л.- Наука, 1988, с. 132 – 139.

5. Казьмина О.В, Абияка А.Н, Верещагин В.И. Устройство для определения температуры размягчения и оценки вязкости материалов. Патент на полезную модель РФ, № 77443. 20.10.2008.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ШИХТЫ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ НА МОРФОЛОГИЮ ПОРОШКА КАРБИДА ХРОМА

Дюкова К.Д., Баннов А.Г.
Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск пр. К.Маркса, 20
dyukova_kx701@mail.ru

Карбиды хрома – тугоплавкие соединения, сочетающие такие свойства как: высокая твердость, высокая теплопроводность, хорошая коррозионная стойкость. Высший карбид хрома (Cr_3C_2) находит применение в качестве покрытий и компонентов керметов [1,2,3]. Используется как катализатор и ингибитор роста зерна в W-Co сплавах [4,5].

Методы синтеза карбида хрома отличаются использованием различного исходного сырья, температурными интервалами протекающих реакций, аппаратурным оформлением и т.д. Для получения высокочистого карбида хрома целесообразно использовать относительно несложный карботермический метод [1,6]. Недостатком этого способа можно считать относительно большой размер получаемых частиц (40-60 мкм). Предварительная обработка исходных реагентов позволяет получать частицы размером не более 10 мкм.

Целью данной работы было исследование влияния параметров смешения шихты для получения высшего карбида хрома на морфологию получаемых частиц.

Шихта для синтеза образцов карбида хрома готовилась по стехиометрии из порошков оксида хрома (ГОСТ 2972-79 сорт ОХП-1) и нановолокнистого углерода. Углеродный материал был получен при каталитическом пиролизе метана [7]. Предварительно шихта смешивалась в шаровой мельнице (АГО-2С) с различными параметрами (ускорение шаров и время перемешивания) (см. таблицу 1). Отношение массы загрузки к массе шаров составляло 4:150. Температура синтеза составила 1300 °С, время – 30 мин для всех образцов.

Таблица 1 Параметры обработки шихты для синтеза Cr_3C_2

Образец	Обработка (ускорение – время)
Cr_3C_2_15_2	15 g – 2 мин
Cr_3C_2_15_5	15g – 5 мин
Cr_3C_2_15_10	15 g – 10 мин
Cr_3C_2_17,5_2	17.5 – 2 мин
Cr_3C_2_17,5_5	17.5 g – 5 мин
Cr_3C_2_17,5_10	17.5 g – 10 мин
Cr_3C_2_20_2	20 g – 2 мин
Cr_3C_2_20_5	20 g – 5 мин
Cr_3C_2_20_10	20 g – 10 мин

Полученные образцы исследовались методами рентгенофазового анализа (РФА), энергодисперсионного анализа и растровой электронной микроскопии (РЭМ).

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что с увеличением ускорения шаров синтез проходит более полно, продукт синтеза однофазный – Cr_3C_2. На спектрах с более низким значением ускорения (17,5g) наблюдаются небольшой пик (обозначен *) в диапазоне 42-44 °2θ, соответствующий фазе Cr_7C_3. Остальные пики этой фазы накладываются на рефлексы фазы Cr_3C_2. Для образцов смешанных при ускорении 15g на дифрактограммах помимо фазы Cr_7C_3 присутствуют пики, соответствующие оксиду хрома (Cr_2O_3), обозначены ♦. То есть ускорение 15g является недостаточным для достижения достаточной степени перемешивания (гомогенности).

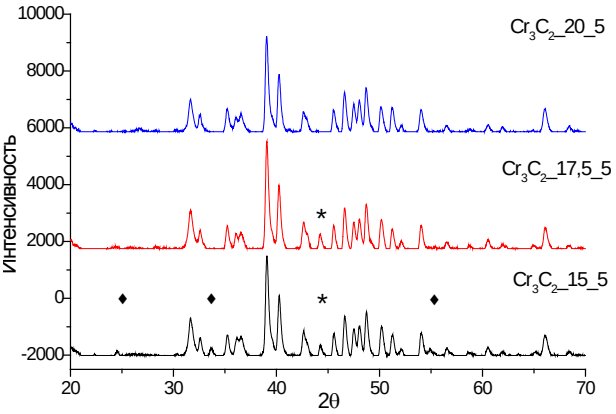


Рис. 1 – Спектры образцов

Также результаты РФА показали, что увеличение продолжительности смешения не оказывает значительного влияния на фазовый состав получаемых продуктов. Так, для образцов, которые подвергались смешению при ускорении 20g, увеличение продолжительности с 2 мин до 5 мин приводит к исчезновению пиков, соответствующих Cr_7C_3. Дальнейшее увеличение продолжительности с 5 до 10 мин не оказывает влияние на фазовый состав образца, а сами рефлексы становятся более узкими и интенсивными. Однако, даже для образцов смешанных при ускорении шаров 17,5g, продолжительность смешения не оказала влияния – на всех дифрактограммах присутствовал пик соответствующий фазе Cr_7C_3.

Результаты энергодисперсионного анализа (таблица 2) также качественно подтверждают, что ускорение шаров мельницы 15g является

недостаточным для полного перемешивания шихты, вследствие чего в образце остается непрореагировавший оксид хрома. Образцы, полученные при обработке с ускорениями 17,5 и 20g, содержат только углерод и хром.

Таблица 2 Результаты энергодисперсионнго анализа

Образец	Cr, % ат.	C, % ат.	O, % ат.
Cr_3C_2_15_10	86,92	11,23	1,85
Cr_3C_2_17,5_10	86,58	13,42	-
Cr_3C_2_20_10	79,08	20,92	-

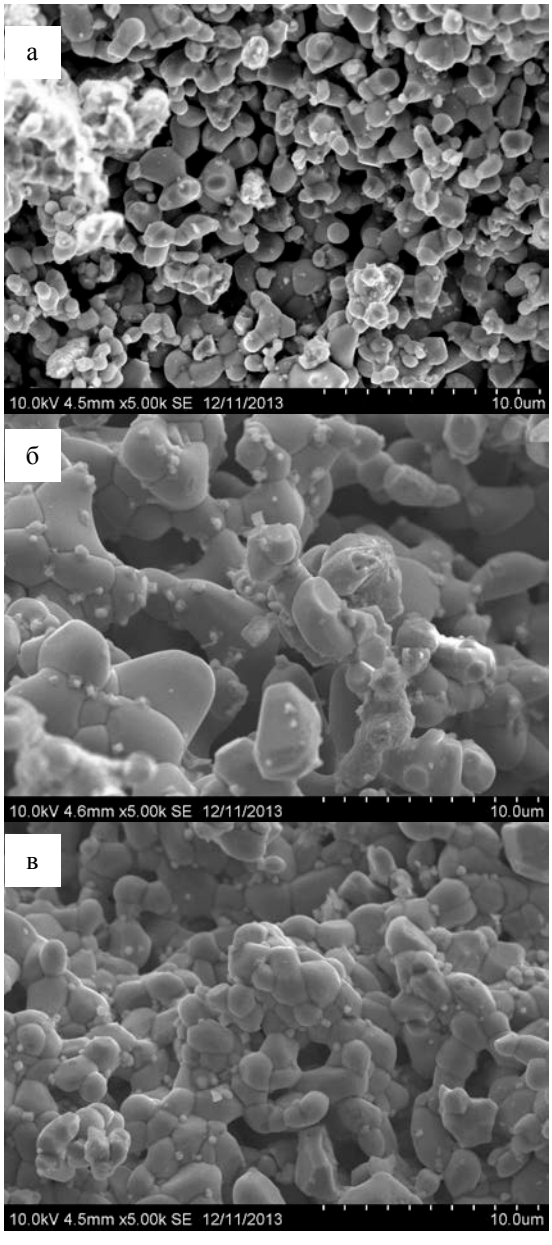


Рис. 2 – Снимки РЭМ образцов: а) Cr_3C_2_15_10; б) Cr_3C_2_17,5_10; в) Cr_3C_2_20_10

Согласно данным растровой электронной микроскопии (рисунок 2) установлено, что с увеличением ускорения шаров при обработке шихты наблюдается рост размеров отдельных частиц от 1-2 мкм (образец Cr_3C_2_15_10) до 2-4 мкм (образец Cr_3C_2_20_10). Однако, самые большие частицы (3-5 мкм) характерны для образца с ускорением шаров 17,5g.

Стоит отметить, что частицы образца Cr_3C_2_20_10 образуют более плотную структуру - агрегаты. То есть обработка исходной шихты в шаровой мельнице с ускорением 20g в течение 10 мин приводит к хорошему контакту фаз. Вероятно, для образца с такой обработкой возможно снизить температуру синтеза.

По результатам работы установлено, что применение механической обработки исходной шихты для синтеза порошка карбида хрома позволяет получать однофазные мелкодисперсные порошки. Выявлено, что ускорение шаров при обработке оказывает большее влияние на фазовый состав получаемых образцов, чем изменение продолжительности обработки. Из полученных данных можно заключить, что обработка шихты при ускорении шаров 20g в течение 5-10 мин позволит снизить температуру синтеза. Размер получаемых частиц составил 2-4 мкм.

Литература

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений/ Под. ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. 928 с.

2. Francis D. Catching up to Nanotechnology, Mechanical Engineering. 2000, №7 p. 34

3. Самсонов Г.В., Тугоплавкие соединения: Справочник / Г.В. Самсонов, И.М. Виницкий. – М.: Металлургия, 1976. – 560 с

4. Jonathan Ellis, Michael Haw Materials World, Vol. 5 No. 11, pp. 136-37, November 1997

5. Харламов А.И., Кириллова Н.В. Каталитические свойства порошков тугоплавких соединений переходных металлов. Карбиды и нитриды. Порошковая металлургия, 1983, № 2, с. 55 – 67

6. Алексеев А.Г., Бовкун Г.А., Болгар А.С. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений справ/ А.Г. Алексеев, Г.А. Бовкун, А.С. Болгар; под ред Т.Я. Косолаповой. – М.: Металлругия, 1986

7. Kuvshinov G.G., MogilnykhYu.I., Kuvshinov D.G., Zaikovskii V.I., Avdeeva L.B. Particularity of filamentous carbon formation in CH4 decomposition on Ni - containing catalysts. Carbon 1998; 36(1):87-99

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА РЕАКЦИЮ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА

Еремин А.В.[1], Бурков М.В.[1,2], Любутин П.С.[2]
Научный руководитель: Панин С.В.[1,2], д.т.н., доцент
[1] Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина 30
[2] Институт Физики Прочности и Материаловедения, 634021, Россия, г.Томск, пр. Академический 2/4
E-mail: eremin_av@bk.ru

Введение

Большое количество дефектов как производственного, так эксплуатационного происхождения в изделиях из композиционных материалов (КМ) обусловливает необходимость частого проведения контроля.

Значительный интерес представляют системы встроенного контроля – Structural Health Monitoring (SHM). Одним из подходов реализации концепции SHM является оценка состояния материала при помощи датчиков деформации интегрального типа (ДДИТ) [1]. Однако, в литературе опубликованы результаты применения ДДИТ для исследования деформации и разрушения металлических сплавов.

В настоящей работе поставлена задача оценки возможности применения ДДИТ для анализа состояния циклически нагруженных КМ.

Материалы и методика исследования

Для циклических испытаний применяли образцы из КМ системы «углеродное волокно/эпоксидная матрица» (УКМ), с псевдоизотропной укладкой $[45°,0°,-45°,90°]_{2S}$. Для защиты поверхности материала в укладку в качестве внешних слоев добавлена стеклоткань.

В качестве датчика деформаций выступала алюминиевая поликристаллическая фольга, которая наклеивалась на поверхность образца с помощью цианакрилатного клея с добавками пластификатора (Рис. 1). После наклейки фольги на образец, проводили его механическую ступенчатую шлифовку и полировку. Такой подход к подготовке ДДИТ позволяет получить зеркальную поверхность фольги с минимальным количеством дефектов.

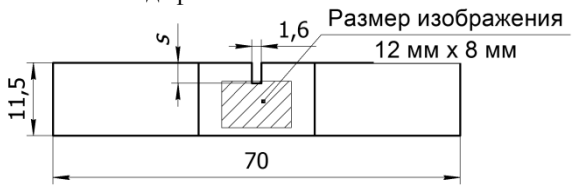


Рис.1. Чертеж образца с наклеенным ДДИТ (размер S принимался 3,4 мм, 4,5 мм, 5,6 мм)

Поверхность фольги освещалась двумя источниками: галогеновый студийный осветитель и точечный светодиодный источник (LED). Галогеновый осветитель использовался для формирования общего фона изображения. LED располагали под углом ~10° к поверхности для увеличения контраста формирующихся деформационных складок. Такая схема освещения зеркальной фольги позволяет получить на начальных этапах циклического нагружения темное однотонное изображение, далее по мере наработки формируется деформационный рельеф, на элементах которого происходит рассеянное отражение, и области со сформировавшимся рельефом выглядят более светлыми.

Подготовленные образцы с ДДИТ испытывали по схеме одноосного циклического растяжения с асимметрией цикла R = 0,1 на сервогидравлической испытательной машине UTM Biss-00-201. В качестве видеодатчика использовали цифровой зеркальный фотоаппарат Canon EOS 550D с оптическим трактом микроскопа МБС-9. Размер получаемых изображений 12×8 мм^2 (5184×3456 пикселей).

Чувствительность фольги к изменению НДС исследовали, варьируя размер бокового надпила. При этом величина верхней нагрузки в цикле побдбиралась таким образом, чтобы усталостное разрушение происходило при одинаковом значении наработки.

Для анализа получаемых серий изображений ДДИТ рассчитывали следующие информативные признаки: среднеквадратичная ошибка *MSE* [2], Энтропия *H* [3] и фрактальная размерность ФР [4]. Для расчета выбирались две области – верхняя часть и центральная, показанные на рис. 2.



Рис. 2. Расположение расчетных областей

Результаты экспериментов

После проведения экспериментов получены три серии изображений фольг Параметры циклических испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры циклических испытаний.

№	Наработка до разрушения, циклов	Частота нагружения, Гц	P_{max}, кН	P_{min}, кН
1	$50 \cdot 10^3$	10	11,1	1,1
2	$27 \cdot 10^3$	10	9	0,9
3	$48 \cdot 10^3$	10	7	0,7

Рассмотрим результаты расчетов трех информативных признаков, представленные в виде графиков на рисунках 3,4,5. Видно, что в процессе циклического нагружения изменение информативных признаков носит трехстадийный характер: на 1-ой их значения практически не меняются, на 2-ой наблюдается быстрый рост, на 3-й значения информативных признаков умеренно растут или остаются примерно постоянными.

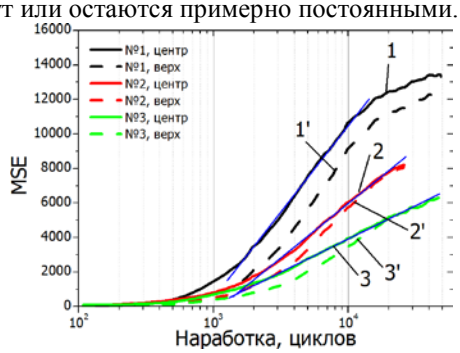


Рис. 3. Зависимость значений *MSE* от величины наработки

Анализ измения занчений *MSE* позволяет выделить следующие закономерности:

1. На графиках *MSE* (рис. 3) положение точки начала 1-й стадии не зависит от размера надпила;
2. Точка окончания 2-й стадии смещается в направлении возрастания количества циклов с ростом размера надпила;
3. Абсолютное значение *MSE* тем выше, чем меньше размер надпила;
4. Наклон 2-й стадии падает с ростом глубины надпила, что говорит о меньшей скорости накопления рельефа ДДИТ.

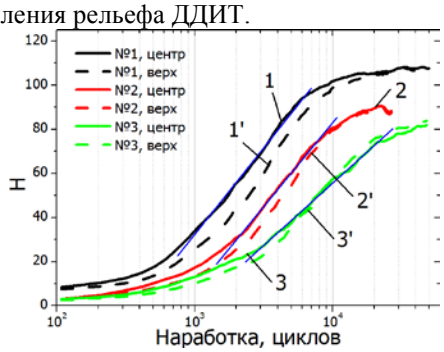


Рис.4. Зависимость значений H от величины наработки

Анализ измения занчений *H* позволяет выделить следующие закономерности:

1. У графиков энтропии на 1-й стадии рост более значительный, чем у *MSE*, что говорит о большей чувствительности к начальному этапу накопления рельефа;
2. Точка начала 2-й стадии смещается вправо, по сравнению с *MSE* ;
3. Абсолютные значения энтропии двух расчетных областей являются практически одинаковыми, при этом они снижаются с увеличением размера надпила.

Основные изменения значений ФР (рис. 5) происходят на участке от начала нагружения до 10^3-$3{\cdot}10^3$ циклов, где все три графика демонстрируют быстрый рост. На дальнейший участок (от $3{\cdot}10^3$ циклов и до разрушения), который представляет наибольший интерес с точки зрения возможности использования для диагностики состояния материалов, остается лишь небольшой диапазон изменения ФР (участок после наработки 5 тыс. циклов до разрушения)

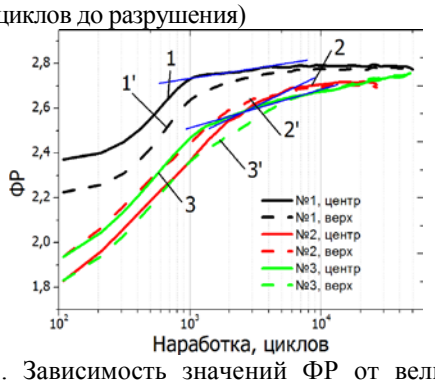


Рис. 5. Зависимость значений ФР от величины наработки

Заключение

В работе исследовано влияние НДС на формирование рельфа ДДИТ при циклических испытаниях композиционных материалов. Разработаны многоступенчатая система подготовки датчиков-фольг, а также оригинальная схема освещения, которая совместно с хорошо подготовленной поверхностью фольг позволяет повысить надежность получаемых результатов. Анализ методов расчета информативных параметров по изображениям поверхности ДДИТ позволяет говорить о пригодности *MSE* для интегральной оценки поведения материала, информационной энтропии для оценки поведения материала на начальных этапах разрушения, при этом расчет ФР при данной схеме нагружения использовать не рекомендуется в связи с низким диапазоном чувствительности, а также зависимостью получаемых результатов от начального состоянии фольги.

Список литературы:

1. Змызгова Т.Р. Экспериментальная методика регистрирования и оценки накопленного усталостного повреждения в материале нефтегазового трубопроводного оборудования с помощью датчиков деформации интегрального типа // Экспозиция. Нефть. Газ. – 2012. – Т. 25, № 7. – С. 14-19.

2. M. Kudelka Jr. Image Quality Assessment // WDS'12 Proceedings of Contributed Papers – 2012. – Part I –P. 94–99.

3. Annick Lesne Shannon entropy: a rigorous mathematical notion at the crossroads between probability, information theory, dynamical systems and statistical physics – Math. Struct. in Comp. Science, 2011. – 43 p.

4. Jaggi S., Quattrochi D.A., Lam N.S.-N. Implementation and operation of three fractal measurement algorithms for analysis of remote-sensing data // Computers and Geosciences – 1983. – V. 19, № 6. – P. 745-767.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ Р6М5

Ескермесов Д.К., Рахадилов Б.К.
Научный руководитель: Скаков М.К., д.ф-м.н., профессор
Восточно-Казахстанский Государственный технический университет им. Д.Серикбаева,
070010, Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. Протозанова, 69
E-mail: didar.eskermesov@mail.ru

Для повышения твердости, прочности и износостойкости режущих инструментов широко применяются различные методы термической и химико-термической обработки. В последнее время все большее развитие и применение получают методы и способы плазменного азотирования, которые позволяют избавиться от недостатков традиционных методов азотирования.

В настоящее время очень перспективным направлением в повышении производительности процесса плазменного азотирования является создание способа, интенсифицирующего процесс диффузионного насыщения. Одним из современных способов плазменного азотирования, позволяющий значительно сократить общее время обработки, а также заметно повысить механические свойства конструкционных и инструментальных сталей, является электролитно-плазменное азотирование [1]. При электролитно-плазменном азотировании происходят значительные изменения структурно-фазовых состояний и соответственно свойств материала в тонких поверхностных слоях вследствие физического воздействия ионов высокотемпературной плазмы и электрического разряда. Развивающиеся при этом процессы перестройки структуры, структурно-фазовые превращения происходят в условиях, далеких от термодинамически равновесных состояний, и они позволяют получать модифицированный поверхностный слой с уникальным комплексом физико-механических свойств.

Поэтому изучение механизмов и особенностей выделения упрочняющей фазы быстрорежущей стали Р6М5 после азотирование в электролитной плазме представляет большой научный и практический интерес в плане выяснения общих закономерностей структурно-фазовых превращений в изучаемой стали.

В связи свышеизложенным, целью настоящей работы является исследование влияния электролитно-плазменного азотирования на фазово-структурного состояния и микротвердость поверхностного слоя стали Р6М5.

Материалы и методы исследования

В качестве материала исследования нами была выбрана быстрорежущая вольфрамомолибденовая сталь Р6М5 (ГОСТ 19265-73: 0,80 – 0,88 C; 3,8 – 4,4 Cr; 5,5–6,5 W; 1,7–2,1 V; 5,0–5,5 Mo). Выбор материала исследования обоснован тем, что сталь Р6М5 является наиболее распространенной в металлообработке, типичной быстрорежущей сталью умеренной теплостойкости. Заготовки образцов для исследований в виде параллелепипедов с размерами 10x30x30 мм^3 вырезали из прутков стали Р6М5 в состоянии поставки. Перед электролитно-плазменным азотированием заготовки подвергали обычной для этой стали термообработке: закалке от 1230°С в масле и последующему трехкратному отпуску при 560°С (длительность каждого отпуска 1 ч, охлаждение в воздухе). Перед азотированием образцы стали отшлифовали и отполировали. Электролитно-плазменное азотирование образцов осуществляли на опытно-промышленной установке, имеющей следующие основные части: электролитическая ячейка, источник питания, система автоматического управления, система охлаждения электролита, система подачи электролита. Процесс азотирования проводили в электролите из водного раствора, содержащего 20% карбамида, 10% карбоната натрия в следующем режиме: температура нагрева образца – 550°С, напряжение при нагреве до температуры обработки – 320 В, плотность тока ~ 4 А/см^2, напряжение при выдержке при 550°С – 200 В, плотность тока ~ 3 А/см^2, время азотирования 7 минут. Испытание на микротвердость (Hμ) проводили по методу Виккерса на микротвердомере «ПМТ-3М» и металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе «ALTAMI-MET-1M» в НИИ «Нанотехнологии и новые материалы» ВКГТУ им. Д.Серикбаева. Микроструктуру образцов стали исследовали на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV. Исследования фазового состава и кристаллической структуры образцов стали осуществляли методами рентгеноструктурного анализа на дифрактометре D8 ADVANCE в CuK_α-излучении, используя шаг размером 0.02º и время шага 0,2 с. Для выявления границ зерен и частиц карбидных фаз было применено химическое травление шлифов в 4 % спиртовом растворе азотной кислоты (время травления 5-7 с.).

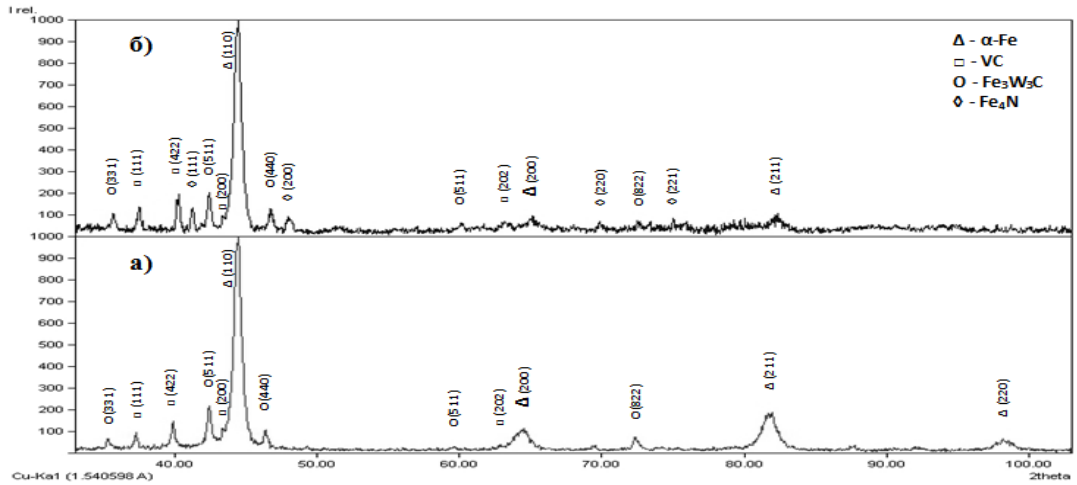


Рисунок 1 - Дифрактограммы стали Р6М5 до (а) и после азотирования при температуре 550°С в течение 7 мин (б)

Результаты исследований и их обсуждение

Рентгеноструктурный анализ показал, что в исходном состоянии основной фазой матрицы стали является α-фаза. А также в фазовом составе стали Р6М5 имеются частицы карбида ванадия VC и карбида вольфрама Fe_3W_3C, которые имеют сложную ГЦК-кристаллическую решетку и пространственную группу Fd3m. После электролитно-плазменного азотирования при температуре 550°С, на дифрактограммах обнаружены интерференционные линии фазы Fe_4N (рисунок 1, б). Наблюдается уширение, спад интенсивности и сдвиг в сторону меньших брегговских углов интерференционных линий (110) и (211) α-фазы, что свидетельствует об образовании твердого раствора азота в железе, т.е. зона внутреннего азотирования.

Экспериментально выявлено, что микроструктура стали Р6М5 в исходном состоянии, то есть после закалки и трехкратного отпуска, состоит из пластинчатого мартенсита отпуска и специальных карбидов (рисунок 2, а). Частицы карбидов равномерно распределены и близки к правильной сферической форме диаметром менее 3 мкм. Сравнение микроструктуры стали Р6М5 до и после обработки показало, что модифицирование электролитно-плазменным азотированием способствует не только измельчению карбидов, но и изменению их морфологии. После азотирования на поверхности стали Р6М5 формируются мелкие поры, микродефекты и мелкодисперсные включения (рисунок 2, б, стрелками показаны). Обнаруженные мелкие поры, микродефекты, по-видимому, образуются при бомбардировке заряженными частицами электролитной плазмы. Предполагается что, мелкодисперсные включения являются нитридами легирующих элементов (хром, молибден и ванадий), которые образуются при воздействии плазмы азотосодержащего электролита. Известно, что за счет возникновения избыточных вакансий и других дефектов кристаллической решетки возрастает доля стимулированной диффузии через кристаллическую решетку металла. Поэтому возникновение таких дефектов вполне закономерно при электролитно-плазменной обработке и объясняет интенсификацию процесса диффузионного насыщения азота при использовании непосредственного воздействия электролитической плазмы на насыщаемый материал.

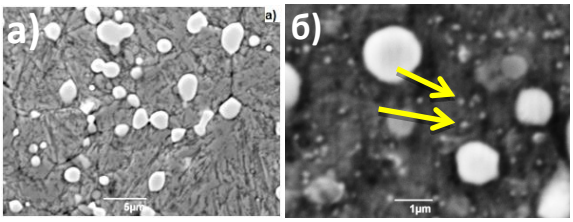


Рисунок 2 - Микроструктура поверхности образцов стали Р6М5: а) до, б) после азотирования при температуре 550°С в течении 7 мин

Микротвердость исходного (до обработки) образца стали составил 7,37 ГПа. После электролитно-плазменного азотирование микротвердость стали Р6М5 увеличился до 12,5 ГПа.

Исходя из этого, можно утверждать, что электролитно-плазменное азотирование стали Р6М5 является перспективным методом поверхностного упрочнения.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке комитета науки МОН РК на 2013-2015 гг. по программе "Грантовое финансирование научных исследований".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gupta P., Tenhundfeld G., Daigle E.O., Ryabkov D. Electrolytic plasma technology: Science and engineering – an overview // Surf. &Coat. Technol. 2007. V. 25. P. 87-96.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ In(90%)/Sn(10%) НА ПАРАМЕТРЫ ПЛЕНОК ITO

Жидик Ю.С., Ватюк А.А., Воронюк Е.Е.
Научный руководитель: Троян П.Е., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники ,
63450, г. Томск, пр. Ленина, д. 40.
E-mail: Zhidikyur@mail.ru

Введение

Оксид индия, легированный оловом (indium tin oxide, ITO) получил широкое распространение в производстве оптоэлектронных приборов, приборов сенсорной электроники и устройствах отображения информации. Покрытия на основе пленок ITO так-же позволяют создавать «смарт»-окна, которые способны менять степень пропускания света, индицировать информацию и т.д. Такое широкое применение пленок из оксида индия обусловлено их высокой прозрачности для видимого излучения, низкому сопротивлению, а также временной стабильностью [1].

ITO является прямозонным полупроводником *n*-типа, проводимость в нем обусловлена кислородными вакансиями и проявляющими донорный характер ионами Sn^{4+} [2]. При этом технология синтеза пленок может быть различной. Так, в [3] Г.Г. Унтила и др. приводят некоторые наилучшие результаты, полученные для пленок ITO, осажденных различными физическими и химическими методами на стекло.

Сопоставив представленные ими результаты, можно утверждать, что хоть пленки ITO, нанесенные методом магнетронного распыления обладают не самым наименьшим значением удельного сопротивления, тем не менее, данный метод их формирования все же продолжает широко исследоваться различными коллективами. Связано это с тем, что магнетронный метод получения покрытий позволяет изменять давление рабочего газа в довольно широком диапазоне и тем самым целенаправленно управлять морфологией, фазовым составом и свойствами покрытий, а так же обладает низким тепловым и радиационным воздействием на обрабатываемую поверхность.

Однако, не смотря на столь большое количество работ, проблема управления функциональными характеристиками пленок ITO, полученных магнетронным распылением, на настоящий момент остается актуальной из-за большого числа влияющих технологических факторов: общее давление при распылении и парциальное давление реактивного газа, режим распыления, природа и температура подложки.

Целю данной работы явилось исследование влияния технологических режимов процесса реактивного магнетронного распыления мишени из сплава индия (90%) и олова (10%) в различных газовых средах и последующего отжига пленок ITO на их свойства.

Методика приготовления образцов

Приготовление образцов является самой важной частью всего исследования, поскольку это во многом определяет их характеристики.

В качестве подложек использовалось полированное стекло фотопластинок. Перед нанесением тонкопленочных структур все подложки проходили тщательную подготовку: последовательную промывку в чистящем растворе хромовой смеси, проточной воде, сушке и протирании техническим спиртом.

Далее подложки помещались в вакуумную камеру, атмосфера в которой откачивалась до предельно допустимого давления $7 \cdot 10^{-3}$ Па. В качестве рабочей атмосферы использовались следующие газы: Ar, O_2 и смесь $Ar+O_2$. После создания необходимой рабочей атмосферы в камере при давлении $8 \cdot 10^{-1}$ Па производилось напыление пленки в течении 10 минут при рабочем токе 0,2 А. Температура подложки во время напыления составляла 200–250^{o}C. После напыления производилось охлаждение подложек их выгрузка и выполнение отжига пленок в течение 30–40 мин при температуре выше 250^{o}C.

При исследовании полученных образцов измерения толщин пленок проводились с помощью микроинтерферометра МИИ-4. Для измерения поверхностного сопротивления использовался четырехзондовый метод. Этот метод может применяться для измерений поверхностного сопротивления пленок любой формы. Оптические характеристики получаемых образцов в видимой части спектра исследовались спектральным эллипсометрическим комплексом ЭЛЛИПС-1891 САГ.

Результаты экспериментов их обсуждение

По предложенной выше методике приготовления образцов была проведена серия экспериментов для исследования влияния, режимов распыления мишени In-Sn (90/10) и последующего отжига пленок на воздухе и в вакууме на изменение их свойств. Полученные результаты позволили отметить следующее.

При распылении мишени в атмосфере чистого кислорода полученные пленки были отмечены высокой прозрачностью. Однако, с точки зрения электропроводности, являлись практически диэлектрическими как до, так и после отжига (рисунок 1).

Связано это, по всей видимости, с тем, что согласно [2] электропроводность пленок ITO

обусловлена наличием кислородных вакансий. Кислородные вакансии с одной стороны обеспечивают наличие электронов проводимости, с другой – вызывают диффузное рассеяние света.

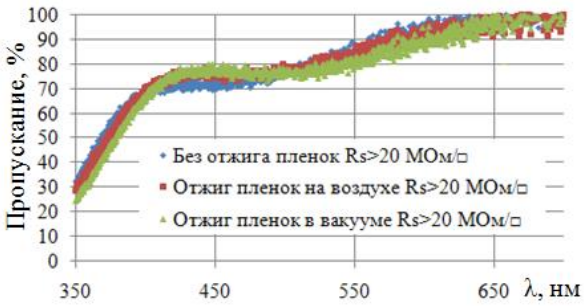


Рисунок 1 – Спектры пропускания пленок ITO, полученных распылением мишени In-Sn в атмосфере O_2 в зависимости от режима отжига.

Таким образом, вероятно, что в данных пленках ITO, в связи с большой концентрацией кислорода в составе газовой смеси, кислородные вакансии практически отсутствуют, что и явилось причиной сочетания высокой прозрачности и низкой электропроводности.

Пленки, полученные распылением мишени In-Sn в атмосфере Ar, как и следовало ожидать, не прозрачны вследствие того, что представляют собой пленку металлов мишени (рисунок 2).

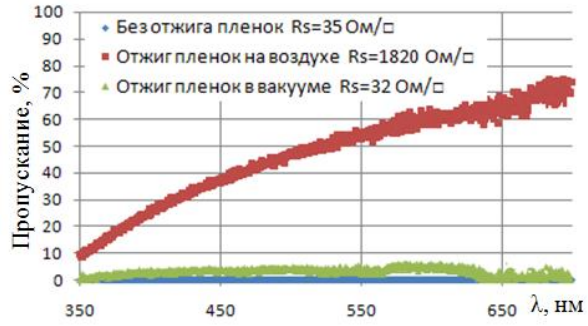


Рисунок 2 – Спектры пропускания пленок ITO, полученных распылением мишени In-Sn в атмосфере Ar в зависимости от режима отжига.

Однако последующий их отжиг в воздушной среде показал монотонное увеличение коэффициента пропускания, но, при этом, на порядок возросло поверхностное сопротивление по сравнению с его изначальным значением.

Вероятно, что при нагреве исходных пленок происходит испарение атомов металлов с поверхностных слоев, одновременно поверхностью пленки адсорбируется кислород из атмосферы, который, окисляя ее и образуя не вакансии, а включения, увеличивает их сопротивление и коэффициент пропускания.

Т.о. необходимым условием для получения пленки ITO с наилучшими параметрами является наличие в пленке оптимального количества кислородных вакансий и наличие структурного совершенства формируемых пленок, что отмечено при их нанесении на нагретые подложки. Учитывая, что для полного протекания реакции окисления достаточно небольшой части вводимого в инертный газ кислорода (10 – 20%), то, было решено вести распыление мишени в атмосфере смеси Ar (90%) и O_2 (10%).

В результате были получены оптически прозрачные пленки ITO (рисунок 3).

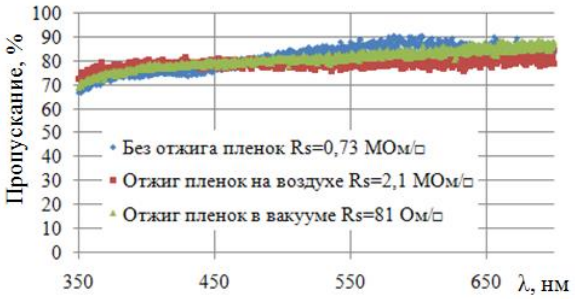


Рисунок 3 – Спектры пропускания пленок ITO, полученных распылением мишени In-Sn в атмосфере $Ar+O_2$ в зависимости от режима отжига

Отжиг полученных пленок, как в среде воздуха, так и в вакууме, снижает их прозрачность незначительно (≈5%). По всей видимости, это связано с тем, что в процессе высокотемпературной обработки оксидной пленки атомы кислорода, внедренные между узлами кристаллической решетки или расположенные на границах зерен, диффундируют из объема оксидной. Следствием такого дифундирования атомов кислорода является значительное возрастание электропроводности, которое связано как с образованием донорных кислородных вакансий, так и с увеличением подвижности электронов в результате повышения структурного совершенства пленки.

Еще более значительное снижение поверхностного сопротивления оптически прозрачных пленок ITO удалось получить, выполняя их отжиг сразу же после напыления, одновременно производя откачку газов из рабочей камеры до давления порядка 0,013 – 0,1 Па. Такая комбинация позволила получить значение поверхностного сопротивления пленок ITO 10 Ом/□, при их прозрачности на уровне 87%.

Список литературы

1. S.H. Kim, N. Park, T.Y. Kim, G.Y. Sung. Thin Sol. Films, 475, 262 (2005).

2. C. Viespe, I. Nicolae, C. Sima, C. Grigoriu, R. Medianu. Thin Sol. Films, 515, 8771 (2007).

3. Унтила Г.Г., Кост Т.Н., Чеботарева А.Б., Тимофеев М.А. Влияние концентрации олова на состав, оптические и электрические свойства пленок ITO, осажденных методом ультразвукового спрей-пиролиза на кремний и стекло // Физика и техника полупроводников,– Т. 46, №7, 2012. – с. 984-990.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПТФЭ И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ К–3 и КВН–3

Закревский С.С.
Научный руководитель: Калистратова Л.Ф., канд. физ.- мат. наук, доцент
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, р. Мира, 11
E-mail: zaksera@mail.ru

Высокотемпературные рентгенографические исследования структуры ПТФЭ и композитов на его основе были выполнены с помощью высокотемпературной приставки к рентгеновскому аппарату ДРОН-3М. Конструкция приставки позволяла выдерживать заданную температуру в течение времени, необходимого для съёмки рентгенограммы (в течение одного часа). Стабильность температуры поддерживалась с точностью $\pm$ 5℃. Необходимую для съёмки температуру, стабилизировали в течение 0,5 часа.

Исследование структуры чистого ПТФЭ и композитов на его основе выполнялось рентгенографированием образцов в фильтрованных медном и кобальтовом излучениях. На рентгенограмме от указанных композитов вся информация о структуре полимера сосредоточена в области дифракционных углов до 25 ^{0}. Рентгенограммы ПТФЭ и композитов идентичны между собой и содержат ярко выраженные рефлексы от кристаллической матрицы и участки аморфных гало от неупорядоченных областей материала. Аттестация образцов проводилась сравнением экспериментально вычисленных межплоскостных расстояний с табличными значениями параметров кристаллической ячейки.

Процесс плавления кристаллитов сопровождается незначительным уменьшением интенсивности рефлексов наполнителей. Однако такие относительно невысокие температуры не могут привести к выгоранию наполнителей. Следовательно, уменьшение интенсивности их рефлексов можно объяснить изменением геометрии дифрагируемых внутри объёма материала рентгеновских лучей, которое связано с искажением структуры нагретой матрицы.

Подтверждением этому является восстановление исходных параметров структуры при охлаждении образцов до комнатной температуры. Однако нагрев композитов до температур, превышающих температуру плавления кристаллитов (свыше 560 К), может вызвать необратимые изменения в структуре композитов. Действительно, при нагревании композитов до самых высоких температур, которые указаны в табл. 1-3, и последующем охлаждении образцов до комнатной температуры наблюдается значительное уменьшение интенсивности рефлексов наполнителей. Самым стойким к нагреванию из наполнителей оказался дисульфид молибдена. Температура разбухания материала КВН–3 одинакова с К–3. При разбухании композитов выделяются газообразные продукты.

Структура аморфной составляющей матрицы ПТФЭ и матрицы композитов при обычных температурах является высокоупорядоченной. Порядок в аморфной фазе начинает нарушаться при нагреве выше 555 К в чистом ПТФЭ и выше 510 К в модифицированном ПТФЭ. В аморфной фазе наличие некоторой степени упорядочения наблюдается вплоть до температуры разбухания образцов, которая в чистом ПТФЭ составляет 675 К, а в композитах – 705 К.

Таким образом, температурные исследования показали, что в чистом ПТФЭ слоистая аморфно-кристаллическая структура практически сохраняется вплоть до температуры 555 К. Наполнители снижают эту температуру. При повышении температуры, выше температуры плавления кристаллитов, в аморфной фазе сохраняется послойное расположение макромолекул ПТФЭ. Кристаллическая фаза композитов, переходя в аморфную фазу самоорганизуется, и совместно с аморфной фазой образует новую относительно упорядоченную структуру.

Температурные зависимости указанных в табл. 1-3 параметров структуры композитов ПТФЭ представлены на рис.1-3.

Параметр кристаллической ячейки *a* линейно увеличивается с ростом температуры и к моменту исчезновения кристаллического пика чистого ПТФЭ увеличение составляет 3,1 % , а у композитов – 3,7 % (рис. 1).

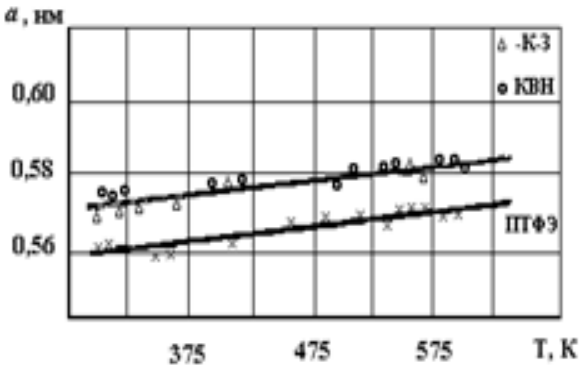


Рис. 1. Температурная зависимость параметра кристаллической ячейки

Экспериментальные значения структурных параметров ПТФЭ представлены в табл. 1.

Таблица 1. Структурные параметры ПТФЭ при разных температурах

Т, К	275	345	395	455	575	600
а, нм	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57
Сам, нм	1,55	1,56	1,54	1,53	1,52	1,54
χ, %	57	55	58	62	58	40

Среднее межслоевое расстояние Сам имеет очень слабую тенденцию к увеличению (рис.2). Увеличение параметров кристаллической ячейки с ростом температуры объясняется теорией рассеяния рентгеновских лучей веществом. При повышенных температурах увеличивается амплитуда колебаний атомов в узлах кристаллической решетки, что приводит к изменению в интегральной интенсивности рефлексов.

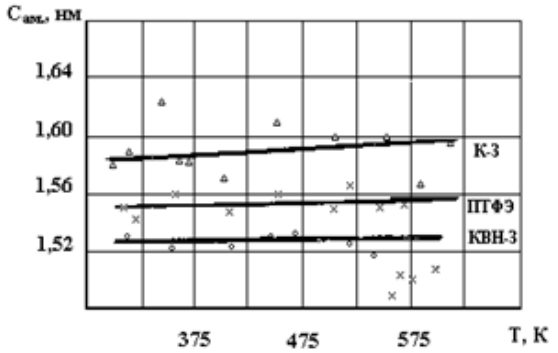


Рис. 2. Температурная зависимость межслоевого расстояния в аморфной фазе

Экспериментальные значения структурных параметров композита К–3 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Структурные параметры композита К-3 при разных температурах

Т, К	275	345	395	455	510	545
а, нм	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58
Сам,нм	1,58	1,58	1,58	1,61	1,60	1,59
χ, %	45	51	54	53	54	54

Степень кристалличности изменяется с ростом температуры значительнее других параметров (рис. 3). Для чистого ПТФЭ степень кристалличности возросла на 14 % в температурном интервале 295 – 555 К, у композита КВН–3 возросла на 23 %.

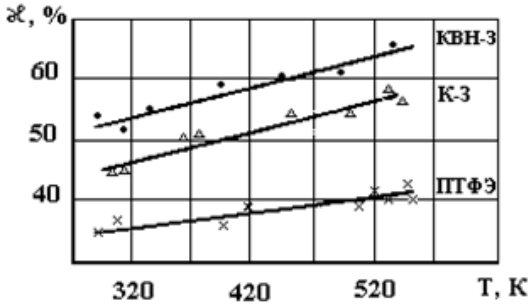


Рис. 3. Температурная зависимость степени кристалличности

Экспериментальные значения структурных параметров кристаллической и аморфной фаз композита КВН-3 при разных температурах приведены в табл. 3.

Таблица 3. Структурные параметры композита КВН-3 при разных температурах

Т, К	275	345	425	505	525	565
а, нм	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58
Сам, нм	1,55	1,52	1,53	1,54	1,52	1,56
χ, %	35	35	41	39	38	38

Список литературы:

1. Машков Ю. К. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. /Ю. К. Машков, З. Н. Овчар, В. И. Суриков, Л. Ф. Калистратова // – М.: Машиностроение, 2005. – 239 с.

2. Структура и свойства политетрафторэтилена, модифицированного природным скрытокристаллическим графитом. / Ю.К.Машков, А. А. Гладенко, Л. Ф. Калистратова и др.//Трение и износ, 2000. Т.21, № 1. - С. 47-51.

3. Высокотемпературные рентгенографические исследования композиционных материалов на основе политетрафторэтилена. / Л. Ф. Калистратова, Ю. К. Машков, Э. М. Ярош. // Деп. В ВИНИТИ. № 4547 – В88.

ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Зимоглядова Т.А., Кривеженко Д.С., Комаров П.Н.
Научный руководитель: Дробяз Е.А., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Марска, 20
E-mail: zimoglyadovamm@rambler.ru

В современном машиностроении широкое распространение получили методы упрочнения материалов направленные на изменение эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деталей машин и элементов конструкций, работающих в условиях интенсивного внешнего воздействия. Для улучшения физико-механических характеристик, повышения износо- и коррозионной стойкости наряду с различными вариантами термической обработки используют методы химико-термической обработки. В процессе химико-термической обработки на поверхности металла образуются различные функциональные покрытия, преимущественно диффузионной природы, содержащие, как неметаллические, так и металлические элементы в различных фазовых состояниях [1].

Среди различных видов химико-термической обработки особое место занимают процессы борирования, заключающиеся в насыщении поверхностного слоя бором и формировании соответствующих боридных покрытий. Боридные покрытия характеризуются высокой твердостью, коррозионной стойкостью, хорошей адгезией к основному металлу и способны в дальнейшем насыщаться другими элементами [2].

Среди основных методов борирования особое внимание занимают методы основанные на применении высококонцентрированных источников энергии, к основным преимуществам которых можно отнести высокую скорость обработки в десятки раз превышающую скорость классических методов, большую толщину упрочненных слоев.

Цель работы заключается в анализе особенностей формирования износостойких боридных покрытий, полученных с использованием высококонцентрированных потоков энергии.

Объектом исследования являлись покрытия, полученные методом наплавки порошковых смесей на низкоуглеродистую сталь 20 токами высокой частоты (ТВЧ) и с применением вневакуумной электронно-лучевой наплавки. В качестве насыщающей среды при формировании покрытия использовали аморфный бор (B) и карбид бора (B_4C). Для защиты поверхностного слоя от окисления в процессе вневакуумной электронно-лучевой наплавки использовали флюс MgF_2.

ТВЧ-нагрев подготовленных образцов осуществляли в петлевом водоохлаждаемом медном индукторе, подключенном к высокочастотному ламповому генератору ВЧГ 6-60/0,44. Обрабатываемые образцы перемещались относительно индуктора со скоростью 0,020...0,100 м/с.

Электронно-лучевая наплавка производилась в Институте ядерной физики СО РАН, на ускорителе электронов ЭЛВ-6 по следующим режимам ток пучка (I) – 24 и 26 мА, диаметр пучка (d) – 12 мм, скорость перемещения электронного пучка (v) – 10 мм/с, расстояние от выпускного окна до обрабатываемой поверхности (h) – 90 мм. Для того чтобы обеспечить наплавку порошковой смеси по всей ширине образца осуществлялось сканирование электронного пучка с частотой 50 Гц и размахом 50 мм.

Структурные исследования сталей выполняли с использованием светового микроскопа Axio Observer A1m и растрового микроскопа EVO 50 XVP компании «Carl Zeiss». Объектами исследования служили металлографические шлифы, приготовленные по стандартным методикам, включающим операции механического шлифования и полирования. Для оценки твердости материалов использовали прибор Wolpert Group 402MVD. Нагрузка на алмазный индентор составляла 0,98 Н.

Металлографические исследования показали, что в процессе наплавки борсодержащей порошковой смеси с применением ТВЧ-нагрева и электронно-лучевого нагрева формируются покрытия толщиной 0,6 и 1,8 мм соответственно. Микростуктура полученных покрытий представлена на рисунках 1 и 2.

Проведенные структурные исследования свидетельствуют о том, что в процессе наплавки карбида бора и аморфного бора формируется градиентный слой со сложной структурой. При вневакуумной-электронно-лучевой наплавке в структуре превалируют массивные бориды Fe_2B и FeB, между которыми располагается эвтектика α-Fe-Fe_2B. В структуре покрытия наблюдаются бориды вытянутые в различных направлениях, что связано с особенностями кристаллизации расплава в процессе интенсивного теплоотвода.

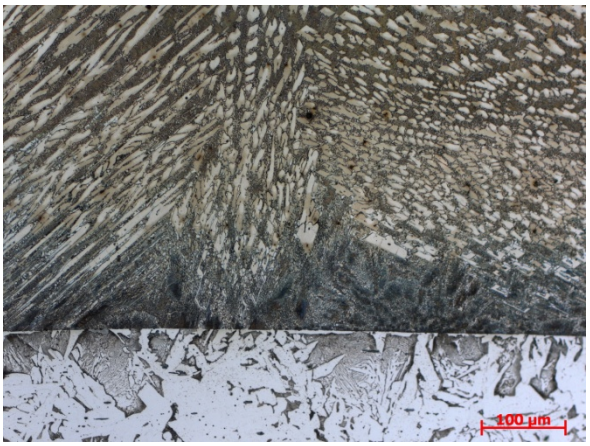


Рис.1. Микростуктура покрытия, полученного методом вневекуумной электронно-лучевой наплавки

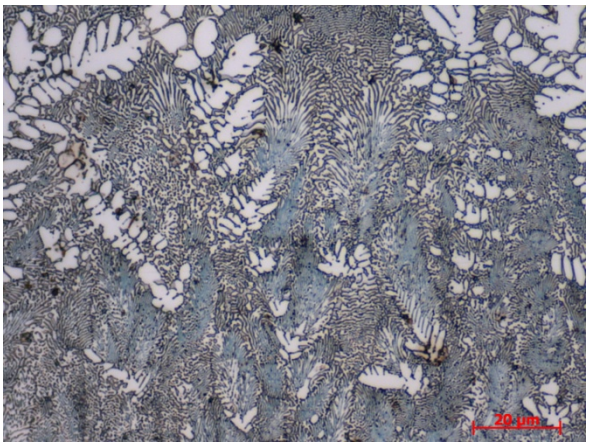


Рис.2. Микростуктура покрытия, полученного с использованием нагрева токами высокой частоты

В структуре покрытия, полученного с использованием нагрева токами высокой частоты, преобладает эвтектика α-Fe-Fe_2B. Кроме того, наблюдаются участки содержащие бориды железа Fe_2B. Низкое содержание высокопрочной фазы в данном случае связано в основном с малым объемом наплавляемой порошковой смеси.

Структура основного металла, прилегающая к покрытию, представляет собой видманщтеттов феррит. Образование такой структуры происходит в процессе интенсивного перегрева поверхностных слоев материала.

Анализ микротвердости показал, что твердость покрытий достигает 14000 МПа (рис. 3). На графиках наблюдаются скачки микротвердости, что свидетельствует о неоднородности упрочненного слоя. Высокие показатели твердости, обусловленные формированием высокопрочной фазы благоприятно отражаются на триботехнических свойствах материалов.

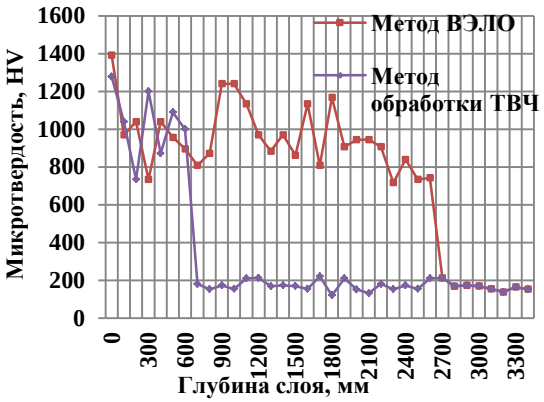


Рис.3. Микротвердость полученных покрытий

Анализ результатов проведенных исследований свидетельствует о возможности использования поверхностного нагрева токами высокой частоты и вневакуумной электронно-лучевой обработки для получения борированных слоев на поверхности низкоуглеродистой стали.

Список использованных источников:

1. Физико-химические и инженерные основы создания функциональных боридных покрытий на сталях при ТВЧ-нагреве / Ишков А.В., Мишустин Н.М., Иванайский В.В. // Научно-технический вестник Поволжья. 2010. № 2. С. 92-97.

2. Крукович М.Г., Прусаков Б.А., Сизов И.Г. Пластичность борированных слоев, 2010. С. 115-120.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Иванова Е.С., Иванова А.А.
Научный руководитель: Сурменев Р.А., к.ф. - м.н., старший научный сотрудник
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: iks131992@yandex.ru

Разработка различных биоматериалов расширила применение их в медицине. В настоящее время активно используется гидроксиапатит, $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. Гидроксиапатит (ГА) является одним из наиболее важных биоматериалов из-за своего сходства с естественной костной тканью [1]. Он обеспечивает быстрое и надежное заполнение костных трещин зазоров вокруг имплантата, что приводит к увеличению зоны контакта с костью.

Формирование биопокрытия на поверхности титанового имплантата проявляет высокую степень врастания в кость и оказывает позитивное влияние на фиксацию имплантатов, как в стабильных, так и нестабильных условиях, с нагрузкой или без нее [2].

Кроме улучшенной биосовместимости, к покрытиям также предъявляют следующие требования: шероховатость, способствующая прочной связи между имплантатом и костью, достаточно высокая твердость и низкий модуль упругости, максимально приближенный к значению костной ткани.

Покрытия с заданными свойствами можно сформировать на имплантатах методом ВЧ-магнетронного распыления [4].

Морфология и структура пленок, возникающих в процессе их формирования, в значительной мере определяет многие эксплуатационные характеристики имплантатов. Учитывая характерный размер покрытия с толщиной в несколько 100 нм, эксплуатационные физико-механические характеристики будут являться характерными на наноуровне. Целью данной работы является исследование влияния шероховатости на физико-механические свойства покрытий, сформированных методом ВЧ-магнетронного распыления на металлических материалах применяемых в хирургии.

Материалы и методы

В качестве материала подложки для напыления покрытий использовался технически чистый титан марки ВТ 1-0, предварительно обработанный: химическим травлением во фторсодержащем растворе (1 мл HF:2 мл HNO_3:2,5 мл H_2O) ($Ti_{хим.тр.}$); импульсным электронным пучком ($Ti_{эл.п.}$). В настоящей работе электронно-пучковое облучение титана осуществляли на вакуумной импульсной электронно-пучковой установке «СОЛО» (Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск) длительностью импульсов воздействия τ = 50 мкс (число импульсов облучения N = 3, частота следования f = 0,3 Гц) с плотностью энергии E_S = 15 к Дж/см^2. Покрытие напыляли на промышленной установке с магнетронным источником (COMDEL, 13,56 МГц) при мощности 500 Вт, давлении аргона 0,1 Па в течение 5 часов. Материалом мишени для распыления служил механохимическим способом синтезированный порошок ГА с химической формулой: $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$.

Исследование топографии и физико-механических свойств экспериментальных образцов проводили в учебно – инновационном центре «Нанотехнологии и наноматериалы» ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина». Морфология обработанного титана и ГА покрытий была исследована на электронном сканирующем микроскопе (СЭМ) высокого разрешения Merlin с возможностью проведения энерго-дисперсионного рентгеновского анализа (ЭДРА). Измерение шероховатости проводили на оптическом профилометре Veeco (Wyco) NT9080. Наноиндентирование осуществляли на нанотрибоиндентометре Ti 950. Индентором Берковича проводили 10 уколов при нагрузке 2,5 мН, глубина проникновения индентора составляла 1/10 от толщины покрытия. Модуль Юнга и твердость определялись по методике Оливера и Фарра [5].

Результаты и обсуждение

Изображения поверхности титана, прошедшего предподготовку перед напылением ГА покрытия представлены на рис. 1 (а,б).

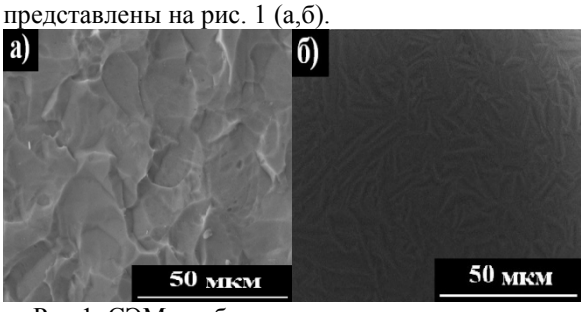


Рис.1. СЭМ-изображения поверхности титана
а) $Ti_{хим.тр}$; б) $Ti_{эл.п}$

Согласно ЭДРА, состав сформированных методом ВЧ-магнетронного напыления покрытия аналогичен составу материала распыляемой мишени: Ca, O, P. Отношение Ca/P ГА покрытий составило 1,69-1,75.

Результаты СЭМ показали, что ВЧ-

магнетронное ГА покрытие плотное, без пор, покрывает поверхность подложки. Полученные на профилометре Veeco (Wyco) NT90 цветовые карты высот исследованных образцов представлены на рис.2 (а,б).

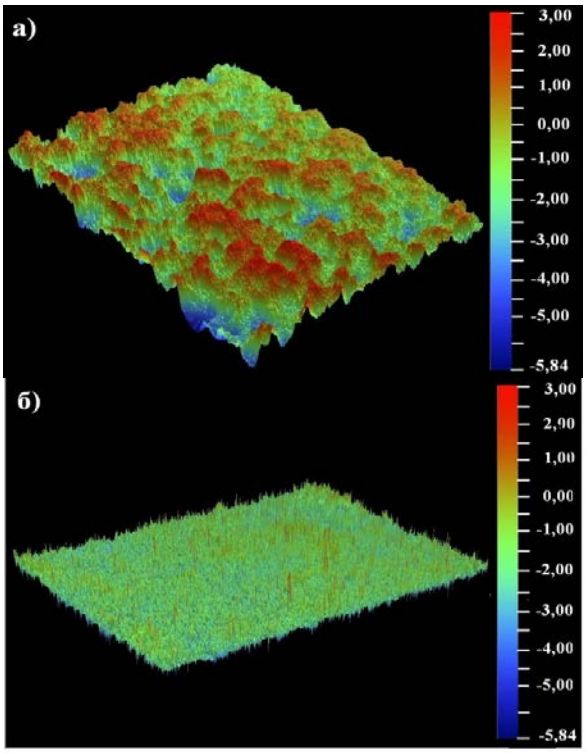


Рис.2. Цветовые карты высот образцов с ГА покрытием : а) $Ti_{хим.тр}$; б) $Ti_{эл.п}$

В таблице 1 приведены численные данные параметров шероховатости исследованных образцов .Результаты указывают на то, что напыление ГА покрытия толщиной 750-800 нм приводит к увеличению параметра Ra на 100 нм в сравнении с значениями исходных подложек.

Таблица 1. Шероховатость исследуемых образцов

Образец	Параметры шероховатости	
	R_a, мкм	R_z, мкм
$Ti_{эл.п.}$	0,41±0.07	5,95±0,08
$Ti_{эл.п.}$ + ГА	0,53±0,01	6,89±0,34
$Ti_{хим.тр.}$	1,14±0,01	11,26±0,52
$Ti_{хим.тр.}$+ГА	1,25±0,16	11,32±1,12

Результаты исследований покрытий методом наноиндентирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Твердость и модуль упругости исследуемых образцов

Образец	E, ГПа	H, ГПа
$Ti_{эл.п.}$	119±10	2,78±0,25
$Ti_{эл.п.}$ + ГА	121,12±5,78	7,76±0,53
$Ti_{хим.тр.}$	125±6	2,24±0,3
$Ti_{хим.тр.}$+ГА	125,5±1,8	8,83±0,2

Установлено:

1. Обработка титана не приводит к изменению значений модуля Юнга и нанотвердости. Это объясняется тем, что исследования характеристик проводились с учетом топографии поверхности.

2. Покрытие ГА, сформированное методом ВЧ-магнетронного распыления характеризуется близкими к исходному титану значениями модуля Юнга и в 2 раза большими значениями нанотвердости.

Одним из требований, предъявляемых к поверхности костных имплантатов, является, близкие значения модуля упругости и нанотвердости искусственного материала и кости. В данной работе проведены исследования физико-механических свойств титана и ВЧ-магнетронного кальций фосфатного покрытия. Костная ткань обладает следующими характеристиками H=2-4 ГПА, E=7-26 ГПа [1]. Полученные данные твердости и модуля Юнга исследованных образцов превышают эти значения. Следующим этапом работы будет поиск решений и технологических приемов, позволяющих снизить значения модуля Юнга и нанотвердости биокомпозита «титан-ГА покрытие».

Литература

1. Эппле М. Биоматериалы и биоминерализация. Томск: Изд-во Ветер.– 2007.– С.165.

2. Калита В.И., Маланин Д.А. // Вестник ВолГИУ. – 2009. – Т.32. – № 4. – С. 17-22.

3. Surmenev R. A. //Sufr. Coat. Technol. –2012. –V. 206. – P. 2035-2056.

4. Engelko V., Yatsenko B., Mueller G., Bluhm H. Pulsed electron beam facility (GESA) for surface treatment of materials // Vacuum. – 2001. – V.62. – P. 211 – 216.

5. Oliver W.C., Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments // J. Mater. Res. – 1992. – V. 7, № 6. – P. 1564–1583.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Исупова И. Л.
Научный руководитель: Трусов П. В., д. ф.-м. н., профессор
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр., 29
E-mail: enotyforever@yandex.ru

Термомеханическая обработка сталей является одной из важнейших составляющих любого технологического процесса, цель которой заключается в создании требуемого комплекса механических свойств материала. В ряде случаев используется изменение микроструктуры при полиморфных превращениях. Превращение может осуществляться как по диффузионному, так и по мартенситному механизмам. При диффузионных превращениях образование новой фазы сопровождается перераспределением легирующих элементов и углерода.

Процессы термомеханической обработки сталей сопровождаются существенной эволюцией микроструктуры (изменение дефектной структуры, фазового состава) и мезоструктуры (разворот кристаллических решеток отдельных зерен). С одной стороны, макровоздействия являются движущей силой изменения мезо- и микроструктуры, а с другой – эволюция мезо- и микроструктуры является фактором, определяющим поведение материала на макроуровне.

При построении предлагаемой математической модели учет эволюции мезо- и микроструктуры происходит за счет явного введения параметров, описывающих состояние и эволюцию мезо- и микроструктуры, формулировки эволюционных уравнений для этих параметров, называемых внутренними переменными [1].

Модели, основанные на введении в их структуру внутренних переменных, по существу являются многоуровневыми. В данном случае в рассмотрение вводятся следующие масштабные уровни: уровень физического тела, уровень представительного макрообъема и мезоуровень. Элементом мезоуровня является отдельное зерно, а представительный объем макроуровня состоит из множества зерен.

Задачу описания поведения сталей можно подразделить на несколько связанных между собой (под)задач, а именно – задачу определения напряженно-деформированного состояния, задачу теплопроводности, задачу диффузии атомов легирующих элементов (углерода), задачу определения фазового состава, т. е. связанная задача «расщепляется» по физическим процессам.

На уровне физического тела ставится и решается краевая задача (включающая в свою постановку уравнение равновесия в скоростях; определяющее соотношение – закон Гука в скоростной релаксационной форме; кинематическое соотношение, определяющее градиент относительной скорости перемещений как разность транспонированного градиента скорости и спина [2]; уравнение теплопроводности, необходимые начальные и граничные условия). Для задачи определения напряженно-деформированного состояния представительный объем рассматривается как статистическая выборка соответствующих элементов мезоуровня; параметры воздействий для модели нижнего уровня назначаются с верхнего уровня (расширенная гипотеза Фойгта), а параметры, характеризующие эволюционирующую структуру, текущие физико-механические свойства, неупругие деформации для представительного макрообъема определяются из условия согласования определяющих соотношений двух масштабных уровней [3, 4]. В температурной задаче каждый элемент мезоуровня аппроксимируется совокупностью конечных элементов и для представительного макрообъема решается краевая задача [5]. Процесс диффузии на больших масштабах происходит очень медленно, поэтому соответствующая задача на уровне физического тела не ставится и не решается, а принимается гипотеза о заданном распределении концентрации во всем теле.

На мезоуровне при решении задачи определения напряженно-деформированного состояния поведение каждого зерна описывается анизотропным законом Гука в скоростной релаксационной форме:

$$\boldsymbol{\sigma}^{cr} \equiv \dot{\boldsymbol{\sigma}} - \boldsymbol{\omega}\cdot\boldsymbol{\sigma} + \boldsymbol{\sigma}\cdot\boldsymbol{\omega} = \mathbf{n} : \left(\mathbf{v}\nabla - \boldsymbol{\omega} - \sum_{i=1}^{m_1} \xi_i \sum_{k=1}^{n} \mathbf{b}_i^{(k)} \mathbf{n}_i^{(k)} \dot{\gamma}_i^{(k)} - \right.$$
$$\left. - \sum_{i=1}^{m_2} \xi_i \mathbf{f}_i^{*} - \boldsymbol{\alpha}\dot{\theta} \right),$$

где $\boldsymbol{\sigma}, \boldsymbol{\sigma}^{cr}$ – несимметричный тензор напряжений Коши [2] и его коротационная производная; $\mathbf{v}$ – скорость перемещений; $\boldsymbol{\omega}$ – спин решетки; ξ_i – объемная доля соответствующей фазы; $\mathbf{f}_i^{*}$ – градиент трансформационной деформации; $\mathbf{n}_i^{(k)}$ – единичный вектор нормали к плоскости скольжения; $\mathbf{b}_i^{(k)}$ – единичный вектор по направлению вектора Бюргерса; $\boldsymbol{\alpha}$ – тензор термического расширения; θ – температура; $\dot{\gamma}_i^{(k)}$ – скорость сдвига по *k*-й системе скольжения *i*-й фазы, определяемая как:

$$\dot{\gamma}_i^{(k)} = \dot{\gamma}_{0i}^{(k)} H\left(\mathbf{b}_i^{(k)}\mathbf{n}_i^{(k)} : \boldsymbol{\sigma} - \tau_{ci}^{(k)}\right) \left(\frac{\mathbf{b}_i^{(k)}\mathbf{n}_i^{(k)} : \boldsymbol{\sigma}}{\tau_{ci}^{(k)}} \right)^{1/m_{ci}},$$

где $\tau_{ci}^{(k)}$ – критическое напряжение сдвига по k-й системе скольжения; $\dot{\gamma}_{0i}^{(k)}$ – материальный параметр; m_{ci} – параметр скоростной чувствительности.

Сопротивление сдвигу в каждый момент процесса определяется следующим соотношением:

$$\dot{\tau}_{ci}^{(k)} = \tau_{ci0}^{(k)} \left(\sum_{j=1}^{n} a_{ji}^{(k)} \left(\frac{\gamma_i^{(j)}}{\sum_{j=1}^{n} \gamma_i^{(j)}} \right)^{\psi_i} \dot{\gamma}_i^{(j)} \right) +$$

$$+ \sum_{j=1}^{n} \left\{ B_i \left| 1 - \frac{\tau_{ci}^{(k)}}{\hat{\tau}_{ci}} \left(\exp\left(-\frac{Q_i}{R\theta} \right) \right)^{m_{1i}} \right|^{m_{2i}} * \right.$$

$$\left. * sign\left(1 - \frac{\tau_{ci}^{(k)}}{\hat{\tau}_{ci}} \left(\exp\left(-\frac{Q_i}{R\theta} \right) \right)^{m_{1i}} \right) \right\} \dot{\gamma}_i^{(j)},$$

где $\tau_{ci0}^{(k)}$ – начальный предел текучести; $B_i, m_{1i}, m_{2i}, \hat{\tau}_{ci}$ – материальные константы; Q_i – энергия активации; $a_{ji}^{(k)}$ – модули упрочнения; $\gamma_i^{(j)}$ – накопленный сдвиг. В законе упрочнения также можно учесть влияние изменения объемной доли на пластическую деформацию родительского аустенита и факт наследования дислокационной структуры аустенита образующейся по мартенситному механизму фазой [3].

Все физико-механические характеристики в многофазной системе определяются по правилу смеси.

Изменение объемной доли описывается следующим кинетическим соотношением, полученным в рамках термодинамики необратимых процессов:

$$\frac{\partial \xi_i}{\partial t} = -l_{ij} \left(\frac{1}{\theta} \frac{\delta f}{\delta \xi_i} - \frac{1}{\theta} \frac{\delta f}{\delta \xi_j} \right),$$

где f – свободная энергия Гиббса [5]; l_{ij} – кинетические коэффициенты.

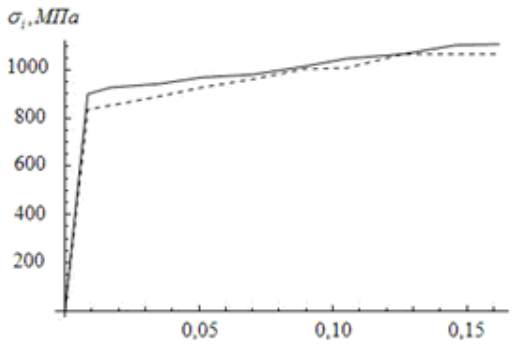


Рис. 1. Диаграмма нагружения (пунктирная линия соответствует экспериментальным данным)

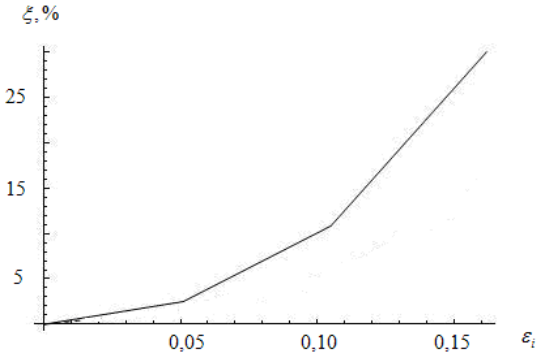


Рис. 2. Зависимость доли образовавшегося мартенсита от интенсивности деформаций

С использованием предложенной модели осуществлено моделирование деформирования представительного объема макроуровня в опытах на одноосное растяжение для стали AISI 301. На рисунках представлены результаты натурного эксперимента и кривые, полученные в результате численного эксперимента.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №13-01-96006-урал_а).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Трусов П. В., Ашихмин В. Н., Волегов П. С., Швейкин А. И.* Конститутивные соотношения и их применение для описания эволюции микроструктуры // Физическая мезомеханика. Д – 2009. – Т.12. – №3. – С. 61-71.

2. *Трусов П. В., Нечаева Е. С., Швейкин А. И.* Применение несимметричных мер напряженного и деформированного состояния при построении многоуровневых конститутивных моделей материалов // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 15-31.

3. *Исупова И.Л., Трусов П.В.* Двухуровневая модель для описания поведения сталей при термомеханическом нагружении с учетом мартенситных превращений: алгоритм реализации модели // Вычислительная механика сплошных сред. – 2013. – Т. 6. – № 4. – С. 491-503.

4. *Трусов П. В., Швейкин А. И., Нечаева Е. С., Волегов П. С.* Многоуровневые модели неупругого деформирования материалов и их применение для описания эволюции внутренней структуры // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т.15. – №1. – С. 33-56.

5. *Исупова И.Л., Трусов П.В.* Математическое моделирование фазовых превращений в сталях при термомеханической нагрузке // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2013. – №3. – С. 126-156.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 08Х17Н14М2

Козлова Т.А.[1], Мельников Е.В.[2]
Научный руководитель: Астафурова Е.Г.[2] с.н.с. ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н., доцент
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[2]Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук,
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: Tati21@inbox.ru

Введение

Растворенный в металлах водород приводит к существенному изменению механических и физико-химических свойств конструкционных материалов. Вопросу влияния водорода на свойства сталей в последнее десятилетия посвящено большое количество исследований, причем большинство из них направлено на изучение прочности, пластичности, пористости и специфических дефектов структуры, связанных с присутствием водорода.

Данная работа посвящена изучению структуры, фазового состава и прочностных свойств (микротвердости) коррозионностойкой аустенитной стали 08Х17Н14М2, подвергнутой химико-деформационной обработке – многоходовой плоской прокатке с обратимым легированием водородом.

Материалы и методы исследования

В качестве материала для исследования была выбрана сталь аустенитного класса 08Х17Н14М2. Образцы для испытаний вырезали на электроискровом станке в форме прямоугольных пластин с размерами 15×10×1,5 мм^3 из стали промышленной выплавки. Поврежденный при резке поверхностный слой на образцах удаляли химическим травлением в растворе: 2 части HNO_3 + 3 части HCl. Затем образцы подвергали механической шлифовке и электролитической полировке в растворе 25 гр CrO_3 + 210 мл H_3PO_4.

Насыщение образцов водородом осуществляли в электролитической ячейке в 1М растворе серной кислоты (H_2SO_4) с добавлением тиомочевины (CH_4N_2S). Электролитическое насыщение образцов водородом проводили при плотностях тока 10, 100, 200 мА/см^2 и продолжительности 5 часов, температура – комнатная.

Пластическую деформацию проводили непосредственно после наводороживания с использованием вальцов настольных электромеханических В-51 до степеней обжатия 25, 50, 75 и 90%.

Прочностные свойства (микротвердость) обработанных по разным режимам образцов изучали с помощью микротвердомера ПМТ-3 с механической нагрузкой на индентор P=200г.

Рентгеновские исследования выполнены на дифрактометре Rigaku Ultima IV с использованием Cu K_α–излучения.

Зеренную структуру изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD-анализ, ДОЭ) с использованием сканирующих электронных микроскопов Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG при ускоряющем напряжении 30 кВ. Просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) проводили на электронном микроскопе JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами.

Результаты исследования

По результатам рентгеноструктурного анализа в исходном состоянии после закалки структура стали аустенитная с параметром решетки a=3.59834 Å, размер областей когерентного рассеяния составляет >200 нм, микродеформация кристаллической решетки – 7*10^{-4} (рис. 1 крив. 1).

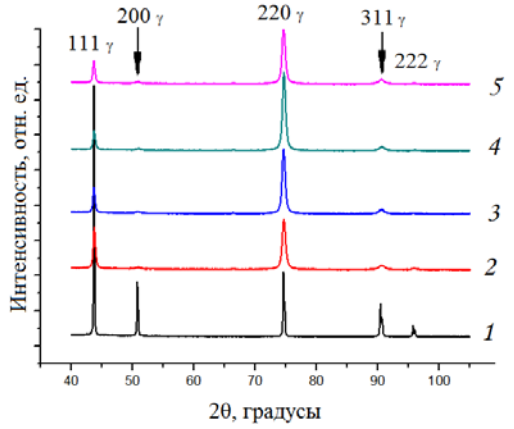
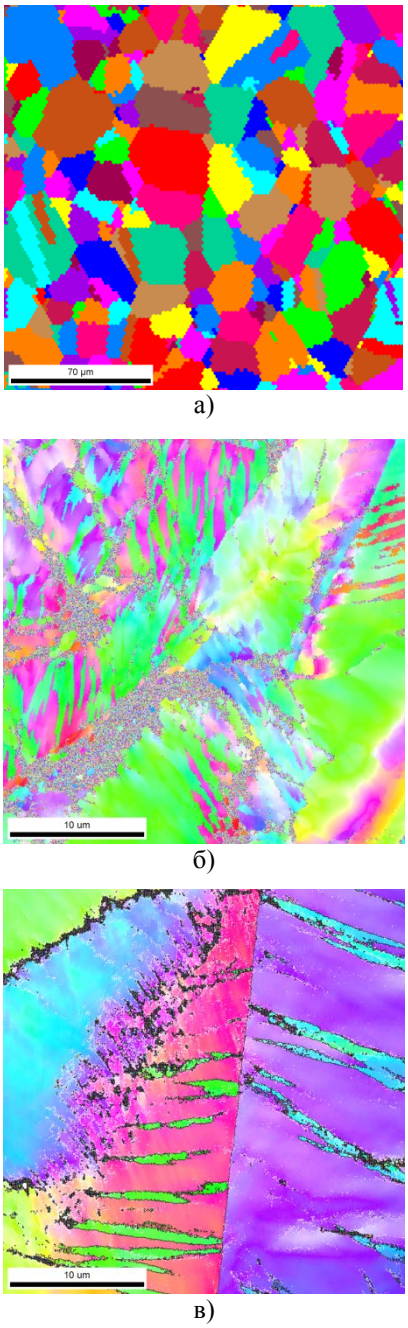


Рис. 1. Рентгенограммы для образцов стали 08Х17Н14М2 после различных режимов обработки: 1) исходный; 2) прокатка; 3) наводороживание (j=10 мА/см^2) и прокатка; 4) наводороживание (j=100 мА/см^2) и прокатка; 5) наводороживание (j=200 мА/см^2) и прокатка. Степень обжатия ε=50 %

С помощью метода ДОЭ была изучена зеренная структура стали 08Х17Н14М2 и построена карта границ зерен для исходного состояния. Структура крупнозернистая, средний размер зерна аустенита составляет 15 мкм (рис. 2 а); границы зерен в основном большеугловые (разориентация более 15º). Микротвердость стали в исходном состоянии составляла 2,2 ГПа.



а)

б)

в)

Рис. 2. EBSD-карты зеренной структуры стали 08Х17Н14М2: а) в исходном состоянии; б) после прокатки (ε=50%); в) после наводороживания при j = 100 мА/см^2 и прокатки (ε=50%)

В ходе деформации зерно измельчается по сравнению с исходным состоянием, на карте зёренной структуры видна ориентированная структура аустенита, сформированная при прокатке (рис. 2 б). Средний размер зерен аустенита, измеренный по ПЭМ темнопольным изображениям, после прокатки на 50% составляет 230 нм. Микротвердость стали после деформации увеличилась до 3,4 ГПа (25%), 3,5 ГПа (50%), 3,7 ГПа (75%), 3,9 ГПа (90%).

Анализ зеренной структуры после прокатки наводороженных образцов стали 08Х17Н14М2 показал, что после электролитического насыщения водородом также наблюдается измельчение (фрагментация) структуры (рис. 2 в). Структура аустенита имеет ориентированный характер, сформированный при прокатке. При этом доля специальных границ (двойниковых) в структуре увеличивается при введении в структуру стали водорода перед прокаткой. По данным ПЭМ, средний размер зерен аустенита для наводороженных и прокатанных (ε=50%) образцов составляет: после прокатки наводороженных при плотности тока 10 мА/см^2 – 185 нм; 100 мА/см^2 – 160 нм; 200 мА/см^2 – 310 нм.

На рентгенограммах (рис.1, крив. 2–5) после пластической деформации как с водородом, так и без него наблюдаются рефлексы только от γ-фазы, т.е наводороживание и пластическая деформация не приводит к фазовому γ-α' превращению. Параметры структуры стали 08Х17Н14М2 (размеры областей когерентного рассеяния, микродеформация кристаллической решетки Δd/d) при заданной продолжительности наводороживания (t=5ч), переменных плотности тока (j) и степени деформации (ε) при прокатке свидетельствуют об измельчении структуры и росте внутренних напряжений.

Дополнительное легирование образцов водородом перед прокаткой приводит к уменьшению микротвердости на 0,1-0,6 ГПа при степени обжатия 25% и росту микротвердости на 0,2-0,6 ГПа при степенях обжатия 50-90% что согласно данным электронно-микроскопических исследований вызвано усилением вклада от механического двойникования при наводороживании.

Выводы

Пластическая деформация стали 08Х17Н14М2 методом плоской прокатки как с предварительным введением водорода, так и без него приводит к существенному измельчению структуры и формированию ультрамелкозернистого состояния со средним размером зерна менее 310 нм. Введение водорода перед прокаткой (со степенями осадки более 25%) приводит к дополнительному увеличению микротвердости до 0,6 ГПа, что вызвано усилением вклада от механического двойникования при наводороживании. Предварительное легирование водородом не приводит к появлению заметного количества α'-мартенсита при прокатке.

Авторы работы выражают благодарность к.ф.-м.н. Майер Г.Г. и к.ф.-м.н. Тукеевой М.С. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования и Белгородского государственного университета. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-90709-мол_рф_нр).

ВЛИЯНИЕ КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 06МБФ

Кошовкина В.С.[1], Майер Г.Г.[2]
Научный руководитель: Астафурова Е.Г.[2], д.ф.-м.н., доцент
[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: koshovkina_vs@mail.ru

Введение

В последнее время активно развивается направление, связанное с формированием ультрамелкозернистых (УМЗ) состояний в металлах и сплавах методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [1-3], с использованием которых можно добиться уменьшения размера зерна и получить высокопрочное состояние. Известно большое количество схем ИПД – равноканальное угловое прессование, кручение под давлением, винтовая экструзия и др. [1]. Работ посвященных глубокому деформированию сталей немного, что связано с технологическими трудностями, хотя ИПД сталей позволяет создавать материалы с высокими прочностными характеристиками, которые имеют перспективы дальнейшего практического применения. УМЗ структуры обладают высокой запасенной энергией и при нагреве могут переходить в крупнокристаллическое состояние [1-4], поэтому важным вопросом при создании таких материалов является их термическая стабильность при отжигах.

В работе исследовали влияние кручения под давлением (КГД) на структуру и микротвердость низкоуглеродистой стали 06МБФ и термическую стабильность этих свойств.

Методика эксперимента

Низкоуглеродистую сталь 06МБФ (Fe-0,1Mo-0,6Mn-0,8Cr-0,2Ni-0,3Si-0,2Cu-0,1V-0,06Nb-0,09C, мас.%) исследовали в исходно ферритном состоянии, полученном после закалки от 920 °С (30мин) в воду и отпуска при 670 °С (1ч).

КГД проводили под давлением 4 ГПа на наковальнях Бриджмена при температуре Т=20°С на пять полных оборотов. После КГД получали диски диаметром 10 мм и толщиной 0,2 мм.

Термическую стабильность, сформированного состояния исследовали после часовых отжигов в интервале температур 500÷700 ºС.

Анализ микроструктуры проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа Technai G2 FEI при ускоряющем напряжении 200 кВ. Средний размер структурных элементов определяли методом секущих по электронно-микроскопическим снимкам.

Рентгеновские исследования выполняли на дифрактометре Shimadzu XRD-6000 с использованием Cu Kα излучения. Расчет микроискажений кристалличской решетки и размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) осуществляли методом аппроксимации.

Прочностные свойства стали до и после ИПД оценивали путем измерения микротвердости по методу Виккерса с использованием микротвердомера Duramin 5 при нагрузке на индентор 200 г, время нагружения 10 сек. За среднее значение микротвердости брали значение, измеренное на середине радиуса диска.

Результаты эксперимента

Исходная структура стали состояла из полиэдрического феррита с размером зерна 2,4 мкм и пластинчатого феррита с толщиной пластин ~ 0,4 мкм [5].

Показано, что КГД исследуемой стали приводит к формированию УМЗ структуры в исследуемой стали (рисунок 1). Микродифракционные картины (электронограммы) после КГД носят кольцевой характер (рисунок 1а, вклейка). На кольцах различимы отдельные рефлексы, их равномерное распределение по кольцу и наличие азимутальных размытий свидетельствуют о наличии высоко- и малоугловых разориентировок между структурными элементами, с которых получены электронограммы. Средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры, рассчитанный на основе анализа темнопольных электронно-микроскопических изображений (рисунок 1б), составляет 100 нм. Методом просвечивающей электронной микроскопии обнаружены карбиды цементитного типа разной дисперсности (15−90 нм в исходном состоянии и < 5 нм после КГД) на границах и внутри элементов структуры, их расположение в структуре квазиоднородно.

После КГД наблюдали увеличение значения микротвердости в 3 раза по сравнению с исходным состоянием (табл.1).

Методом рентгеноструктурного анализа установлено, что КГД вызывает уменьшение интенсивности и увеличение ширины рентгеновских линий. Значения микродеформации кристаллической решетки составляют $2{,}0\times10^{-4}$ в исходном состоянии и достигают значений $3{,}4\times10^{-3}$ после КГД. Размеры областей когерентного рассеяния составляют более 200 нм в исходном состоянии и уменьшаются до 40 нм после кручения. Следовательно, КГД приводит к измельчению исходной структуры и повышению внутренних напряжений в стали.

Таблица 1. Влияние КГД и последующих отжигов на микротвердость (Нμ , ГПа) исследуемой стали

Состояние	без отжига	отжиг при 500°С	отжиг при 600°С	отжиг при 700°С
исходное	2,0	-	-	-
КГД	6,0	6,5	4,4	1,8

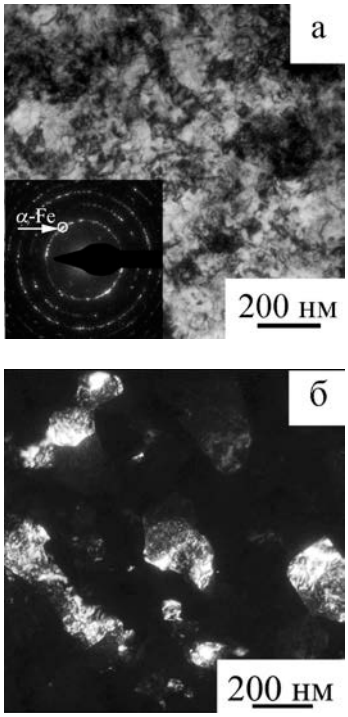


Рисунок 1. Электронно-микроскопические изображения структуры стали 06МБФ после КГД: а) светлопольное изображение и микродифракционная картина, полученная с участка фольги площадью S=0,95мкм^2; б) темнопольное изображение, полученное в рефлексе α-Fe

Изучение влияния отжигов на сформированную при КГД ультрамелкозернистую структуру стали показало, что отжиг при 500 °С не вызывает роста элементов структуры. Средний размер (суб)зерна, определенный по темнопольным электронно-микроскопическим изображениям, составляет 110 нм, то есть имеет близкие значения к состоянию после КГД. После отжига при 600 °С средний размер элементов зеренно-субзеренной структуры возрастает до 315 нм. А после отжига при 700 °С структура стали трансформируется в мелкокристаллическую с размером зерна 4 мкм. Наряду с ростом элементов зеренно-субзеренной структуры наблюдали укрупнение карбидов.

Отжиги приводят к релаксации структуры, уменьшению величины уширения рентгеновских линий, росту ОКР (180 нм после отжига при 500 °С и более 200 нм после отжигов при 600 и 700 °С), спаду значений микродеформации кристаллической решетки (до $1{,}2\times10^{-3}$ после отжига при 500°С, до $0{,}4\times10^{-3}$ – при 600°С и до $0{,}6\times10^{-4}$ – при 700 °С).

Изучение эволюции значений микротвердости при отжигах показало, что вплоть до температуры 500 °С высокие значения микротвердости, сформированные в стали при КГД, сохраняются (табл.1). Последующее увеличение температуры отжига сопровождается спадом значений микротвердости и по достижении температуры 700 °С значения микротвердости приближаются к значению для исходного состояния.

Выводы

Методом кручения под давлением в стали 06МБФ сформировано ультрамелкозернистое состояние со средним размером структурных элементов 100 нм и значением микротвердости 6 ГПа. Ультрамелкозернистый характер структуры и высокие значения микротвердости сохраняются вплоть до температуры отжига 500 °С (1 ч). После отжигов при более высоких температурах происходит рост элементов структуры и уменьшение значений микротвердости, что вызвано процессами возврата и рекристаллизации.

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. М.: ИКЦ Академкнига, 2007. – 398 с.

2. Дегтярев М.В., Воронова Л.М., Чащухина Т.И. Рост зерна при отжиге армко-железа с ультрадисперсной структурой различного типа, созданной деформацией сдвигом под давлением// ФММ. – 2005. – Т.99. – №3. – С.58-68.

3. Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications/ Progress in Materials Science.– 2008. – V. 53. – P. 893–979.

4. Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. – М.: МИСиС, 2005. – 432с.

5. Астафурова Е.Г., Захарова Г.Г., Найденкин Е.В., Рааб Г.И., Одесский П.Д., Добаткин С.В. Особенности микроструктуры и механическое поведение стали 06МБФ после равноканального углового прессования/ Письма о материалах. – 2011. – Т.1. – С.198-202.

Авторы выражают благодарность профессору Добаткину С.В., д.т.н. Одесскому П.Д., д.ф.-м.н. Найденкину Е.В. за помощь в организации исследований. Исследование проведено на оборудовании Томского материаловедческого центра коллективного пользования и Новосибирского государственного технического университета. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке стипендии Президента РФ (СП-4682.2013.1).

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ТЕРМОСТОЙКОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ Al_2O_3 С ДОБАВЛЕНИЕМ MgO

[1]Кретов Ю.Л., [2]Гимаев Б.Д.
Научный руководитель: [3]Буякова С.П., д.т.н., профессор
Томский Государственный Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36.
Томский политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
[3]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4.
E-mail: kretov2005@yandex.ru

Основные направления научных исследований в области керамики предусматривают расширение и углубление исследований новых, в первую очередь высокоплотных, мелкокристаллических и прочных керамических материалов, а также материалов со специфическими свойствами. Большой интерес для современной высокотемпературной керамики представляют материалы на основе синтезированных смесей высокоогнеупорных оксидов в двойных и тройных системах, кривые ликвидуса которых лежат в области весьма высоких температур. Они дают возможность получать широкий спектр высококачественных материалов с разнообразными свойствами, изменение которых можно контролировать и регулировать [1]. В данной работе представляется интересным рассмотрение керамики на основе чистых оксидов, в нашем случае бинарная система Mg0-Al_20_3 и синтетического продукта на их основе, алюмо-магниевой шпинели, которая имеет температуру плавления выше 2000-2500°С, диаграмма состояния Mg0-Al_20_3 представлена на рис.1.

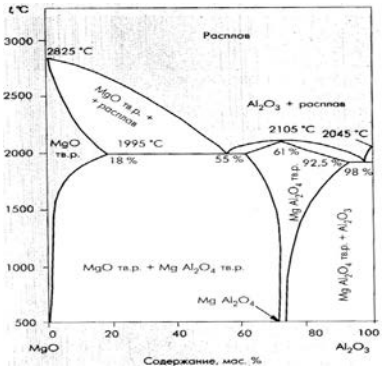


Рис.1. Диаграмма состояния композиционной системы MgO-Al_2O_3

В настоящей работе представлены оригинальные данные, полученные при разработке технической керамики на основе Al_2O_3 с добавлением MgO. Из окислов данных металлов были изготовлены образцы в форме цилиндров: h=20мм, d=13мм. Образцы были изготовлены после механической активации оксида алюминия, без механической обработки удалось получить только образцы с 30% содержанием данного оксида, при большей его концентрации, образцы рассыпались при извлечении их из пресс формы. Полученные прессовки спекались при температурах 1450, 1500, 1550, 1600 и 1650°С, давление при прессовании составляло примерно 13кН. После спекания измерялись масса и размеры каждого образца, на основании полученных измерений рассчитывали пористость и усадку каждого из полученных образцов. С увеличением содержания оксида магния в экспериментальных заготовках, наблюдалось увеличение усадки, так на образцах, полученных из чистого MgO, усадка составила примерно 30%. Также была исследована зависимость пористости образцов от содержания оксида магния, при его содержании в 20% и при $T_{сп}$=1550°С, была обнаружена максимальная пористость, которая составила 50%. При достаточно большом содержании оксида магния, пористость образцов близка к 10%. Исходя из полученных данных, можно утверждать о том, что при малой концентрации оксида магния в композиционной системе (Mg-Al_2O_3), наблюдается увеличение пористости полученных образцов, данные представлены на рис.2.

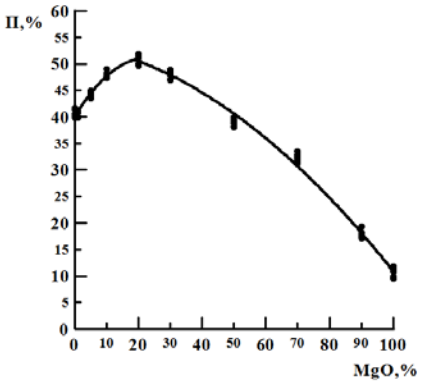


Рис.2. Зависимость пористости образцов от содержания MgO, $T_{сп}$=1550°С

Также были получены данные пористости для образцов при температуре спекания $T_{сп}$=1600°С, рис. 3. На данном графике видно, что при содержании оксида магния от нуля до 20%, происходит резкое увеличение пористости образцов, ее максимальное значение достигает 40% при содержании данного оксида 20%. При увеличении концентрации MgO до 90%,

происходит равномерное уменьшение пористости полученных образцов. Также на приведенном графике видно, что при достаточно большом содержании оксида магния, пористость образцов близка к 8%, то есть полученные образцы получаются очень плотными. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что с помощью увеличения или уменьшения оксида магния в композиционной системе (Mg-Al_2O_3), мы можем довольно точно управлять пористостью и плотностью получаемых нами образцов.

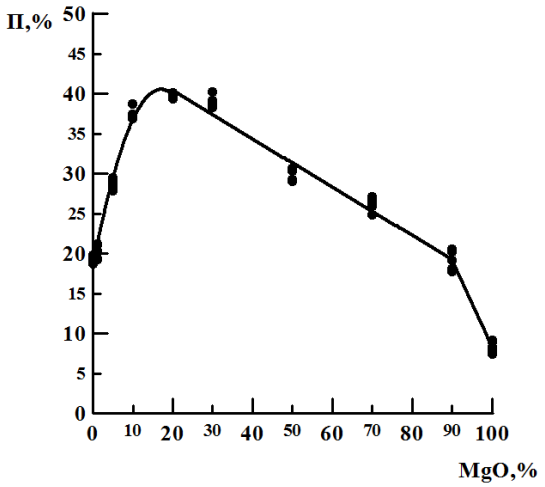


Рис.3. Зависимость пористости образцов от содержания MgO, температура спекания $T_{сп}$=1600^{0}C

На приведенных ниже рисунках 4 и 5 представлена структура поверхности образцов, полученная на оптическом микроскопе.

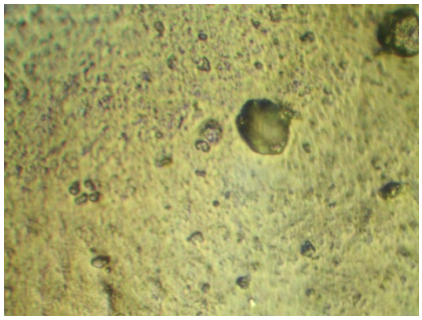


Рис.4. Поверхность образца, после температуры спекания $T_{сп}$=1550^{0}C и содержанием MgO равным 20%.

На представленных картинках мы видим подтверждение полученных нами данных о порах, с изменением содержания оксида магния в композиционной системе (Mg-Al_2O_3). На приведенных картинках черные пятна это поры, количество которых, примерно составляет 50%.

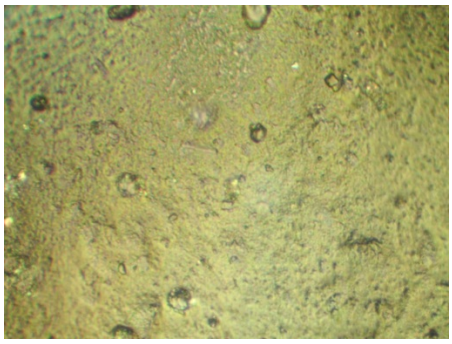


Рис.4. Поверхность образца, после температуры спекания $T_{сп}$=1600°C и содержанием MgO равным 20%.

С помощью рентгеноструктурного анализа было установлено, что в образцах с 30-50% содержанием MgO, наблюдается образование алюмомагниевой шпинели ($MgAl_2O_4$), ее молекулярная масса была измерена, и составила 3,6 г/см^3. Образовавшаяся шпинель обладает очень высокой температурой плавления, химической стойкостью, прочностью и твердостью, которые отлично сохраняются при высоких температурах, алюмо-магниевая шпинель является вполне эффективным материалом для высокотемпературной техники в современном мире. Шпинель может широко применяться при изготовлении теплозащиты камер сгорания и сплавов для лопаток авиационных газотурбинных двигателей, датчиков для измерения высоких температур и элементы конструкций, работающих при циклических термонагружениях.

Данное научное направление является перспективным и значимым для современной науки и техники, так как использование керамических материалов в термонагруженных элементах существенно увеличивает срок их эксплуатации, а при увеличении сроков эксплуатации снижаются затраты на замену комплектующих деталей.

Список литературы:

1. Файков Павел Петрович. Синтез и спекаемость порошков в системе MgO-Al_2O_3, полученных золь-гель методом: диссертация... кандидата технических наук: 05.17.11 Москва, 2007 165 с. РГБ ОД, 61:07-5/2382

МОДЕЛИРОВАНИЕ РУЧЕЙКОВОЙ КОРРОЗИИ ПОЛОСТИ ТРУБОПРОВОДА

Кундянова У.П.
Научный руководитель: Бурков П.В., к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО
«Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», 652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ursula93.28@mail.ru

Введение

В данной статье рассмотрены проблемы эксплуатации промысловых трубопроводов в результате развития «ручейковой» коррозии. Проанализированы характерные особенности взаимодействия ручейковой коррозии с полостью трубопровода. Построена компьютерная модель трубопровода подверженного «ручейковой» корозии. Выявлена и обоснована необходимость модернизации промысловых трубопроводов.

В практике эксплуатации промысловых трубопроводов важной проблемой является выход их из строя в результате коррозии. Средний срок службы промысловых трубопроводов изменяется от нескольких месяцев до 15 лет. Коррозионные процессы приводят к снижению механической прочности труб, и как следствие - к отказам трубопроводов. В результате отказов происходит загрязнение окружающей среды, снижение добычи нефти, повышение затрат на капитальный ремонт трубопроводов и на природоохранные мероприятия.

Промысловые трубопроводы, транспортирующие пластовые флюиды и построенные из углеродистой и низколегированной стали, подвержены, в основном, так называемой «ручейковой» коррозии в виде ручейков (желобов), образующихся по верхней или нижней образующей трубы. В то же время толщина стенки труб по остальному периметру практически не уменьшается.[1] в данном исследовании использовалась труба изготовленная из СТАЛЬ 09Г2С. Чаще всего прокат из данной марки стали используется для разнообразных строительных конструкций благодаря высокой механической прочности, что позволяет использовать более тонкие элементы чем при использовании других сталей. Устойчивость свойств в широком температурном диапазоне позволяет применять детали из этой марки в диапазоне температур от -70 до +450 С. Также легкая свариваемость позволяет изготавливать из листового проката этой марки сложные конструкции для химической, нефтяной, строительной, судостроительной и других отраслей. Применяя закалку и отпуск изготавливают качественную трубопроводную арматуру. Высокая механическая устойчивость к низким температурам также позволяет с успехом применять трубы из 09Г2С на севере страны.Также марка широко используется для сварных конструкций.

Наиболее часто применяемым способом защиты от ручейковой коррозии внутренней поверхности нефтепромысловых трубопроводов является изменение режима перекачки, т.е. повышение давления и подачи, с целью перехода потока перекачиваемой среды с ламинарного в турбулентный. Но изменением режима перекачки не всегда удается добиться турбулентного режима по всей длине трубопровода. При падении давления в конце трубопровода режим часто переходит в ламинарный, что приводит к расслоению перекачиваемой продукции и, в конечном счете, к коррозии металла трубы.[2]

Методика исследования

Современные компьютерные программы при помощи приближенных численных методов позволяют выполнять расчеты систем, имеющих сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру. Метод конечных элементов (МКЭ) является одним из приближенных численных методов, реализованный в программном комплексе Ansys.

В среде Ansys построен и рассчитан участок трубопровода длиной L = 1 м., диаметром условным Dy = 1200 мм., толщиной стенки $\delta = 20$ мм, радиус бороздки от коррозии r_p = 10мм

Постановка задачи следующая:

Участок трубопровода подверженного ручейковой коррозии представлен твердотельным полуцилиндром с радиусом бороздки от ручейковой коррозии 10 мм.

Смоделирован участок трубопровода подверженного «ручейковой» корозии. В трубопроводе повышается давление. По результатам расчетов подтвержается, что при повышение давления и подачи, с целью перехода потока перекачиваемой среды с ламинарного в турбулентный, уменьшается активность «ручейковой» коррозии (рисунок 1). Собственно, значения напряжения по Мизесу и картина перемещений представлены на рисунках 2, 3.

На картине напряжений отображено эквивалентное напряжение, получаемое при суммировании трехмерных напряжений, образующихся в нескольких направлениях.

Карта нагружений при наличии «бороздки» коррозии на исследуемом участке трубопровода (Рисунок 4):

Опыт эксплуатации трубопроводов по транспорту агрессивных сред показал, что для уменьшения влияния коррозии (в частности «ручейковой»), эксплуатирующие организации должны совершенствовать способы защиты трубопроводов. [3]

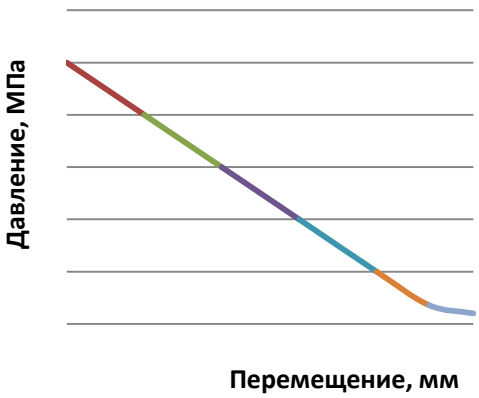


Рисунок 1. График зависимости перемещения от давления

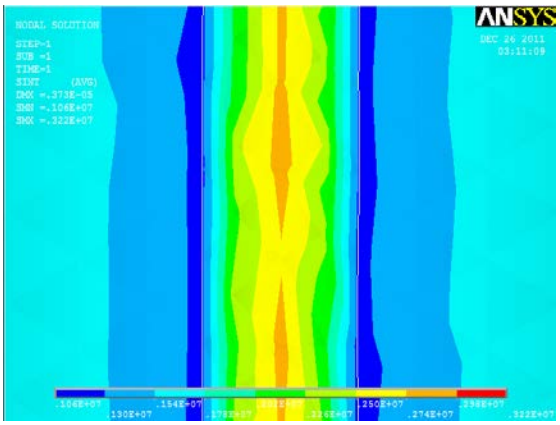


Рисунок 2. Напряжения по Мизесу

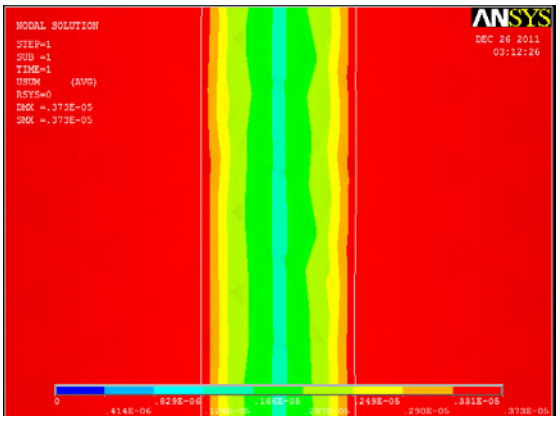


Рисунок 3. Перемещения

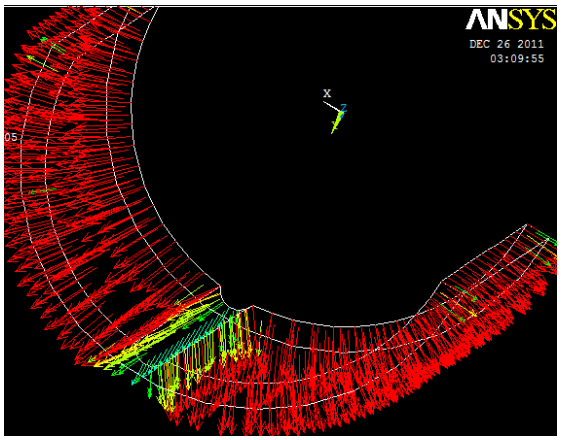


Рисунок 4. Карта нагружений

Исходя из всего выше упомянутого для борьбы с «ручейковой» коррозией, наиболее эффективным способом является создание барьера между внутренней поверхностью труб и транспортируемой средой (нанесение различных видов покрытий на внутреннюю поверхность стальных труб или плакирование различными видами коррозионностойких материалов на основе металлов и неметаллов).[4]

Список литературы

1. Абдуллин И.Г. и др. Механизм канавочного разрушения нижней образующей нефтесборных коллекторов. – М.: Нефтяное хозяйство, 1984. – С. 51-53.

2. Большая Энциклопедия Нефти и Газа: [Электронный ресурс] // Ручейковая коррозия. 2008. URL: http://www.ngpedia.ru/id113006p1.html. (Дата обращения: 28.10.2012)

3. Бекбаулиева А.А. Совершенствование методов и технических средств защиты промысловых трубопроводов от внутренней коррозии. – Уфа, 2010. – 121 с.

4. В.И. Горнштейн, В.М. Айдуганов, О.В. Рабинзон, И.Г. Кашлаков, Л.И. Волкова, С.Л. Чахеев. Стальные трубы, футерованные полиэтиленом, для нефтегазодобывающей промышленности. 1-ый Трубный конгресс 2004 г. – Екатеринбург, 2004. – С. 90-92.

5. П. В. Бурков, С. Г. Буркова. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного составного участка магистрального газопровода в условиях осадки слабосвязанных грунтов, 2005. – С.343-349

ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

Корниенко Е.Е.[1], Лапушкина Е.Ю.[1], Сергачев Д.В.[2]
Научный руководитель: Корниенко Е.Е.[1], к.т.н., доц.
[1]Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20,
[2] Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, Академика Ржанова, 4/1
E-mail: kornienko_ee@mail.ru

Повышение износостойкости конструкций и деталей машин, работающих в тяжелых условиях внешнего нагружения и контактирующих при этом с абразивными веществами, является актуальной задачей современного материаловедения. Для формирования покрытий, стойких к абразивному износу, используют порошки на основе никеля. Одним из эффективных методов нанесения покрытий является сверхзвуковое воздушно-плазменное напыление, которое позволяет не только сформировать износостойкие покрытия на поверхностях любой сложности, но и восстановить изношенные участки деталей. Реализация выбранной технологии связана со следующими проблемами: в покрытиях могут присутствовать несплошности, оксидные пленки и проявляться структурная неоднородность [1, 2]. Одной из причин возникновения подобного рода дефектов может служить различное агрегатное состояние частиц, находящихся в плазме [2]. Полностью избавиться от этих дефектов невозможно, но можно значительно сократить их количество, грамотно подбирая технологические режимы напыления.

Объектами исследований в настоящей работе служили покрытия, сформированные с использованием технологии плазменного напыления на сварных трубах из низкоуглеродистой стали ВСт1сп с наружним диаметром 60 мм, толщиной стенки 3 мм и длиной 20 мм. В качестве напыляемого материала использовали самофлюсующийся порошок на никелевой основе ПР-Н77Х15С3Р2-3 дисперсностью 40/100 мкм. Напыление выполняли в Институте прикладной и теоретической механики СО РАН на установке плазменного напыления порошковых материалов «Термоплазма 50-01». Режимы плазменного напыления: расход плазмообразующего газа – 3 г/с, расход транспортирующего газа (воздух) 0,27 г/с, дистанция напыления – 170 мм, ток дуги и напряжение – 140 А и 265 В, 170 А и 258 В, 200 А и 250 В, 230 А и 243 В, соответственно. Непосредственно перед напылением поверхность труб подвергали пескоструйной обработке. После напыления для снижения уровня остаточных напряжений в течение 3 часов проводили отжиг при температуре 350 °С.

Металлографические исследования покрытий выполняли на оптическом микроскопе *Carl Zeiss AxioObserver A1m* и растровом электронном микроскопе *Carl Zeiss EVO50 XVP*. Измерения микротвердости проводили на твердомере для проведения испытаний по Виккерсу 402MVD.

Изображение типичной частицы напыляемого порошка представлено на рис. 1. Частицы имеют преимущественно сферическую форму и дендритное строение.

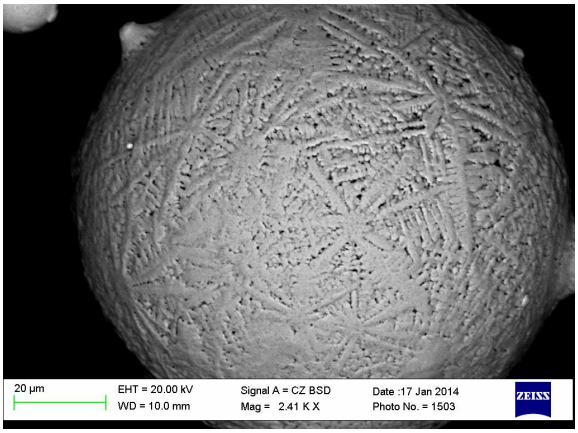


Рис. 1. Частица исходного порошка ПР-Н77Х15С3Р2-3.

Толщина полученных покрытий составляет 350…400 мкм. В результате микроструктурных исследований было выявлено, что в покрытиях наблюдаются частицы с различной степенью проплавления (рис. 2):

частицы 1 типа – не расплавившиеся и недеформированные (сохранили округлую форму и дендритное строение) (обозначено цифрой 1 на рис. 2);

частицы 2 типа – не расплавившиеся, но пластически деформированные (имеют расплющенную форму и сохраняют дендритное строение) (рис. 2, (2));

частицы 3 типа – расплавившиеся (имеют расплющенную форму и не имеют дендритного строения) (рис. 2, (3)).

Количество частиц 1 типа в покрытиях не велико и с увеличением тока дуги уменьшается. Обусловлено это повышением температуры плазмы.

Среднее значение микротвердости сформированных покрытий составляет 8000 МПа, что в 4 раза больше значений микротвердости основного металла (рис. 3).

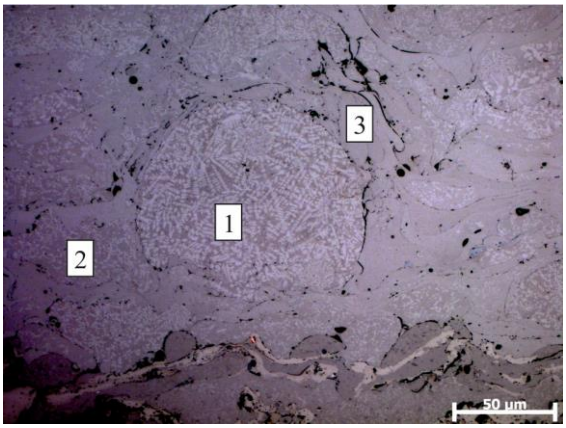


Рис. 2. Микроструктура покрытия: 1 – не расплавившаяся частица, 2 – частица в пластифицированном состоянии, 3 – расплавленная частица. Ток дуги – 140 А.

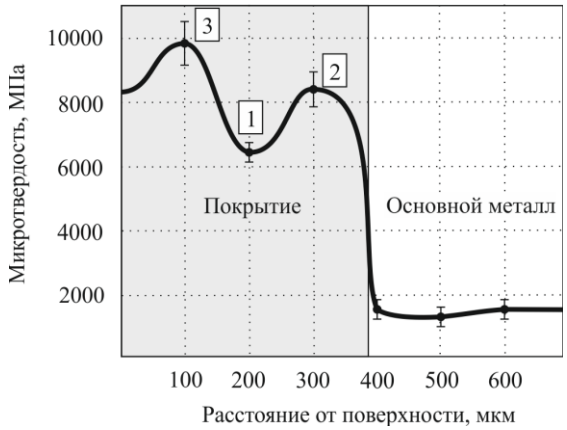
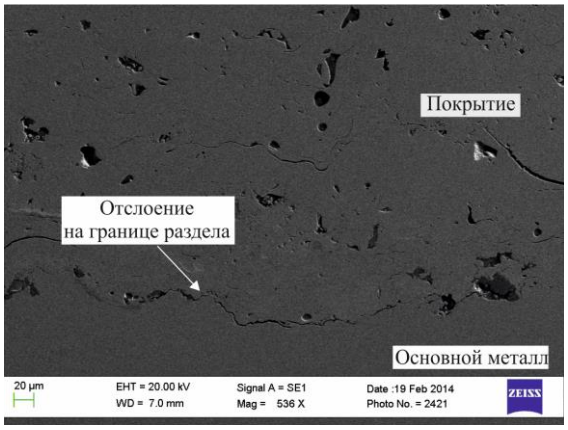


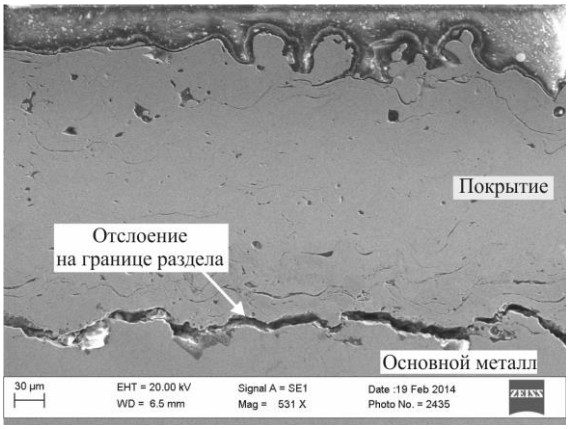
Рис. 3. Микротвердость напыленных покрытий. Ток дуги – 140 А.

Неравномерность распределения значений микротвердости в покрытиях связана с их структурной неоднородностью. Минимальными значениями обладают частицы первого типа – 6000…7000 МПа. Частицы второго и третьего типа имеют более высокий уровень микротвердости (8000…9000 и 9000…10500 МПа, соответственно). Повышение значений твердости частиц второго типа можно объяснить упругопластической деформацией, которая происходит во время соударения их о поверхность. Максимальные значения микротвердости частиц третьего типа связаны со структурными имениями, происходящими во время кристаллизации, в частности, формированием мелкодисперсной гетерофазной структуры.

Плазменное напыление способствует формированию растягивающих напряжений в покрытиях. Величина остаточных напряжений зависит от тока дуги: увеличение данной характеристики повышает температуру основного металла и, как следствие, уровень напряжений. На рис. 4 видно, что склонность к отслоению в композиции «основной металл - покрытие» повышается с увеличением тока дуги.



а



б

Рис. 4. Покрытия, полученные плазменным напылением. Режимы напыления (ток дуги): а – 140 А; б – 230 А.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что с позиции повышения микротвердости покрытий целесообразно увеличение тока дуги. В свою очередь, повышение значений тока дуги более 200 А приводит к возникновению высокого уровня напряжений в покрытиях и их отслоению.

Литература:

1. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с яп. В. Н. Попова ; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М. : Машиностроение, 1985. – 240 с.
2. Анциферов В. Н., Шмаков А. М., Агеев С. С., Буланов В. Я. Газо-термические покрытия / Под ред. В. Н. Анциферова. – Екатеринбург : УИФ «Наука», 1994. – 318 с.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ

Лодягина Т.В.
Научный руководитель: Кривоносова Е.А., д.т.н., профессор
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
E-mail: talod@rambler.ru

Микролегирование низколегированных сталей ванадием и азотом способствует их карбонитридному упрочнению, в результате они обладают высокой прочностью, низким порогом хладноломкости, хорошей свариваемостью. Поэтому стали с карбонитридным упрочнением типа 16Г2АФ находят применение при изготовлении ответственных сварных конструкций, например, резервуаров высокого давления, железнодорожных и автомобильных мостов, магистральных трубопроводов [1].

Особенностью указанных конструкций является их работа при повторно статическом нагружении [2, 3], способствующем образованию усталостных трещин. В магистральных трубопроводах переменными нагрузками являются изменения внутреннего давления перекачиваемой нефти в связи с плановыми или внеплановыми остановками нефтеперекачивающих станций или отдельных насосных агрегатов [4].

Надежность и долговечность сварных конструкций во многом определяется различными изменениями структуры основного металла, имеющими место при неравномерном нагреве в процессе сварки. Наиболее опасный участок зоны термического влияния – участок перегрева, где в зависимости от скорости охлаждения (параметра термического цикла сварки) наблюдается изменение структурных составляющих в широком диапазоне: от равновесных (ферритных, перлитных) до закалочных (мартенситных) [5].

Целью данной работы является оценка влияния изменения структуры на участке перегрева, где металл нагревается в процессе сварки выше температуры интенсивного роста зерна аустенита, но ниже температуры плавления, на статическую выносливость (или сопротивление малоцикловой усталости) стали 16Г2АФ. На развитие и распространение усталостной трещины учитывалось влияние доли хрупкой структуры мартенсита и доли неметаллических включений, так как в процессе нагрева также наблюдается значительная трансформация оксисульфидных включений на участке перегрева, связанная с процессами их растворения и коалесценции [6, 7]. Размер зерна не учитывался, так как в результате наличия дисперсных карбидов в данной стали, препятствующих росту аустенитного зерна, он изменяется незначительно [8].

Для проведения анализа были подготовлены образцы, на которых проводили имитацию термических циклов сварки путем их нагрева проходящим электрическим током примерно до температуры 1350 °С. Изменение длины участка нагрева образцов определяло получаемые скорости охлаждения, которые могут быть реализованы при сварке стали 16Г2АФ на участке перегрева. В процессе нагрева и охлаждения фиксировалась температура в середине образца для построения термических циклов, по которым определялись реальные скорости охлаждения $\omega_{6,5}$ образцов в интервале температур 600 – 500 °С.

На имитированных образцах проводились испытания на малоцикловую усталость в результате их плоского изгиба по отнулевому циклу нагружения при консольном закреплении. В ходе циклического нагружения фиксировалось расстояние, на которое удалилась трещина от концентратора по высоте образца, и соответствующее число циклов нагружения. Образцы доводились до разрушения. В результате испытаний образцов и обработки полученных данных были определены теоретическая длительность периода до появления трещины N_0 и длительность периода до разрушения N_K (таблица 1).

Таблица 1. Параметры, характеризующие сопротивление стали 16Г2АФ малоцикловой усталости

$\omega_{6,5}$, °С/с	15,2	29,8	42,4	64,9	92,6
N_0, шт.	6820	9037	25140	18240	26875
N_K, шт.	206000	85800	135400	141600	150400

В ходе металлографического анализа определялись следующие параметры структуры (таблица 2):

– доля мартенсита D_M (с помощью диаграммы изменения структурных составляющих в зоне термического влияния стали 16Г2АФ);

– объемная доля неметаллических включений D_N с помощью программного комплекса для обработки и анализа изображения «ВидеоТест–Металл 1.0».

Таблица 2. Параметры структуры образцов стали 16Г2АФ

$\omega_{6,5}$, °С/с	15,2	29,8	42,4	64,9	92,6
D_M,%	36	60	73	90	97
D_N, об.%	0,1739	0,2244	0,2222	0,1781	0,1217

При обработке экспериментальных данных были получены математические модели в пакете Mathcad [9], описывающие зависимости длительности периодов до появления трещины и до разрушения от доли мартенсита и неметаллических включений в структуре образцов. При этом акцент ставился на выявление того, какой параметр структуры в большей степени оказывает влияние на процесс зарождения и на процесс распростра-

нения трещины в ходе испытания на малоцикловую усталость.

Доля мартенсита и доля неметаллических включений определяется скоростью охлаждения стали, поэтому в первую очередь была выявлена форма зависимости параметров сопротивления малоцикловой усталости участка перегрева стали 16Г2АФ от скорости охлаждения (рис. 1, 2). Для получения зависимостей проводили нелинейный парный регрессионный анализ.

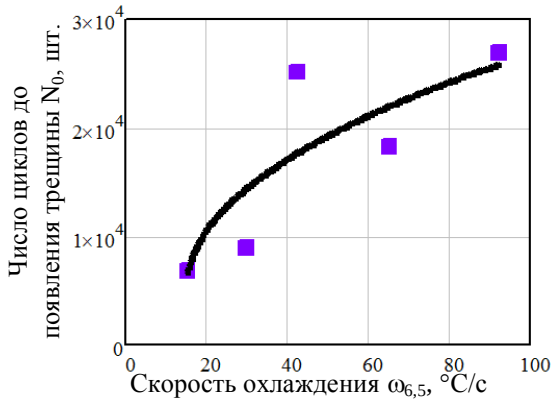


Рис. 1. Зависимость N_0 от $\omega_{6,5}$:
точки – экспериментальные данные;
линия – расчетные данные

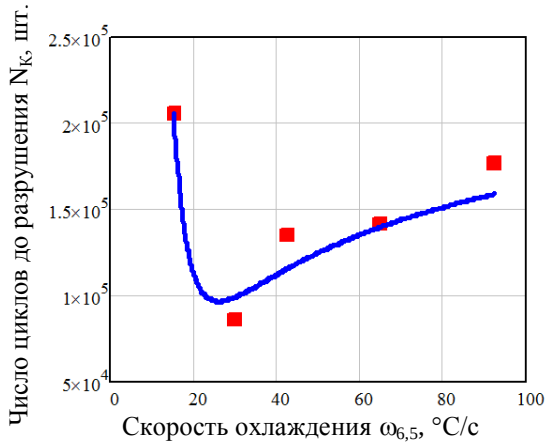


Рис. 2. Зависимость N_K от $\omega_{6,5}$:
точки – экспериментальные данные;
линия – расчетные данные

Чтобы проследить влияние мартенсита и неметаллических включений на участке перегрева стали 16Г2АФ отдельно на характер зарождения и характер распространения трещины, были построены линейные множественные регрессионные модели (1) и (2):

– зависимость N_0 (шт.) от D_M (%) и D_N (об.%) выглядит следующим образом:

$$N_0 = -5311 + 312\cdot D_M + 1908\cdot D_N; \quad (1)$$

– зависимость N_K (шт.) от D_M (%) и D_N (об.%):

$$N_K = 4{,}094\cdot10^5 - 1051\cdot D_M - 1008\cdot10^6\cdot D_N. \quad (2)$$

Для сравнения воздействия параметров структуры на характеристики сопротивления малоцикловой усталости были вычислены стандартизованные коэффициенты регрессии [$b(D_M)$ и $b(D_N)$]:

– для N_0: $b(D_M) = 0{,}835$; $b(D_N) = 0{,}009$;

– для N_K: $b(D_M) = -0{,}565$; $b(D_N) = -0{,}936$;

Стандартизованные коэффициенты регрессии оценивают силу воздействия параметра на зависимую переменную: чем больше его значение по модулю, тем сильнее влияние параметра.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. На зарождение трещины на участке перегрева стали 16Г2АФ при испытаниях на малоцикловую усталость в основном влияет доля мартенсита в структуре.

2. На распространение трещины на участке перегрева стали 16Г2АФ при испытаниях на малоцикловую усталость влияет как доля мартенсита, так и доля неметаллических включений, однако большее влияние оказывает второй параметр структуры.

Список литературы:

1. Гольдштейн М.И. Специальные стали : учебник для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер.— М.: Металлургия, 1985 .— 408 с.

2. Терентьев В.Ф. Усталостная прочность металлов и сплавов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 287 с.

3. Зорин Н.С., Шапшалев Д.Н. Сопротивляемость разрушению трубных сталей и их сварных соединений после длительной эксплуатации // Сварочное производство. – 2009. – 11. – С. 35-36.

4. Курочкин В.В. и др. Эксплуатационная долговечность нефтепроводов / В.В. Курочкин, Н.А. Малюшин, О.А. Степанов, А.А. Мороз. – М. ООО "Недра-Бизнесцентр", 2001. – 231 с.

5. Шоршоров М.Х., Белов В.В. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке: Атлас. – М.: «Наука», 1972. – 220 с.

6. Кривоносова Е.А., Лодягина Т.В. Влияние термического цикла сварки на трансформацию неметаллических включений в зоне термического влияния при сварке стали 16Г2АФ [Электронный ресурс] // Известия Самарского научного центра РАН: научн. журн. 2013. Том 15. № 6(2). URL: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2013/2013_6_391_394.pdf (дата обращения 01.11.2013).

7. Ольшанская Т.В. Термодинамическая оценка условий трансформации неметаллических включений в околошовной зоне сварных соединений низколегированных сталей. // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 92-102.

8. Е.А. Кривоносова, О.А. Рудакова, Г.В. Встовский. Мультифрактальный анализ структурного состава зоны термического влияния сталей с карбонитридным упрочнением // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2010. – Т. 76, №6. – С. 26-30.

9. Воскобойников Ю.Е. Регрессионный анализ данных в пакете Mathcad: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 224 с.

ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ[1]

Ложкина Е..А., Ложкин В.С.
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: helens_case@ngs.ru

Металлические слоистые композиционные материалы являются решением многих проблем, встающих перед современной промышленностью. Благодаря сочетанию в одном целом составляющих с различными свойствами появилась возможность получать материалы, обладающие повышенными показателями конструктивной прочности. Сегодня они находят применение в машино-, самолето-, ракето-, судостроении, электротехнике и т.д. Большая группа металлических слоистых композиционных материалов изготавливается из сталей различного типа. Технологически получить качественное соединение листовых заготовок можно, используя технологию сварки взрывом, характеризующуюся рядом особенностей. Важнейшее из них заключается в том, что тепло выделяется в локальной зоне, а основной объем материала остается относительно холодным.

Наиболее распространенными сегодня являются двух- и трехслойные композиционные материалы. Увеличение количества слоев связано с определенными трудностями, в частности, с деформационным упрочнением в процессе высокоскоростного динамического взаимодействия стальных пластин, что также является характерной особенностью сварки взрывом. В результате этого упрочнения происходит преобразование карбидной фазы, образование большого количества двойников деформации, формирование субмикрокристаллической структуры, увеличение плотности дислокаций и т.д. В случае многостадийного процесса сварки деформационное упрочнение снижет качество получаемых многослойных композиций, вплоть до их разрушения в процессе соединения. В зависимости от решаемых задач в определённых условиях рационально проведение промежуточных или окончательного отжигов многослойных материалов [1].

Целью данной работы являлся подбор режимов промежуточной термической обработки сварных пакетов и изучение процессов, происходящих при отжиге. многослойных материалов.

Сварка взрывом осуществлялась в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Слоистые композиционные материалы были сформированы за два этапа из пластин сталей 12Х18Н10Т и 5ХВ2С, толщиной 1 мм (рис. 1). Сталь 5ХВ2С для повышения пластичности была подвергнута отжигу, сталь 12Х18Н10Т использовалась в состоянии поставки. В процессе выполнения работы осуществлялся нагрев до температур 300 °С, 400 °С, 500 °С, 600 °С, 700 °С, выдержка и охлаждение вместе с печью.

Металлографические исследования были проведены при помощи оптического микроскопа Axio Observer.Z1m, измерение микротвердости осуществлялось в соответствии с ГОСТ 9450-76 на микротвердомере для проведения испытаний по Виккерсу Model 402MVD.

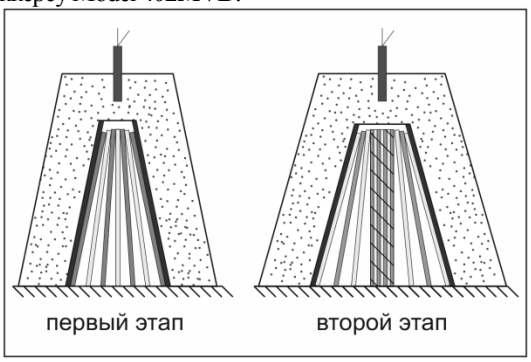


Рис. 1. Схема сварки металлического слоистого композиционного материала за два этапа

При нагреве до 300 оС в результате диффузии углерода в инструментальной стали начинает формироваться обезуглероженный слой (рис.2). Низкая температура начала диффузии объясняется образованием ювенильных поверхностей при сварке взрывом стальных пластин. Увеличение содержания углерода в конструкционной стали приводит к формированию науглероженного слоя, ширина которого достигает 250 мкм.

Количества титана стабилизирующего аустенитную сталь недостаточно для связывания углерода в карбиды титана, по этой причине в околошовной зоне хромо-никелевой стали происходит выделение карбидов хрома, которые повышают ее твердость.

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-03-31864 мол_а

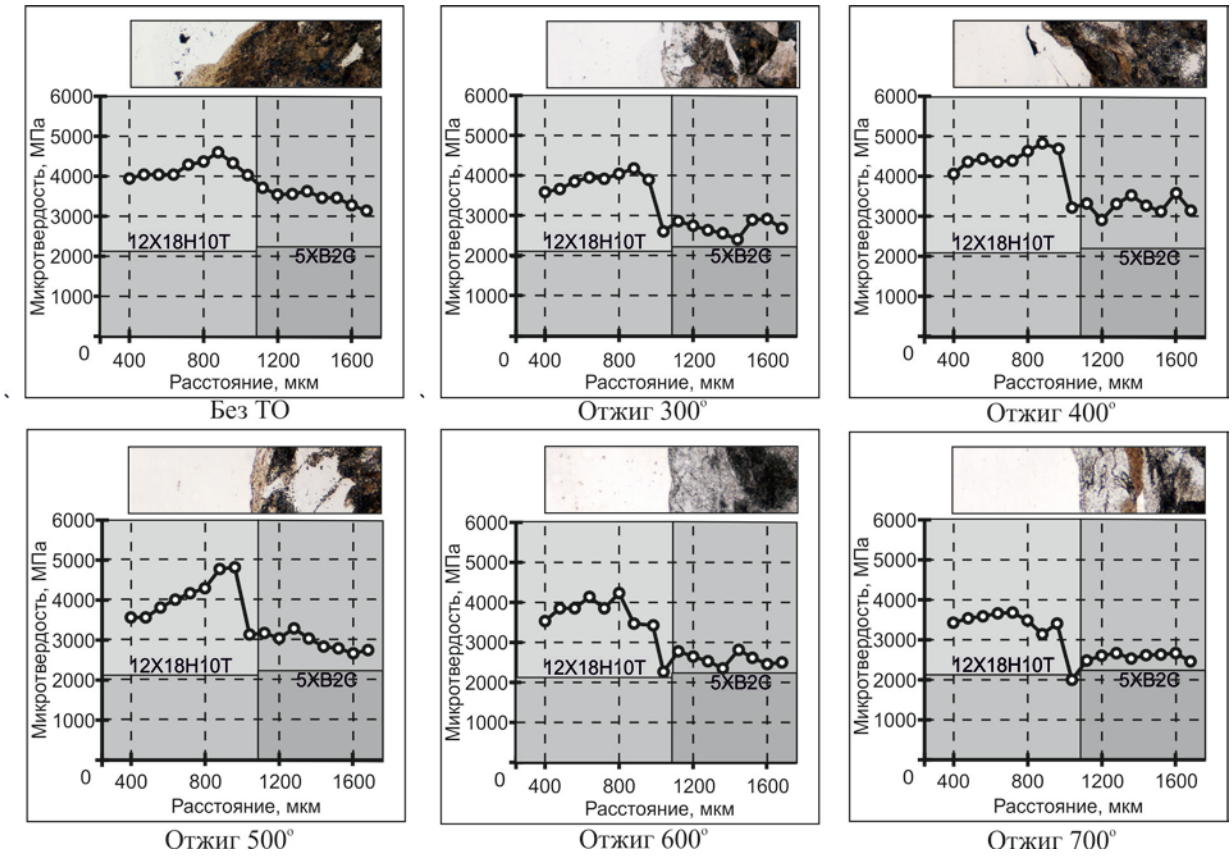


Рис. 2. Изменение микротвердости сварных швов в зависимости от температуры отжига сварного пакета

Характерной особенностью полученных сваркой взрывом соединение является образование вихревых зон. Согласно одной из теорий, такие зоны образуются в результате проникновения в локальный микрообъем материала кумулятивной струи, ее вращения и трения о материал пластин [2]. Атомы углерода начинают проникать в вихревые зоны при более высокой температуре, чем в сталь 12Х18Н10Т [3]. Причиной этого является интенсивно деформированное состояние конструкционной стали в околошовной зоне, что облегчает процесс диффузии. При нагреве до 600...700 °С интенсивность диффузии в зонах вихрей усиливается (рис.2). Высокая микротвердость сильнодеформированных областей сталей в результате нагрева исчезает в результате развития процессов возврата (сталь 12Х18Н10Т), полигонизации и рекристаллизации (сталь 5ХВ2С), что отражается на графиках микротвердости (рис. 2)

Таким образом, рационально рекомендовать при формировании многослойных пакетов из разнородных сталей (например, (5ХВ2С и 12Х18Н10Т) проводить промежуточный отжиг в диапазоне температур 400…600 °С. Нагрев до этих температур позволяет сформировать наиболее благоприятную структуру околошовных зон и сварных швов с пониженным уровнем внутренних напряжений и малой шириной диффузионных слоев.

Список литературы

1. Батаев И. А. Структура и механические свойства многослойных материалов, сформированных по технологии сварки взрывом тонколистовых заготовок из низкоуглеродистой стали : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2010. 266 с.

2. Павлюкова Д. В. Структура и механические свойства слоистых материалов на основе титана и алюминия, полученных по технологии сварки взрывом и дополнительной термической обработки / : дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2011. 237 с.

3. Особенности образования и строения вихревых зон, формируемых при сварке взрывом углеродистых сталей / И. А. Батаев, А. А. Батаев, В. И. Мали, В. Г. Буров, Е. А. Приходько // Физика металлов и металловедение. 2012. Т. 113. № 3. С. 1–8.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СЛОЕВ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВКАХ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОПЛАВЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Лосинская А.А., Головин Д.Д.
Научный руководитель: Батаев В.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: anna.losinskaya@mail.ru

Изнашивание является причиной выхода из строя многих деталей машин и элементов конструкций. Для решения этой проблемы обычно применяют различные методы поверхностного упрочнения. Существует большое количество методов поверхностного упрочнения основанных на химико-термической обработке. Одним из этих методов является цементация. Сущность цементации заключается в диффузионном насыщении поверхностных слоев сталей углеродом при высоких температурах. Цементация является одним из наиболее экономически выгодных и эффективных методов поверхностного упрочнения, но большая длительность процесса и связанные с этим повышенные энергозатраты являются серьезными недостатками отмеченной технологии. Избежать этих недостатков можно используя различные методы наплавки. В современной промышленности широкое распространение получили высокоэнергетические методы обработки, позволяющие с высокой эффективностью формировать упрочненные слои на металлических материалах. К таким методам относятся лазерная, плазменная, электронно-лучевая обработки. В литературе имеются данные по формированию упрочненных слоев методами наплавки на основе различных дорогостоящих высоколегированных сплавов [1-3]. Наплавка высокоуглеродистых слоев в литературе анализируется редко. В работах [4-6] рассмотрено введение углерода в стали методами лазерной и плазменной наплавки.

Технологические параметры электронного ускорителя ЭЛВ-6, разработанного в Институте ядерной физики СО РАН, позволяют осуществлять наплавку порошковых углеродосодержащих смесей на стали, а также производить поверхностную закалку наплавленных слоев [7, 8]. Целью данной работы являлось изучение возможности формирования высокоуглеродистых слоев на стальных цилиндрических заготовках методом вневакуумного электронно-лучевого оплавления углеродного волокна.

В качестве материала исследования применялись трубы из стали 20, диаметром 48 мм с толщиной стенок 4 мм. Перед нанесением наплавляемого материала поверхность труб очищалась от окислов и обезжиривалась. В качестве насыщающего материала использовалось углеродное волокно GG 210-P. Для облегчения растворения углерода и его смачивания использовался порошок железа карбонильного ОСЧ6-2 (ТУ 6-09-3000-78). Защиту ванны расплава от кислорода, содержащегося в воздушной атмосфере, обеспечивал сварочный флюс MgF_2. Порошки железа и флюса смешивались со связующим веществом, в качестве которого выступал клей БФ.

Энергия электронов в пучке составляла 1,4 МэВ. Наплавка производилась при скорости обработки – 20 мм/с, расстояние от выпускного отверстия до поверхности заготовки составляло 90 мм, диаметр пучка электронов на обрабатываемой поверхности – 12 мм, ток пучка изменялся от 8 до 10 мА. В процессе обработки были сформированы спиральные пересекающиеся дорожки.

Микроструктура полученных слоев была исследована на поперечных шлифах, подготовленных по стандартной технологии, сочетающей шлифование и полирование. В качестве травителя применялся 5%-ный раствор HNO_3 в этиловом спирте.

С целью оценки качества полученных материалов были изучены их механические и триботехнические свойства. Микротвердость покрытий измерялась на приборе Wolpert Group 402MVD, нагрузка на алмазный индентор составляла 0,98 Н. Проведены испытания материалов на износостойкость в условиях воздействия закрепленных абразивных частиц. В качестве контрольного материала применялась сталь 20 после цементации с последующей закалкой и низким отпуском.

Испытания на износостойкость в условиях воздействия закрепленных частиц абразива проводились согласно ГОСТ 17367. Образцы, имевшие форму цилиндров диаметром 2 мм, прижимались к абразивной шкурке с силой 3 Н. Траектория движения образца представляла собой спираль Архимеда. Время испытания составляло 35 с. В ходе испытания оценивалась потеря массы образцов.

Структурные исследования показали, что подобранные в ходе работы режимы обработки, позволяют формировать наплавленные слои толщиной до 2-х миллиметров. Видно, что концентрация углерода по глубине наплавленных слоев не одинакова. Структуру наплавленного слоя можно условно разделить на пять зон (рис. 1): 1 - белый эвтектический чугун; 2 -

доэвтектический чугун; 3 - завтектоидная сталь; 4 - эвтектоидная сталь; 5 - зона термического влияния.

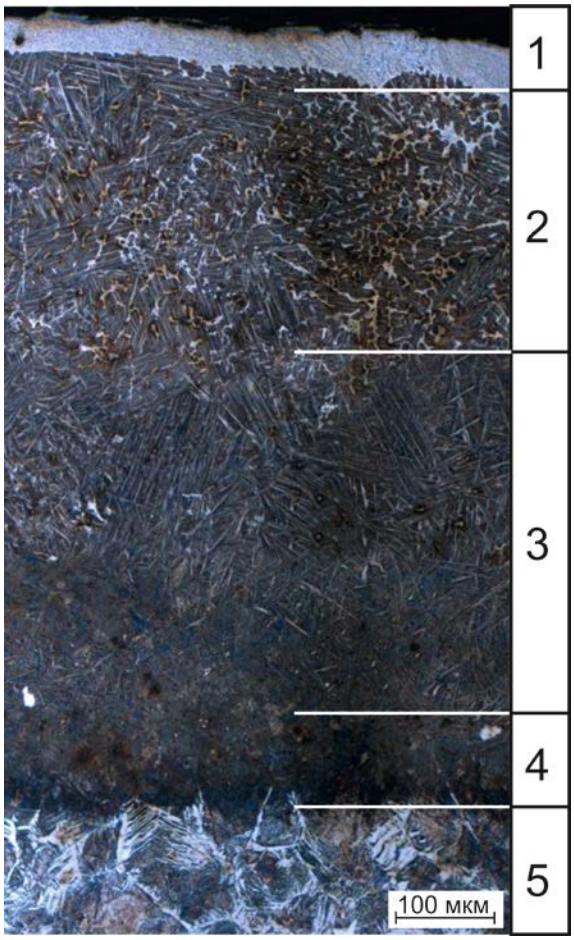


Рис. 1. Структура наплавленного слоя

В структуре поверхностного слоя наблюдается ледебурит (рис. 1), что характерно для эвтектического белого чугуна. Следующий по глубине слой имеет структуру доэвтектического чугуна, в этом слое наряду с ледебуритом содержатся колонии перлита. На большем расстоянии от поверхности концентрация углерода в слое значительно уменьшается, здесь наблюдаются вторичный цементит видманштеттого типа и перлит, при этом структура соответствует заэвтектоидной стали. Далее располагается зона термического влияния с ферритом видманштеттого типа. Наличие этой зоны характерно при использовании высокоэнергетических методов воздействия.

При измерении микротвердости было установлено, что максимальная твердость наплавленных слоев составляет 7000 МПа, что в 3,5 раза выше по сравнению с основным материалом (2000 МПа), это должно благоприятно сказаться на триботехнических свойствах материала.

Испытания наплавленных слоев в условиях воздействия закрепленных частиц абразива показали, что износостойкость сформированных покрытий на 80 % выше износостойкости стали 20 в отожженном состоянии, и на 15 % выше износостойкости контрольного материала – цементованной, закаленной и низкоотпущеной стали 20.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что электронно-лучевая наплавка углеродного волокна позволяет сформировать высокоуглеродистые слои, имеющие высокую твердость и хорошие триботехнические свойства.

Список литературы

1. Муль Д.О., Дробяз Е.А., Чакин И.К., Самойленко В.В., Ложкин В.С., Доставалов Р.А. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита. Обработка металлов, 2013, № 3, с. 115-120.

2. Tribological behavior of line hardening of steel U13A with Nd:YAG laser [Text] / R. Sagaro, J. S. Ceballos, A. Blanco, J. Mascarell // Wear. – 1999. – Vol. 225 (229). – P. 575–580.

3. Micro-scale abrasive wear behaviour of HVOF sprayed and laser-remelted conventional and nanostructured WC–Co coatings [Text] / H. Chen, C. Xu, Q. Zhou, I. M. Hutchings, P. H. Shipway, J. Liu // Wear. – 2005. – Vol. 258. – P. 333–338.

4. Jianhua Yao, Qunli Zhang, MingxiaGao, Wei Zhang. Microstructure and wear property of carbon nanotube carburizing carbon steel by laser surface remelting.Applied Surface Science 254 (2008) 7092–7097.

5. Jianhua Yao, Chunan Ma, Mingxia Gao, Fanzhi Kong, Qunli Zhang. Mi-crostructure and hardness analysis of carbon nanotube cladding layers treated by laser beam.Surface & Coatings Technology 201 (2006) 2854–2858.

6. J. García Molleja, L. Nosei, J. Ferrón, E. Bemporad, J. Lesage, D. Chicot, J. Feugeas. Characterization of expanded austenite developed on AISI 316L stainless steel by plasma carburization. Surface & Coatings Technology 204 (2010) 3750–3759.

7. Структура и свойства поверхностных слоев низкоуглеродистой стали, полученных методом наплавки углеродсодержащих порошковых смесей и последующей закалки / А. А. Лосинская, М. Г. Голковский, Е. А. Дробяз, Н. В. Плотникова, В. В. Самойленко // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. – 2013. – № 4. – С. 5–11.

8. Лосинская А. А. Формирование высокоуглеродистых слоев на стали и их закалка с использованием мощного электронного пучка, выведенного в атмосферу / А. А. Лосинская, Д. Д. Головин // Перспективы науки. – 2013. № 10 (49). – С. 7–10.

ИНИЦИИРОВАНИЕ ФТДО И СМЕСЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Лысык В.В., Турлыбекулы А., Липовка А.А.
Научный руководитель: Олешко В. И., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: lvv1287@gmail.com

Введение

Эндотермическое вещество фуразанотетразин диоксид ($C_2N_6O_3$, ФТДО), обладающее высокой энтальпией образования (4200 кДж/кг), представляет большой интерес в качестве перспективного высокоэнергетического материала [1]. Однако его практическое использование затруднено в связи с высокой чувствительностью к механическим воздействиям, сопоставимой с чувствительностью азида свинца. Для преодоления этого препятствия предложено кристаллизовать ФТДО в смеси с динитродиазапентаном ($C_3H_8N_4O_4$, ДНП). Ранее были получены данные [2] по энергетическим порогам (H, Дж/см^2) электронно-пучкового инициирования ФТДО и смесей ФТДО/ДНП с содержанием ФТДО 49 и 65 вес.%. Особенности процесса импульсного радиационного воздействия на энергетические материалы дает возможность более полно формулировать механизм их взрывного превращения.

В настоящей работе изучены закономерности и особенности электронно-пучкового инициирования образцов ФТДО и смесей ФТДО/ДНП (75/25) с содержанием ФТДО 75 вес.%.

Методика эксперимента

Исследуемые образцы ФТДО представляли собой прессованные при давлении 4000 бар до плотности 1,44 г/см^3 таблетки диаметром Ø = 3 мм и толщиной d = (420–450) мкм. Образцы смесей ФТДО/ДНП приготавливались кристаллизацией соответствующего расплава при температуре 20 °С. Источником возбуждения (инициирования) служил наносекундный ускоритель электронов ГИН-600 (эффективная энергия электронов ~ 250 кэВ, максимальный ток ~ 3 кА, длительность импульса тока на полувысоте ~ 15 нс). Плотность энергии электронного пучка H, выведенного в атмосферу, варьировалась в диапазоне (0,05–0,25) Дж/см^2 путем изменения расстояния от выходной фольги электронного ускорителя до образца. При облучении образцов в вакуумной камере H изменялась в пределах 0,05–60 Дж/см^2 путем изменения величины катод-анодного зазора и применением диафрагм. Кинетические характеристики катодолюминесценции (КЛ) ФТДО и продуктов взрывного разложения регистрировались с помощью измерительной системы на основе дифракционного монохроматора МДР-23, ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034, связанного с компьютером. Полное временное разрешение системы регистрации составляет ~ 15 нс. Измерения проводились при температуре 300 К. Интегральные спектры взрыва регистрировали с помощью оптоволоконного спектрометра AvaSpec 2048-2. Спектральный диапазон измерений 480–980 нм, спектральное разрешение ≈ 1,5 нм.

Результаты и их обсуждение

Катодолюминесценция. Установлено, что облучение образцов ФТДО электронным пучком с плотностью энергии $H < 0{,}09$ Дж/см^2 сопровождается импульсной катодолюминесценцией (КЛ). Типичный спектр КЛ образцов ФТДО и ФТДО/ДНП (75/25), измеренный в момент облучения электронным пучком, приведен на рис. 1. Видно, что спектр КЛ состоит из одной широкой полосы излучения, максимум которой соответствует энергии 2,14 эВ (FWHM ~ 0,36 эВ, время затухания $t \leq 10$ нс).

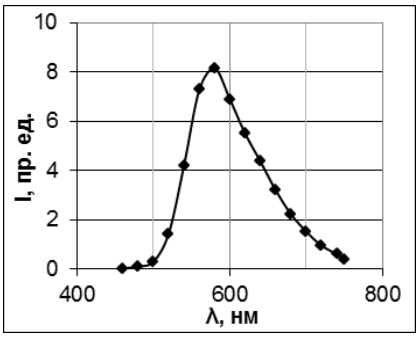


Рис. 1. Спектр катодолюминесценции ФТДО, измеренный при $H = 0{,}05$ Дж/см^2, Т = 300 К.

При $H \geq 0{,}09$ Дж/см^2 наблюдается взрывное разложение образцов. Величина пороговой плотности энергии ФТДО близка к пороговой плотности инициирования азидов тяжелых металлов (АТМ), которая составляет 0,1 Дж/см^2. Кинетика взрывного свечения ФТДО при H ~ 0,15 Дж/см^2 представлена на рис. 2.

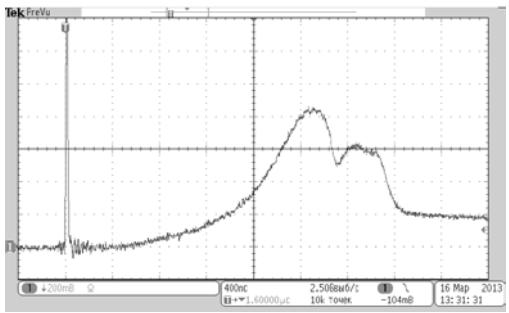


Рис. 2. Кинетика взрывного свечения чистого ФТДО при инициировании электронным пучком с плотностью энергии $H = 0{,}15$ Дж/см^2. Цена большого деления шкалы времени: 400 нс/дел.

Первый, короткий пик свечения на осциллограмме соответствует катодолюминесценции образца. Второй, длинновременной пик представляет собой свечение продуктов взрывного разложения, возникающее с задержкой $t_{инд.} \sim (1{,}0–1{,}2)$ мкс относительно момента облучения.

Увеличение плотности энергии СЭП в диапазоне $0{,}09 \le H \le 0{,}25$ Дж/см^2 приводит к монотонному уменьшению индукционного периода с 1200 до 30 нс при одновременном сокращении длительности импульса взрывного свечения. Зависимость длительности индукционного периода от плотности энергии СЭП приведена на рис. 3.

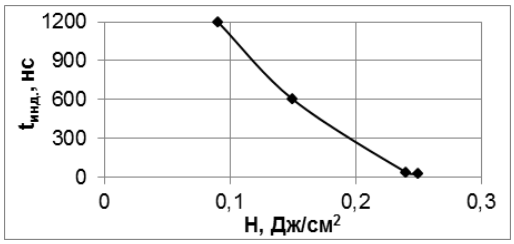


Рис. 3. Влияние плотности энергии электронного пучка на длительность индукционного периода чистого ФТДО.

При облучении электронным пучком флегматизированных образцов ФТДО/ДНП (75/25) взрывное превращение зарегистрировано лишь при максимальной плотности энергии $H \sim 50$ Дж/см^2. Типичная осциллограмма взрывного свечения ФТДО/ДНП (75/25) при свободном разлете плазмы взрыва приведена на рис. 4.

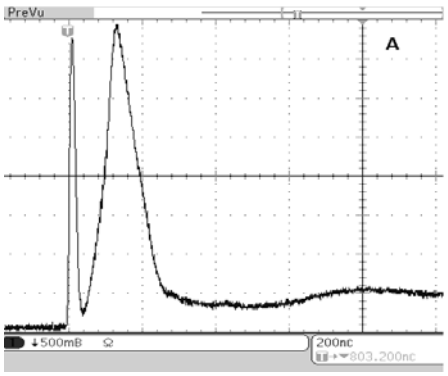


Рис. 4. Кинетика взрывного свечения чистого ФТДО/ДНП (75/25) при инициировании электронным пучком с плотностью энергии $H = 50$ Дж/см^2. Цена большого деления шкалы времени: 200 нс/дел.

Спектры свечения продуктов взрывного разложения. Установлено, что в спектрах плазмы взрыва исследуемых образцов наблюдается два вида свечения: линейчатое излучение атомов, входящих в состав взрывчатого вещества и подложки, на которой крепится образец, и свечение плотной низкотемпературной плазмы, имеющей сплошной спектр. Соотношение интенсивностей линейчатого и сплошного спектров определяется массой взрывчатого вещества, материалом подложки и условиями разлета плазменного факела (свободный разлет или торможение на преграде).

Эмиссионный спектр продуктов взрывного разложения чистого ФТДО при его креплении на подложке из алюминия, измеренный с помощью оптического спектрометра AvaSpec-2048-2, представлен на рис. 5. Видно, что наиболее интенсивными в спектрах взрывного свечения ФТДО являются линии атомов щелочных металлов: Na I: 588,99; 589,59; Li I: 670,78; K I: 766,49; 769,89 нм. Атомные линии Na I 588,99; 589,59 нм, вследствие недостаточного спектрального разрешения спектрометра AvaSpec-2048-2, регистрируются как одна.

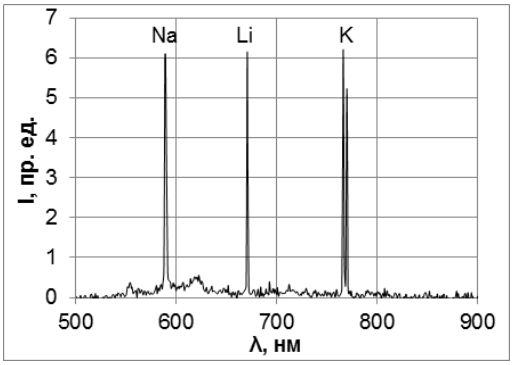


Рис. 5. Спектр взрывного свечения чистого ФТДО, расположенного на подложке из алюминия при инициировании электронным пучком.

Заключение

Изучено инициирование взрыва чистого ФТДО и кристаллизованной смеси ФТДО/ДНП (75/25) с помощью сильноточного электронного пучка. Измерены пороги инициирования взрывного разложения материалов. Установлено, что чувствительность чистого ФТДО к действию импульса электронного пучка близка к чувствительности азидов тяжелых металлов (AgN_3, TlN_3), а чувствительность смеси ФТДО/ДНП близка к чувствительности тетранитрата пентаэритрита (ТЭНа). В отличие от АТМ в опытах на образцах чистого ФТДО обнаружена сильная зависимость времени задержки зажигания и длительности импульса взрывного свечения от плотности энергии электронного пучка.

Список литературы

1. Киселев В. Г., Грицан Н. П., Зарко В. Е. и др. Многоуровневое квантовое химическое вычисление энтальпии в образовании [1,2,5]oxadiazolo[3,4-e][1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-dioxide // Физика горения и взрыва. — 2007. — Т. 43, № 5. — С. 77–81.

2. Олешко В. И., Зарко В. Е., Лысык В. В. и др. Инициирование энергетических смесей на основе фуразанотетразиндиоксида электронным пучком // Известия вузов. Физика. — 2013. — Т. 56, № 12/2. — С. 63–68.

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ Au-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ И ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ

Лязгин А.О., Шугуров А.Р.
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: lyazgin@list.ru

В последние годы в связи с миниатюризацией приборов микроэлектроники существенно повысились требования к высокочастотным соединителям, в которых необходим надежный электрический контакт. Для обеспечения длительного ресурса и низкого контактного сопротивления приборных соединителей на поверхность наружных и внутренних проводников наносят износостойкие гальванические покрытия на основе золота (Au-Ni, Au-Co, и др.) [1]. Существенное влияние на структуру и свойства электролитических покрытий оказывает плотность тока, контролирующая скорость электрохимических реакций, диффузию ионов и процесс образования центров кристаллизации [2]. При этом импульсный и постоянный токи влияют различным образом на процесс осаждения покрытия, поскольку в отличие от осаждения при постоянном токе, в случае импульсного осаждения, электрический ток подается короткими периодическими импульсами, что позволяет проводить электролиз с более высокой его плотностью [3]. Выявление взаимосвязи между плотностью тока и характеристиками покрытия Au-Ni позволит повысить их эксплуатационные свойства и надежность электрических контактов.

Гальванические покрытия Au-Ni толщиной 2,5 мкм наносили на подложки из бериллиевой бронзы БрБ2 с промежуточным подслоем NiB толщиной 5 мкм. Покрытия получали как методом импульсного электролитического осаждения, так и путем осаждения при постоянном токе. Параметры осаждения покрытий представлены в таблице 1. Раствор электролита имел следующий состав: 8 г/л дицианоаурата калия $KAu(CN)_2$, 100 г/л лимонной кислоты $C_6H_8O_7$, 40 г/л КОН и 1 г/л $NiSO_4$-$7H_2O$.

Морфологию поверхности покрытий исследовали методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью прибора Solver HV. Измерение механических характеристик образцов методом наноиндентирования проводили с использованием нанотестера Nanotest. Наноиндентирование выполняли трехгранной пирамидкой Берковича в диапазоне приложенных нагрузок от 1 до 50 мН. Испытания на износ проводили на универсальной машине трения УМТ-1 по схеме “палец-диск” в условиях сухого трения. В качестве контртела использовали шарики диаметром 3 мм, изготовленные из закаленной стали ШХ15. Испытания проводили при нагрузке 1,15 Н и скорости 0,5 м/с. Для оценки степени износа покрытий определяли ширину дорожек трения (L) на их поверхности.

Таблица 1. Параметры осаждения и характеристики покрытий Au-Ni, нанесенных в непрерывном (1,2) и импульсном (3,4) режимах

	I_p, мА/см^2	F, Гц	t_{on}, мс	t_{off}, мс	R_a, нм	d, нм	H, ГПа	E, ГПа
1	2	-	-	-	71	63	2,21	88
2	20	-	-	-	41	60	1,88	86
3	2	20	10	40	15	65	2,34	85
4	20	20	10	40	14	40	2,38	89

I_p – пиковая плотность тока, F – частота импульсов, t_{on} – длительность импульса, t_{off} – интервал между импульсами, R_a – среднеквадратичная шероховатость поверхности образцов, d – средний латеральный размер зерен, H – твердость покрытий, E – модуль упругости покрытий.

Проведенные исследования показали, что при непрерывном осаждении покрытий Au-Ni повышение плотности тока сопровождается существенным изменением морфологии их поверхности. Так, покрытия, полученные при плотности тока 2 мА/см^2, имеют неоднородную поверхность с округлыми агломератами зерен, средний латеральный размер которых изменяется от 200 нм до 1,5 мкм (рис. 1,а). При повышении плотности тока до 20 мА/см^2 на поверхности покрытий формируются пластинчатые агломераты зерен, длина и ширина которых составляют ~1,5 мкм и ~0,4 мкм соответственно (рис. 1,б). При этом средний латеральный размер зерен в покрытиях Au-Ni изменяется незначительно (см. таблицу 1).

Аналогичное повышение пиковой плотности тока при импульсном осаждении покрытий Au-Ni, напротив, не приводит к заметным изменениям морфологии их поверхности. Независимо от величины I_p поверхность данных покрытий характеризуется однородной мелкозернистой структурой и низкой среднеквадратичной шероховатостью (рис. 1,в,г, таблица 1). В то же время повышение пиковой плотности тока сопровождается уменьшением среднего латерального размера зерен от 65 до 40 нм.

Как видно из таблицы 1, при осаждении покрытий в непрерывном режиме с увеличением плотности тока наблюдается существенное уменьшение их твердости. При нанесении покрытий в импульсном режиме с повышением пиковой плотности тока величина твердости, напротив, немного увеличивается. Необходимо отметить, что твердость покрытий, полученных импульсным осаждением, оказывается выше, чем у образцов, осажденных при постоянном токе. В свою очередь, модуль Юнга покрытий практически не зависит от режима нанесения и плотности тока.

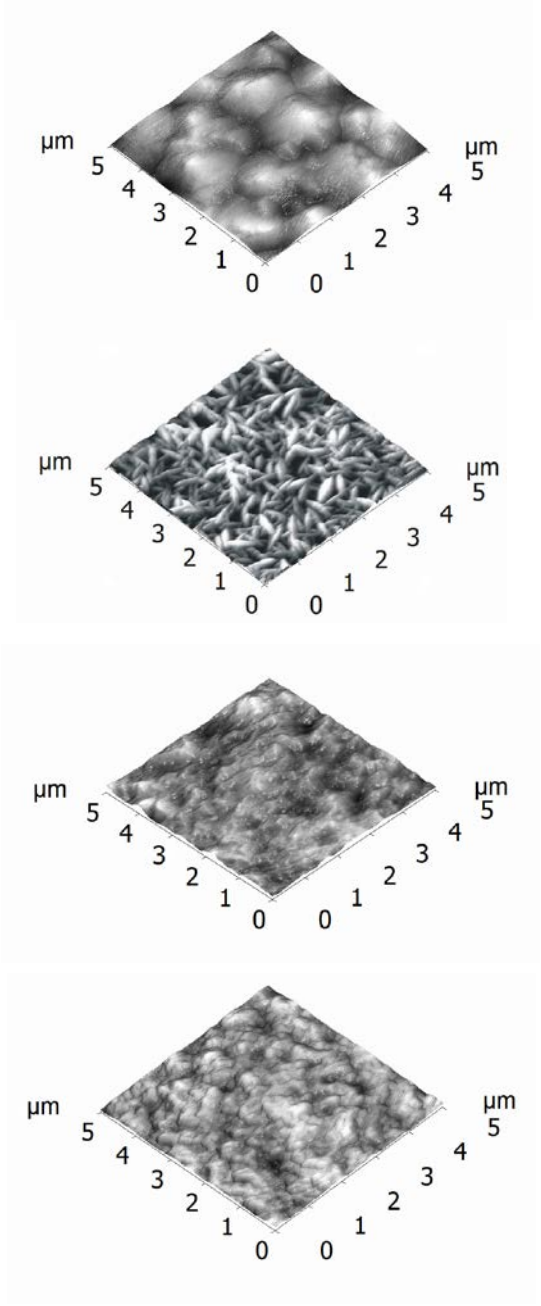


Рис.1. АСМ-изображения поверхности покрытий Au-Ni, осажденных при постоянном (а, б) и импульсном токе (в, г) с пиковой плотностью тока 2 (а, в) и 20 мА/см^2 (б, г)

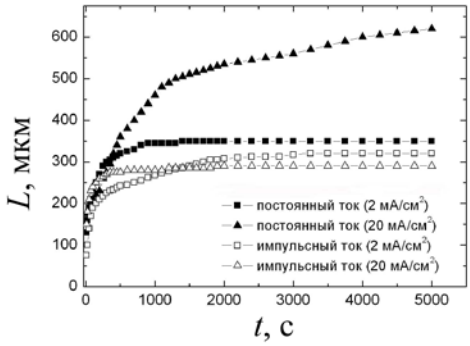


Рис.2. Зависимость ширины дорожек трения на поверхности покрытий Au-Ni от длительности испытаний на износ

Трибологические исследования выявили, что в течение первых 200-300 с испытаний на износ у всех исследуемых покрытий Au-Ni имеет место стадия приработки, которая характеризуется быстрым увеличением ширины дорожки трения в процессе изнашивания (рис. 2). При дальнейших испытаниях скорость роста ширины дорожки трения замедляется, что свидетельствует о наступлении стадии установившегося износа. В случае покрытий, полученных в режиме постоянного тока, рост его плотности обусловливает существенное увеличение степени износа как на стадии приработки, так и на стадии установившегося износа. Это, по-видимому, связано с большей пористостью покрытия при повышенной плотности тока. В то же время, увеличение I_p в процессе импульсного осаждения покрытий сопровождается уменьшением скорости их линейного износа. В результате наименьшим износом характеризуются покрытия, полученные в импульсном режиме с плотностью тока 20 мА/см^2 и имеющие минимальный размер зерна и максимальную твердость.

Таким образом исследования показали, что при увеличении плотности тока от 2 до 20 мА/см^2 покрытия, полученные в режиме непрерывного осаждения, приобретают неоднородную пластинчатую структуру, которая характеризуется низкими твердостью и износостойкостью. При импульсном осаждении покрытий Au-Ni аналогичное повышение пиковой плотности тока, напротив, вызывает уменьшение их среднего размера зерна и, соответственно, рост механических и трибологических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Braunovic M., Myshkin N.K., Konchits V.V. Electrical contacts: fundamentals, applications and technology. – CRC press, 2006. – 672 p.
2. Edgar J.A., Cortie M.B. In: Gold: Science and applications. Edited by Corti C., Holliday R. Boca Raton: CRC Press, 2010. – 369 p.
3. Костин Н.А., Кублановский В.С., Заблудовский А.В. Импульсный электролиз. – Киев: Наукова думка, 1989. – 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА

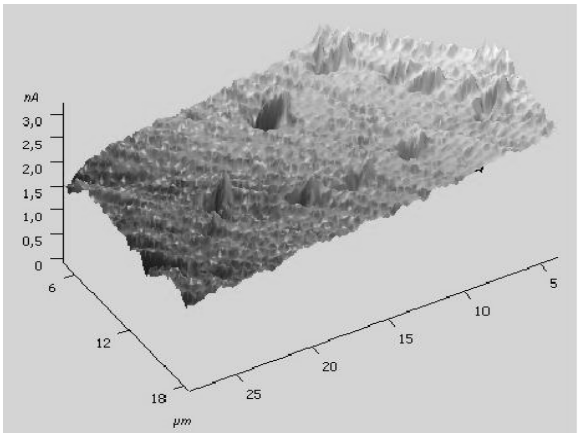
Надежкин М.В.[1,2], Лунев А.Г.[1,2], Мальцев Ю.А.[3]
Научный руководитель: С.А. Баранникова[1,3]
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
[3]Национальный исследовательский Томский государственный университет
bsa@ispms.tsc.ru

Annotation: The regularities of plastic flow localization in Ti-51 ат.%Ni single crystals are considered using the speckle photography. It has been found experimentally that in all the stages of the process, spontaneous localization of deformation occurs in the specimen, with the form of localization being closely related to the acting law of plastic flow of Ti-Ni shape memory alloys containing Ti_3Ni_4 precipitates with sizes 50 nm.

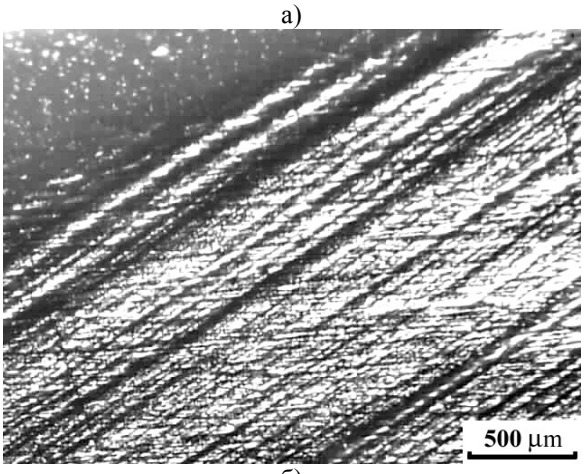
Одним из основных механизмов деформации, рассматриваемых в физике пластичности, является деформация фазового превращения [1], определяющая такие явления, как эффект памяти формы, сверхэластичность и другие. В этом случае формоизменение связано с превращениями мартенситного типа. Типичным примером материалов, которые деформируются за счет деформации фазового превращения, является никелид титана ($Ti-Ni$) эквиатомного или близкого эквиатомному состава [2]. Такой тип деформации существенно отличается от деформации за счет движения дислокаций. Несколько более близок он к двойникованию, но имеет заметные отличия и от последнего [1]. По этой причине деформация фазового превращения обычно рассматривается как независимый механизм пластического течения, так что существенный интерес представляет выяснение особенностей макролокализации пластического течения в таких материалах.

Для анализа структуры материала использовалось несколько методик, обеспечивающих необходимое пространственное разрешение: оптическая микроскопия (Neophot-21) и атомно-силовая микроскопия (Solver PH47-PRO). Для исследований макроскопической локализации пластического течения использовалась техника двухэкспозиционной спеклфотографии [3], сочетающей в себе возможности наблюдения всего деформируемого образца в целом с разрешающей способностью на уровне оптического микроскопа (~ 1 мкм). Результатом обработки спекл-изображений являются продольная, сдвиговая и поворотная компоненты тензора деформации.

В настоящей работе локализацию деформации исследовали при одноосном растяжении гетерофазных монокристаллических плоских образцов с размерами рабочей части 50×5×2 мм, ориентированных вдоль направления [113], никелида титана (49 ат.% Ti - 51 ат.% Ni) с дисперсными частицами Ti_3Ni_4 со средним размером 50 нм (рисунок 1 а). Монокристаллы выращивали методом Бриджмена в среде инертного газа. После роста кристаллы гомогенизировали при 1173 К в течение 20 ч в аргоне. Старение монокристаллов $Ti-Ni$ проводилось при 823 К в течение 1,5 ч в свободном состоянии в среде гелия с быстрым нагревом и закалку в воду комнатной температуры.



а)



б)

Рисунок 1 – Атомно-силовая (а) и оптическая микроскопия (б): изображение поверхности монокристалла $Ti-Ni$ с дисперсными частицами

Мартенситное превращение (МП) развивается в матрице между дисперсными частицами,

которая испытывает однородный сдвиг [4]. Частицы не испытывают МП, не деформируются пластически и, для сохранения совместности мартенситной деформации матрицы и упругой деформации частиц B19'- мартенсит должен деформироваться пластически за счет составного двойникования $\langle 100 \rangle \{001\}$ [3].

На диаграмме растяжения гетерофазных монокристаллов $Ti-Ni$ можно выделить зуб и площадку текучести (мартенситное превращение) протяженностью до 3-4% общей деформации, стадию нелинейного деформационного упрочнения (деформация мартенсита за счет составного двойникования) протяженностью до 5-6% общей деформации и стадию разрушения (рисунок 2).

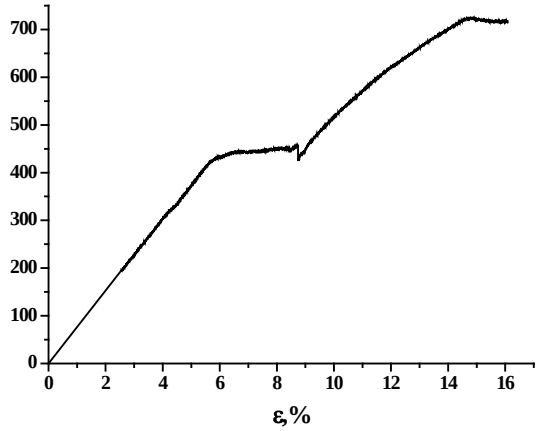
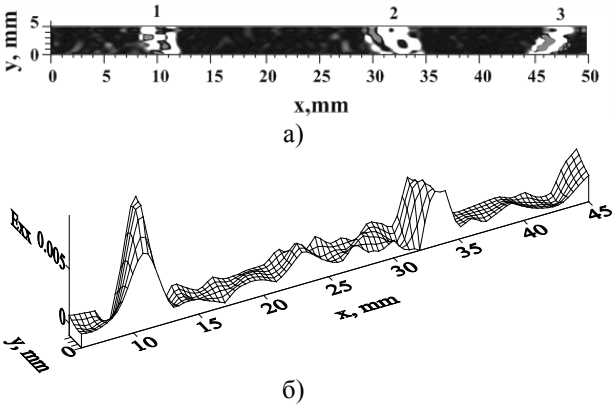


Рисунок 2 – Деформационная кривая монокристалла $Ti-Ni$ с дисперсными частицами

Анализ распределений компонент тензора пластической дисторсии показал, что деформация $Ti-Ni$ сразу после зуба текучести локализуется в трех уединенных зонах локализации деформации на площадке текучести (рисунок 3 а). Необходимо отметить, что наиболее точно местоположение этих зон локализации определяется по картинам распределений локальных удлинений ε_{xx} (рисунок 3 б), локальных поворотов ω_z, а также абсолютных удлинений *u* по координатам. В образце эти пики и ступеньки расположены закономерным образом так, что образуют фронты деформации. При этом материал за фронтом находится в деформированном состоянии (B19'), а материал перед фронтом - в исходном, недеформированном (B2) (рисунок 1 б). По мере деформирования зоны локализации перемещаются вдоль образца с разными скоростями. Так очаги локализации деформации (1) и (2) движутся навстречу друг другу со скоростями $5\cdot10^{-5}$ м/с и $2{,}3\cdot10^{-5}$ м/с, соответственно. Скорость движения очага локализации деформации (3) составила $2{,}1\cdot10^{-5}$ м/с, который движется в направлении от подвижного захвата испытательной машины. Фронт зоны локализации наклонен под углом 60^{o} к оси растяжения, что близко к ориентации габитусной плоскости мартенситного превращения в образцах использованной ориентации.



б)

Рисунок 3 – Метод электронной спекл-фотографии (а) и двухэкспозиционной спекл-фотографии (б): картина локализация деформации монокристалла $Ti-Ni$ с дисперсными частицами на площадке текучести при общей деформации 6.3 %

Таким образом, приведенные результаты показывают, что площадке текучести при растяжении никелида титана соответствует движение нескольких фронтов деформации, связанных с фазовым превращением.

Литература

1. Бойко, В.С. Обратимая пластичность кристаллов / Бойко В.С., Гарбер Р.И., Косевич А.М. - М.: Наука, 1991. - 279 с.

2. Зуев Л.Б., Карташова Н.В., Данилов В.И., Полетика Т.М. Закономерности локализации деформации в материале с пластичностью превращения (монокристаллы TiNi) // ЖТФ. - 1996. - Т. 66, № 11. - С. 190-196.

3. Зуев, Л.Б. Физика макролокализации пластического течения / Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. - Новосибирск: Наука, 2008. - 327 с.

4. Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Овсянников А.В., Сехитоглу Х., Караман И., Майер Г. Влияние дисперсных частиц Ti_3Ni_4 на мартенситные превращения в монокристаллах никелида титана // ФММ. – 2008.- Т. 106. - № 6. – С. 597-609.

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ 08Х17Н14М2 И 08Х18Н10Т ПРИ ПРОКАТКЕ

Мельников Е.В.[1], Козлова Т.А.[2]
Научный руководитель: Астафурова Е.Г.[1] с.н.с. ИФПМ СО РАН, д.ф.-м.н., доцент
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4
[2]Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: melnickow-jenya@yandex.ru

Введение. В связи с развитием исследований, направленных на практическое освоение преимуществ замены традиционных видов энергетики на водородную, оборудование для которой предполагает широкое использование аустенитных хромоникелевых сталей, в последние годы возрос интерес к особенностям их взаимодействия с водородом. Присутствие водорода в аустенитных нержавеющих сталях может привести к охрупчиванию или, наоборот, пластификации материала, способствовать наведенным деформацией мартенситным превращениям. В данной работе ставили задачу исследовать влияние прокатки на плоских валках, комбинированной с обратимым легированием водородом, на структурно-фазовые превращения в промышленно используемых аустенитных сталях 08Х17Н14М2 и 08Х18Н10Т.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны аустенитные стали марок 08Х17Н14М2 и 08Х18Н10Т. Образцы для испытаний вырезали в форме прямоугольных пластин с размерами 15×11×1,5 мм^3, затем подвергали химическому травлению, механической шлифовке и электролитической полировке.

Насыщение образцов водородом осуществляли в 1М растворе серной кислоты H_2SO_4 с добавлением тиомочевины CH_4N_2S при 300 К и плотностях тока 10, 100, 200 мА/см^2. Продолжительность наводороживания – 5 часов. Пластическую деформацию проводили непосредственно после наводороживания методом плоской прокатки с обжатием на 25, 50, 75 и 90%.

Микротвердость измеряли с использовнаием микротвердомеров Duramin 5 и ПМТ-3 с нагрузкой Р=200 г.

Особенности зеренной структуры изучали методом анализа картин дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) с использованием сканирующих электронных микроскопов Quanta 200 3D и Quanta 600 FEG при ускоряющем напряжении 30 кВ с гексагональной постановкой точек и шагом 0,05-0,15 мкм. Просвечивающую электронную микроскопию (ПЭМ) проводили на электронном микроскопе JEM-2100 при ускоряющем напряжении 200 кВ. Образцы для электронно-микроскопических исследований готовили стандартными методами.

Исследования фазового состава и структурных параметров стали проводили на дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Rigaku Ultima IV.

Результаты исследования. Сталь 08Х17Н14М2 в исходном состоянии после закалки имела структуру аустенита с параметром решетки a=3,5983 Å и средним размером зерна 15 мкм. Сталь 08Х18Н10Т помимо аустенита (a=3,5999Å) со средним размером зерна 11 мкм содержала феррит (менее 5%, a=2,8808Å).

При прокатке исследуемых сталей зерно измельчается по сравнению с исходным состоянием. На картах, полученных методом ДОЭ, видна ориентированная структура, сформированная при прокатке (рис. 1 а, б). Полосовые структуры, наблюдаемые в зернах аустенита методом ДОЭ, косвенно подтверждают развитие механического двойникования, которое наблюдается методом ПЭМ. Деформация стали 08Х18Н10Т приводит не только к фрагментации зерен аустенита, но и к протеканию фазового γ-α' превращения с образованием в структуре мартенсита деформации [1]. Объемная доля α'-фазы возрастает с увеличением степени обжатия. Средний размер (суб)зерен, определенный методом ПЭМ в стали 08Х18Н10Т после прокатки на 50%, составляет 120 нм для аустенита и 160 нм для феррита. Средний размер (суб)зерен в стали 08Х17Н14М2, измеренный по темнопольным ПЭМ-изображениям, после прокатки на 50% составляет 230 нм. То есть, прокатка приводит к формированию ультрамелкозернистой структуры в исследуемых сталях.

Микротвердость сталей 08Х17Н14М2 и 08Х18Н10Т в исходном состоянии составляла 2,2 и 1,8 ГПа соответственно. После прокатки стали 08Х17Н14М2 она увеличилась до 3,4 ГПа (25%), 3,5 ГПа (50%), 3,7 ГПа (75%), 3,9 ГПа (90%). Микротвердость стали 08Х18Н10Т, прокатанной до тех же степеней деформации, выше: 3,5 ГПа (25%), 4,0 ГПа (50%), 4,3 ГПа (75%) и 4,8 ГПа (90%), что наряду с измельчением аустенита связано с формированием ультрамелкозернистой мартенситной фазы.

Для стали 08Х18Н10Т, подвергнутой прокатке после электролитического наводороживания установлено, что с увеличением плотности тока объем α'-фазы увеличивается: максимальная доля α'-фазы наблюдается после насыщения водородом при плотности тока 200 мА/см^2 и прокатки [1].

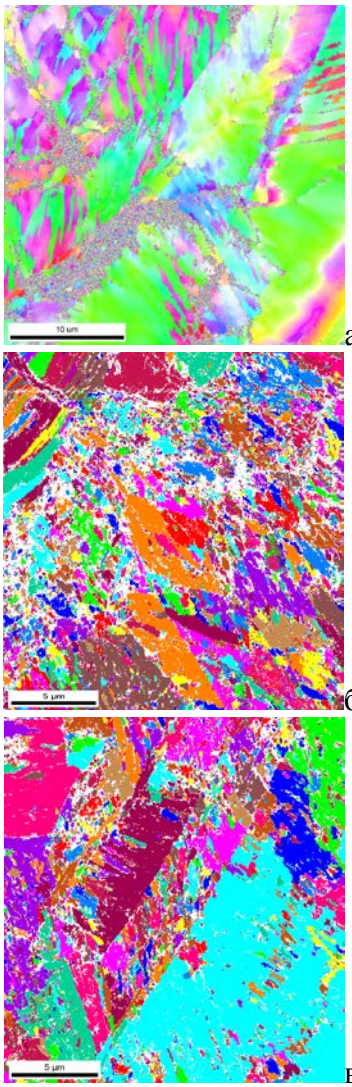


Рис. 1. ДОЭ-карты зеренной структуры сталей 08Х17Н14М2 (а) и 08Х18Н10Т (б, в): а, б – после прокатки (ε=50%); в – после наводороживания (j=100 мА/см^2) и прокатки (ε=50%)

Происходит измельчение исходных аустенитных зерен за счет накопления деформационных дефектов и наведенных деформацией γ-α' и γ-ε мартенситных превращений, двойникования. При увеличении плотности тока до j=100-200 мА/см^2 при наводороживании на ДОЭ-картах зеренной структуры просматриваются исходные крупные зерна аустенита, и структура приобретает полосовой (локализованный) характер (рис. 1 в). Следует отметить, что после прокатки с наводороживанием в структуре стали 08Х18Н10Т появляется ε-мартенсит, которого не было в исходном состоянии и в образцах, которые подвергали деформации без наводороживания. По данным ПЭМ средний размер элементов структуры прокатанных (50%) после наводороживания образцов зависит от плотности тока и составляет: при j=10 мА/см^2 – 210 нм для феррита, 140 нм для аустенита, при j=100 мА/см^2 – 230 нм для феррита и 210 нм для аустенита. Насыщение образцов водородом перед деформацией приводит к небольшому росту микротвердости в стали 08Х18Н10Т и не зависит от режима наводороживания: 3,8 ГПа (25%), 4,1 ГПа (50%), 4,4 ГПа (75%), 4,8 ГПа (90%).

Пластическая деформация стали 08Х17Н14М2 как с водородом, так и без него не приводит к развитию фазового превращения: на рентгенограммах наблюдаются рефлексы только от аустенита. По данным ПЭМ в структуре обнаружены двойники деформации и ε-мартенсит, средний размер зерен аустенита для наводороженных и прокатанных (ε=50%) образцов составляет: при плотности тока j=10 мА/см^2 – 185 нм; при j=100 мА/см^2 – 160 нм; при j=200 мА/см^2 – 310 нм. Микротвердость при степени обжатия 25% уменьшается в образцах, подвергнутых наводороживанию, на 0,1-0,6 ГПа, а при 50-90%, напротив, возрастает на 0,2-0,6 ГПа.

Выводы. Проведенные исследования по влиянию наводороживания на структурно-фазовые превращения и микротвердость сталей 08Х17Н14М2 и 08Х18Н10Т показали, что:

1. Прокатка с предварительным введением водорода и без него приводит к измельчению структуры до ультрамелкозернистого состояния.

2. Микротвердость при прокатке увеличивается по сравнению с исходными образцами. Предварительное легирование водородом не оказывает существенного влияния на величину микротвердости в случае прокатки стали 08Х18Н10Т. При этом наводороживание стали 08Х17Н14М2 вызывает уменьшение микротвердости на 0,1-0,6 ГПа при степени обжатия ε=25%, а при ε=50-90%, напротив, приводит к ее росту на 0,2-0,6 ГПа.

3. В стали 08Х18Н10Т при деформации протекают фазовые γ-α' и γ-ε превращения. Введение водорода перед прокаткой способствует увеличению α'-фазы по сравнению с состоянием после прокатки без наводороживания. Сталь 08Х17Н14М2 как с водородом, так и без него остается устойчивой к фазовым превращениям при прокатке.

Литература

1. Е.В. Мельников, Ю.Л. Кретов, М.С. Тукеева, и др. Влияние легирования водородом на особенности фазовых превращений при прокатке метастабильной аустенитной стали Х18Н10Т // Вестник Тамбовского Университета. – 2013. – Т.18. – Вып.4. – с. 1613-1614.

Авторы работы выражают благодарность к.ф.-м.н. Майер Г.Г. и к.ф.-м.н. Тукеевой М.С. за помощь в проведении исследований. Работа выполнена с использованием оборудования Томского материаловедческого центра коллективного пользования и Белгородского государственного университета. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-90709-мол_рф_нр).

СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ «ТАНТАЛ-УГЛЕРОД»

Муль Д.О., Лазуренко Д.В., Шмидт А.Н.
Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: ddariol@yandex.ru

Долговечность и надежность машин и механизмов, работающих в условиях трения, зависит от триботехнических свойств материала деталей. Одной из триботехнических характеристик, определяющих эффективность применения материалов в узлах трения, является износостойкость. Основная причина износа поверхности детали – работа сил трения, под действием которых происходит многократное деформирование поверхностных слоев трущихся тел, изменение их структуры и т.д. Поиск новых решений, материалов и способов повышения износостойкости деталей машин и механизмов является приоритетным направлением исследований в области материаловедения в машиностроении.

Легирование поверхности карбидообразующими элементами или карбидами металлов V-VII переходных групп периодической таблицы Менделеева способствует формированию ультрадисперсной структуры с распределенными в ней твердыми карбидными частицами. Одним из таких элементов является тантал. Высокая температура плавления, прочность, а также стойкость к химическим воздействиям позволяют применять тантал в качестве материала для изготовления покрытий, обладающих повышенными триботехническими свойствами.

В данной работе в качестве упрочняющего материала использовались порошки тантала и графита.

Одним из эффективных методов поверхностного упрочнения является технология вневакуумной электронно-лучевой наплавки, применение которой позволяет получать равномерное покрытие большой толщины, обладающее ультрадисперсной структурой [1-3]. Использование промышленного ускорителя электронов, изготовленного в ИЯФ СО РАН, повышает производительность вневакуумной электронно-лучевой наплавки по сравнению с обработкой в вакууме.

Процесс наплавки электронным пучком в воздушной атмосфере осуществлялся следующим образом: предварительно на металлическую основу из стали 40Х наносилась наплавляемая порошковая смесь, содержащая легирующие элементы – тантал и графит, флюс – MgF_2 и смачивающую компоненту - железо. Плотность насыпки составляла 0,33 г/см^2. Заготовку размещали на столе, который перемещался перпендикулярно электронному пучку (рис.1). Пучок электронов сканировал поверхность заготовки перпендикулярно ее движению с частотой 50 Гц, таким образом, осуществляя обработку всей поверхности образца. Высокоэнергетический электронный пучок, сила тока которого составляла 26 мА, а ускоряющее напряжение – 1,4 МэВ, при торможении об атомы наплавочного порошка и верхнего слоя металлической основы выделяет большое количество энергии, которой было достаточно, чтобы расплавить обрабатываемые материалы. В результате быстрого отвода тепла в нижележащие слои толстой металлической заготовки процесс кристаллизации протекал быстро.

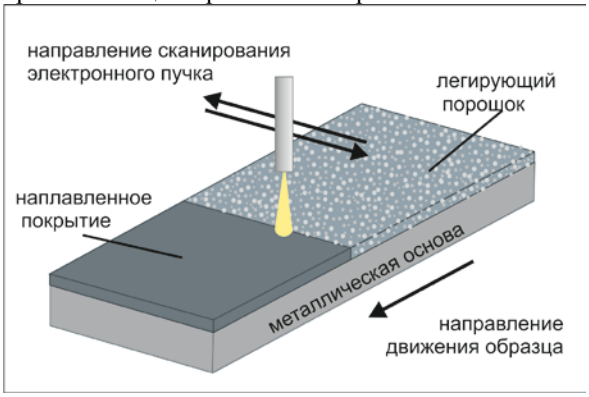


Рис. 1. Схема вневакуумной электронно-лучевой наплавки

Объектами исследования являлись материалы, изготовленные наплавкой двух различных смесей порошков. Состав наплавляемых композиций представлен в таблице. Атомное соотношение тантала к графиту составило 1:1.

Состав наплавочных порошков

Напла-вочная смесь	Легирующий порошок, вес. %	Смачивающая компонента, вес. %	Флюс, вес. %
1	60 (Ta+C)	-	40 MgF_2
2	45 (Ta+C)	15 Fe	40 MgF_2

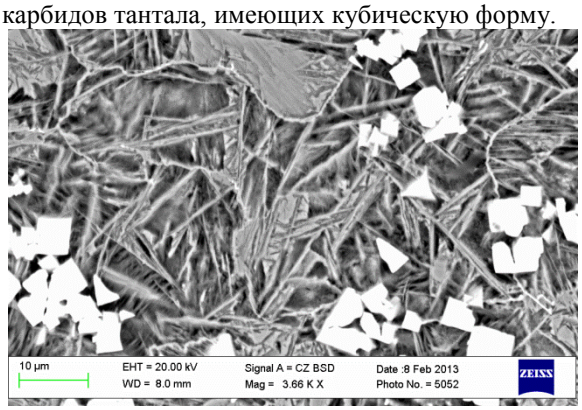
Методом растровой электронной микроскопии на микроскопе Carl Zeis EVO 50 XVP были проведены структурные исследования образцов с покрытиями. Фазовый состав наплавленных слоев был определен с помощью рентгеновского дифрактометра ARL X'TRA.

На микротвердомере Wolpert Group 402MVD при нагрузке 10г была определена микротвердость поверхностного слоя полученных образцов. Дорожки уколов были ориентированы в

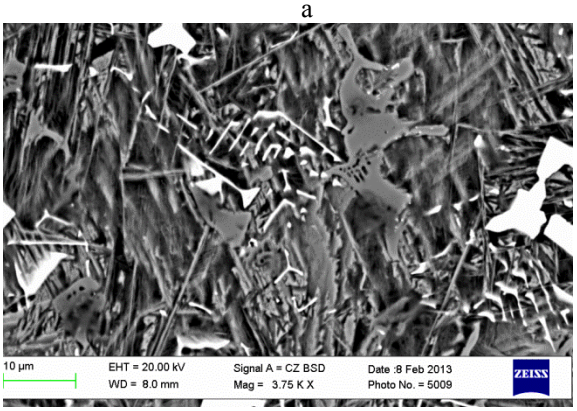
направлении от наплавленного слоя к материалу основы.

В процессе проведения триботехнических испытаний была определена потеря массы покрытий в условиях трения о нежестко закрепленные абразивные частицы Абразивом служил песок (SiO_2) со средним размером частиц ~200 мкм. Песок из бункера поступал в зону трения и при вращении резинового ролика истирал поверхность образца.

По результатам металлографических исследований был сделан вывод о формировании покрытий высоко качества со средней толщиной ~ 1,8 мм. В микроструктуре наплавленных слоев наблюдается равномерное распределение высокопрочных частиц карбида тантала прямоугольной формы в мартенситной матрице (рис. 2). Наличие в поверхностных слоях покрытий частиц карбида TaC стехиометрического состава подтверждается результатами рентгенофазового анализа. В покрытии, сформированным при добавлении в порошковую смесь смачивающей компоненты (рис. 2 б), были обнаружены эвтектика на основе карбида тантала и ледебурит, а также зафиксировано уменьшение объемной доли карбидов тантала, имеющих кубическую форму.



а



б

Рис. 2. Структура покрытий, сформированных в процессе наплавки смеси порошков тантала с графитом (а) и тантала с графитом и железом (б) на углеродистой на стали

Микротвердость наплавленных слоев в 4,5 раза выше микротвердости основного материала и составляет 9 ГПа. Зона термического влияния в процессе отвода тепла от горячих слоев расплавленного металла в нижние слои основного металла приобрела мартенситное строение. Микротвердость этой зоны изменяется с 5 до 2 ГПа.

Результаты триботехнических испытаний материалов в условиях трения о нежестко закрепленные частицы абразива в течение 3,3 часа представлены на рисунке 3. Износ покрытий в 3,5 раз ниже износа материала основы. Ввиду большой объемной доли кубических карбидов тантала, наибольшей износостойкостью обладают поверхностные слои, наплавленные на стали без добавления железа в порошковую смесь.

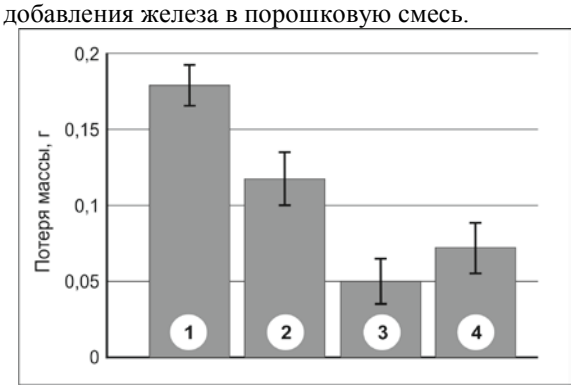


Рис. 3. Результаты изнашивания материалов: 1 – отожженная сталь 40Х, 2 – закаленная сталь 40Х, 3 – покрытие, сформированное наплавкой порошков тантала и углерода; 4 – покрытие, сформированное наплавкой порошков тантала, железа и углерода

Выводы:

Электронно-лучевая наплавка порошков тантала и графита позволяет получать на стальных заготовках износостойкие покрытия высокой толщины. Введение смачивающей составляющей – железа, уменьшает объемную долю карбидов тантала кубической формы, тем самым уменьшая износостойкость покрытия.

Литература:

1. Структура и свойства поверхностных слоев низкоуглеродистой стали, полученных методом наплавки углеродсодержащих порошковых смесей и последующей закалки/ А.А. Лосинская, М.Г. Голковский, Е.А. Дробяз и др.// Обработка металлов (Технология. Оборудование. Инструменты). - 2013. - № 4. - С. 5-11.

2. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита/ Д.О. Муль, Е.А. Дробяз, И.К. Чакин и др. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. - № 3 (60). - С. 115-120.

4. Многослойная электронно-лучевая наплавка танталсодержащих порошковых смесей на заготовки из титана ВТ1-0 / А. А. Руктуев, М. Г. Голковский, В. В. Самойленко и др.// Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2013. - № 4. - С. 43-48.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ФТОРОПЛАСТА 4 (Ф4) НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт физики высоких технологий
Кафедра материаловедения в машиностроении
Email: thuc12@sibmail.com

Введение

Сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) в ряду полимерных связующих занимает особое место благодаря высокому сопротивлению изнашиванию, низкому коэффициенту трения, химической стойкости и высокой ударной вязкости СВМПЭ все чаще используется в машиностроении в узлах трения деталей машин и механизмов, а также изделия и конструкции специального назначения, в том числе корпусные элементы вооружений и военной техники, конструкционные материалы для авиа-, вертолето- и ракетостроения, средства индивидуальной и коллективной бронезащиты и т.д. [1]. Композиционные материалы на основе СВМПЭ позволяют кратно повысить износостойкость тяжело нагруженных изделий [2-4]. Основной проблемой при разработке СВМПЭ является низкая адгезионная способность [5,6].

Поиск путей повышения технологических свойств СВМПЭ без заметного снижения его механико-триботехнических характеристик является актуальной научно-технической проблемой.

В данной работе было исследование влияния Фторопласта 4 (Ф4) на структуру и свойства СВМПЭ.

Материал и методики исследований

В работе использовали СВМПЭ фирмы Ticona (GUR-2122) молекулярной массой 4,0 млн. и размером частиц 5-15 мкм, фторопласт Ф4 с размером порошка 50-300 мкм (после обработки ультразвуком агломераты: 20-70 мкм). Образцы полимерных композитов получали горячим прессованием при давлении 10 МПа и температуре 200ºС со скоростью последующего охлаждения 3-4ºС/мин. Оценку удельного давления экструдирования порошковых смесей проводили на плунжерном (поршневом) лабораторном экструдере UE-MSL.

Определение твердости по Шору Д проводили с помощью прибора «Instron 902». Износостойкость материалов при скольжении определяли по схеме «вал-колодка» с использованием машины трения СТМ-1. Изображения дорожек трения были исследованы с использованием оптического микроскопа «Carl Zeiss Stemi 2000-C» и площади дорожки трения были рассчитаны с помощью программного обеспечения «Rhinoceros, v 3». Механические свойства проводились с помощью разрывной машины «Instron 5582».

Результаты исследований

В данной работе исследовали механические и триботехнические свойства композиций СВМПЭ с различным содержанием введенных в исходный порошковый фторопласт.

Интенсивность изнашивания образцов в виде соответствующей диаграммы изображена на рис. 2.

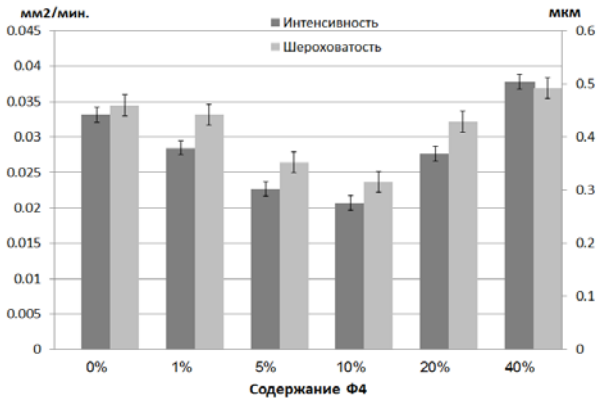


Рис. 2. Интенсивность изнашивания и шероховатость поверхности образцов при введении Ф4

Из рисунка видно, что при добавлении Ф4 до 10 мас. % в матрицу из СВМПЭ, интенсивность изнашивания снижается, и повышается с увеличением содержания Ф4 при наполнении до 40 мас. %.

Тоже видим, что изменение шероховатости поверхностей изнашивания коррелирует с интенсивностью износа, наименьшее значение шероховатости наблюдается в 1,6 раза при добавлении 10 вес. % Ф4.

В табл. 1 приведены механические характеристики СВМПЭ с различным содержанием Ф4.

В результате исследований оказалось, что твёрдость такой композиции незначительно изменяется, а плотность новых композитов повышается с увеличением наполнителя.

Таблица 1 - Механические свойства СВМПЭ с добавкой Ф4

Материал	Плотность г/мм^3	Твёрдость по Шору Д	Предел прочности МПа	Удлинение, %
СВМПЭ	0.92	60	32,2	485
СВМПЭ + 1 % Ф4	0.93	60,2	29,9	474,8
СВМПЭ + 5 % Ф4	0,97	59,5	28,5	438
СВМПЭ + 10 % Ф4	0,99	59,78	25,1	384,1
СВМПЭ + 20 % Ф4	1,01	59,6	22,6	322,2
СВМПЭ + 40 % Ф4	1,12	59,9	18,1	289

Зависимость удлинения и предела прочности от содержания Ф4 в виде диаграммы показана на рис. 3 и на рис. 4.

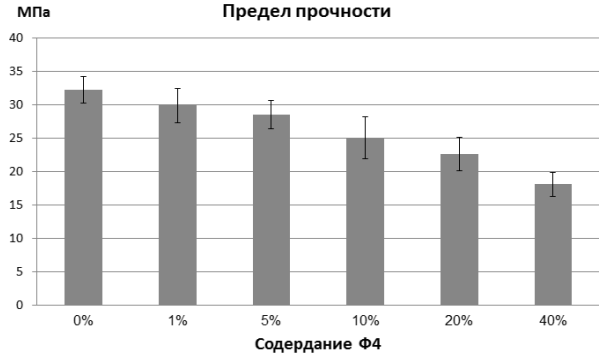


Рис. 3. Зависимость предела прочности от содержания Ф4.

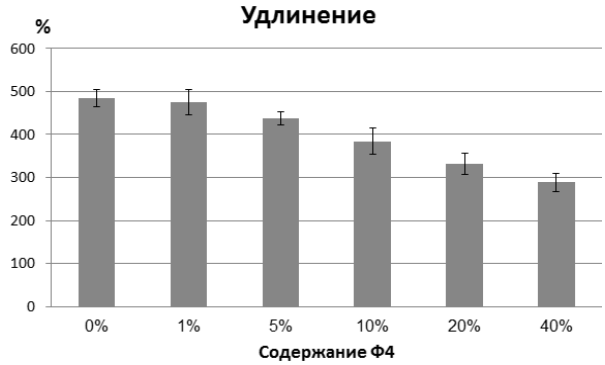


Рис. 4. Зависимость удлинения от содержания Ф4.

Из рисунков видно, что предел прочности и удлинение образцов снижается с увеличением содержания Ф4. При введении 40 мас.% Ф4, удлинение снижется до 295 % и предел прочности снижается до 18 МПа.

Заключение

На основе сравнения полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Добавление Ф4 в матрицу из СВМПЭ с большим содержанием (больше 10 мас. %) не позволяет повысить износотойкость. При добавлении 10 мас. % наполнителя приводит к повышению износостойкости в 1,6 раза.

2. При введении Ф4, предел прочности и удлинение СВМПЭ снижаются с увеличением содержания наполнителя.

Список литературы

1. Козлова С.П. Трансфер технологий из транспортной отрасли в городское хозяйство по созданию изделий, обладающих антиобледенительными и антикоррозионными свойствами и способных работать в агрессивной среде / «Полимерный кластер Санкт-Петербурга», 2012.

2. Harley L. Stein. Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE)//Engineered Materials Handbook.-1999, Vol.2: Engineering Plastics.

3. Охлопкова А.А., Гоголева О.В., Шиц Е.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена и ультрадисперсных соединений//Трение и износ.- 2004(25), № 2, 202-206.

4. Galetz M.C., Blar T., Ruckdaschel H ., Sandler K.W., Alstadt V. Carbon Nanofibre-Reinforced Ultrahigh Molecular Weiht Polyethylene for Tribological Applications// Jornal of Applied Polymer Science.- 2007, Vol.104, 4173-4181.

5. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Байбарацкая М.Ю., Мамаев О.А. Полимерные композиционные материалы в триботехнике. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. -262 с.

6. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебн. пособие/ Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др., под ред. А.А. Берлина.- СПБ.: Профессия, 2008.- 560 с.

ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ ПРОДУКТА

Никитин Д.С.
Научный руководитель: Сивков А.А., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dima_n@sibmail.com

Карбид кремния впервые был получен с помощью графитовой электропечи американским инженером-исследователем Э.Ачесоном [1]. С самого начала этот материал использовался преимущественно в качестве абразивного. Впоследствии выяснилось, что карбид кремния – уникальный материал, обладающий широким спектром механических, теплофизических, электрических, радиационных свойств [2]. Это дает возможность создавать многофункциональную карбидокремниевую керамику, стойкую к физическим воздействиям, для применения в различных отраслях техники – машиностроении, химической и ядерной промышленности, энергетике и т.д. Одним из важнейших применений карбида кремния является использование его полупроводниковых свойств. На его основе создаются мощные и высоконадежные электронные устройства для работы в жестких условиях эксплуатации [3]. Кроме того, в последние годы активно развивается научное направление, занимающееся исследованием биологической совместимости карбида кремния и его применения в медицине [4]. Особенной областью исследования является синтез и применение нанодисперсных форм карбида кремния: порошков, покрытий [5], что обусловлено специфическими свойствами, появляющимися у материала в наноструктурном состоянии [6].

Известны многие способы получения карбида кремния. Основным в настоящий является традиционный метод Ачесона, не претерпевший с начала XX века принципиальных изменений [3]. Этим способом производятся тонны продукта простым и дешевым путем, однако продукт оказывается некачественным по составу и структуре, требует дополнительной очистки [3]. Производство SiC для нужд электроники ведется методом ЛЭТИ [3]. Для производства нанопорошков используются высокотемпературный синтез, плазмохимические методы, золь-гель способ [7]. Однако в настоящий момент все эти методы обладают недостатками, не позволяющие синтезировать продукт в достаточном количестве, необходимой дисперсности и структуры при малых энергозатратах и простоте процесса синтеза.

Учитывая, что для синтеза карбида кремния требуется создание экстремальных энергетических условий, возможно использовать плазмодинамический способ – синтез продукта осуществляется в гиперскоростной струе углерод-кремниевой электроразрядной плазмы. Генерирование плазменного потока происходит с помощью импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) с графитовыми электродами [8]. В статье [9] указывалось на возможность получения нанодисперсных порошков карбида кремния плазмодинамическим способом на основе одного приведенного эксперимента.

В настоящей работе предлагается путь управления фазовым составом синтезируемого порошкообразного продукта. Рассматриваются два эксперимента по получению ультрадисперсных порошков. Суть метода следующая – в канал формирования плазменной структуры (КФПС) вводится смесь прекурсоров (кремния и углерода в виде сажи), которая при подведении к центральному электроду и электроду-стволу разности потенциалов от емкостного накопителя энергии (ЕНЭ) переходит в плазменное состояние. Плазменный поток ускоряется и движется со скоростью, сравнимой со скоростью звука, в камеру-реактор, где происходит формирование экстремальных энергетических условий (давления и температуры), способствующих прохождению химической реакции соединения кремния и углерода и получения карбида кремния SiC. При этом в двух предлагаемых для исследования экспериментах меняется соотношение кремния и углерода. Таким образом, управление фазовым составом синтезируемого порошка будет осуществляться за счет изменения соотношения прекурсоров в исходной смеси, закладываемой в КФПС. Значения параметров экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные параметры экспериментов

Параметр	Номер опыта	
	1	2
Напряжение, кВ	3	3
Емкость, мФ	6	6
Накопленная энергия, кДж	27	27
Подведенная энергия, кДж	18	19
Соотношение прекурсоров, Si/C, о.е.	2,5/1	3,0/1

В результате проведения экспериментов были получены порошкообразные продукты, которые снимались с камеры-реактора после ее охлаждения и осаждения порошка. Массовый выход составлял около 1 г в каждом опыте. При этом собранный продукт не подвергался какой-либо дополнительной обработке.

Синтезированный продукт был исследован методом рентгеновской дифрактометрии (XRD) на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD6000 (CuKα-излучение). На рисунке 1 приведены в сравнении дифрактограммы продуктов каждого из опытов. На графиках отмечены максимумы интенсивности, соответствующие определенным кристаллическим фазам, которые присутствуют в продукте синтеза. Дифрактограммы порошков

были проанализированы с помощью программного пакета PowderCell 2.4 с использованием базы структурных данных PDF4+. Результаты этих исследований приведены в таблице 2.

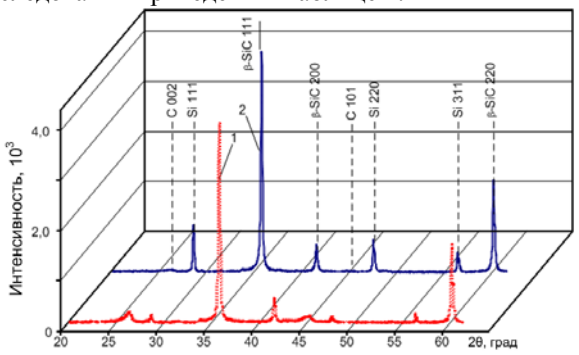


Рис. 1. Рентгеновские дифрактограммы экспериментов 1 и 2

Таблица 2. Результаты структурно-фазового анализа рентгеновского дифракционного спектра

Фаза	№	Содержание, % масс.	ОКР, нм
gC	1	19,3	15,0
	2	4,9	33,0
C (Onions)	1	4,8	15,0
	2	3,0	10,0
β-SiC	1	73,0	61,0
	2	79,0	69,0
cSi	1	3,0	26,0
	2	13,2	63,0

В результате выявлено, что в состав продукта входят следующие кристаллические фазы: карбид кремния β-SiC (пространственная группа SG: F-43m{216}), кубический кремний Si(cub) (SG: F 43/d-32/m {227}), а также сочетание как минимум двух углеродных фаз: графита gC (SG: P6-3mc {186}) и луковичной структуры C (Onions) (SG: P6-3mc {186}). Преимущественное содержание в продукте имеет фракция кубического карбида кремния, ее соотношение практически не изменяется в зависимости от эксперимента – около 75 %. При этом все фазы в продукте нанодисперсны, судя по значениям областей когерентного рассеяния (ОКР).

Из таблицы 2 видно, что в продукте присутствуют чисто углеродные фазы в виде ультрадисперсного графита и луковичных структур, в суммарном количестве составляющие в первом случае около 25 %, во втором случае около 8%. Содержание чистого кремния в продукте синтеза также меняется: 3 % и 13,2 % соответственно в первом и втором случае. Следует отметить, что в обоих случаях смеси прекурсоров составлены с избытком кремния по отношению к стехиометрии SiC в связи с тем, что масса углерода увеличивается за счет графита, эродируемого с поверхности ускорительного канала и центрального электрода КМПУ. В результате в первом случае при меньшей избыточности исходного кремния (Si:C – 2,5:1), в продукте синтеза его остается не более ~3,0 %. Также остается небольшое количество не вступившего в соединение луковичного наноуглерода. Однако, при выходе около 73,0 % ожидаемой фазы β-SiC, продукт содержит достаточно много, около ~19,3 %, нанодисперсного графита, по-видимому, эродированного с электродов КМПУ. Во втором случае с большей избыточностью исходного кремния, заметно, до 79,0 %, повышается содержание карбида кремния при существенном увеличении содержания кристаллического кремния, около 13,2 %, и снижении чисто углеродных фаз в сумме до ~7,9 %. Исходя из представленных результатов представляется целесообразным использовать смесь прекурсоров в соотношении близком к стехиометрическому для карбида.

Таким образом, в настоящей работе представлены данные о проведении плазмодинамического синтеза нанодисперсного карбида кремния. Искомая фаза занимает в продукте преимущественное содержание. При этом, судя по результатам исследования продукта методами рентгеновской дифрактометрии, возможно управлять фазовым составом продукта синтеза за счет изменения соотношения прекурсоров в исходной смеси, закладываемой в канал формирования плазменной структуры коаксиального магнитоплазменного ускорителя.

1. Пат. 492 767 США. Production of artificial crystalline carbonaceous material / Acheson, G. – 1893.

2. Wesch W. Silicon carbide: synthesis and processing // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. - 1996. - V.116. - P. 305-321.

3. Лучинин В., Таиров Ю. Карбид кремния – алмазоподобный материал с управляемыми наноструктурно-зависимыми свойствами // Наноиндустрия. – 2010. – Вып. 1. – С. 36-39.

4. Stephen E. Saddow. Silicon Carbide Biotechnology: A Biocompatible Semiconductor for Advanced. - USA: Elsevier, 2012. – 479 p.

5. Andrievski R.A. Synthesis, structure and properties of nanosized silicon carbide // Reviews on advanced materials science. – 2009. – V.22. – P. 1-20.

6. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.

7. Silicon Carbide: Synthesis and Properties / Edited by Rosario Gerhardt. – USA: InTech, 2011. – 546 p.

8. Патент РФ № 2431947 Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / Сивков А.А., Пак А.Я. Приоритет от 30.04.2010.

9. Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Прямой плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния // Письма в ЖТФ. – 2013. – Том 39, вып. 2. – С. 15-20.

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТИЕВОГО ФЕРРИТА ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

Николаев Е.В., Лысенко Е.Н.
Научный руководитель: Суржиков А.П., д.ф-м.н, зав.кафедрой
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nikolaev0712@sibmail.com

Введение

Литиевые ферриты на основе $LiFe_5O_8$ являются важнейшим функциональным материалом современной СВЧ электроники [1]. Кроме того, эти соединения вызывают интерес в качестве материала радиопоглощающих покрытий и наполнителей феррит-полимерных композитов [2]. Однако, чистый литиевый феррит без добавок на практике редко используется ввиду низких значений электромагнитных характеристик, определяемые главным образом микроструктурой феррита [3]. Вместе с тем, $LiFe_5O_8$ имеет самое высокое значение температуры Кюри среди литий-замещенных ферритов, что делает его термически стабильным материалом и привлекательным для его использования в качестве СВЧ ферритового материала с особыми условиями эксплуатации [4].

В данной работе, нами был опробован путь управления процессами формирования микроструктуры и основных электромагнитных характеристик $LiFe_5O_8$ за счет варьирования степени дисперсности оксида железа, использующегося в качестве основного исходного реагента. При этом в работе рассматривался оксид железа, изготовленный путем окисления ультрадисперсных порошков железа, полученных электровзрывным методом [5]. Следуя из анализа литературных источников данный подход для получения ферритовой керамики ранее не применялся и характеризуется абсолютной новизной.

Методика эксперимента

В работе были исследованы два типа литиевых ферритов, изготовленных из различных исходных реагентов. Образцы типа А были получены путем синтеза $LiFe_5O_8$ по обычной керамической технологии из исходных реагентов оксида железа Fe_2O_3 (марки ЧДА) и карбонат лития Li_2CO_3 (марки ХЧ).

Для синтеза образцов типа В в качестве одного из исходных реагентов был использован оксид железа, изготовленный путем окисления ультрадисперсных порошков железа со средним размером частиц ~100 нм, полученных электровзрывным методом по методике, представленной в [6]. Окисление железа проводили на воздухе в стандартной лабораторной печи сопротивления типа МПЛ-6 «ХимЛабо» с программируемым терморегулятором «ВАРТА» при температуре 700°С в течение 120 минут. Полученный таким образом наноразмерный α-Fe_2O_3 в дальнейшем служил в качестве исходного реагента для синтеза литиевого феррита.

Синтез литиевых ферритов проводился при температуре 900°С в течение 120 минут в соответствии с уравнением:

$$Li_2CO_3 + 5Fe_2O_3 \rightarrow 2LiFe_5O_8 + CO_2\uparrow.$$

Спекание ферритовой керамики осуществлялось в лабораторной печи при температурах 1100°С в течение 120 минут. Скорость нагрева и охлаждения образцов составляла ~ 10 град/мин.

Оценка плотности и кажущейся пористости образцов проводилась методом гидростатического взвешивания с использованием весов Shimadzu AUW220D. Для получения снимков поверхности спеченной ферритовой керамики использовали сканирующий электронный микроскоп Hitachi TM-3000.

Контроль фазового состава образцов проводился методом рентгенофазового анализа (РФА) на дифрактометре ARL X'TRA (Швейцария). Измерения дифрактограмм осуществлялись на Cukα-излучении в диапазоне $2\theta=(10–140)°$ при скорости сканирования 0,02/с. Идентификация фаз проводилась с использованием порошковой базы данных PDF-4 Международного центра дифракционных данных (ICDD). Полученные рентгенограммы обрабатывались методом полнопрофильного анализа с использованием программного комплекса Powder Cell 2.5.

Для определения электрической проводимости ферритов в работе был применен двухэлектродный метод, основанный на измерении проводимости образцов с нанесенными на торцевые стороны серебряными электродами [7]. Намагниченность насыщения измеряли в импульсном магнитном поле с амплитудой 5 кЭ на магнитометре Н–04.

Экспериментальные результаты

На рис.1 приведена рентгетограмма для синтезированных образцов литиевого феррита, которая характеризуются основным наличием упорядоченной фазы α-$LiFe_5O_8$.

На рисунке 2 приведены микрофотографии (внутренняя структура на разломе) для образцов типа А (рис. 2а) и образцов типа В (рис. 2б). Из рисунка видно, что образцы типа В, изготовленные из ультрадисперсного порошка имеют хорошо развитую мелкозернистую поликристаллическую структуру со средним размером зерна ~1.4 мкм. В то время как, для образцов типа А наблюдается вид припекшихся частиц порошка и высокая пористость, что указывает на необходимость повышения температуры спекания. В данном случае более

высокие температуры могут привести к нарушению стехиометрического состава литиевого феррита.

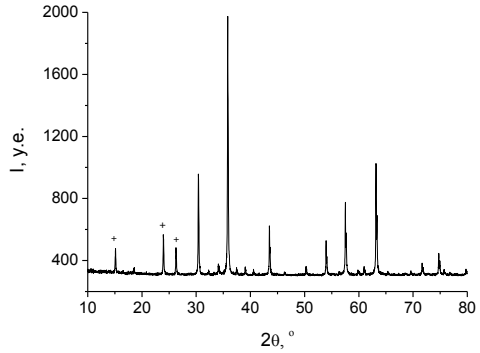


Рис.1. Дифрактограмма синтезированного литиевого феррита; + – сверхструктурные отражения $LiFe_5O_8$

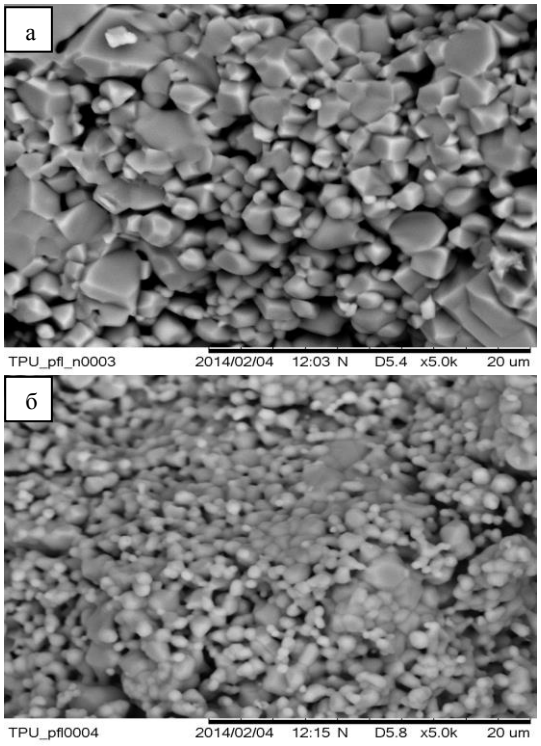


Рис. 2. Микроструктура литиевой ферритовой керамики: образцы А, изготовленные из порошка оксида железа микронного размера (а), образцы В - из ультрадисперсного порошка оксида железа (б).

В таблице 1 приведены все измеренные основные значения структурных и электромагнитных параметров исследуемых в работе образцов. Из данных приведенных в таблице следует, что все исследуемые образцы ферритовой керамики на основе $LiFe_5O_8$ имеют высокие значения электрического сопротивления и температуры Кюри. Однако, для образцов типа А характерны низкие значения плотности с пористостью выше 10 %, что указывает на низкое качество такой ферритовой керамики.

Таблица 1. Экспериментальные данные основных структурных и электромагнитных характеристик ферритовых образцов

	Образцы А	Образцы В
Средний размер зерна, мкм	-	1.4
Плотность, г/см^3	3.38	4.2
Пористость, %	24	9.2
Температура Кюри, °С	628	630
ρ при T = 20 °С, Ом·см	$1.0 \cdot 10^8$	$1.0 \cdot 10^7$
Намагниченность насыщения, 4πMs, Гс	3400	3350

Сравнивая характеристики для исследуемых в работе образцов ферритовой керамики, можно заметить, что керамика, полученная на основе наноразмерного порошка оксида железа обладает более лучшими эксплуатационными характеристиками, что делает ее пригодной для использования в качестве СВЧ магнитного материала. Особую привлекательность данной керамики придают высокие значения температуры Кюри и высокие значения удельного электрического сопротивления при достаточно высокой плотности материала, что значительно способствует уменьшению диэлектрических и магнитных потерь в СВЧ диапазоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания «Наука».

Литература

1. Baba P.D., Argentina G.M., Courtney W.E. et al. Fabrication and properties of microwave lithium ferrites // IEEE Trans Magn 8. - 1972. - P. 83-94.

2. Qitu Zhang, Jie Song, Lixi Wang Lithium-zinc-ferrite microwave electromagnetic consumable material and preparation method thereof // Пат.101696106 КНР. 2010.

3. Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов. – М.: Металлургия,1979. – 472 с.

4. Яворовский Н.А. Получение ультрадисперсных порошков методом электрического взрыва // Изв. вузов. Физика. - 1994. - № 4. - С. 114-136.

5. Surzhikov A.P. , Franguljyan T.S. , Lysenko E.N. , Gyngazov S.A. Investigation of structural states and oxidation processes in Li0.5Fe2.5O4 using TG analysis // J. Therm. Anal. Calorim. - 2012 - Vol. 108 - Issue 3 - p. 1207-1212.

6. Lysenko E.N. , Surzhikov A.P. , Zhuravkov S.P. , Vlasov V.A. , Pustovalov A.V. , Yavorovsky N.A. The oxidation kinetics study of ultrafine iron powders by thermogravimetric analysis // J. Therm. Anal. Calorim. - 2014. –V.115.-P.1447-1452.

7. Павлов Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. - М.: Высш. шк., 1987. – 239с.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЙТЕПЛОПРОВОДНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ ИЗ ГРАНУЛЯТА

Омурбекова К.Р., Волкова А.В.
Научный руководитель: Дитц А.А. к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: ditts@tpu.ru

Введение. Комплекс уникальных свойств, которыми обладает нитрид алюминия, в сочетании с не токсичностью и относительной дешевизной получения позволяет ему и материалам на его основе находить новые и расширять известные области применения. Нитридная керамика является высокоперспективным материалом для применения в различных областях от производства машин и инструмента до микроэлектроники. Поэтому проблема получения высокотеплопроводной керамики на основе нитрида алюминия является актуальной и своевременной [1].

Керамика на основе нитрида алюминия (AlN) с высокой теплопроводностью предназначена для использования в электронике и электротехнике, в первую очередь, в качестве материала подложек мощных силовых и СВЧ полупроводниковых приборов (диодов, транзисторов, тиристоров), микросхем, микросборок и многокристальных модулей, термомодулей и подложек мощных светодиодов, а также других компонентов и устройств, где требуются высокие диэлектрические характеристики, прочность и теплопроводность материала.

Материалы и приборы. В работе были использованы порошки нитрида алюминия производства Германии, для снижения температуры спекания нитрида алюминия вводили порошок оксида иттрия, производства фирмы Германии.

На рисунке 1 представлены данные растровой электронной микроскопии сделанной на микроскопе JSM 7500FA порошка нитрида алюминия.

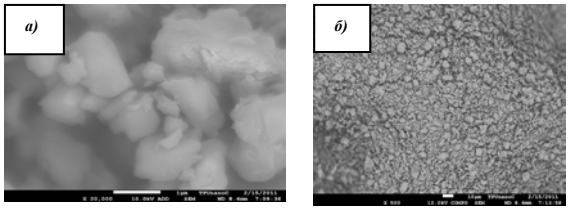


Рис. 1. Микрофотографии порошка нитрида алюминия а) ×20000; б) ×500

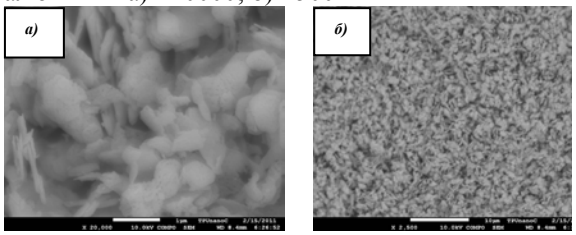


Рис. 2. Микрофотографии порошка оксида иттрия а) ×20000; б) ×1000

Экспериментальная часть.

Для равномерного перемешивания спекающей добавки порошки смешивали по «мокрому» способу в среде органического растворителя, перемешивание вели в керамическом барабане в течение 12-24 часов. На рисунке 3 показана схема процесса перемешивание компонентов.

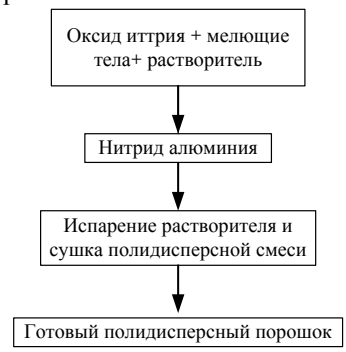


Рис. 3. Схема перемешивание компонентов

Из смеси порошков (полидисперсной смеси) затем получали гранулят методом «разлома брикета». Схема приготовления гранулята представлена на рисунке 4.

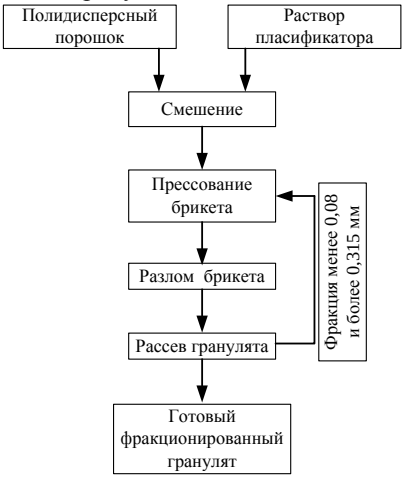


Рис. 4. Схема приготовления гранулята

Согласно схеме полидисперсный порошок дозировали, смешивали с раствором пластификатора, из полученной пластифицированной смеси прессовали брикет, который разламывали и фракционировали. Отбирали фракцию 0,08 – 0,315 мм. Для приготовления пластифицированной смеси добавляли пластификатор в виде раствора варьируя содержание пластификатора в интервале от 3 до 5 мас.% в готовом грануляте.

Для удобства были приняты шифры приведённые в таблице 1.

Таблица 1. Шифры приготовленных гранулятов

Компонент	В-97	А-97	В-95
Пластификатор 1, мас.%	3	1,5	5
Пластификатор 2, мас.%	-	1,5	-

Для приготовления связки использовали керамический барабан. В него загружали согласно расчету, растворитель, пластификатор, мелющие шары, перемешивали 4-6 часов, до полного растворения пластификатора, после чего сливали раствор через сито, и оценивали визуально наличие не растворившихся комков.

Приготовленную связку добавляли в полидисперсный порошок, и перемешивали в ступке в течение 5 минут.

Готовую массу прессовали в виде дисков с $P_{уд}$ 2 тонн/см^2. Полученный брикет разламывали в ступке, просеивая через набор сит, отбирали целевую фракцию размером более 0,08 мм и менее 0,315 мм.

По стандартным методикам определяли свойства полученного гранулята.

Результаты эксперимента.

В работе определяли основные технологические характеристики гранулята. Полученные результаты определений свойств гранулята представлены в таблице 2,3,4, на рисунках 5,6.

Таблица 2. Сыпучесть гранулята

Шифр гранулята	Сыпучесть материала, г/сек
В-97	250
В-95	250
А-97	250

Таблица 3. Насыпная плотность гранулята

Шифр гранулята	Насыпная плотность, гр/см^3
В-97	0,83
В-95	0,84
А-97	0,88

Таблица 5. Гранулометрический состав

Шифр	Размер сита, мм				
	0,315	0,200	0,140	0,080	Менее 0,080
В-97	0,51	55,70	23,31	15,46	2,94
В-95	0,36	53,26	26,53	15,42	3,24
А-97	4,28	52,22	22,76	15,55	3,30

По полученным данным построили гистограмму рисунок 5.

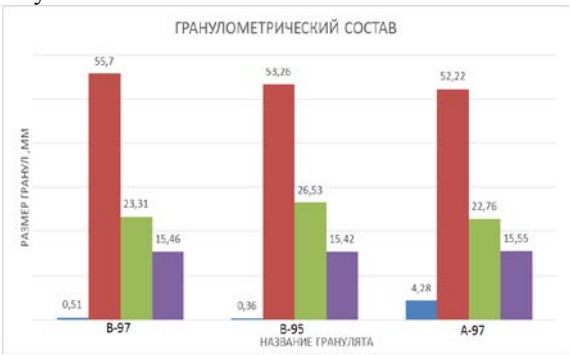


Рис. 5. Гранулометрический состав гранулятов

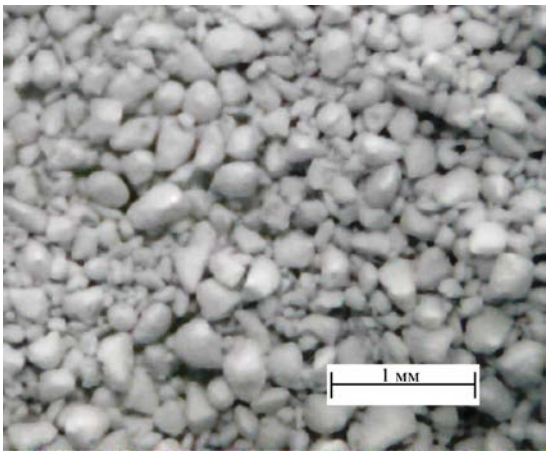


Рис. 6. Фотография гранулята

Выводы:

1. Предложена схема получения гранулята из нитрида алюминия.
2. Гранулят обладает лучшими технологическими свойствами, по сравнению с полидисперсным порошком, увеличилась сыпучесть, и насыпная плотность. Близость технологических параметров для всех составов, связано со способом получения гранулятов, который был одинаковым.
3. Гранулы получились прочные, по данным фотографий гранулы имеют обломочную форму, плотные, на поверхности крупных расположена мелкодисперсная фракция.
4. Полученный гранулят может быть использован для изготовления простых по форме изделий методом одноосного прессования.

Литература

1. Дитц А.А., Земницкая А.Ю., Ларина К.В., Борискин С.А. Влияние предистории получения материалов нитрида алюминия на свойства керамики// Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 5/2 - С. 105-109.
2. Дитц А.А., МитИна Н.А., Земницкая А.Ю., Пестрецова Н.Е., Ларина К.В. Получение высокотеплопроводных материалов из нитрида алюминия// Известия вузов. Физика. - 2012 - Т. 55 - №. 5/2 - С. 110-113.
3. Gromov, A. Ilyin, A. Ditts, V. Vereshchagin. Combustion of Al–Al2O3 mixtures in air // Journal of the European Ceramic Society. 2005. Vol. 25. Is. 9. P. 1575-1579.
4. D. J. Cronin and K. A. McMarlin, “Tape Casting of Dielectric Substrates”; pp. 1963-72 in Ceramic Today-Tomorrow’s Ceramic. Edited by P. Vincenzini. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1991.
5. Чаплина Е.В., Громов А.А., Дитц А.А., Митина Н.А. Спекание оксинитридной керамики из шихты, полученной самораспространяющимся высокотемпературным синтезом // Известия вузов. Физика. - 2011 - Т. 54 - №. 11/3 С. 283-287.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СЛИТКОВ СПЛАВА Ti-Nb, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКОЙ В ОХЛАЖДАЕМЫЙ МЕДНЫЙ ТИГЕЛЬ

Парилов Е.А.[1], Беляков А.В.[1], Химич М.А. [2]
Научный руководитель: Ковалевская Ж.Г., к.т.н., доцент
[1]ГОУ ВПО НИ Томский политехнический университет,
[2]Томский государственный Университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: john1300@mail.ru

Введение

На протяжении нескольких десятилетий ученые занимались изучением получения сплавов на основе титана. Титан и его сплавы нашли широкое применение в технике ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности, малой плотности и прочих полезных свойств. Высокая стоимость титана и его сплавов во многих случаях компенсируется их большей работоспособностью, а в некоторых случаях они являются единственным материалом, из которого можно изготовить оборудование или конструкции, способные работать в данных конкретных условиях [1-3]. За сплавом Ti-Nb большое будущее в медицине, а именно в дентальной имплантологии [4].

Методы получения сплава зависят от того, насколько чистый хотим получить продукт. Выделяют несколько основных способов: плавка с нерасходуемым электродом [5], плавка с расходуемым электродом [6], электроннолучевая плавка ниобия [6] и способ порошковой металлургии [7]. Мы выбрали метод плавки с нерасходуемым электродом, так как он прост в методе получения металла и отлично подходит для изготовления малых объемов сплава, которые в дальнейшем послужили объектом исследования. Задача данной работы: изучить фазовый состав, строение сплава Ti-Nb с разным массовым % Nb, полученным выбранным методом.

Материал и методика исследования

Для получения слитков сплава Ti-Nb использовалась печь для электродуговой плавки с нерасходуемым электродом. В результате были получены слитки сплава Ti-Nb с разной концентрацией Nb 10%, 25%, 40%. Слитки имели форму пуговок диаметра 80 мм и высотой 20 мм. Вес составлял от 336 до 350 гр. Из фрагментов слитка изготавливались поперечные шлифы. Оптическая микроскопия проводилась на микроскопах Carl Zeiss Axio Observer. Травитель: в равных объемных долях вода, плавиковая и азотная кислота. Микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3.

Материал для исследования был предоставлен сотрудниками Института физики прочности и материаловедения СО РАН.

Результаты эксперимента

На рис.1 представлена структура сплава Ti-10% Nb. Сплав оказался неоднородным по своей структуре и состоит из дендритов (рис.1а). Средняя толщина дендритов 12,5 мкм. Расположены они равномерно по всему исследуемым участкам. На малом увеличении можно разглядеть зерна основной фазы. Средняя величина 2,5 мм, границы имеют линейный вид. Помимо зерен основной фазы наблюдаются также участки игольчатой структуры (рис.1б).

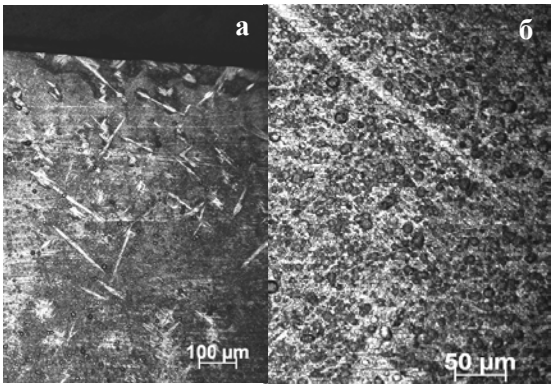


Рис.1. Структура сплава Ti - 10% Nb

Это зерна α'- или α''-фазы, которая и представлена игольчатой структурой. Параметры иголок мартенсита в средней части образца варьируются: ширина от 5 мкм до 10 мкм, длина – от 40 до 300 мкм.

Анализ рентгеновской дифрактограммы показывает, что преимущественно основной объем полиэдрического зерна состоит из α-фазы, а мартенситные иголки являются α'-фазой. Определено, что среднее значение микротвердости в основной фазе 180 HV. Среднее значение в участках с игольчатыми включениями 239 HV.

На рис.2 представлена структура сплава Ti-25% Nb. Как можно заметить, сплав неоднородный по своей структуре. На малом увеличении наблюдаются дендриты и игольчатые включения структура. Дендритная структура представлена дендритами первого и второго порядков. Она расположена равномерно по всему исследуемому образцу и при большем увеличении теряют контраст.

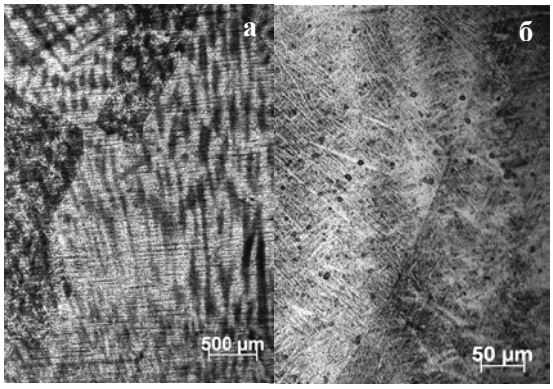


Рис. 2. Структура сплава Ti - 25% Nb

На большом увеличении можно разглядеть зерна сплава с внутренней игольчатой структурой. Крупные иглы мартенсита в сплавах с 25% Nb похожи по форме на иглы мартенсита в сплаве с 10% Nb (рис. 1а). Поэтому можно предположить, что это тоже зерна α'-фазы. Помимо крупных иголок мартенсита отчетливо видны на большом увеличении тонкие и короткие иголочки. Они занимают большую площадь поверхности образца. Размер иголок в средней части образца варьируются от 1 мкм до 2 мкм. Помимо того, на образце при большом увеличении наблюдаются некие белые участки, они занимают небольшую площадь исследуемой поверхности. Делаем предположение, что это β-фаза.

При анализе дифрактограммы сплава выявлено, что основной объем полиэдрического зерна состоит из α''-фазы – это и есть наши маленькие иголочки, они занимают большую площадь на образце. Помимо того присутствует ещё и незначительное число α'-фазы, это большие иголки. На углах 101-102 показано незначительное количество β-фазы, металлографически представляющее из себя белые участки. Средняя микротвердость основной неравновесной α''-фазы составила 317 HV, а равновесной β-фазы – 228 HV.

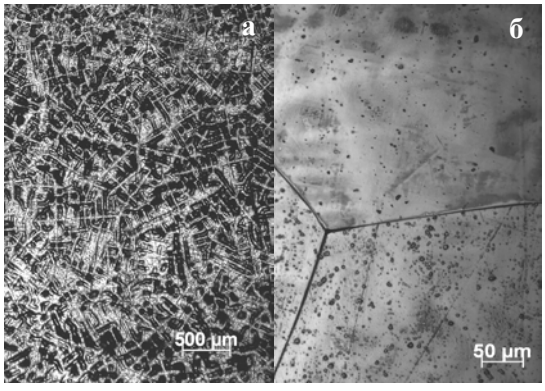


Рис. 3. Структура сплава Ti - 40% Nb

На рис.3 представлена структура сплава Ti-40% Nb с разным увеличением. Сплав оказался однородным по своей структуре. На малых увеличениях хорошо различима дендритная структура (рис.3а). На большом увеличении видны равноосные зерна, границы которых хорошо сформированы и имеют линейный вид (рис.3б). Размер зерен от 600 до 1200 мкм. Зерна представлены предположительно β-фазой.

При анализе дифрактограммы выявлено, что основной объем сплава состоит из β-фазы, что подтверждает наши предположения. Помимо нее в сплаве может присутствовать незначительное число α'-фазы, которая металлографически не найдена. Общее значение микротвердости в зернах β-фазы составило 227 HV.

Заключение

В результате полученных данных можем констатировать, что сплав Ti-10% Nb содержит α- и α'-фазы. Микротвердость данных фаз составляет 180 HV и 239 HV, соответственно. Это показывает, что метастабильные фазы тверже. В сплаве Ti-25%Nb в процессе плавки и кристаллизации сформировались следующие фазы: α''-фаза с микротвердостью 317 HV; β-фаза с микротвердостью – 228 HV. В сплаве Ti- 40% Nb наблюдается однородная структура из зерен β-фазы. Её твердость составляет 227 HV. Из всего исследованных фаз самой твердой является α''-фаза. Поэтому самым твердым из сплавов, получаемых электродуговой плавкой, является сплав Ti - 25% Nb.

Литература

1. Корнилов И.И. Титан; Источники, составы, свойства, металлохимия и применение. – М.: Наука, 1975. – 308 с.

2. Титан в промышленности: сборник статей под ред. С. Г. Глазунова. – М.: Оборонгиз, 1961. – 328 с.

3. Горынин И. В., Чечулин Б. Б. Титан в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 399 с.

4. Сметкин А.А., Конюхова С.Г., Ярмонов А.Н. Применение пористых проницаемых материалов в дентальной имплантологии // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2003. – №5. – С. 65-67.

5. Кондратенко Л.К., Гусева Л.Н. Фазовые превращения в сплавах титана с ниобием при закалке и отпуске // Изв. АН СССР. Металлы. 1989. – №1. – с. 89.

6. Киффер Р., Браун Х. Ванадий, ниобий, тантал. – М.: Металлургия, 1968. – 311 с.

7. И. В. Горынин, Б. Б. Чечулин. Титан в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭК-181 И ЧС-139 ПОСЛЕ ТРАДИЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Полехина Н.А. [1,2], Литовченко И.Ю. [1,2]
Научный руководитель: Тюменцев А.Н. [1,2], д.ф-м.н., профессор
[1] Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, Россия, Томск, пр. Академический, 2/4
[2] Томский Государственный Университет, 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 36
E-mail: nadejda89tsk@yandex.ru

В настоящей работе проведены сравнительные исследования особенностей микроструктуры и механических свойств высокохромистых ферритно-мартенситных сталей ЭК-181 (16Х12В2ФТаР) и ЧС-139 (20Х12НМВБФАР) после традиционной термической обработки (ТТО). Для сталей такого класса ТТО включает в себя закалку от 1100°С и последующий высокотемпературный отпуск при Т=720°С, 3 ч.

Установлено [1], что важной особенностью гетерофазной структуры стали ЭК-181 после традиционной термической обработки, является высокая плотность наночастиц ГЦК карбонитрида ванадия V(CN) размерами не более 8 нм (рис. 1*а*). Карбиды $M_{23}C_6$ после такой обработки представляют собой неравноосные частицы размерами до 110 нм (рис. 1*б*). Другой важной отличительной особенностью образцов стали ЭК-181, прошедших обработку по традиционному режиму, является формирование внутри фрагментов мартенсита субструктуры с непрерывными разориентировками. Электронно-микроскопическое исследование формирующихся в такой структуре внутренних напряжений показало, что в локальных зонах повышенной кривизны эти напряжения сравнимы с величиной предела текучести сплава при комнатной температуре.

Как показало электронно-микроскопическое исследование, структурно-фазовое состояние стали ЧС-139 после традиционной термической обработки качественно подобно состоянию стали ЭК-181. Наблюдается структура «феррит + пакетный мартенсит + карбиды». Размеры структурных элементов сталей близки. Средняя ширина мартенситных пластин стали ЧС-139 (рис. 2*а*), рассчитанная по темнопольным электронно-микроскопическим изображениям, составляет ≈ 0,5 мкм, размер зерен феррита может достигать нескольких мкм.

Отличие этих сталей, главным образом, наблюдается в их карбидной подсистеме. Ввиду более высокого содержания углерода и сильных карбидообразующих элементов (Mo, Nb, V, W) размеры, плотность и объемная доля грубодисперсных карбидов $M_{23}C_6$ в стали ЧС-139 превышают таковые для стали ЭК-181. Карбиды $M_{23}C_6$ в стали ЧС-139 после ТТО представляют собой относительно крупные частицы размерами от 150 до 250 нм (рис. 2*б*), что примерно в 1,5-2 раза больше, по сравнению со сталью ЭК-181. Преимущественными местами расположения неравноосных частиц $M_{23}C_6$ являются границы мартенситных пластин и реек. Равноосные частицы, как правило, обнаруживаются внутри кристаллов мартенсита. Локально встречаются крупные округлые частицы размерами ≈ 400 нм.

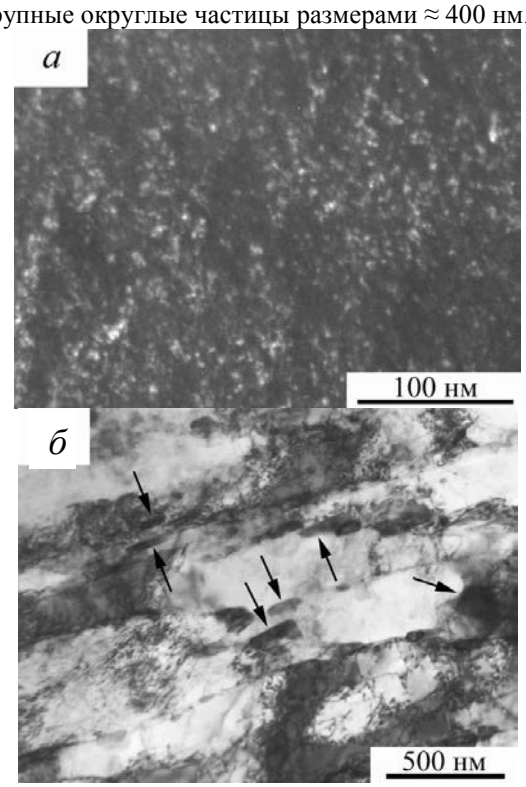


Рис. 1. Электронно-микроскопические изображения стали ЭК-181 после ТТО: а – наночастицы V(CN); б – светлопольное изображение, стрелками указаны карбиды M23C6

Проведенные ранее исследования [2] показали, что существенное влияние на структурно-фазовое состояние стали ЭК-181 оказывает вариация закалочной среды (вода/воздух), изменяющая скорость закалки. Увеличение скорости закалки приводит, во-первых, к снижению плотности карбидов $M_{23}C_6$; во-вторых, к повышению дисперсности и объемной доли наночастиц карбонитрида ванадия. Последующий отпуск при 720 °С, 3 ч. (традиционная термообработка)

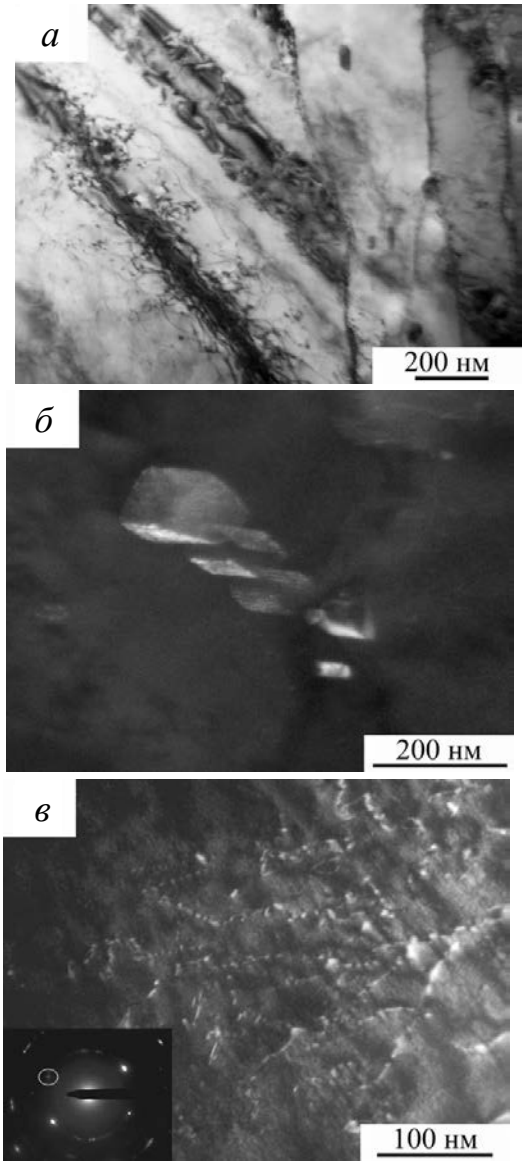


Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения стали ЧС-139 после ТТО: *а* – светлопольное изображение; *б* – карбиды $M_{23}C_6$; *в* – наночастицы V(CN)

приводит к существенному увеличению объемной доли как грубодисперсной фазы $M_{23}C_6$, так и наноразмерных частиц V(CN).

Результаты исследования характеристик кратковременной прочности и пластичности сталей после ТТО с закалкой на воздух и в воду представлены в таблице. Отметим, что каких либо преимуществ стали ЧС-139 в отношении кратковременных механических свойств, по сравнению с ЭК-181, не обнаружено.

Как видно из этой таблицы, при повышении скорости закалки (воздух/вода) наблюдается незначительный эффект повышения прочности (около 5 %) стали ЭК-181 при Т=650°С, который, по-видимому, обусловлен обнаруживаемым при этом увеличением объемной доли наночастиц V(C,N). На наш взгляд, природа влияния скорости закалки на характер гетерофазной структуры и прочностные свойства исследуемых сталей связана с изменением (при изменении скорости закалки) кинетических условий образования частиц стабильных ($M_{23}C_6$ и V(C,N)) карбидных фаз.

В случае стали ЧС-139 увеличение скорости закалки не приводит к повышению высокотемпературной прочности (табл.). Возможными причинами различного влияния скорости закалки на механические свойства сталей ЧС-139 и ЭК-181 являются различия в их гетерофазной структуре после ТТО. Эффективность дисперсного упрочнения в стали ЧС-139 может быть ниже вследствие того, что значительная часть углерода в процессе отпуска связывается в грубодисперсные частицы $M_{23}C_6$. При этом плотность мелкодисперсных карбидов в указанной стали снижается. Выяснение более глубоких физических причин указанных выше различий требуют дополнительных исследований.

Таблица. Механические свойства сталей ЭК-181 и ЧС-139 после ТТО

Режим обработки	Температура испытаний			
	Т = 20°С		Т = 650°С	
	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ, %	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ, %
ЭК-181				
ТТО (воздух)	827	8	390	8
ТТО (вода)	830	10	410	9
ЧС-139				
ТТО (воздух)	790	10	370	14
ТТО (вода)	770	11	360	11

Таким образом, структурно-фазовое состояние стали ЧС-139 после традиционной термической обработки качественно подобно состоянию стали ЭК-181. Основной особенностью микроструктуры сталей после такой обработки является высокая плотность наноразмерных частиц карбонитрида ванадия V(CN). Предполагается, что их образование является важным фактором повышения высокотемпературной прочности и термической стабильности микроструктуры сталей.

Литература

1 Особенности микроструктуры феррито-мартенситной (12 % Cr) стали ЭК-181 после термообработок по разным режимам / Тюменцев А.Н. [и др.] // Журнал технической физики – 2012. – №12-2. – с. 52–58.

2 Влияние режимов термообработки на микроструктуру малоактивируемой ферритно-мартенситной стали ЭК-181 / Шевяко Н.А., Литовченко И.Ю. [и др.] // Известия ВУЗов. Физика. – 2013. – Т. 56. №5. – С.51-54.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ В ЗАРОЖДЕНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ИЗГИБЕ

Попкова Ю.Ф., Елсукова Т.Ф.
Научный руководитель: Елсукова Т.Ф., д.ф.-м.н., профессор
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Россия, г.Томск, пр.Академический, 2/4
E-mail: yusik_p@mail.ru

В многоуровневом подходе физической мезомеханики деформируемое твердое тело рассматривается как нелинейная иерархически организованная система, в которой поверхностные слои являются самостоятельной функциональной подсистемой [1]. Его пластическая деформация и разрушение рассматриваются на основе анализа сопряжения и характера совместной деформации поверхностных слоев и объема материала. В условиях знакопеременного изгиба ниже предела текучести материала основная пластическая деформация сосредоточена в поверхностных слоях в сопряжении с упруго нагруженной подложкой. Пластические сдвиги в поверхностных слоях развиваются в направлениях максимальных касательных напряжений. Упруго нагруженный объем материала создает моментные напряжения на зоны пластических сдвигов поверхностного слоя. При этом в поверхностном слое формируются поворотные моды деформации и зоны сильной кривизны, что приводит к зарождению и развитию поверхностных усталостных трещин [2]. Микроскопия высокого разрешения позволяет исследовать кинетику этого процесса как структурно-фазового распада материала.

Для экспериментального исследования этого процесса весьма информативны исследования механизма усталостного разрушения технического титана с наводороженным поверхностным слоем. В нем при знакопеременном изгибе сильно выражены стесненность поворотных мод деформации в поверхностных слоях и развитие в них зон локальной кривизны.

Выполненные исследования показали наличие сильной многоуровневой кривизны поверхностного слоя в зонах магистральной усталостной трещины (рис.1). Раскрытие трещины происходило зигзагообразно с периодическим изменением знака поворотов материала в соответствии с законом сохранения момента импульса (рис.2).

Методом интерференционной профилометрии выявлено развитие микропористости в зонах сильной кривизны. В отдельных местах поры объединились с формированием аккомодационных микротрещин, аккомодируя раскрытие магистральной трещины (рис.3). В других местах со сложным профилем кривизны микропоры сохранились, что обусловило прерывистый характер аккомодационных трещин. Установлено, что поры формируются в зонах глубокой интрузии с сильной кривизной.

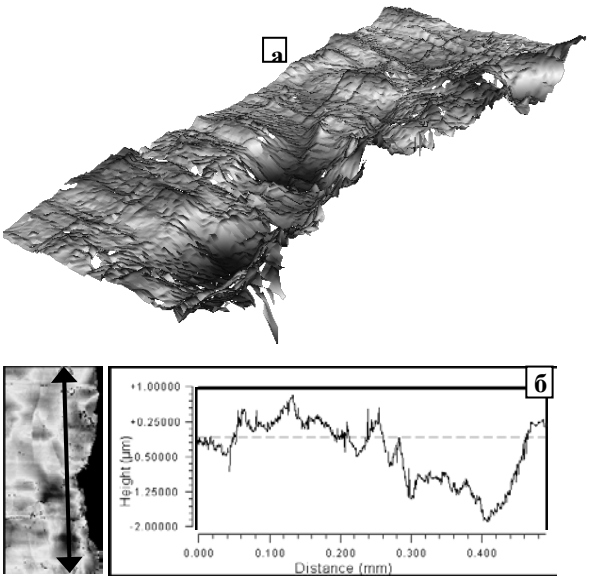


Рис. 1. Ti-H_2. а) многоуровневый поверхностный гофр, N=10^6ц., ×150; б) профилограмма

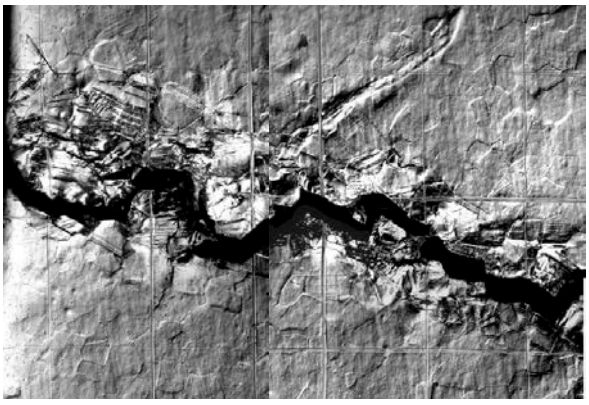


Рис. 2. Ti-H_2. Объемная оптическая картина общего вида усталостной трещины, N=9,3×10^5ц., ×450, DIC

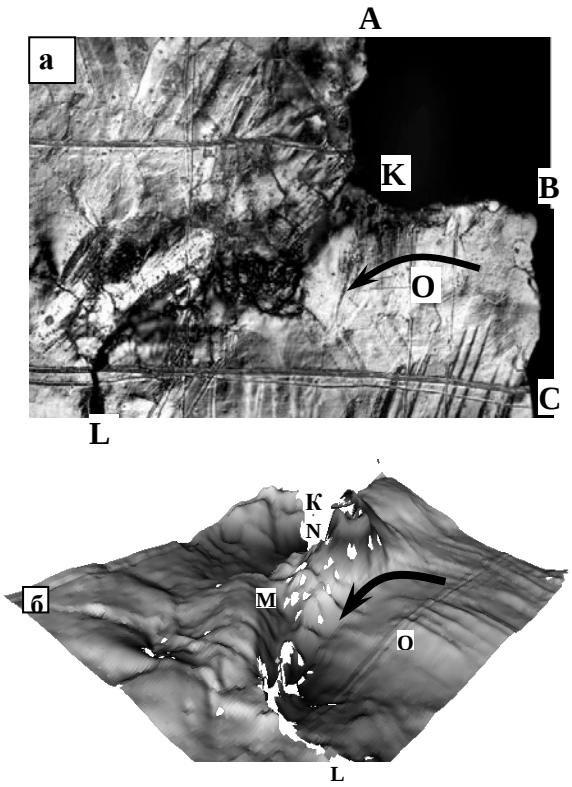


Рис. 3. Ti-H_2. Оптическое изображение фрагмента поверхностного слоя вблизи магистральной усталостной трещины AKBC и аккомодационной трещины KL, ×180 (а); Интерференционная 3D картина распространения трещины KL путем формирования и коагуляции микропор, ×200 (б). $N=10^5$ ц

Вопрос о механизме возникновения микропор в зонах сильной кривизны и их определяющей роли в распространении трещин является особенно актуальным в теории усталостного разрушения. В литературе он обсуждался только в проблеме межзеренного разрушения при высокотемпературной ползучести и усталости, когда интенсивно развиваются диффузионные процессы [3]. В настоящем исследовании усталостное разрушение развивается при $T=0{,}2T_{пл}$ титана, когда процессы диффузии подавлены. Но при этом очень сильно выражены эффекты кривизны в наводороженном поверхностном слое титана. Их определяющая роль установлена в настоящей работе: усталостная трещина распространяется не по границам зерен, испытывающих поворот, а через зоны глубокой интрузии в приграничных зонах, в которых сформировалась сильная кривизна. Отсюда следует, что в условиях низких температур деформации структурно-фазовый распад материала происходит не в границах зерен, а в границах поворотного типа, где формируется сильная кривизна и растягивающие нормальные напряжения. Данное заключение снимает проблему сингулярности в вершине трещины в линейной механике разрушения.

Таким образом исследования многоуровневого механизма циклической деформации и усталостного разрушения наводороженного титана показали, что определяющую роль в зарождении и развитии усталостных трещин, как структурно-фазового распада материала играет формирование зон локальной кривизны, возникающей при генерации в твердом теле любых дефектов и выраженной особенно сильно в планарной 2D-подсистеме, где нет трансляционной инвариантности.

Исследован многоуровневый механизм циклической деформации и усталостного разрушения технического титана в исходном и наводороженном состояниях в условиях знакопеременного изгиба при комнатной температуре. Показано, что зарождение усталостного разрушения происходит в поверхностном слое, который испытывает пластическую деформацию в сопряжении с упруго нагруженной подложкой. Совместность их деформации обусловливает развитие в поверхностном слое стесненных поворотных мод пластического течения, возникновение сильной кривизны и появление в зонах кривизны микропор, слияние которых формирует усталостные трещины. Возникновению локальной кривизны кристаллической структуры отводится центральная роль в зарождении и развитии усталостных трещин как структурно-фазового распада материала при циклическом нагружении.

Литература:

1. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах / отв. ред. В.Е. Панин; РАН СО, Институт физики прочности и материаловедения. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. - 520с.

2. Панин В.Е. Фундаментальная роль локальной кривизны кристаллической структуры в нелинейном поведении твердых тел в полях внешних воздействий // Физическая мезомеханика. – 2013. – Т.16. - №3. – С. 5-6.

3. Кондратьев П.А., Большанина М.А. Порообразование в процессе усталости // Известия Академии наук СССР. Металлы. - 1968. - №4. – С. 118-125.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ВТ 1-0 ПЕРЕД НАПЫЛЕНИЕМ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩЕГО ГИДРОКСИАПАТИТА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Прямушко Т.С., Грубова И.Ю., Иванова А.А.
Научный руководитель: Р. А. Сурменев, старший научный сотрудник, доцент, к.ф.-м.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tatyana.pryamushko@mail.ru

Проблема отторжения имплантата организмом человека является актуальной [1], т. к. до сих пор в медицине остается ряд постоперационных проблем, связанных с имплантацией. Особую роль при интеграции имплантата с живыми тканями играют свойства его поверхности [2]. Модифицирование поверхности имплантата путем механического или химического модифицирования ведет к увеличению площади контакта поверхности имплантата с костной тканью. Желание ускорить процесс остеоинтеграции имплантата привело к идее создания биосовместимого магнетронного покрытия на основе гидроксиапатита (ГА, $Ca_2(PO_4)_6OH_2$), который является естественным минеральным компонентом зубов и костей. Высокочастотное (ВЧ-) магнетронное напыление позволяет получать тонкие покрытия с контролируемым элементным и фазовым составом и высокой адгезией [1].

Целью данной работы является исследование влияния модификации поверхности сплава технически чистого титана на топографию и физико-химические свойства сформированного покрытия.

В качестве подложки был выбран сплав технически чистого титана марки ВТ1-0. Для достижения развитого микрорельефа титановых образцов были подготовлены два типа подложек с помощью механической и химической обработок: 1 – пескоструйная обработка корундом (Al_2O_3=250-320μм) при различных давлениях P=0,45 МПа и P=0,61 МПа; 2 – химическое травление во фторсодержащем растворе (1ml HF + 2 ml HNO_3 + 2,5ml H_2O, t=10 сек). Для удаления продуктов травления проводилась очистка в ультразвуковой ванне. Затем для придания образцам биосовместимых свойств проводилось напыление покрытия из серебросодержащего ГА (Ag-ГА) методом ВЧ-магнетронного распыления.

Способ получения Ag-ГА покрытия методом ВЧ-магнетронного распыления состоит из трех основных стадий: 1 – синтез порошка ГА; 2 – приготовление мишени для распыления по керамической технологии; 3 – формирование покрытия. Для напыления использовалась полностью автоматизированная установка 08ПХО–100Т-005 с ВЧ-магнетронным источником (ВЧ-генератор COMDEL13,56 МГц). Покрытия напылялись при мощности 250 Вт в атмосфере аргона в течение 180 минут при заземленном подложкодержателе.

Для исследования топографии использовался профилометр Talysurf 5M (Tyler-Hobson). Свободную энергию поверхности (СЭП) определяли методом краевых углов смачивания на приборе EasyDrop фирмы KRUSS. При этом выделяли полярную и дисперсионную составляющие суммарной поверхностной энергии, которые рассчитывали по уравнению Оуэнса-Вендта.

Модифицирование поверхности титановых образцов при давлении P=0,45 МПа приводит к увеличению шероховатости на 22% (R_a возросло с 0,9 до 1,11 μм). Нанесение ГА-покрытия в данном случае приводит к росту показателя шероховатости с 1,11 до 1,14 μм, при этом относительно исходной подложки произошло увеличение на 26%. Модифицирование поверхности титановых подложек при давлении P=0,61 МПа приводит к росту показателя R_a с 0,9 до 1,27μм (41%). Исследования образцов с покрытием показали, что шероховатость в данном случае уменьшилась на 0,07μм относительно модифицированных образцов без нанесенного покрытия, но при этом возросла на 0,3 μм (33%) относительно исходных образцов (таблица 1).

Исследования смачиваемости показали, что она слабо зависит от R_a. В первой группе (P=0,45 МПа) смачиваемость возрастает после пескоструйной обработки и химического травления (угол уменьшился с 74,35° до 55,05°), а СЭП возрастает в 2 раза (с 32,68 до 65,68 мН/м), причем за счет своей полярной составляющей. После напыления покрытия угол возрастает в 2 раза относительно обработанной поверхности (с 55,05° до 116,50°), то есть поверхность становится гидрофобной. СЭП в данном случае уменьшается до 7,54 мН/м.

В случае второй группы (P=0,61 МПа) – с уменьшением шероховатости угол возрастает. После напыления покрытия на модифицированную титановую подложку шероховатость снижается на 0,07μм, а угол возрастает на 30,8° (с 65,3° до 96,10°), при этом СЭП уменьшается с 40,88 до 14,58 мН/м (больший вклад вносит полярная составляющая).

Как видно из представленных результатов, поверхностная энергия протравленных образцов определяется полярной составляющей (таблица 1). Следует отметить, что чем больше краевой угол смачивания, тем больший вклад в СЭП вносит дисперсионная составляющая, то есть о гидрофобности поверхности можно судить по дисперсионной составляющей СЭП. На рисунке 1

представлена зависимость краевого угла смачивания от полярной составляющей СЭП. Данный график показывает, что чем больше полярная составляющая у СЭП, тем ниже контактный угол смачивания.

Таблица 1. Физико-химические характеристики поверхности титана после модификации

	R_a (мкм)	$\theta_{вода}$(°)	$\theta_{глицерин}$(°)	СЭП(мН/м)	$СЭП_d$(мН/м)	$СЭП_p$ (мН/м)
Титан Исходный	0,9	74,35	79,05	32,68	3,31	29,37
Давление Р=0,45 МПа, без покрытия	1,11	55,05	72,97	65,68	0,67	65,01
Давление Р=0,45 МПа, с покрытием	1,14	116,50	109,50	7,54	5,94	1,60
Давление Р=0,61 МПа, без покрытия	1,27	65,30	72,10	40,88	2,50	38,38
Давление Р=0,61 МПа, с покрытием	1,20	96,10	93,80	14,58	5,20	9,38

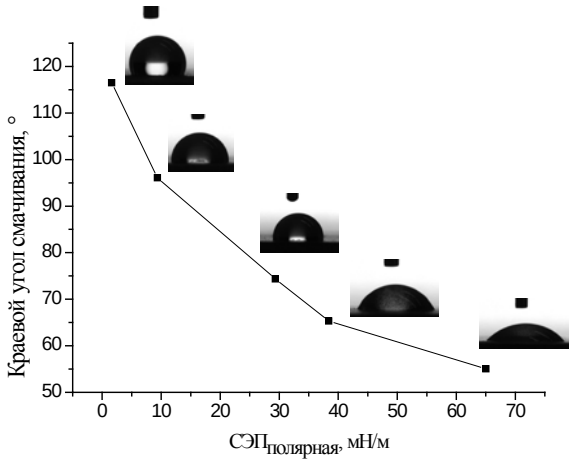


Рисунок 1. Зависимость краевого угла смачивания от полярной составляющей СЭП

Модифицирование поверхности напылением тонкого покрытия приводит к уменьшению полярной составляющей и к росту дисперсной, что свидетельствует о снижении полярных групп на поверхности (таблица 1), следовательно, поверхность становится более гидрофобной.

Известно, что гидрофильная поверхность является предпочтительной при использовании ее для изготовления имплантатов в области ортопедии, т. к. данные материалы будут лучше взаимодействовать с клеточными организмами и биологическими жидкостями (кровь, плазма и т.д.). Однако для лучшей остеоинтеграции клетки должны не только растекаться на поверхности, но и прикрепиться к ней, то есть иметь возможность «сцепления» с поверхностью. Это доказывает, что развитый рельеф также важен для улучшения адгезии клеток к поверхности [3]. Благотворное влияние гидрофильной поверхности на адгезию было исследовано во многих работах, однако из некоторых исследований также видно, что для лучшей адгезии клеток к поверхности имплантата большую роль играет шероховатость поверхности [3].

Таким образом, исследование различных методов подготовки поверхности перед напылением биосовместимых ВЧ-магнетронных покрытий показало, что обработка поверхности при давлениях Р=0,45 МПа и Р=0,61 МПа приводит к повышению или к незначительному повышению шероховатости поверхности, а также к снижению поверхностного натяжения, в большей степени за счёт его полярной составляющей.

В ходе исследования лучший результат показали образцы, обработанные при давлении Р=0,61 МПа, т.к. не смотря на то, что угол смачивания подложки на 10° выше, чем у обработки при давлении Р=0,45 МПа (55,05°), напыление Ag-ГА покрытия приводит к повышению угла смачивания на 47%, что в 2,4 раза ниже чем у образцов, обработанных при меньшем давлении. Данный факт говорит о том, что поверхность образцов, обработанных при большем давлении умеренно гидрофобна, что очень важно для взаимодействия с биологическими жидкостями для скорейшей остеоинтеграции.

Авторы выражают благодарность проф. Шаркееву Ю.П. за содействие в пескоструйной обработке поверхности подложек, зав. лаб. ИФВТ ТПУ Игнатову В.П. за помощь в травлении подложек титана.

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурменев Р.А., Сурменева М.А., Пичугин В.Ф., Эппле М. ВЧ-магнетронные кальций-фосфатные покрытия на материалах медицинских имплантатов. //. Известия ТПУ 2009; Т.315. №2:с. 139-141;

2. Esposito M., Hirsch J.M., Lekholm U., Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. //. Etiopathogenesis. Eur J Oral Sci 1998; 106:721-764;

3. Xavier S.P., Carvalho P.S.P., Beloti M.M. et al. Response of rat bone marrow cells to commercially pure titanium submitted to different surface treatments. J. Dent. 2003; 31: 173–80.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Пухова И.В, Гальченко Н.К, Колесникова К.А
Научный руководитель Гальченко Н.К., к.т.н., с.н.с.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634021, Томск, пр.Академический, 2/4
E-mail: ivpuhova@mail.ru

Введение

В последнее время в сфере электронно-лучевых технологий появились новые перспективные направления, которые до сих пор относились к разделу научной фантастики, например такие как: многолучевая технология – разделение одного луча на десятки, липкие металлы – выращивание микроигл на поверхности детали, 3D технология – выращивание трехмерной модели детали сложной формы из порошка [1].

При определенных технологических приемах электронный луч может обеспечить почти неограниченное разнообразие режимов воздействия электронного пучка на поверхность обрабатываемой детали, таких как сварка, термообработка, зондирование и модифицирование поверхности, например, нанесение простейшего рисунка. Однако, реализовать эти преимущества электронного луча в полной мере можно только посредством электронной автоматизации. С развитием систем автоматизированного управления область применения электронного луча значительно расширилась, но на физическом уровне технология достижения необходимого результата гораздо усложнилась. Так, например, оперируя изменением трех - четырех параметров электронного луча, мы можем добиться как сваривания деталей, так и выращивания на их поверхностях трехмерного изображения заданной формы.

В итоге мы имеем два направления получения неизвестных специальных свойств на давно изученных материалах:

- структурная модификация поверхностного слоя, в основном за счет геометрической термообработки, например: в виде шахматной доски или по типу «зебра»;
- объемная модификация поверхности детали с получением на ней 3D – объектов различной формы, например: шестигранные соты, иглы, направленные перпендикулярно плоскости детали и т.д [2].

Исследование влияния топографии поверхностных слоев металлических материалов на их прочностные характеристики

Для испытания образцов со структурированными поверхностями готовилось четыре варианта модифицирования:

1 – образцы с поперечным односторонним структурированием поверхности;

2 - образцы с поперечным двусторонним структурированием поверхности;

3 - образцы с продольным односторонним структурированием поверхности;

4 - образцы с продольным двусторонним структурированием поверхности;

В качестве испытуемых материалов для исследования механических свойств были изготовлены опытные образцы с периодическими структурами из алюминиевых сплавов (АМЦМ; АМГ-2М), нержавеющей стали Х18Н10Т, титана марки ВТ0. Для каждого сплава готовилось пять серий образцов, схемы поверхностной модификации представлены на рис. 1.

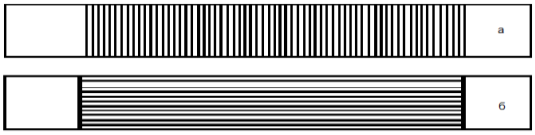


Рис. 1. Схемы с поперечным (а) и продольным (б) структурированием поверхности

Структурирование поверхности образцов заключалось в формировании импульсным электронным пучком ($d_{пучка}$=0,5÷07мм) периодических структур в виде линий, расположенных на поверхности образцов, предназначенных для механических испытаний, расположенных на равном расстоянии друг от друга (0,5 мм). Глубина структурирования составила 0,1÷0,2 мм.

Механические свойства сплавов в исходном состоянии и после текстурирования поверхности образцов импульсной электронно-лучевой обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Механические свойства сплавов в исходном состоянии и после текстурирования поверхности образцов импульсной электронно-лучевой обработки

Исследуемые материалы	Состояние образца, вид обработки	Предел прочности, R_m, МПа	Удлинение, А,%
АМцМ	Исходное состояние	112,7	18,90
	Перпенд. оси раст. (с одной стороны)	110,0	14,6
	С двух сторон	111,5	12,3
	Вдоль оси раст.(с одной стороны)	108,2	14,05
	С двух сторон	111,7	12,5
АМг-2М	Исходное состояние	181,8	15,35
	Перпенд. оси раст.(с одной	190,7	15,1

	стороны)		
	с двух сторон	190,4	19,5
	Вдоль оси раст. (с одной стороны)	186,1	16,6
	с двух сторон	189,7	18,25
ВТ0	Исходное состояние	719,7	17,6
	Перпенд. оси раст. (с одной стороны)	646,5	14,33
	с двух сторон	644,7,	16,18
	Вдоль оси раст. (с одной стороны)	705,3	16,13
	с двух сторон	734,8	13,15
Х18Н10Т	Исходное состояние	799,3	75,7
	Перпенд. соси раст. (с одной стороны)	810,4	78,78
	с двух сторон	811,4	78,6
	Вдоль оси раст. (с одной стороны)	809,8	75,7
	с двух сторон	831,7	76,4

Таким образом, из данной таблицы можно сделать следующие выводы:

1. Поверхностная модификация алюминиевого сплава АМцМ не привела к улучшению его механических свойств;

2. Для алюминиевого сплава АМг-2М оптимальным режимом поверхностной модификации, стало поперечное двустороннее структурирование поверхности;

3. На титановый сплав ВТ0 модификация не оказала положительного влияния, т.к. свойства несколько снизились;

4. Продольная двусторонняя модификация поверхности нержавеющей стали Х18Н10Т помогла значительно повысить предел прочности.

Исследование полученных неразъёмных соединений нержавеющая сталь-медь

В качестве эксперимента, на нержавеющей стали были «выращены» иглы пирамидальной формы, после чего были получены первые неразъёмные соединения с медью (рис. 2)

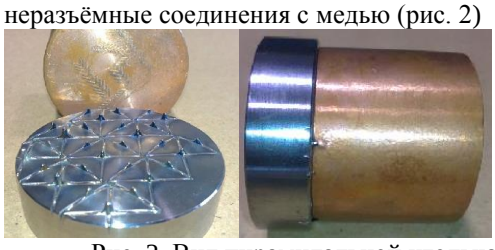


Рис. 2. Вид пирамидальной игольчатой структуры (слева) и неразъёмное соединение металл-металл (справа)

На рисунке 3 хорошо видно, что при совместной деформации разнородных металлов не произошло изменения формы игл; при этом наблюдается их плотное обжатие медью.

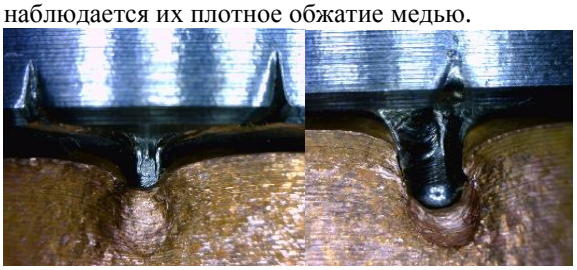


Рис. 3. Проникновение стальных игл в медную подложку

Естественно, надо понимать, что такие соединения будут хорошо работать «на сдвиг», а не на «разрыв». Но даже при растягивающих напряжениях, такие соединения должны хорошо себя показать, если соединение усилить, например, с помощью клеющих эпоксидных смол.

Заключение

На данном этапе получены следующие результаты:

- упорядоченный рельеф, сформированный на поверхности материалов, существенно влияет на прочностные характеристики;
- метод поверхностного модифицирования металлов, при котором на поверхности формируется периодическая структура, состоящая из полос с заданным параметрами, может быть применен, как вид финишной обработки металлических деталей для повышения их прочностных характеристик на 4 – 8%.

Благодаря уникальному комплексу эксплуатационных свойств модифицированные материалы найдут широкое применение во многих отраслях современного производства, например, при производстве теплообменников, катализаторов, для создания технологии соединения металлических поверхностей с пластиками, ошиповка титановых листов для авиационной промышленности, и т. д.

Список литературы:

1. Обработка элементов силовых передач электронным лучом с малой деформацией и эффектом нескольких процессов.// Матиас Валь, Технология и оборудование электронно-лучевой сварки – 2011, материалы второй Санкт-Петербургской международной конференции: СПб, с.15-26.

2. Электронно-лучевое технологическое оборудование на основе источников электронов с плазменным эмиттером./ С.И. Белюк, Н.К. Гальченко, К.А. Колесникова, А.Г. Рау, С.Ю. Раскошный. Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки-2011. Материалы второй Санкт-Петербургской международной научно-технической конференции,- Санкт-Петербург. ООО «Агенство «Вит-Принт», 2011, с. 203-212.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ИСХОДНОЙ ШИХТЫ НА ПРОЦЕСС ПРОТЕКАНИЯ СВ-СИНТЕЗА В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РАО НА ОСНОВЕ РАСЧЁТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРЕНИЯ

Пыхтин С.В., Дьяков С.С., Исаченко Д.С.
Научный руководитель: Исаченко Д.С., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: serg_pyhtin@mail.ru

Проблема захоронения радиоактивных отходов (РАО) стоит перед любым государством, активно развивающим атомную энергетику. Даже при работе с ядерным топливом по замкнутому топливному циклу остаются высокоактивные отходы, не подлежащие дальнейшему использованию. Захоронение таких отходов требует их предварительной подготовки: иммобилизации.

Традиционными способами иммобилизации считаются остеклование, при котором РАО смешиваются с остекловывающим веществом в определенной пропорции, а также методы, в которых создаются кристаллические структуры: матрицы, содержащие определенный процент РАО. К таким методам относят спекание, плавление, холодное прессование с последующим спеканием, горячее прессование и гидротермальный синтез. В данной работе будет рассмотрена возможность использования технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) для формирования матрицы.

Актуальность использования СВС заключается в том, что данный метод наиболее эффективно выполняет задачи, возникающие при необходимости переработки РАО: минимизация затрат и минимальное образование вторичных РАО. Особенность СВС такова, что для инициирования реакции необходимо минимальное, по сравнению со всеми остальными методами, количество энергии, что позволяет сократить время технологического процесса и часть высоколетучих фракций, улетучивающихся в результате нахождения РАО при высоких температурах. Неоспоримым преимуществом СВС является и возможность создания матрицы, которая может содержать в себе повышенную, по сравнению с иными, часть иммобилизуемых РАО.

В качестве материала матрицы был выбран борид титана. В ходе получения данного материала методом СВС, имели место следующие этапы:

1) Измельчение исходных материалов до 100 нм (механоактивация);
2) Смешивание материалов в заданных пропорциях;
3) Прессование полученной смеси (получение необходимой формы и плотности образца);
4) Инициирование СВ-реакции в экспериментальной установке;
5) Естественное охлаждение образца в рабочей камере установки.

Помимо экспериментального получения образцов материала, было проведено моделирование СВС с использованием математической модели, основанной на модели горения Дебая. В качестве исследуемого вещества использовался борид титана. При моделировании выбирались плотности исходной шихты от 2500 кг/м^3 до 7500 кг/м^3 с шагом 500 кг/м^3 . Для каждой плотности было получено поле распределения температур в зависимости от высоты и радиуса, в каждый момент времени.

Моделирование производилось с шагом в 0,8 с. Было выбрано несколько контрольных радиусов (0,3 мм; 7,5 мм; 14,4 мм). Для каждой заданной плотности строились зависимости аксиального распределения температур при фиксированном радиусе. Также было построено общее радиальное распределение поля температур в образце. По полученным данным, наибольшие температуры наблюдаются в центральной части образца, и с увеличением радиуса значения этих температур снижается. Очевидно, что с течением времени образец остывает.

Плотность исходной шихты также играет важную роль: чем она выше, тем интенсивнее энерговыделение. Так же была получена динамика распространения синтеза в образце плотностью 5000 кг/м^{3}изображенная на рисунке 1. Динамика была получена путем построения аксиального распределения поля температур при фиксированной плотности и радиусе для моментов времени 0,01 с; 1,6 с; 3,2 с; 4,54 с. Анализируя полученные данные, можно отметить следующее: в начальный момент времени (0,01 с), значение температур мало, затем наблюдается всплеск температур (1,6с), а после, с течением времени, и, распространением фронта горения по образцу, наблюдался спад температур. По полученной динамической характеристике были сделан следующий вывод скорость фронта горения практически не меняется с течением времени для рассматриваемых условий.

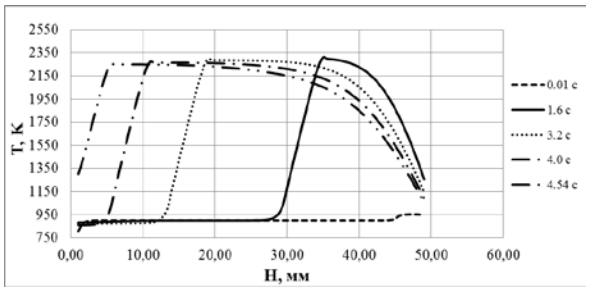


Рисунок 1. Динамика распространения фронта горения.

Используемые методы, по сравнению с исследуемым, имеют ряд недостатков.

Расплав РАО с остекловывающими элементами прост в реализации и хорошо отработан, но, из-за сильной коррозийной активности, его использование связано с сильной активацией оборудования и его взаимодействием с расплавом.

Применение холодного прессования ограничено, необходимостью работы с высокоактивными пылящими веществами. Данный метод подразумевает прессование подготовленных РАО с шихтой матрицы, после чего следует спекание при давлениях, порядка десятков – сотен МПа.

Горячее прессование подготовленных РАО является крайне энергоемкой операцией, требующей больших затрат.

Гидротермальный синтез требует давлений порядка сотен атмосфер, что создает потенциальную опасность его применения. Он позволяет осуществлять реакции при относительно низких, порядка 200 – 800 градусов, температурах. Синтез нерастворимых соединений в виде солей или оксидов ведут в гидротермальных условиях в потоке, пропуская перерабатываемые РАО и реагенты, через слой нерастворимых частиц, обеспечивая кристаллизацию соединений на поверхности частиц слоя.

Основным недостатком всех методов остекловывания является возможность взаимодействия конечных продуктов с водой, что не позволяет исключить возможность попадания РАО в окружающую среду. Методы твердофазного синтеза не позволяют организовать производство иммобилизованных РАО, относительное содержание отходов в которых превышало бы 15%. С ростом концентрации утилизируемых веществ, сильно снижаются физико-химические свойства целевого продукта.

Метод СВС сам по себе не является новым, но его применение для иммобилизации РАО является перспективным направлением.

Для производства целевого продукта в состав шихты включают энергообразующие компоненты: горючее в виде порошков металлов и кислородосодержащие окислители, в количестве, обеспечивающем полное окисление металла, а также не участвующие в энерговыделение оксидные добавки, позволяющие реализовать оптимальные режимы горения (например, для понижения температуры горения) и являющимся структурообразующим материалом. Металлокерамическую шихту готовят из компонентов ряда s-, p-, d-, f-элементов и их оксидов. Выбор конкретных компонентов и их количество определяется конечным составом продуктов металлотермического процесса и возможностью реализации синтеза металлокерамики в требуемом режиме. В приготовленную шихту, содержащую неорганические связующие, вводят высокоактивные отходы в виде оксидов, металлов или их смесей фракции 0,001-8 мм. Фракционный состав вводимой смеси охватывает интервал размеров частиц, которые составляют шламы и твердые отходы радиохимического производства или образуется на стадии отверждения жидких отходов. Максимальный размер частиц определяется шириной реакционной зоны высокотемпературного синтеза металлокерамики. Количество вводимых отходов определяется конечным составом металлокерамики и сохранением термичности шихты в пределах, обеспечивающих зажигание и горение в требуемом режиме.

Таким образом, имеет место возможность управления реакцией на стадии подготовки исходной шихты. Последующее инициирование реакции синтеза позволяет быстро и без значительных энергозатрат получить матрицу, заполненную утилизируемыми РАО.

Список литературы

1. Мержанов А.Г., Боровинская И.П. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких неорганических соединений. / Отчет ОИХК АН СССР, Черноголовка, 1970. – 283с.

2. Исаченко Д.С., Кузнецов М.С., Семенов А.О., Чурсин С.С. Влияние механической активации на синтез высокоэмиссионных материалов, получаемых в режиме СВС. / Сборник тезисов докладов Десятой всероссийской с международным участием школы-семинара по структурной макрокинетике для молодых ученых – г. Черноголовка, ИСМАН, 2012г. – с. 46-48

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «Ti-Ta-Zr», СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА ВТ1-0 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

Самойленко В.В., Ленивцева О.Г., Поляков И.А.
Научный руководитель: Батаев В.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20
E-mail: samoylenko.vitaliy@mail.ru

Титановые сплавы являются перспективными конструкционными материалами, применяемыми в химической и ядерной промышленности, самолето- и ракетостроении, а также в медицине. Это обусловлено их высокой удельной прочностью в сочетании с коррозионной стойкостью в большинстве агрессивных сред.

Однако титан подвергается интенсивной коррозии в кипящем растворе азотной кислоты. В работах [1-3] показано, что введение тантала в титановый сплав существенно повышает коррозионную стойкость, которая в некоторых случаях сопоставима с чистым танталом. Следует отметить, что применение титан-танталовых сплавов ограниченно ввиду высокой стоимости тантала и сложной технологии получения крупногабаритных заготовок. Для экономии дорогостоящего тантала и повышения коррозионной стойкости титана рациональным является создание танталсодержащих покрытий на титановых сплавах.

Результаты проведенных ранее исследований показывают, что наиболее перспективной технологией формирования покрытий является вневакуумная электронно-лучевая наплавка [4, 5], которая позволяет получать покрытия толщиной до 2 мм, обладающие высокими характеристиками износостойкости [4] и коррозионной стойкости [5].

В работе проведены исследования покрытий системы «Ti-Ta-Zr» сформированных на поверхности технически чистого титана ВТ1-0. Наплавка покрытий производилась в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН на промышленном ускорителе электронов ЭЛВ-6. Ускорители данной серии оборудованы системой дифференциальной откачки, которая позволяет выводить электронный пучок в воздушную атмосферу [6].

Перед электронно-лучевой обработкой на поверхность заготовки размером 100x50x12 мм наносилась смесь порошков тантала, циркония и флюса в количестве 22,5 г. Добавление циркония в исходную порошковую насыпку позволяет частично заменить дорогостоящий тантал. Кроме того, на начальных стадиях обработки цирконий, обладающий меньшей температурой плавления, чем тантал, выступает в качестве смачивающего компонента.

Полученная заготовка устанавливалась на подвижный столик и поступательно перемещалась относительно электронного луча со скоростью 10 мм/с. Для увеличения производительности обработки осуществлялось сканирование поверхности заготовки электронным лучом в поперечном направлении. Ток пучка ускоренных электронов составлял 23 мА.

Были подготовлены образцы с различным содержанием тантала и циркония в исходном порошке (табл. 1). Количество флюса подбиралось таким образом, чтобы соотношение объема флюса к объему легирующих компонентов оставалось постоянным.

Таблица 1. Весовая доля порошков в исходной насыпке

№ образца	Содержание порошков, % вес.			
	Ta	Zr	CaF_2	LiF
1	0	60	30	10
2	10,5	52	28,13	9,38
3	21	44	26,25	8,75
4	31,5	36	24,34	8,13
5	42	28	22,5	7,5
6	52,5	20	20,63	6,88

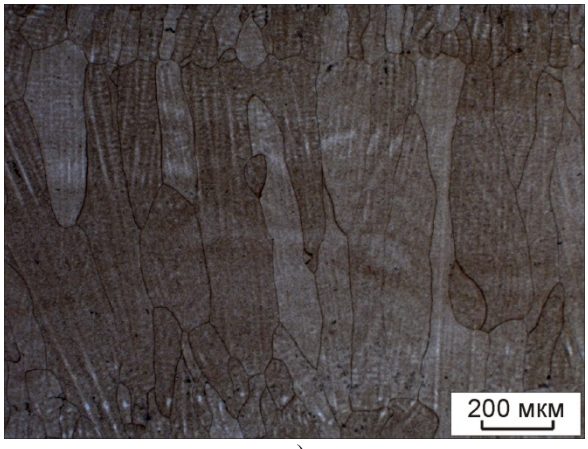
Металлографические исследования серии образцов проводились на оптическом микроскопе Carl Ziess Axio Observer A1m и растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Определение химического состава покрытий производилось с использованием микрорентгеноспектрального анализатора INCA X-ACT (Oxford Instruments). Микротвердость покрытий оценивалась на приборе Wolpert Group 402MVD. Нагрузка на индентор составляла 0,98 Н.

Электронно-лучевая наплавка порошков тантала и циркония в воздушной атмосфере приводит к формированию градиентной структуры. В поперечном сечении полученных образцов можно выделить три зоны: зона покрытия, зона термического воздействия и зона основного металла.

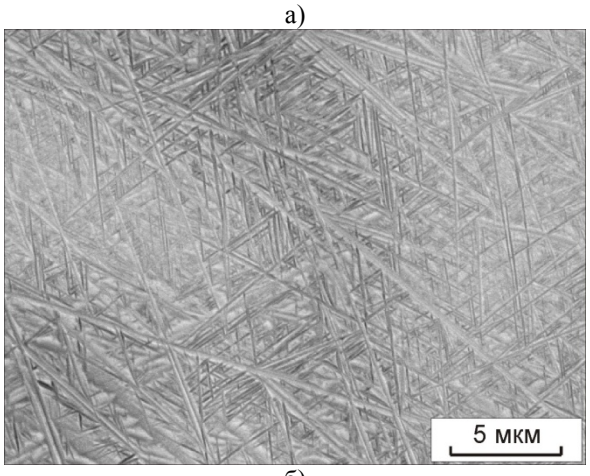
Структура покрытий, полученных при наплавке с разным соотношением порошков тантала и циркония в исходной насыпке имеет схожее строение. В процессе кристаллизации наплавленного слоя формируется структура

литого типа с характерным дендритным строением. Направление роста дендритных кристаллов совпадет с ориентировкой зерен (рис. 1 а). При больших увеличениях структура сплава имеет тонкодисперсное игольчатое строение (рис. 1 б).

Микротвердость наплавленных слоев не изменяется по сечению покрытия. Уровень микротвердости при наплавке порошков циркония составляет 6000 МПа и постепенно снижается до 4500 МПа с увеличение содержания тантала в исходной насыпке. На расстоянии ~ 50 мкм от поверхности значение микротвердости в некоторых покрытиях достигает 7000 МПа. Увеличение твердости обусловлено насыщением приповерхностного слоя газами атмосферы. При переходе в титановую основу значение твердости снижается до 1700 МПа.



а)



б)

Рис. 1. Структура покрытия:
а) оптическая микроскопия
б) растровая электронная микроскопия

Результаты микрорентгеноспектрального анализа свидетельствуют о том, что доля тантала в полученных покрытиях увеличивается, с увеличением его содержания в исходной порошковой насыпке. Максимальная концентрация тантала наблюдается в образце № 6 и составляет 27 % вес. При этом содержание циркония является минимальным из всей серии и составляет 11 % вес. Следует отметить, что в случае наплавки порошков титана и тантала на титановый сплав ВТ1-0 максимальная концентрация тантала в наплавленном слое не превышала 22,4 % вес. [2].

Вневакуумная электронно-лучевая обработка является перспективным методом получения коррозионностойких покрытий толщиной 2 мм на поверхности титанового сплава ВТ1-0. Покрытия характеризуются высоким качеством и отсутствием дефектов.

Список литературы

1. De Souza K. A., Robin A. Influence of concentration and temperature on the corrosion behavior of titanium, titanium-20 and 40% tantalum alloys and tantalum in sulfuric acid solutions // Materials Chemistry and Physics. 2007. Vol. 103, № 2–3. p. 351–360.

2. Atmospheric electron-beam surface alloying of titanium with tantalum/ M. G. Golkovski, I. A. Bataev, A. A. Bataev, A. A. Ruktuev, T. V. Zhuravina, N. K. Kuksanov, R. A. Salimov, V. A. Bataev // Materials Science and Engineering A. - 2013. - № 578. – p. 310-317.

3. Oxidation behavior and corrosion resistance of Ti-10Ta-10Nb alloy/ H. Ahn, D. Lee, K. M. Lee, D. Baek, S. W. Park // Surface and Coatings Technology. 2008. – Vol. 202 – p. 5784-5789.

4. Структура и свойства стали после вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков титана, тантала, молибдена и графита/ Д. О. Муль, Е. А. Дробяз, И. К. Чакин, В. В. Самойленко, В. С. Ложкин, Р. А. Доставалов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2013. - № 3 (60). - С. 115-120.

5. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошков системы титан-тантал-ниобий на титан ВТ1-0/ И. А. Батаев, А. П. Алхимов, О. А. Бутыленкова, Т. В. Журавина, О. Г. Ленивцева, А. А. Руктуев // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. - 2012. - № 1(54). - С. 90-95.

6. Салимов Р. А. Мощные ускорители электронов для промышленного применения. Успехи физических наук. Т. 170, № 2. 2000. С 197-201

ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, НА ОСНОВЕ TiB и NiAl, В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ

Семененко Т..М., Губин И.А., Исаченко Д.С.
Научный руководитель: Исаченко Д.С., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: takhirsemeneneko@gmail.com

Цель данной работы, экспериментально определить условия, обеспечивающие получение материалов в режиме технологического горения, методом СВС, с использованием TiB и NiAl. В качестве регулирования процесса использовался метод предварительного прессования вещества, в виде тонкодисперсных порошков, и регулирования концентрации ключевых элементов смеси.

Материалы на основе TiB относятся к наиболее перспективным материалам, которые обладают высокой твердостью, жаропрочностью, износостойкостью, стойкостью к действию расплавленных металлов, высокой электро- и теплопроводностью в сочетании с низким удельным весом. Сплавы TiB+NiAl являются очень стойкими к окислению и жаропрочными, что в свою очередь определило их использование в авиации и автомобилестроении в качестве конструкционных материалов. Биологическая безвредность титана делает его превосходным материалом для пищевой промышленности и восстановительной хирургии.

Способы получения сплавов TiB+NiAl различны. К одному из видов получения относят самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). В общем виде СВС осуществляют следующим образом. Из смеси порошков металлов и неметаллов прессуют исходную заготовку. Кратковременным тепловым импульсом локально инициируют реакцию синтеза целевого продукта. Взаимодействие реагентов протекает преимущественно в конденсированной фазе в тонком слое, разделяющем исходную смесь и конечный продукт. После инициирования зона реакции самопроизвольно распространяется по образцу в режиме горения.[1]

Весьма перспективным является проведение СВС-процессов в экзотермических органических системах (как порошковых, так и жидкофазных). В них СВС протекает при не очень высоких температурах (100-300°С) и с более низкими скоростями, что позволяет более детально исследовать механизм СВС с использованием таких типичных для органической химии методов, как ЭПР, ЯМР и др. Для жидких систем появляется реальная возможность исследовать влияние возникающих свободно-конвективных течений на автоволновой процесс. Представляются перспективными (но пока совсем не проанализированы) и технологические приложения.[2]

Особый интерес представляют работы по синтезу наноматериалов. Наноматериалы занимают важное место в индустрии наносистем, включающей также электронные и энергетические наноустройства, каталитические, биологические и другие наносистемы, производством и использованием которых в целом занимается такая принципиально новая научно-техническая отрасль, как нанотехнология.

Однако в целях развития данного направления необходимо создать устройства, позволяющие осуществлять медленное охлаждение продукта для того, чтобы иметь возможность работать в лабораторных условиях. Необходимо создать квазиадиабатической СВС-реактор с большим временем тепловой релаксации. Монокристаллы СВС-продуктов представляют как чисто научный интерес с точки зрения теории строения вещества, так и практический интерес, например, в абразивной технике.[1]

Большой интерес представляет создание так называемых неравновесных материалов – таких материалов, которые приходят в равновесное состояние в процессе их эксплуатации. Простейшая задача-пример – создание наплавочного электрода на основе СВС-продукта неполного превращения. Дореагирование электрода в процессе наплавки с выделением тепла повышает температуру наплавки, что позволяет уменьшить энергоемкость процесса.

В данной работе рассматривались следующие интерметаллиды: механоактивированая смесь борида титана с 10% алюминида никеля; смесь механоактивиронового борида титана с 10% алюминида никеля; смесь борида титана с 5% алюминида никеля;

Технология получения образцов осуществляется по следующим этапам:

1) Приготовление шихты. Компоненты смеси взвешиваются с точностью до десятой грамма, затем они перемешиваются в течение 40 минут в кубическом смесителе ERWEKA GMBH со скоростью вращения 400 об/мин.

2) Механоктивация. Предварительно измельчённый образец вместе со стальными шариками помешается в планетарную мельницу АГО - 12, где измельчается в течение 15 минут. Частота вращения мельницы 12 Гц.

3) Прессование. Подготовленная шихта загружается в гидравлический пресс, где

выдерживается в течение 10 минут под давлением от 2 до 6 МПа с интервалом 1 МПа.

4) Синтез подготовленной шихты. Спрессованный образец помещается в СВС-реактор, для обеспечения локального нагрева, к таблетке прикладывается вольфрамовая нить, на которую подаются ток, тем самым нагревая исследуемый образец до температуры инициирования реакции СВС. Реакция реализовывалась в техническом вакууме. Образец нагревался равномерно по всему объему до температуры инициирования.

5) Рентгенофазовый анализ полученных образцов.

В результате исследовательской работы с помощью технологии СВС были исследованы зависимости:

1) Плотности образца от давления (от 2 до 6 МПа, t = 10мин).

2) Температуры инициирования от плотности образца.

Графики зависимости плотности от давления и температуры инициирования представлены на рисунках 1 и 2.

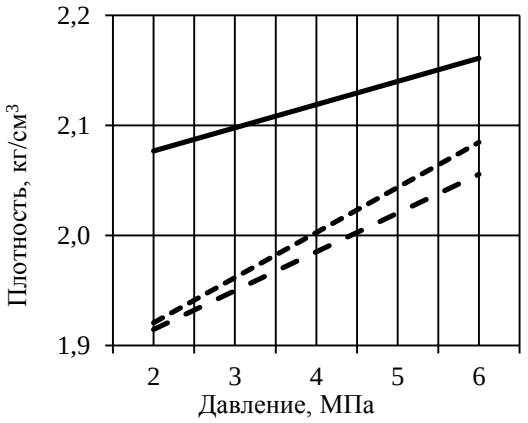


Рисунок 1. Зависимость плотности от давления прессования образца;
(—) – (TiB+10%NiAl) м/а;
(- - -) – (TiB) м/а+10%NiAl);
(– –) – TiB+5%NiAl

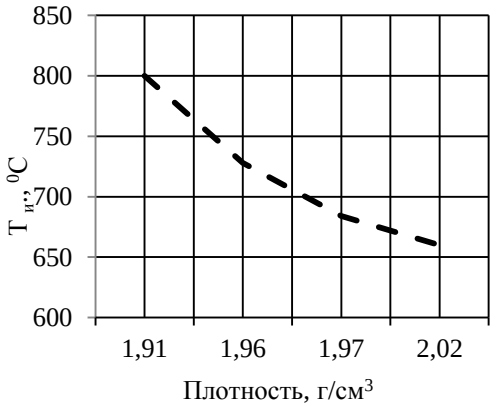


Рисунок 2. Зависимость температуры инициирования от плотности TiB +5%NiAl

Исследования по зависимости плотности шихты, связанной с давлением прессования, показали значительный вклад последнего в плотность шихты и позволили связать давление прессования с плотностью. Таким образом, на стадии подготовки исходной шихты можно определить плотность.

На следующем этапе проводились исследования по зависимости температуры инициирования от плотности. Из рисунка 2 видно, что с увеличением плотности шихты температура инициирования снижается. Это вызвано тем, что частицы более плотно прилегают друг к другу, тем самым увеличивая эффект взаимодействия. Данный факт положительно сказывается как на энергозатратах, так и на реакции синтеза, которая при больших плотностях протекает с большим энерговыделением и устойчивым фронтом горения.

Таким образом, в настоящей работе исследованы возможности получения системы TiB+NiAl со способами управления реакцией синтеза на начальной стадии подготовки, а именно при воздействии на исходные порошки и шихту.

Список используемых источников

1. Амосов А.П., Боровинская И.П., Мержанов А.Г. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов: Учеб. пособие. / Под научной редакцией В.Н. Анциферова. — М.: Машиностроение–1, 2007.

2. Ulrich Schubert, Nicola Hüsing. Synthesis of Inorganic Materials. 413 p. 2001. Pu.Wiley-VCH.

ПРОЯВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ БЕТОНА В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Сорвачева Ю.А., Чистяков Э.Ю.
Научный руководитель: Петрова Т. М., д.т.н., профессор
Петербургский государственный университет путей сообщения,
190031, Россия, г. Санкт-Петербург, Московский пр.9
E-mail: ksmit_pgups@mail.ru

Введение

Длительное время считалось, что заполнители для бетона являются инертными и долговечность железобетонных конструкций зависит только от технологии их производства и условий эксплуатации. Впервые это было опровергнуто в 1916 году геологом Штефенсоном, который высказал предположение о возможности протекания реакции между породообразующими минералами и щелочами [1]. В 1923 году начались исследования по оценке вероятности возникновения повреждений бетонных конструкции при использовании в качестве заполнителей магматических горных пород и примерно через 20 лет, в 1940 году, американский ученый Т. Стэнтон выявил и обнародовал причины протекания деструктивных процессов в теле бетона ряда сооружений Калифорнии, положив тем самым начало многочисленных исследований в области щелоче-силикатной реакции (ЩСР) в бетоне [2].

В настоящее время в нашей стране существуют методы оценки потенциальной реакционной способности заполнителей, как ускоренные (в течение двух недель), так и длительные (в течение одного года), однако отсутствует возможность выявления внутренней коррозии бетона в эксплуатируемых конструкциях. Авторами представлены результаты обследования автодорожного покрытия с использованием европейского опыта обнаружения щелоче-силикатного геля.

Исторические сведения

Первые случаи разрушения конструкций вследствие ЩСР были обнаружены в США в 1940 году, позже, в 1964 году в городе Любек на севере Германии появился значительный прогиб в конструкции моста через год его эксплуатации. Похожая ситуация была в Англии в 1971 году, позже в таких странах, как Канада и Южная Африка и др. Австралия начинает терпеть материальные убытки из-за разрушительных действий реакции в 1980-е годы, а Швейцария – в 1995 году [3, 4, 5, 6].

Единственной страной в Европе, которая до недавнего времени официально не признавала случаи возникновения щелоче-силикатной реакции в бетоне, является Финляндия, однако, в 2011 году была проведена серия обследований и выявлены сооружения, подверженные ЩСР [7]. Актуальность и неугасающий мировой интерес к вопросу реакции между щелочами цемента и заполнителями подтверждает ежегодно возрастающее количество публикаций на эту тему в период с 1940х годов по настоящее время.

Результаты исследования

При обследовании эксплуатируемых конструкций одной из главных проблем является выявление истинных причин проявления его макроскопических повреждений (рисунок 1).



Рис. 1. Обследуемое автодорожное покрытие, 2014 год

Внешние повреждения обследованной конструкции могут быть результатом неравномерности изменения объема портландцемента, низкой морозостойкости, а также, внешним признаком протекания внутренней коррозии бетона.

При строительстве использовались следующие материалы: портландцемент с содержанием щелочей 0,8% в пересчете на Na_2O, мелкий и крупный заполнители с содержанием аморфного кремнезёма 8,2 ммоль/л и 35 ммоль/л, соответственно.

Существующие нормы позволяют сделать предварительный вывод, что заполнители являются потенциально не реакционноспособными, так как суммарное содержание аморфного кремнезема меньше допустимого значения в 50 ммоль/л.

Использование ускоренного метода позволяет оценить потенциальную реакционную способность крупного и мелкого заполнителя по отдельности, однако о возможности их совместного использования можно сделать вывод только по результатам длительных исследований относительного расширения образцов бетона в течение 1 года. Продолжительность испытаний затрудняет проведение оценки сочетаемости используемых материалов на предприятиях-изготовителях железобетонных конструкций, в связи с чем возникает необходимость использования альтернативных методов обнаружения ЩСР.

Известно, что результатом протекания ЩСР в бетоне является образование щелоче-силикатного геля, обнаружение которого в конструкции является подтверждением протекания внутренней коррозии бетона. Из обследованного автодорожного покрытия был выбурен образец-керн и выдержан в течение 30 минут в специальном растворе (рис. 2, 3).

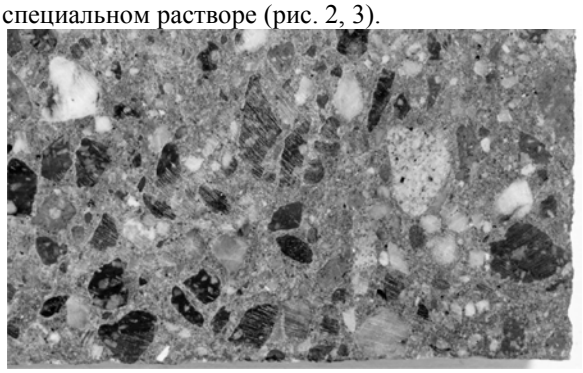


Рис. 2. Образец при обычном освещении

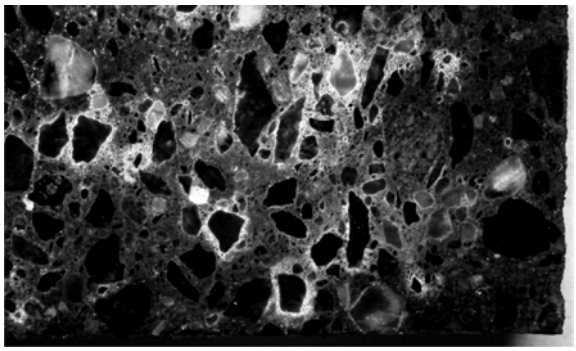


Рис. 3. Образец при ультрафиолетовом освещении

На снимке при ультрафиолетовом освещении отчетливо виден щелоче-силикатный гель, образовавшийся как вокруг, так и внутри заполнителя для бетона. Протекание внутренней коррозии автодорожного покрытия также подтверждено микроскопическими исследованиями (рис. 4).



Рис. 4. Щелоче-силикатный гель в порах и трещинах бетона

Заключение

В национальных нормах отсутствует возможность оценки эксплуатируемых конструкций и выявления наличия внутренней коррозии бетона. Существующий ускоренный метод не позволяет сделать вывод о возможной сочетаемости крупного и мелкого заполнителей с используемым цементом при изготовлении бетонной смеси. Проведение таких исследований возможно при применении длительного метода оценки относительных деформаций образцов бетона продолжительностью 1 год.

Принятие решение на основе химического анализа и петрографических исследований также не дает возможности исключить внутреннюю коррозию бетона, так как установленные границы являются лишь рекомендуемыми нормами и не дают гарантии долговечности конструкции.

Использование представленного метода, с выдерживанием образца в токсичном растворе, позволяет выявить щелоче-силикатный гель в конструкции, определить основную причину её растрескивания и принять экстренные меры по предотвращению полного разрушения. На данный момент известно несколько методов предотвращения внутренней коррозии бетона на стадии проектирования его состава (введение микрокремнезёма, доменного шлака и т.д.) и один на стадии эксплуатации – обработка конструкции раствором солей лития.

Работа выполнена в рамках стипендии Президента Российской Федерации на обучение за рубежом в 2013/2014 учебном году.

Список литературы

1. Stephenson E.A.: Studies in hydrothermal alteration part I. The action of certain alkaline solutions on feldspars and hornblende. The Journal of Geology 24 (1916), pp. 180-199.

2. Stanton, T.E.: Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. Proceedings American Society of Civil Engineers (1940), pp. 1781-1811.

3. Hobbs, D.W.: Alkali-silica reaction in concrete. Thomas Telford Ltd, London (1988).

4. Jensen, V.: Alkali aggregate reaction in Southern Norway. Doctor Technical Thesis, University of Trondheim (1993).

5. Jensen, V., Merz, C.: Alkali-aggregate reaction in Norway and Switzerland – survey investigations and structural damage. In: Broekmans, M.A.T.M. and Wigum, B.J. (eds.): Proceedings of the 13th ICAAR, Trondheim, Norway (2008), pp. 785-795.

6. Bodeker, W.: Alkalireaktion im Bauwerksbeton – Ein Erfahrungsbericht. Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton (DAfStb), Heft 539, Berlin (2003).

7. Pyy, H., Ferreira, M., Holt, E.: Assessing the extent of AAR in Finland. In: Drimalas, T., Ideker, J.H. and Fournier, B. (eds.): Proceedings of the 14th ICAAR, Austin, Texas, USA (2012), 6 pp.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Степанова Е.В.
Научный руководитель: Голованов А.Н., д.т.н., профессор, Зима В.П., к.т.н.
Томский государственный университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 34
e-mail: 201088step@gmail.com

Необходимость использования специальной тепловой защиты возникает в тех случаях, когда незащищенная поверхность неминуемо должна разрушиться.

Верхним пределом применимости самых жаропрочных металлов без тепловой защиты можно считать тепловые потоки порядка $2{,}5\cdot10^5 \text{Вт/м}^2$, которые приводят к равновесным температурам, превышающим 1500 К [1].

Такие условия возникают при возвращении летательного аппарата на поверхность планеты. планеты.

Задача тепловой защиты заключается в сохранении внутри аппарата температуры, обеспечивающей нормальное функционирование различного оборудования, прочность элементов конструкций, сохранность топлива и удобства для экипажа.

Для повышения эффективности тепловой защиты при использовании композиционных теплозащитных материалов, поверхность контакта с высокотемпературным набегающим газовым потоком, выполняют шероховатой [2]. Это приводит к увеличению площади поверхности контакта, соответственно повышается выход летучих газообразных продуктов разложения компонентов материала.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования взаимодействия внешней поверхности композиционного материала с высокотемпературным набегающим потоком, влияние ее состава на теплозащитные свойства, а так же механизмы прогрева и разрушения.

Наиболее термонапряженную часть летательного аппарата, в основном его головную часть 1 (рис.1), покрывают слоем композиционного теплозащитного материала.

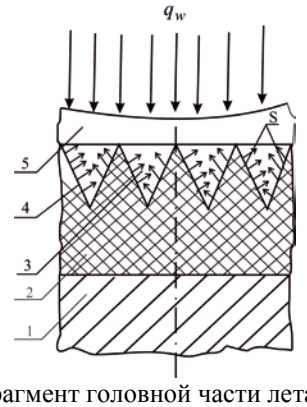


Рис. 1 Фрагмент головной части летательного аппарата

Внешнюю поверхность 3, контактирующую с высокотемпературным газовым потоком q_w, выполняю шероховатой. За счет чего увеличивается поверхность контакта S (рис.1). Наличие шероховатости приводит к тому, что выходящие в полость 3 газообразные продукты (отмечены стрелками на рис.1), взаимодействия между собой перемешиваются. При этом осредняется вязкость смеси газообразных компонентов, ее температура и плотность. Постоянное поступление в полость образующихся газообразных компонентов приводит к росту давления в ней, так как набегающий газовый поток препятствует отток у этих компонентов в окружающую среду. При достижении давления в полости $P_{кр} > P_w$ газы начинают истекать на внешнюю часть поверхности контакта, оттесняя набегающий газовый поток. Образуется устойчивый пограничный слой, толщина которого зависит от скорости набегающего газового потока, т.е. от скорости спуска летательного аппарата. За счет повышения устойчивости пограничного слоя тепловое воздействие на конструкцию снижается.

Эксперименты проводились на испытательном комплексе, описанном в [3].

Испытывались два типа теплозащитных материалов углепластик и стеклопластик. Образцы имели форму цилиндра высотой $h = 10\cdot10^{-3}\,м$, диаметром $d = 10\cdot10^{-3}\,м$. Начальная масса цилиндрических образцов соответственно составила $m_0^1 \cong 0.98\cdot10^{-3}\,кг$ и $m_0^2 \cong 1{,}42\cdot10^{-3}\,кг$. Шероховатость поверхности R_z имела значения $1\cdot10^{-4}\,м; 3\cdot10^{-4}\,м; 5\cdot10^{-4}\,м$.

Результаты экспериментов приведены на рис. 2 и рис. 3 в виде зависимостей температуры поверхности контакта при взаимодействии со струей плазмы от времени.

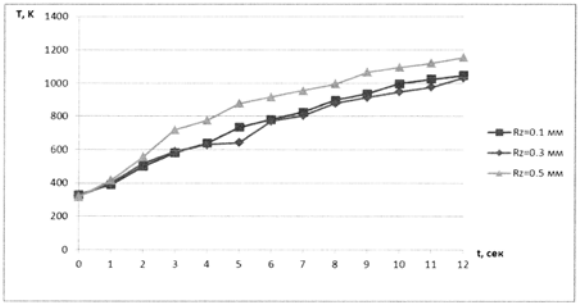


Рис. 2 Термограммы изменения температуры поверхности от времени для материала типа углепластик.

Изменение температуры для теплозащитного материала типа «углепластик» при разной шероховатости поверхности иллюстрирует график на рис. 2. Хорошо видно, что наличие шероховатости снижает температуру поверхности нагрева. Наибольшее снижение отмечается при R_z =1·10-4 м. Увеличение же R_z до 5·10-4 м приводит к повышению температуры поверхности. Это связано с разрушением поверхности контакта за счет нарушения прочностных характеристик самого материала. Действие аэродинамических сил способствует скалыванию частиц непрореагировавшего материала с последующим их уносом в потоке плазмы. Соответственно, эффективность теплозащиты снижается.

Рис.3 иллюстрирует изменение температуры поверхности ТЗМ типа «стеклопластик». Следует отметить, что и для этого материала наличие шероховатости понижает температуру поверхности контакта.

Полученные результаты могут быть использованы для создания современных способов и устройств тепловой защиты элементов конструкций летательных аппаратов.

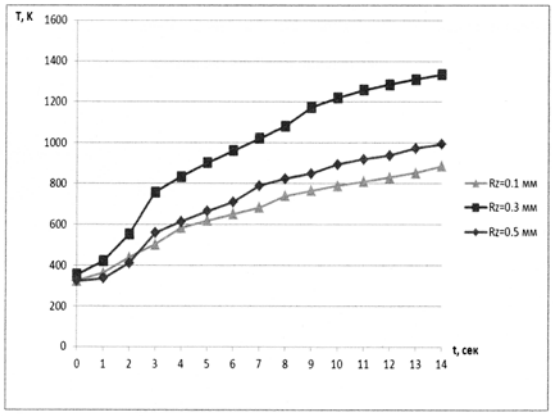


Рис. 3 Термограммы изменения температуры поверхности от времени для материала типа стеклопластик.

Литература.

1. А.М. Гришин, А.Н. Голованов, В.И. Зинченко, К.Н. Ефимов, А.С. Якимов, Математическое и физическое моделирование тепловой защиты – Томск, Изд-во Томского ун-та, 2011г, 352 с.

2. Пат. 2481239 Российская Федерация, МПК B64C, B64G, F42B. Способ тепловой защиты головной части летательного аппарата [Текст]/Голованов А.Н.(RU), Зима В.П.(RU), Степанова Е.В.(RU), заявитель и патентообладатель Государственное учреждение Томский государственный университет (ТГУ) (RU), - №2012102950; заявл. 27.01.2012; опубл. 10.05.2013, бюл. №13. – 7 с.: ил. 3.

3. Пат. 104713 Российская Федерация, МПК G01M. Испытательный комплекс для изучения теплообмена между поверхностью и высокотемпературным газовым потоком [Текст]/Голованов А.Н.(RU), Зима В.П.(RU), Рулёва Е.В.(RU), заявитель и патентообладатель Государственное учреждение Томский государственный университет (ТГУ) (RU), - №2010150047/28; заявл. 06.12.2010; опубл. 20.05.2011, бюл. №14. – 6 с.: ил. 9.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ АЛЮМИНИЕМ И МЕДЬЮ

Степанова Н.В.
Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
НГТУ, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
naty@ya.ru

Сплавы на основе заэвтектоидной стали с высоким содержание меди являются перспективными антифрикционными материалами для крупных узлов трения скольжения [1]. Коэффициент трения скольжения является определяющим параметром для подобных материалов. На данный момент в крупных узлах трения скольжения используется бронза (ГОСТ 493), либо антифрикционный чугун АЧС-1 (ГОСТ 1585). В виду этого, исследования, направленные на изучение влияния меди на свойства заэвтектоидной стали, для сравнения их с существующими материалами является актуальным.

Для изучения влияния меди на структуру и антифрикционные свойства графитизированной заэвтектоидной стали, легированной алюминием были отлиты 4 образца стали с различным содержанием меди в индукционной печи ОКБ-281 с основной футеровкой и емкостью тигля 750 кг. Для получения в структуре глобулярного графита было применено внутриформенное модифицирование силикокальцием (ГОСТ 4762). Химический анализ отливок проведен на оптическом эмиссионном спектрометре «ARL 3460 Quantris». Дюрометрические испытания образцов выполнены на микротвердомере 402MVD и приборе ТШ-2. Коэффициент трения скольжения материалов определялся при скорости скольжения 50 м/мин в условиях смазки пары трения минеральным маслом на машине трения ИИ5018 по схеме «диск – колодка». Площадь контакта составляла 2 см^2.

Таблица 1 - Результаты химического анализа

№	C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Fe
1	2,1	0,36	0,29	0,01	0,01	0,1	1,2	Ост.
2						2,97		
3						5,03		
4						8,76		

Результаты химического анализа представлены в табл. 1.

В результате предыдущих исследований металлографически выявлено, что медь влияет на распределение графита в структуре чугуна [1]. В данной работе исследовалось влияние меди на процесс графитизации в заэвтектоидной стали. При содержании меди до 5,03 % включительно графит имеет хлопьевидную форму значительных изменений формы и размера графита не происходит. При повышении содержания меди до 8,76 % графит приобретает вермикулярную форму с междендритным распределением. Он представляет собой мелкую сетку из пластинок длиной около 1 - 2 мкм. Это связано с изменением скорости кристаллизации. Так, если при содержании меди 0,1 % графитовые включения окружены ферритом (рис. 1), то уже при содержании меди 2,97 % феррит в структуре не встречается. С повышение содержания меди дисперсность перлита увеличивается.

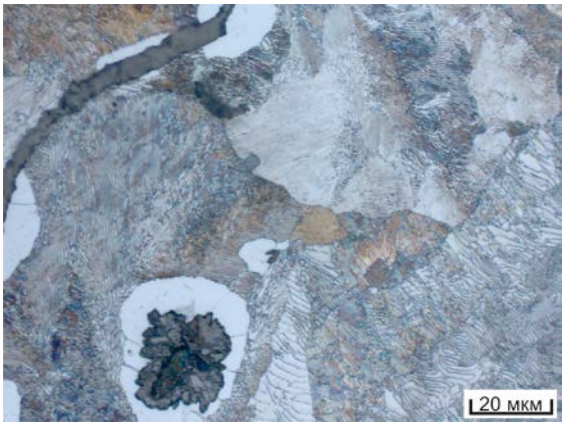


Рис. 1 – Структура графитизированной заэвтектоидной стали, содержащей 0,1 % Cu и 1,2 % Al

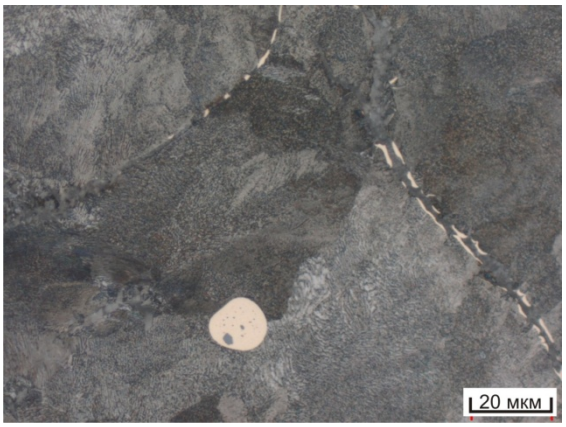


Рис. 2 – Структура графитизированной заэвтектоидной стали, содержащей 8,76 % Cu и 1,2 % Al

При содержании меди 8,76 мас. % размер медьсодержащих включений в среднем составляет 9 – 15 мкм, объемная доля частиц составляет 0,49 % (рис. 2). При меньшем содержании включения

меди методами оптической металлографии не выявляются.

Зависимости микротвердости перлита и твердости стали по Бринеллю от содержания меди, введенной в сплав, представлены на рис. 3, 4. Характер изменения твердости и микротвердости одинаков. При введении меди твердость стали возрастает от 250 до 300 НВ (рис. 4). Микротвердость медьсодержащих включений глобулярной формы, находящихся в сплаве с 8,76 % меди, составляет ~130 HV.

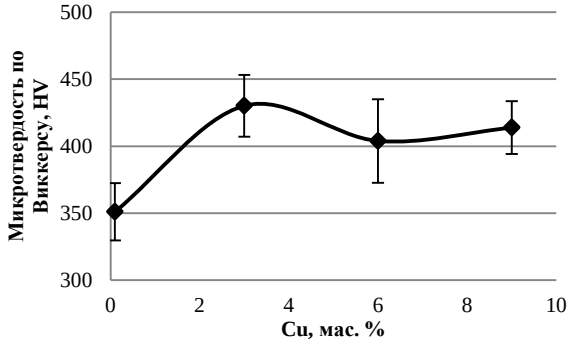


Рис. 3 – Влияние содержания меди на микротвердость перлита в графитизированной заэвтектоидной стали

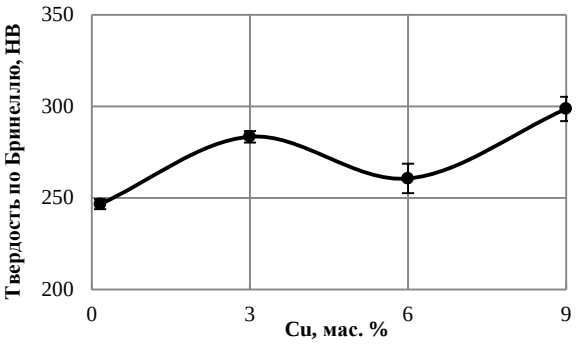


Рис. 4 – Влияние содержания меди на твердость по Бринеллю графитизированной заэвтектоидной стали

Для втулок в крупных узлах трения скольжения важна твердость используемого материала, поскольку зачастую проведение термической обработки вала затруднено габаритными размерами детали. Для уменьшения скорости износа вала твердость втулки должна быть меньше либо сопоставима с твердостью вала. Такие стандартные материалы, используемые в крупных узлах трения скольжения, как БрА9Ж3Л и АЧС-1 имеют твердость 100 НВ и 240 НВ соответственно.

Коэффициент трения скольжения предлагаемых материалов ниже, чем у стандартных (рис. 5). Поскольку в области низких нагрузок коэффициент трения всех образцов, содержащих медь ниже 0,01, что находится на грани разрешающей способности датчиков испытательной установки, то говорить о снижении коэффициента трения при повышении содержания меди невозможно. С повышение содержания меди увеличивается диапазон нагрузок с низким коэффициентом трения. В области высоких нагрузок на рис. 5 заметно снижение коэффициента трения при увеличении содержания меди.

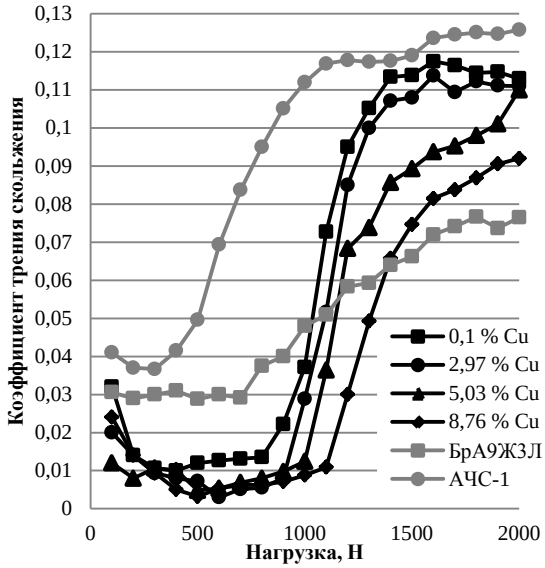


Рис. 5 – Коэффициент трения скольжения графитизированной заэвтектоидной стали с разнымсодержанием меди в сравнении с БрА9Ж3Л и АЧС-1

Выводы:

1. Медь оказывает влияние на процесс графитизации заэвтектоидной стали, за счет повышения скорости кристаллизации.

2. С повышение содержания меди до 8,67 % микротвердость перлита возрастает с 350 до 420 HV, что приводит к росту твердости с 250 до 300 НВ.

3. С повышение содержания меди в области низких нагрузок увеличивается диапазон нагрузок с низким коэффициентом трения, в области высоких нагрузок коэффициент трения снижается.

Список литературы:

1. Головин Е.Д. Влияние меди на антифрикционные свойства серых чугунов / Е.Д. Головин, В.А. Кузнецов, В. Кумар, П.А. Попелюх, Н.В. Степанова // Обработка металлов. Технология. Оборудование. Инструменты. - 2012. - № 1(54). - С. 81-84.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА СТРУКТУРУ, ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАЗРУШЕНИЕ СПЕЧЕННОЙ КЕРАМИКИ $ZrO_2(Me_xO_y)$

Степанюк А.В.[1], Фадеев В.В.[2], Калатур Е. С.[3]
Научные руководители: Буякова С.П.[1,2,3], Кульков С.Н. [1,2,3]
[1]Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
[2]Томский государственный университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36
[3]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, Россия, г.Томск, пр.Академический, 2/4
E-mail: carity6@gmail.com

Деформационное поведение компактных хрупких материалов, к которым относятся керамические материалы, под действием внешней нагрузки вплоть до разрушения можно охарактеризовать как линейно-упругое. Однако наличие в них пористости приводит, как правило, к изменению характера деформационного поведения. Для таких материалов свойственны нелинейные законы связи между напряжением и деформацией.

Проведенный анализ публикаций, посвященных исследованию особенностей деформационного поведения пористых керамик, показал, что исследования в этой области начаты давно [1-3]. Несмотря на несомненную ценность подобных исследований, вопрос о взаимосвязи между формирующейся в процессе получения пористых керамик структурой, характером пористости и их деформационным поведением остается *актуальным*.

В связи с вышесказанным *цель работы* – изучить влияние пористости на структуру, деформацию и разрушение пористой керамики $ZrO_2(Me_xO_y)$.

В качестве материалов для исследований использовались образцы пористых керамик, полученные из порошков, синтезированных методами плазмохимии $ZrO_2(Y_2O_3)$, $ZrO_2(MgO)$ и химического осаждения $ZrO_2(Y_2O_3)$. Получение образцов керамик заключалось в прессовании порошка и последующем спекании прессовок. Необходимый объем и конфигурация пор обеспечивались варьированием температуры спекания в интервале гомологических температур от 0.56 до 0.63 и продолжительности изотермической выдержки от 1 до 5 часов.

Исходные порошки $ZrO_2(Y_2O_3)$, $ZrO_2(MgO)$, синтезированные методом плазмохимии, практически не отличались по морфологическому составу. Порошки состояли из пустотелых частиц сферической формы и большого числа агрегатов, не имеющих регулярной формы. Исследования показали, что порошок $ZrO_2(Y_2O_3)$, синтезированный методом химического осаждения, состоял из крупных поликристаллических частиц осколочной формы и более мелких частиц. В распределении частиц по размерам присутствовал один максимум, при этом большее количество частиц имело размер менее 12 мкм, но присутствовали и более крупные частицы, размер которых достигал 80 мкм.

Исследования показали, что структура керамик, полученных из порошков, синтезированных методом плазмохимии, представляла собой ячеистый каркас, сформированный укладкой полых частиц порошка. Ячейки имели форму близкую к сферической. Размер ячеек многократно превышал толщину их стенок, которая представляла собой однослойную укладку зерен ZrO_2.

Пористость в этих керамиках представлена двумя видами пор, то есть распределение пор по размерам являлось бимодальным. Первый максимум сформирован эквичастичными порами - пустотами, не заполненными частицами порошка в процессе прессования, а второй - крупными ячеистыми пустотами. В случае керамики, полученной из порошка $ZrO_2(Y_2O_3)$, синтезированного методом химического осаждения, структура представляла собой хорошо различимую зеренную структуру. Распределение пор по размерам было унимодальным. Увеличение доли пор в материале привело к увеличению среднего размера эквичастичных пор до 2 мкм.

Деформационные диаграммы пористых керамик $ZrO_2(Me_xO_y)$ начинались с участка нелинейной связи между напряжением и деформацией. Нагружение образцов керамик с бимодальным распределением пор по размерам, в режиме «нагрузка-разгрузка» до величины деформации, соответствующих окончанию нелинейного участка, не выявило остаточной деформации, что является свидетельством нелинейно-упругого поведения пористых керамик с ячеистой структурой.

В случае керамик с унимодальным распределением пор «σ-ε» диаграммы также характеризовались наличием нелинейного участка связи между напряжением и деформацией, при этом нагружение в режиме «нагрузка-разгрузка» на данном участке «σ-ε» диаграмм выявило наличие остаточной деформации. Данный факт является следствием компактирования и перемещения локальных объемов материала в поровое пространство.

Обнаруженная особенность «σ-ε» диаграмм пористых керамик, заключающаяся в наличие участка нелинейной связи между напряжением и деформации, связана с ячеистой структурой материала. Данное предположение основано на имеющихся в литературе данных о деформационном поведении и механических свойствах материалов, имеющих ячеистую или стержневую структуру, «σ-ε» диаграммы которых также начинались с участка нелинейной связи между напряжением и деформацией. Авторы работы [4] рассчитали ве-

личину предела прочности и предельной деформации высокопористого ячеистого пенопласта на основе модели пористого материала, как состоящего из хаотически ориентированных ячеек, с целью прогнозирования их механических свойств и деформационного поведения. В каждой ячейке выделялся структурный элемент из шести стержней, составляющих ячейку.

Используя описанный выше подход к определению механических характеристик, в работе были рассчитаны предел прочности при сжатии и предельная деформация пористой керамики с ячеистой структурой. На РЭМ-изображениях поверхностей разрушения керамик выбирались ячеистые элементы близкие к сферической форме. В каждой ячейке выделялся структурный элемент из шести стержней, состоящих из зерен ZrO_2, рис.1.

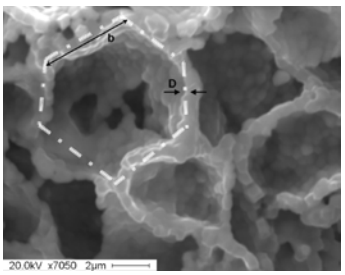
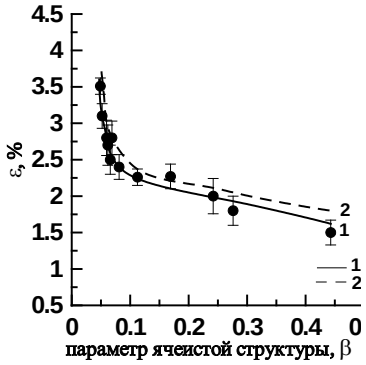


Рис.1. Структура керамики $ZrO_2(Me_xO_y)$.



1) экспериментальные данные, 2) рассчитанные значения

Рис.2. Зависимость относительной деформации от параметра ячеистой структуры керамики $ZrO_2(Y_2O_3)$.

Количественная оценка изменения величины предела прочности и предельной деформации в зависимости от изменения параметра ячеистой структуры показала довольно близкое соответствие результатов, полученных экспериментальным и расчетным путем, рис.2. Отличие в результатах, вероятно, обусловлено влиянием на экспериментальные данные наличия в керамиках дефектов, таких как поры, микротрещины. В результате проведенных исследований обнаружено подобие в механическом поведении высокопористых ячеистых пенопластов и пористых керамик с ячеистой структурой на основе диоксида циркония, что свидетельствует о том, что наблюдаемая на деформационных диаграммах нелинейная упругость при малых деформациях обусловлена механической неустойчивостью ячеистых элементов, составляющих керамический каркас.

Выводы:

1. Показано, что порошки $ZrO_2(Y_2O_3)$ и $ZrO_2(MgO)$, полученные методом плазмохимии, состояли в основном из полых сферических частиц, в порошке $ZrO_2(Y_2O_3)$, полученном методом химического осаждения, частицы не имели регулярной формы. Порошки $ZrO_2(Y_2O_3)$, полученные этими методами, значительно отличались средним размером частиц, но имели одинаковый средний размер кристаллитов <D> = 20 нм тетрагональной модификации диоксида циркония и не отличались площадью удельной поверхности 7 $м^2/г$.

2. Показано, что независимо от морфологического строения частиц порошков $ZrO_2(Me_xO_y)$ увеличение объёма порового пространства сопровождалось увеличением среднего размера пор в полученных из них керамиках.

3. Показано, что структура керамик из порошков $ZrO_2(Y_2O_3)$ и $ZrO_2(MgO)$, полученных методом плазмохимии, представляла собой ячеистый каркас с бимодальным распределением пор по размерам, состоящий из крупных ячеистых пустот, сформированных полыми сферическими частицами порошка, и эквичастичных пор. В керамике из порошка, полученного методом химического осаждения, пористость представлена только эквичастичными порами.

4. Установлено, что керамики $ZrO_2(Me_xO_y)$ при пористости более 30 % с бимодальным распределением пор по размерам при нагружении сжатием проявляют микромеханическую неустойчивость, обусловленную обратимой деформацией ячеистых элементов. Для такой керамики увеличение объёма порового пространства сопровождается увеличением деформации в упругой области.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (Соглашение № 14-08-31087\14), Гранта Президента № МК-5681.2014.8.

Список литературы:

1.Кульков С.Н. Негуковское поведение пористого диоксида циркония при активной деформации сжатием / С.Н. Кульков, В.И. Масловский, С.П. Буякова // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72. – Вып.3. – С. 38-42.

2.Барбашов В.И. Анизотропия механических свойств керамики из диоксида циркония при изгибных испытаниях / В.И. Барбашов, Ю.Б. Ткаченко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2003. – № 10. – С. 2-5.

3.Гогоци Г.А. Механическое поведение керамики и кристаллов на основе диоксида циркония. Сообщение 1. Испытания при изгибе / Г.А. Гогоци, Д.Ю. Островой // Проблемы прочности. – 1995. – № 7. – С. 41-47.

4.Дементьев А.Г. Влияние ячеистой структуры пены на механические свойства пенопластов / А.Г. Дементьев, О.Г. Тараканов // Механика полимеров. – 1970. – Т.4. – С. 594-602.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ СТАЛЕЙ

Сутыгина А.Н., Шулепов.И.А., Сыпченко В.С.
Научный руководитель: Никитенков Н.Н., д. ф. - м. н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: sutygina2013@mail.ru

Одной из причин выхода из строя многих деталей является изнашивание рабочих поверхностей во время эксплуатации в узлах трения. Для решения данной проблемы используют дорогостоящие материалы, необходимые для изготовления деталей, с высокой твердостью, износостойкостью и т.д. Наиболее экономически выгодным вариантом является напыление пленок и модификация приповерхностного слоя деталей.

Одним из способов модификации поверхности является азотирование. Данный метод повышает износостойкость, коррозионную стойкость, твердость поверхности, циклическую прочность [1].

В работе представлены экспериментальные данные по определению твердости и толщины азотированных приповерхностных слоев сталей разных марок методом наноиндентирования. Определена зависимость изменения твердости слоя от мощности тока при азотировании.

Для исследования были взяты образцы стали разных марок, состав которых представлен в таблице 1. Образцы диаметром 40 мм заливались эпоксидной смолой, затем шлифовались и полировались. Образцы предварительно прошли нагрев-очистку, затем азотирование, режимы которых указаны в таблице 2. Нагрев-отчистку применяют для удаления с поверхности загрязняющих соединений и активации поверхности.

Определение толщины и твердости модифицированного слоя осуществляли с помощью нанотвердомера «NanoHardnessTester» фирмы CSEM методом Виккерса. В методе Виккерса используют алмазную пирамиду с углом при вершине между противоположными гранями равным 136^0.

Сущность метода наноиндентирования заключается в том, что в исследуемый материал внедряют индентор, и при этом регистрируются два параметра: нагрузка и глубина внедрения индентора. Твердость определяется как отношение нагрузки на площадь поверхности отпечатка или его проекции.

Так как наноиндентирование исследует слой в нанометровом диапазоне, а также размер индентора составляет 5 мкм, то существенное влияние на результат измерения оказывают шероховатость поверхности, трещины, неоднородность химического состава, поэтому образцы предварительно полируются и при индентации выбирается область с наименьшим количеством дефектов.

Максимальная нагрузка на индентор составляла 50 мН.

Индентирование осуществлялось на поперечном разрезе образцов в направлении от поверхности модифицированного слоя вглубь образца, в результате образуется линейка индентации. Минимальное расстояние между отпечатками составляет 2 мкм. Совокупность таких линеек, сдвинутых относительно друг друга на 2 мкм, представляет собой матричную схему индентации. Данная схема позволяет точнее определять изменение твердости и модуля Юнга вдоль модифицированного слоя. Пример индентации продемонстрирован на рис.1.

Таблица 1.Состав образцов

Образец	Марка стали	Химический состав, %								
		Si	Mn	P	S	Cr	Mo	C	Ni	V
№1, 4	95Х18-Ш	1,00	1,00	0,04	0,02	16.0-18.0	0,40-0,80	0,95-1,2		
№2	03Х11Н8М2Ф-ВД	0,50	0,50	0,015	0,01	11-12	2,3-2,8	0,03	7,8-8,6	0,05-0,30
№3	30ХГСА	0,9-1,2	0,8-1,1	0,025	0,025	0,8-1,1		0,28-0,34	0,3	

Таблица 2. Режимы азотирования

	Нагрев-отчистка				Азотирование				
	Давление азота, 10^{-3} Торр	Ток газового разряда, А	Напряжение смещения, В	Температура образца, ^{0}С	Давление азота, 10^{-3} Торр	Ток газового разряда, А	Напряжение смещения, В	Температура образца, ^{0}С	Время азотирования, мин
№1	3	30,4	700	380	3	30,4	200	385	90
№2	3	46,4	250	380	3	46,4	126	390	90
№3	3	46,4	470	380	3	46,4	122	380	90
№4	3	21,2	430	380	3	21,2	430	380	90

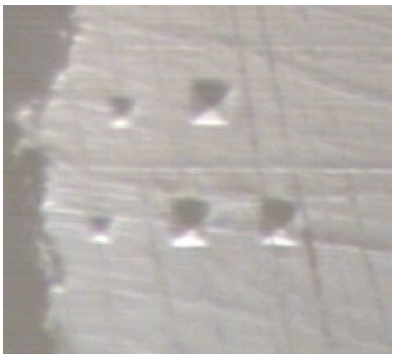


Рис.1. Матричная индентация на образце №3

Первичная полученная зависимость твердости от глубины проникновения имеет пики и впадины, которые возникают из-за погрешностей, описанных выше. Но твердость в азотированном слое меняется плавно, поэтому при обработке данных применялась операция интерполяции с целью уменьшения погрешности. Так как образцы были отшлифованы, то погрешность от шероховатости мала. Приборная погрешность определяется по эталону. Для этого индентор прокалывает кварцевый образец, затем прибор самостоятельно регулирует данную погрешность.

Зависимости твёрдости от глубины представлены на рис. 2, а сравнение исходной и максимальной твёрдости в таблице 3. Из полученных зависимостей следует, что на поверхности азотированного слоя максимальная величина твердости, при движении вдоль поперечного среза образца в направлении от азотированной поверхности значение твердости уменьшается. При определенной глубине слоя твердость не изменяется, и из этого можно сделать вывод, что данное значение соответствует исходной твердости образца, а данная глубина является глубиной азотированного слоя. Глубина азотированного слоя, его максимальная твердость и исходная твердость представлены в таблице 4.

Если рассмотреть зависимость изменения твердости от мощности ионного тока, представленной в таблице 4, то видно, что при повышении мощности твердость поверхностного азотированного слоя уменьшается. При повышении мощности увеличивается энергия ионов азота и их количество. При высокой энергии ионы начинают распылять поверхность подложки, соответственно количество осажденных ионов уменьшается, поэтому за одинаковые промежутки времени концентрация азота в образце при разных значениях мощности тока будет отличаться, что в свою очередь влияет на твердость азотированного слоя.

На твердость азотированного слоя влияют не только значения температуры, времени азотирования и давления в камере, но и мощности ионного тока.

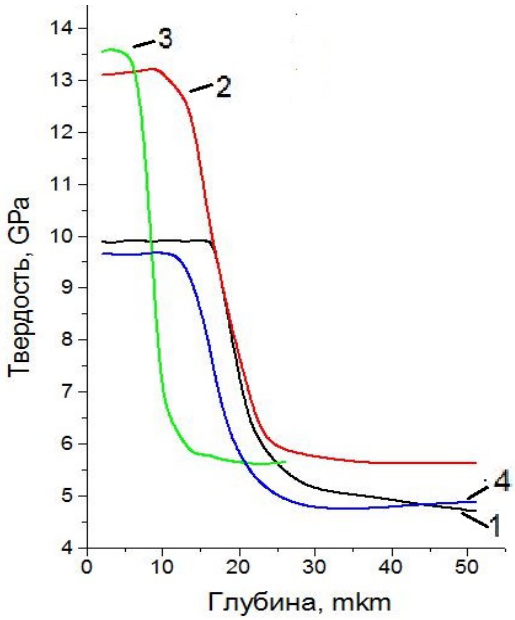


Рис. 2. Зависимость изменения твердости от глубины азотированного слоя

Таблица 3. Сравнение исходной и максимальной твердости азотированного слоя

	Исходная твердость, ГПа	Максимальная твердость азотированно-го слоя, ГПа	Глубина модифици-рованного слоя, мкм
№1	5,0∓0,2	9,9∓0,2	23∓1
№2	6,0∓0,2	13,0∓0,2	26∓1
№3	5,8∓0,2	13,6∓0,2	11∓1
№4	4,9∓0.2	9,6∓0,2	23∓1

Таблица 4. Изменение твердости азотированного слоя от мощности

	Максимальная твердость азотированного слоя, ГПа	Мощность, Вт
№3	13,6	5660
№2	13,0	5846
№1	9,9	6080
№4	9,6	9116

Список литературы

1. Белоусов В.А. Наноиндентирование поверхностных слоев материалов. // Вопросы атомной науки и энергетики – 2009 – 146-148 с.

2. Герасимов С.А. Моделирование процесса азотирования – 2013.

3. Пономаренко И.В. Роль изменения твердости в повышении конструкционной прочности талей после ионно-плазменной обработки // Вестник ХНАДУ – 2010.

ВРЕМЯ-РАЗРЕШЕННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ Al_2O_3

Горина С.Г., Ли Цзысюань, Сычева А.В.
Научный руководитель: Олешко В.И., д.ф.-м.н., профессор
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: svetlana.gorina@mail.ru

Введение

Нитриды III-группы являются перспективными материалами для создания оптоэлектронных устройств. В настоящее время они являются основой многих светодиодов, работающих от УФ до ИК диапазона, лазерных диодов, полноцветных светодиодных дисплеев и т.д. Нитрид галлия (GaN) обычно наносят на инородную подложку, такую как сапфир (Al_2O_3). Эпитаксиальные слои GaN имеют много дефектов собственной и примесной природы, существенно влияющих на их излучательные свойства. Наличие дефектов и их количественные характеристики зависят от условий и техники роста, а также от материала подложки.

Актуальной задачей на сегодняшний день остается создание новых неразрушающих методик для разностороннего исследования излучающих гетероструктур и их отдельных составных частей. В работах [1, 2] показаны преимущества применения высокоэнергетических сильноточных электронных пучков (СЭП) для люминесцентной диагностики тонкопленочных гетероструктур на основе InGaN/GaN-квантовых ям.

Цель настоящей работы заключается в изучении спектрально-кинетических характеристик люминесценции эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на Al_2O_3, при возбуждении СЭП.

Методика эксперимента

В качестве исследуемых образцов использовались тонкие пленки GaN с разной плотностью дислокаций, выращенные на сапфировой подложке (001) методом металлоорганической газофазной эпитаксии в реакторе горизонтального потока AIXTRON 200/RF-S. На подложку осаждали легированный кислородом зародышевый слой AlN (~20 нм), после чего слой GaN (~300 нм). Рост GaN прерывался для нанесения промежуточного слоя SiN_x субмонослойной толщины, после чего доращивался слой GaN. Общая толщина пленки GaN составляла 1,8 мкм.

Для исследования свечения образцов использовалась методика импульсной люминесцентной спектрометрии с наносекундным временным разрешением. Катодолюминесценция (КЛ) гетероструктур возбуждалась СЭП с эффективной энергией электронов в спектре ~ 250 кэВ. Облучение образцов и измерение КЛ осуществлялось при температуре 300 К. Регистрация спектров с временным разрешением ~ 15 нс проводилась с помощью измерительной системы на основе дифракционного монохроматора МДР-23, фотоэлектронного умножителя ФЭУ-84 и осциллографа Tektronix DPO 3034.

Результаты и их обсуждение

Типичные спектры КЛ эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на сапфировых подложках, измеренные в момент окончания импульса возбуждения и с временной задержкой 200 мкс представлены, соответственно, на рис. 1-3.

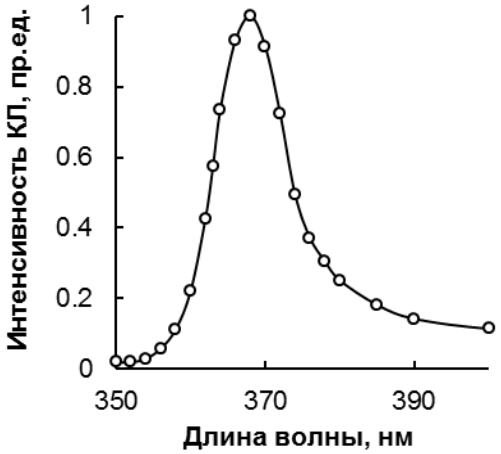


Рис.1. Спектр КЛ исследуемого образца, измеренный в момент импульса возбуждения.

Полоса излучения в области 368 нм (ширина на полувысоте FWHM ≈ 105 мэВ, время затухания $\tau \leq 15$ нс), согласно [1], принадлежит GaN (E_g = 3,39 эВ при 300 К) и обусловлена рекомбинацией связанных на дефектах экситонов.

В длинноволновой области спектра в исследуемых образцах наблюдается широкая «желтая» полоса с максимумом при λ_{max} = 560 нм (FWHM ≈ 336 мэВ) и относительно узкая «красная» полоса в области 690 нм (рис. 2). Появление желтой полосы обычно связывается с наличием собственных дефектов либо их комплексов в GaN. Одной из возможных причин появления желтой полосы в спектрах люминесценции GaN, согласно исследованиям [3], является образование дивакансии азота и (или) их комплексов с примесями.

Измерение полосы 690 нм с более высоким спектральным разрешением (0,2 нм) показало наличие двух близко расположенных полос с максимумами при λ_{max1} = 692,9 нм и λ_{max2} = 694,3 нм (рис. 3).

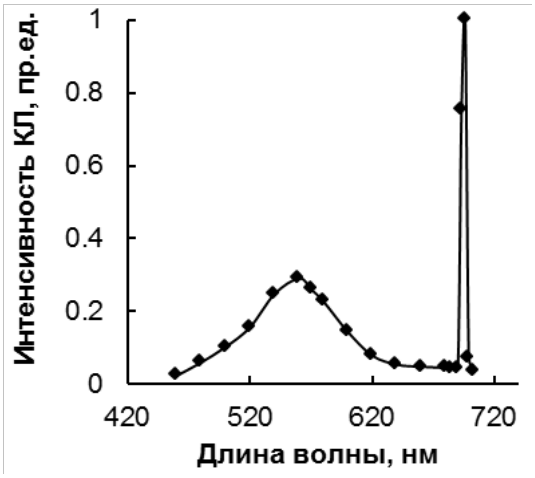


Рис.2. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение ~15 нм.

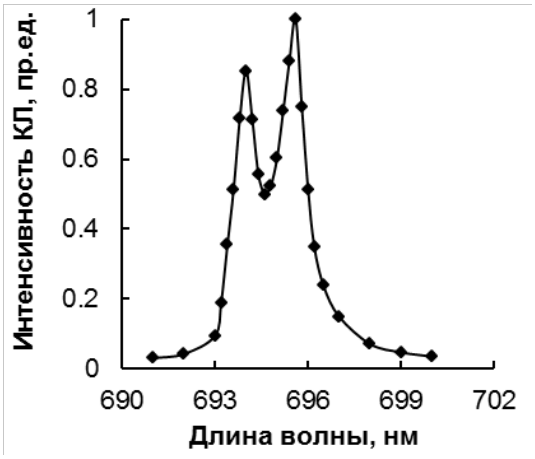


Рис. 3. Типичный спектр КЛ исследуемого образца, измеренный с временной задержкой 200 мкс. Спектральное разрешение ~ 0,2 нм.

Подобную дублетную линию ранее наблюдали в спектрах излучения зеленых светодиодов на основе InGaN/AlGaN/GaN на длинноволновом спаде спектров [5] и связали ее с примесью Cr^{3+} в кристаллической решетке Al_2O_3.

Нами были измерены кинетические характеристики полос люминесценции 560 и 692,9 нм. Результаты измерений приведены на рис. 4. Видно, что желтая полоса, ответственная за люминесценцию дефектов в GaN имеет сложную неэкспоненциальную кинетику затухания с длительностью импульса на полувысоте $t_{1/2}$ ~ 300 мкс. Для свечения примеси Cr^{3+} в сапфире характерна экспоненциальная кинетика затухания ($\tau \approx 3{,}5$ мс).

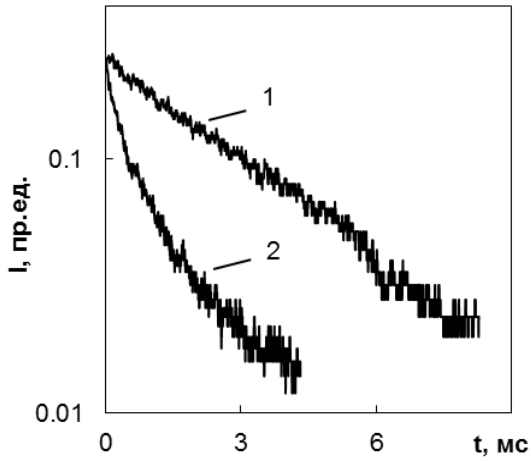


Рис.4. Типичные кинетики затухания КЛ исследуемого образца: 1 – λ_1 = 692,9 нм; 2 – λ_2 = 560 нм.

Выводы

Исследованы время-разрешенные спектры импульсной катодолюминесценции эпитаксиальных слоев GaN, выращенных на сапфировых подложках. Установлено, что в момент импульса возбуждения в спектре КЛ наблюдается интенсивная экситонная полоса люминесценции с максимумом при 368 нм и длительностью $\tau \leq 15$ нс.

Обнаружено, что в спектре КЛ исследованных образцов формируются две слабоинтенсивные, длинновременные полосы люминесценции: «желтая» с максимумом при λ_{max} = 560 нм связана с дефектами, образующимися в GaN при выращивании; дублетная «красная» полоса, с максимумами при λ_{max1} = 692,9 нм и λ_{max2} = 694,3 нм, возникает в результате неконтролируемого вхождения примеси хрома в подложку Al_2O_3.

Список литературы

1. Олешко В.И., Горина С.Г., Корепанов В.И. и др. Люминесценция тонкопленочных светодиодных структур при возбуждении сильноточным электронным пучком // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56 – № 1. – С. 55-58.

2. Олешко В.И., Горина С.Г., Корепанов В.И. и др. Время-разрешенная люминесцентная спектроскопия гетероструктур на основе InGaN/GaN-квантовых ям // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56 – № 8/3. – С. 111-115.

3. Юнович А.Э. Дивакансии азота – возможная причина желтой полосы в спектрах люминесценции нитрида галлия // ФТП. – 1998. – Т. 32 – № 10. – С. 1181-1183.

4. Кудряшов В.Е., Мамакин С.С., Юнович А.Э. Влияние сапфировой подложки на спектры излучения светодиодов из нитрида галлия // ПЖТФ. – 1999. – Т. 25 – № 13. – С. 68-72.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛА В КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКЕ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ

Тарновский Р.В.
Научный руководитель: Дитц А.А., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
e-mail: tarnovskiy@tpu.ru

На сегодняшний день в электронике в качестве диэлектрической подложки – конструктивного элемента – широко применяется керамика на основе Al_2O_3, BeO и AlN, которая обладает высокими диэлектрическими свойствами и высокой теплопроводностью. В последнее время все чаще в качестве основного материала применяют нитрид алюминия.

Преимущество нитрида алюминия перед другими материалами обусловлено уникальным сочетанием его физических и электрических характеристик: высокой теплопроводности, хороших электроизоляционных свойств, умеренного коэффициента теплового расширения при относительно невысокой стоимости, таблица 1. В последнее время ряд зарубежных фирм, выпускающих электронные компоненты, переходят на использование нитрида алюминия практически во всех областях, где раньше традиционно применялась окись бериллия. Наиболее интенсивно нитрид алюминия используется для изготовления корпусов и подложек интегральных схем, мощных транзисторов, поглотителей и оконечных нагрузок [1].

Таблица 1. Сравнительная характеристика свойств соединений, составляющих основу теплопроводной керамики [1].

Параметр	**AlN**	**BeO**	**Al_2O_3**
Теплопроводность, Вт/м·К	180–200	220–240	18–24
Прочность на изгиб, МПа	250–300	170–230	300–350
Электрическая прочность, кВ/мм	14–18	10	14–18
Удельное электросопротивление (при 25 °С), Ом·м	$>10^{12}$	$>10^{11}$	$>10^{12}$
Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	9	8	9-10
Тангенс угла диэлектрических потерь: при 1 МГц при 10 МГц	 $1\cdot10^{-4}$ $5\cdot10^{-3}$	 $1\cdot10^{-4}$ $1\cdot10^{-4}$	 $1\cdot10^{-4}$ $5\cdot10^{-4}$
Коэффициент температурного линейного расширения (25 °С), 10^{-6}/°С	4,6	7,8	8,0
Плотность, г/см^3	3,26	2,9	3,9

Область применения нитрида алюминия в мире шире, чем оксида бериллия. Технология получения бериллиевой керамики признана вредной для окружающей среды, и этот материал в настоящее время практически не используется. К тому же керамика из AlN обладает выдающимися энергетическими, изолирующими свойствами и относительно высокой теплопроводностью (≥170 W/mK), ближе по коэффициенту теплового расширения к кремнию, основе большинства кристаллов, применяемых в силовой электронике, чем керамика из BeO, т.е. нитрид алюминия разрешает сборку компактных, рентабельных компонентов и гибридов с высокой плотностью интеграции. Превосходная механическая прочность и низкий тепловой коэффициент расширения позволяют беспроблемное внедрение в систему, а также позволяет повысить надежность, особенно в условиях циклических тепловых нагрузок [2].

Главным недостатком керамики на основе нитрида алюминия является сложность её изготовления. Для спекания изделий из порошка нитрида алюминия необходима высокая температура порядка 1800÷1850 °С, из-за чего данный процесс является энергозатратным, а также отсутствие доступа кислорода, поскольку при нагревании в присутствии кислорода нитрид алюминия окисляется до оксида алюминия.

Целью данной работы является исследование способа снижения температуры спекания изделий из нитрида алюминия путём использования стекла в качестве связующего вещества.

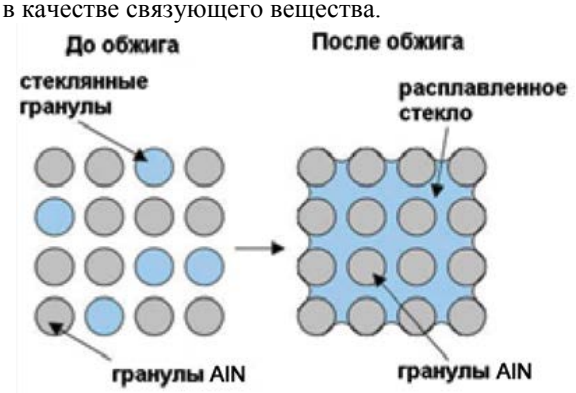


Рис. 1 Использование стекла при спекании керамики на основе AlN.

На рис. 1 показан общий принцип использования стекла как связующего вещества стекла при спекании керамики на основе нитрида алюминия. К исходному порошку основы керамики добавляется порошок стекла, после чего производится формование изделий и их спекание.

К стеклу для создания композиционного материала предъявляются определенные требования: согласованность КТР стекла и нитрида алюминия; отсутствие дорогостоящих и дефицитных материалов в его составе; сравнительно низкие температуры появления расплава; отсутствие взаимодей-

ствия стекольного расплава с нитридом алюминия; хорошая смачиваемость нитрида стекольным расплавом.

В связи с этим в работе были поставлены и успешно решены следующие задачи:

1. Рассчитать свойства выбранных марок стёкол, используемых в производстве керамики;
2. Выбрать на основе расчётных свойств марку стекла, наиболее подходящую для спекания с нитридом алюминия;
3. Приготовить стекло выбранного состава;
4. Исследовать фактические свойства полученного стекла;
5. Оценить пригодность полученного стекла к использованию в композиционной керамике на основе нитрида алюминия.

Расчёт свойств стёкол производился при помощи программы «SciGlass». На основании полученных расчетных данных было выбрано стекло марки С49-1,которое по своим свойствам наиболее близки к нитриду алюминия. Теоретические свойства выбранного стекла по данным расчёта приведены в таблице 2:

Таблица 2. Свойства стекла марки С49-1 по данным программы «SciGlass».

Состав	SiO_2 - 66,5 % B_2O_3 - 20,3 % Al_2O_3 - 4,0 % Na_2O - 8,7 % MnO - 0,5 %
$\alpha\times10^6$, $К^{-1}$	4,9
T_g, ˚C	561,2 (Priven-2000)
σ, мН/м	211,7 (Priven-2000)
λ, Вт/м×К	1,055 (Choundhary And Potter)
ε'	4,838 (Kharjuzov and Zorin)
log ρ, Ом×см	15,32 (Mazurin)

Затем было приготовлено стекло выбранного состава. Приготовление включало расчёт и приготовление шихты, брекетирование шихты и её прокаливание, варку стекла в стекловаренной печи при температуре 1350 °С и измельчение полученного стекла до полного прохождения через сито № 0063.

Исследование свойств полученного стекла включало рентгенофазовый анализ исходной шихты и готового стекла, а также дилатометрический анализ стекла.

На рис. 2 представлена рентгенограмма исходной шихты. На рентгенограмме присутствуют рефлексы соответствующие всем исходным сырьевым материалам.

На рис 3. представлена рентгенограмма полученного стекла, на которой видно характеристическое аморфное гало, которое показывает отсутствие кристаллических фаз в составе сваренного стекла.

КТР сваренного стекла был определён на горизонтальном цифровом дилатометре марки 402 PC, при скорости нагрева 2°/мин, до температуры 500°С.

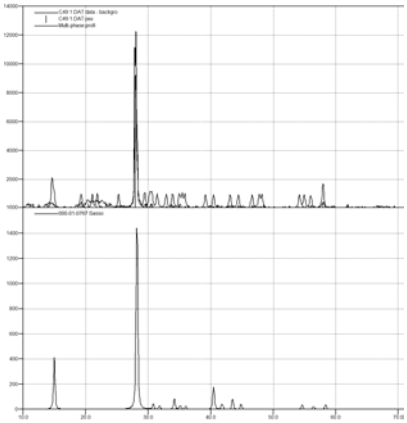


Рис. 2. Рентгенограмма исходной шихты.

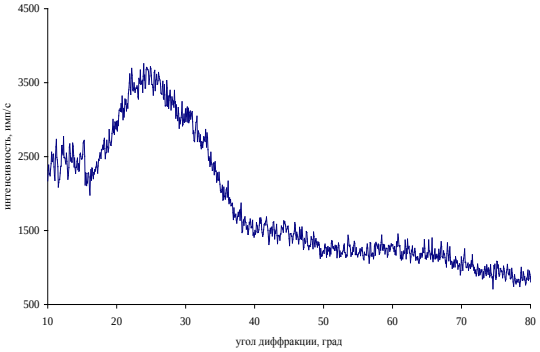


Рис. 3. Рентгенограмма готового стекла.

Выводы:

1. Из рентгенограмм видно, что в процессе варки стекло полностью проварилось, и в нём не осталось исходных сырьевых материалов;
2. КТР полученного стекла по данным дилатометрического анализа составил $5{,}008\times10^{-6}$ $К^{-1}$, что близко по значению к КТР нитрида алюминия, который составляет $(4{,}6\div5{,}3)\times10^{-6}$ $К^{-1}$.
3. На основании полученных данных можно считать, что выбранный состав стекла подходит для совместного спекания с нитридом алюминия и может быть рекомендован для дальнейших исследований на возможность его применения в композиционной керамике на основе нитрида алюминия.

Список литературы:

1. В.И. Костенко, В.С. Серегин, Л.А. Грошкова, А.И. Василевич. Перспективы использования высокотеплопроводной керамики из нитрида алюминия в космическом приборостроении. М.: Институт космических исследований РАН. - 7 с.
2. Подложки из нитрида алюминия [Электронный ресурс] // www.timosha.by. URL: http://www.timosha.by/index.php?option=com_content&view=article&id=120&Itemid=120.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ВЫЖИГАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗОК НА СТРУКТУРУ ПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ

Тимаревский Р.С., Черкасова Н.Ю., Ануфриенко Д.А.
Научный руководитель: Веселов С.В., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20
E-mail: stim.5@mail.ru

В настоящее время керамике принадлежит важная роль среди современных материалов, применяемых в промышленности и повседневной жизни, что обусловлено ее уникальными химическими, физическими и механическими свойствами. Керамика не окисляется и устойчива в более высокотемпературной области по сравнению с металлами. В последнее время интенсивно развивается производство мелкозернистой алюмооксидной керамики, а так же расширяется сфера ее применения. Появляются новые разработки в областях броневой защиты, электротехнической промышленности, запорной арматуры трубопроводов и др.

Обязательным компонентом при производстве керамического материала являются временные органические связующие. Они облегчают процесс формования и повышают механическую прочность прессованных изделий. На этапе спекания керамики необходимо обеспечить температурно-временные режимы, позволяющие удалить полимерные добавки не создавая в структуре материала дефектной структуры. В данной работе представлены результаты экспериментов по влиянию режимов выпаривания органики на структуру плотной керамики.

Процесс изготовления керамических образцов состоит из следующих этапов. Диспергирование исходного порошка α-Al_2O_3 (d_{50} = 0,6 мкм) осуществляли в течении 24 часов в шаровой мельнице с добавлением диспергатора Dolapix CE-64. В качестве органических добавок в алюмооксидную суспензию вводили 0,8 % (от массы порошка) поливинилового спирта и 0,4 % (от массы порошка) полиэтиленгликоля ПЭГ 400. Гранулирование производили путём сушки суспензии при температуре 110 ^{0}C с последующим просевом на системе вибросит до получения гранул с фракцией 100 – 250 мкм.

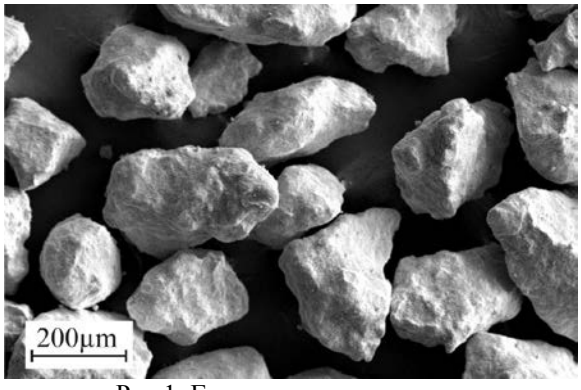
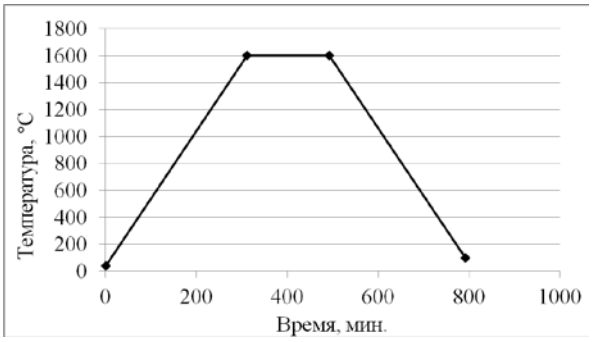


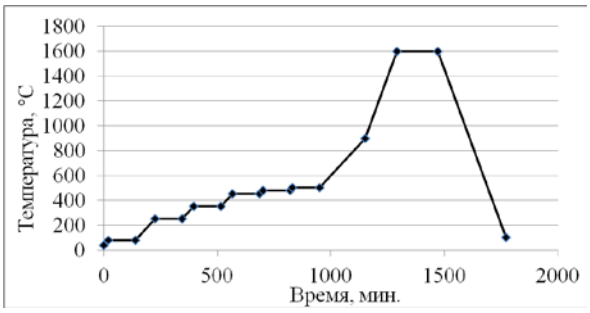
Рис.1. Гранулы пресс-порошка.

Гранулы пресс-порошка, используемые для изготовления образцов для исследования представлены на рис. 1. Для повышения пластифицирующих свойств связующего компонента влажность пресс-порошка контролировали в атмосфере с относительной влажностью 55%. Формование проводили методом двухстороннего холодного прессования под давлением 90 МПа. Спекание проводили в окислительной атмосфере при 1600 ^{0}C в течении 3 часов.

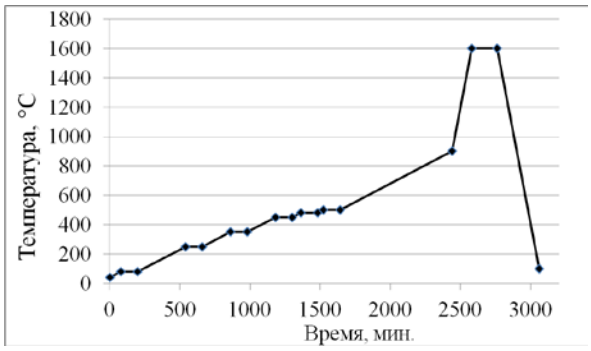
Для оценки влияния режимов выгорания органики на формирование структуры керамического материала были подготовлены три серии образцов, отличающиеся температурно-временными параметрами нагрева. При этом отличие режимов заключалось в скорости нагрева материала до температуры 900 ^{0}C. Первый режим заключался в нагреве образцов со скоростью 5 ^{0}C/мин (рис. 2, а). Отличием двух других было наличие изотермических полочек длительностью 2 часа при температурах 80, 250, 350, 450, 480, 500 ^{0}C. Скорость нагрева для второго и третьего режимов составляла 2 и 0,5 ^{0}C/мин соответственно (рис. 2, б, в). Температуры изотермических выдержек были выбраны по результатам хемосорбционного анализа образцов. Режим нагрева выше 900 ^{0}C и охлаждения всех серий образцов был одинаковым.



а



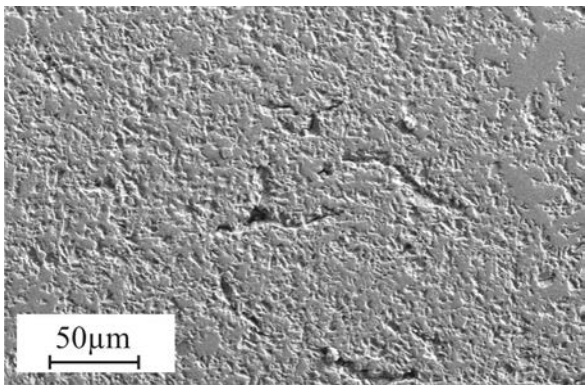
б



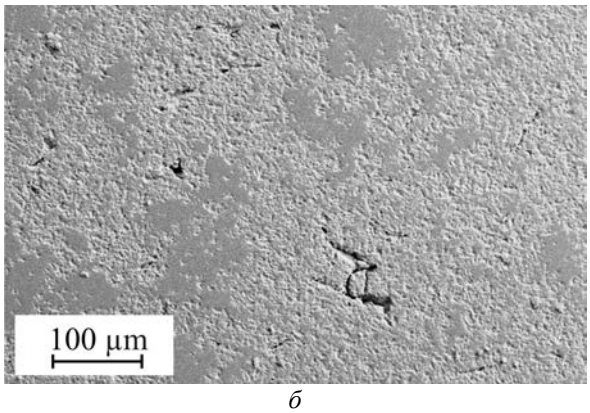
в

Рис. 2. Режимы спекания по первому (а), второму (б), третьему (в) режимам нагрева

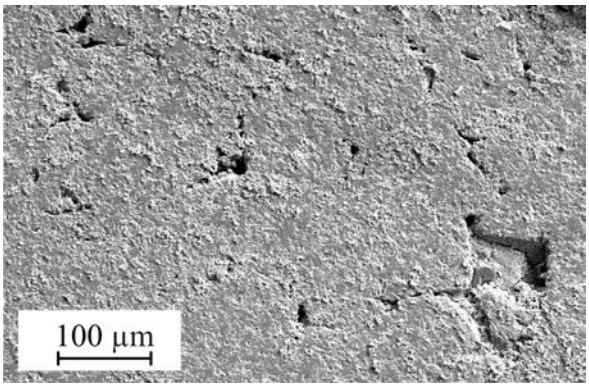
Как показали структурные исследования, при нагреве образцов по первому режиму в структуре преобладают дефекты в виде тонких острых трещин (рис. 3, а), предположительно возникающие в результате внутренних напряжений в связи с высокой скоростью нагрева материала. В структуре образцов полученных по второму и третьему режимам присутствуют более объёмные дефекты в виде следов границ гранул пресс-порошка (рис. 3, б, в). Следует отметить, что количество и размер несплошностей при нагреве по второму режиму меньше. При этом режимы нагрева не повлияли на размер зёрен керамического материала. Средний размер зерна всех образцов составил 2 – 5 мкм (рис. 4). Около 15% зёрен достигали размера 10 мкм.



а



б



в

Рис.3. Микроструктура образцов по первому (а), второму (б), третьему (в) режимам нагрева

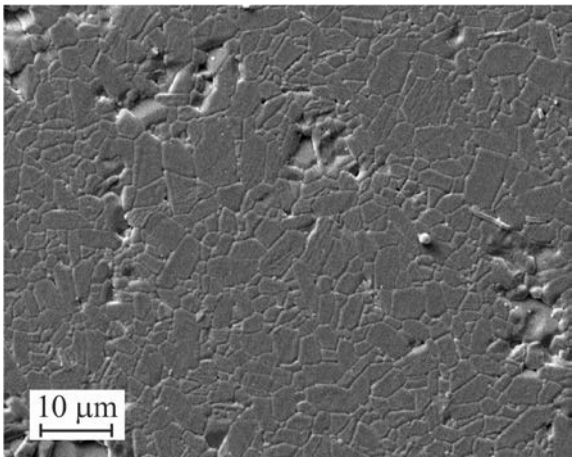


Рис. 4. Характерная микроструктура керамического материала.

На основании данных микроструктурного анализа полученных образцов установлено, что режимы спекания оказывают существенное влияние на характер и количество формирующихся дефектов. В образцах полученных по 1 режиму с высокой скоростью нагрева зафиксировано формирование дефектов, отсутствующих при реализации других режимов. Высокий уровень дефектов в виде следов границ гранул у всех анализируемых образцов связан с некорректно выбранным режимом формования или физико-химическим состоянием органических добавок. Для устранения дефектов в структуре и повышения прочности керамического материала будут производиться дополнительные исследования по разработке режимов прессования и спекания керамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства (договор № 02.G25.31.0060 от 12.02.2013 г.)

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОКСИДА ГРАФИТА

Тимофеева А.А., Юсин С.И.
Научный руководитель: БанновА. Г., к.т.н, доц.
Новосибирский государственный технический университет, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20
E-mail: timofeeva_anastasia@mail.ru

В настоящее время проводится большое количество исследований, посвященных получению нового углеродного материала – графена. Одним из способов получения графена является восстановление оксида графита. Оксид графита – это материал, который может быть получен воздействием сильных окислителей на графит. Оксид графита вызывает большой интерес у исследователей, благодаря таким свойствам, как хорошая диспергируемость в растворителях, слоистая структура с межплоскостным расстоянием в несколько раз выше по сравнению с графитом и другими. В зависимости от условий синтеза, оксид графита может обладать свойствами как полупроводника, так и диэлектрика. Это позволяет широко применять оксид графита в электролюминисцентных приборах, суперконденсаторах, электронике и других областях [1-2].

Целью данной работы являлось изучение процесса синтеза оксида графита и исследование его свойств. В задачи входило изучение динамики окисления графита иисследование характеристик полученного материала.

Для синтеза оксида графита применяются три основных метода: метод Броди, метод Штауденмайера и метод Хаммерса [3]. Два первых метода характеризуются большой длительностью и использованием взрывоопасных реагентов, поэтому в данной работе для получения оксида графита применялся модифицированный метод Хаммерса. Он позволяет синтезировать оксид графита за короткое время. Реагенты, используемые для синтеза, менее взрывоопасны по сравнению с методами Броди и Штауденмайера.

Оксид графита синтезировали из ниппельного мелкодисперсного графита (размер частиц менее 250 мкм) воздействием сильных окислителей. В качестве реагентов использовали концентрированную серную кислоту, перманганат калия, нитрат натрия, пероксидводорода. Процесс включал в себя последовательное добавление данных веществк графиту.

Полученые образцы исследовались с помощью термогравиметрии (ТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии, ИК – спектроскопии, рентгенофазового анализа, растровой электронной микроскопии (РЭМ), энергодисперсионной спектроскопии и низкотемпературной адсорбции азота.

Поскольку синтез оксида графита включает в себя большое количество параллельных и последовательных реакций, каждая из которых в некоторой степени изменяет свойства графита, то важной задачей является нахождение лимитирующих стадий в процессе синтеза. Для исследования динамики окисления образцов использовался метод отбора проб. В процессе синтеза, в определенные моменты времени были взяты пробы окисленного графита. После промывки и просушивания, образцы исследовались с помощью термогравиметрии. Пробы нагревали в инертной среде и определяли суммарную потерю массы. По этим данным можно было оценить, насколько полно проходит окисление графита. На основании полученной информации была построена зависимость динамики окисления графита от времени (рис. 1).Была выявлена стадия наиболее интенсивного окисления графита – при добавлении перманганата калия в реакционную смесь (область 2 на рисунке 1).

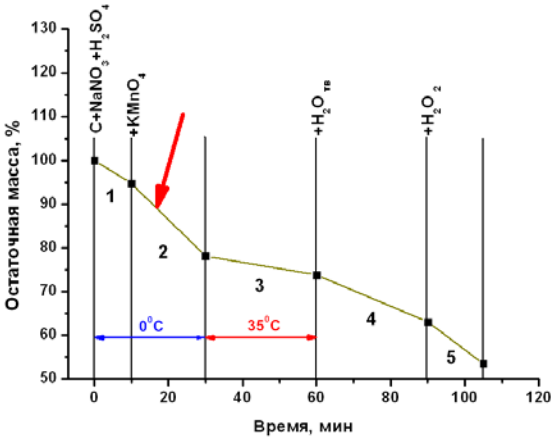


Рис. 1. Динамика окисления графита.

Наиболее медленными стадиями процесса являлись области 1 и 3. Предполагается, что для ускорения процесса окисления на данных областях можно использовать перемешивание с высокими значениями чисел Рейнольдса и облучение суспензии ультразвуковыми колебаниями.

Энергодисперсионная спектроскопия показала, что содержание кислорода в образцах варьировалось в диапазоне 37-40%. Результаты термогравиметрии показали, что суммарная потеря массы образца после нагрева составила ~45%. Также анализ ТГ-кривых образцов, полученных с использованием различных параметров синтеза, показал, что предварительная выдержка графита в смеси H_2SO_4, $NaNO_3$, $KMnO_4$ незначительно влияет на содержание функциональных групп, а добавление избыточного количества H_2O_2 и введение льда в

суспензию повышает содержание функциональных групп. ИК-спектроскопия показала наличие в синтезированных образцах эпоксидных, карбонильных, карбоксильных, гидроксильных групп (рис. 2).

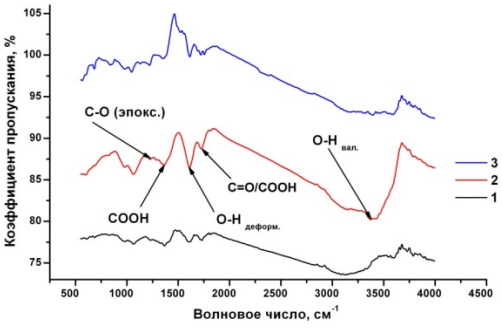


Рис. 2. ИК-спектрыобразцов оксида графита.

Рентгенофазовый анализ показал, что межслоевое расстояние в оксиде графита варьируется в диапазоне от 7.2до 8.4 Å. Также в материале присутствует малое количество фазы чистого графита.

Низкотемпературная адсорбция азота показала, что удельная поверхность образцов составляет 1-5 $м^2$/г. На рисунке 3 показаны растровые микрофотографии полученных образцов. Из микроснимков видно, что структура полученного оксида графита характеризуется высокой дефектностью.

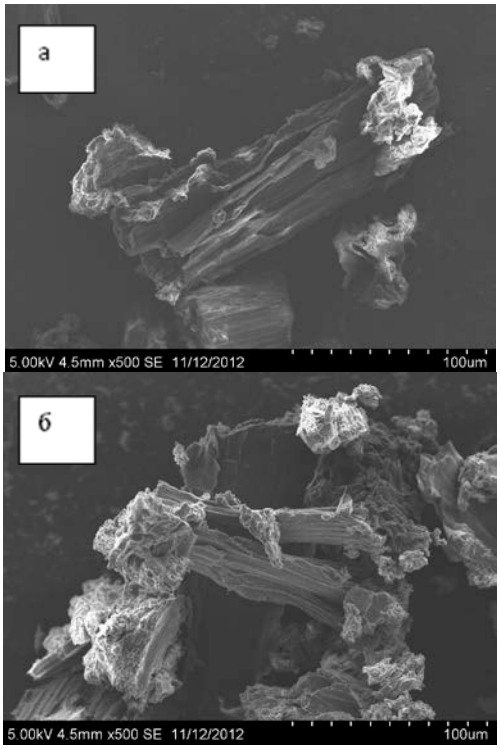


Рис. 3. РЭМ-снимкиобразцов: а – №2, б – №3.

В результате проделанной работы были сделаны следующие выводы:

- Найдена наиболее эффективная методика получения оксида графита, основаная на модификации метода Хаммерса.
- Установлено, что можно получать оксид графита при минимальном времени синтеза – 1ч 45 мин.
- Была выявлена стадия, на которой наблюдается наиболее интенсивное окисление образца.
- Термогравиметрия показала, что предварительная выдержка графита в смеси H_2SO_4, $NaNO_3$, $KMnO_4$ незначительно влияет на содержание функциональных групп, что позволяет существенно сократить время синтеза.
- Данные о динамике окисления графита позволили выявить участки в процессе синтеза, которые отличаются низкой скоростью окисления. На этих участках можно активно использовать интенсифицирующие воздействия для ускорения процесса[4].

Исследования в области синтеза оксида графита позволят получать углеродные наноматериалы сзаданными свойствами, такими как удельная поверхность,содержание кислорода, диспергируемость в растворителях и т.д., что расширит их потенциальное применение.

Список литературы:

1. Jeong H., Lee Y. P., Jin M. H., Kim E. S., Bae J. J., Lee Y. H. Thermal stability of graphite oxide// Chemical Physics Letters. – 2009. - Т.1. - № 410. – С.255-258.

2. Buchsteiner A., Lerf A., Pieper J. Water dynamics in graphite oxide investigated with neutron scattering // J. Phys. Chem. B. – 2006. V. 100. – P. 22328 – 22338.

3. Hammers W. S., Offeman R. E. Preparation of grafitic oxide // J. Am. Chem. Soc. – 1958. - № 80. – С.1339-1339.

4. Баннов А. Г., Тимофеева А. А., Шинкарев В. В., Дюкова К. Д., Ухина А. В., Максимовский Е. А., Юсин С. И. Синтез и исследование свойств оксида графита и терморасширенного графита // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2014. – Т. 50. - № 2. – С.166-173.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА БАЗЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА

Тихонина К.В., Немзорова М.А., Тимофеева А.А.
Научный руководитель: Баннов А.Г., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20
E-mail: ktobik@yandex.ru

Эпоксидные смолы (ЭС) широко применяются в различных отраслях промышленности. Обычно их используют в качестве клея, пропиточного материала для создания препрегов, которые впоследствии применяют для изготовления и ремонта различных деталей корпусов лодок, автомобилей и др. Сами по себе эпоксидные смолы обладают недостаточно высокими характеристиками для их использования в большинстве отраслей промышленности. Чаще для большинства применений используют наполненные композиции на основе эпоксидных олигомеров. При добавлении наполнителей в полимерные матрицы, свойства материалов значительно увеличиваются, что дает предпосылки для повышения рабочих параметров композиции и расширения областей их применения.

В последнее время широко ведутся исследования, посвященные использованию углеродных наноматериалов в качестве наполнителей эпоксидных композитов [1]. К таким материалам относятся углеродные нановолокна, углеродные нанотрубки, луковичный углерод и другие. Наряду со стандартными применениями эпоксидных композитов, появляются новые области. При введении электропроводного углеродного наполнителя в диэлектрическую полимерную матрицу, электропроводность композиции увеличивается на несколько порядков и варьируется в пределах 10^{-3}-10^{-10} См/м. Такие значения электрической проводимости можно активно использовать в перспективных приложениях. В частности, углерод-наполненные пластики на основе термореактивных связующих могут использоваться для защиты от электромагнитного излучения и для получения антиэлектростатических покрытий.

Одним из перспективных материалов, который существенно дешевле углеродных наноматериалов является терморасширенный графит (ТРГ). Терморасширенный графит находит широкое применение в нефтехимической, машиностроительной и др. промышленностях, благодаря тому, что обладает достаточно высокими тепло- и электропроводностью, а также является хорошим тепло- и шумоизоляционным материалом.

В отличие от вышеописанных углеродных наноматериалов, технология получения ТРГ в промышленном масштабе уже реализована, что облегчает коммерциализацию и внедрение материала для использования в технологии наполненных пластиков. Для эффективного применения композитов на базе ТРГ в области защиты от электромагнитного излучения и защиты от статического разряда необходимо проанализировать влияние состава композиции на ее электрофизические свойства.

Цель данной работы заключалась в получении терморасширенного графита и его использовании в качестве наполнителя эпоксидных композитов. Было проведено исследование электрофизических свойств эпоксидных композитов на базе ТРГ в области частот 10 Гц – 1 МГц.

В данной работе проводилось получение терморасширенного графита и композитов эпоксидная смола/ТРГ. Терморасширенный графит был получен из оксида графита, нагревом последнего в муфельной печи. Оксид графита был получен из ниппельного графита с использованием модифицированного метода Хаммерса. Оксид графита помещался в стальные барабаны объемом 150 мл и подвергался нагреванию в муфельной печи со скоростью 15 К/мин. Температура нагрева составляла 350ºС. Композиты эпоксидная смола/ТРГ были приготовлены на основе смолы DER-331 (Dow Chemicals Co.). В качестве отвердителей использовали триэтанолтетрамин (ТЭТА) и полиэтиленполиамин (ПЭПА). Композиция была приготовлена в массовом соотношении связующего к отвердителю 6:1. ТРГ вводили в предварительно разогретую до 50ºС эпоксидную смолу. После тщательного перемешивания в систему добавляли ТРГ. Образец отвердевал при комнатной температуре в течение 48 ч.

На рисунках 1 показана зависимость удельной проводимости композитов от частоты переменного тока при использовании отвердителя ПЭПА.

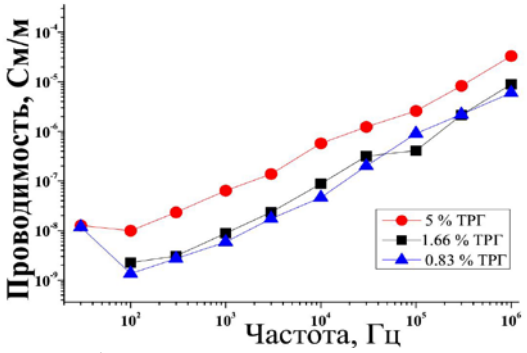


Рис. 1. Влияние концентрации ТРГ на электрическую проводимость композита эпоксидная смола/ТРГ (отвердитель ПЭПА)

Электропроводность композитов ЭС/ТРГ варьировалась в пределах 10^{-4}-10^{-9} См/м. По характеру зависимость проводимости от частоты $\sigma(f)$ можно сказать, что порог перколяции при концентрации 5 масс.% ТРГ не был пройден. Как видно из графика, проводимость композитов увеличивалась не более чем на порядок с увеличением концентрации наполнителя от 0,8 до 5 масс.%. Частотная зависимость проводимости от частоты в логарифмических координатах имела линейный вид. Стоит отметить, что значения электрической проводимости композитов идеально подходят для использования в области защиты от электромагнитного излучения и статического разряда.

На рисунке 2 показана зависимость удельной проводимости композитов от частоты переменного тока при использовании отвердителя ТЭТА.

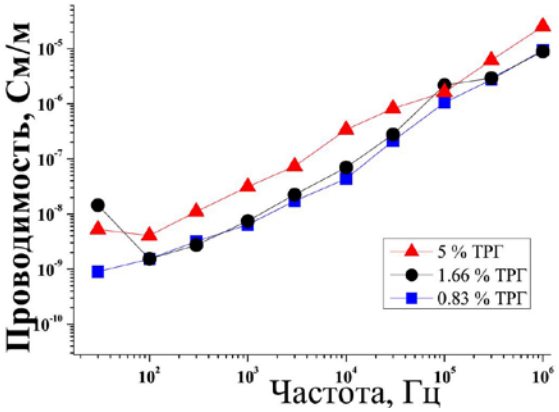


Рис. 2. Влияние концентрации ТРГ на электрическую проводимость композита эпоксидная смола/ТРГ (отвердитель ТЭТА)

Как видно, проводимость композитов снизилась в несколько раз по сравнению с использованием ТЭТА. Кроме того, в данных образцах концентрационный рост проводимости выражен не так сильно. Наглядное отличие проводимости композитов отвержденных ПЭПА от композитов отвержденных ТЭТА приведено на рисунке 3.

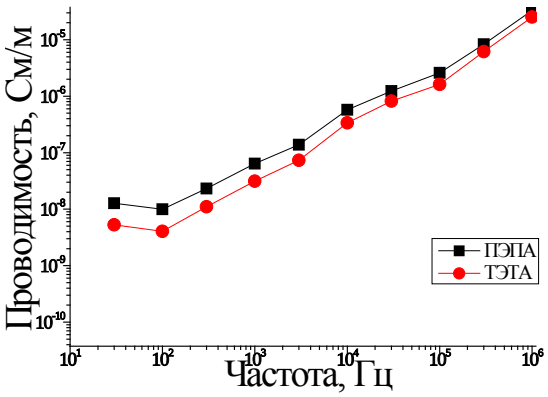


Рис. 3. Влияние отвердителя на на электрическую проводимость композита эпоксидная смола/ТРГ (концентрация ТРГ – 5%)

ПЭПА является более дешевым и простым в обращении отвердителем, однако механические свойства композитов на базе ПЭПА существенно ниже по сравнению с ТЭТА-отвержденными составами. При выборе отвердителя для вышеуказанных применений необходимо ориентироваться не только на электрофизические свойства, но и соотносить их с другими характеристиками, которыми должны обладать композиты.

Несмотря на то, что ТРГ является высококачественным материалом с высокой степень графитации, проводимость композитов на базе ТРГ не является столь высокой по сравнению с композитами на основе углеродных нановолокон или углеродных нанотрубок. Предположительно, электрофизические свойства композитов могут быть существенно повышены при модификации методики приготовления композита и улучшении смачиваемости наполнителя.

С использованием дифференциальной сканирующей калориметрии были получены данные о температуре начала отвердевания и температуре, которая соответствует максимальному тепловыделению (рисунок 4).

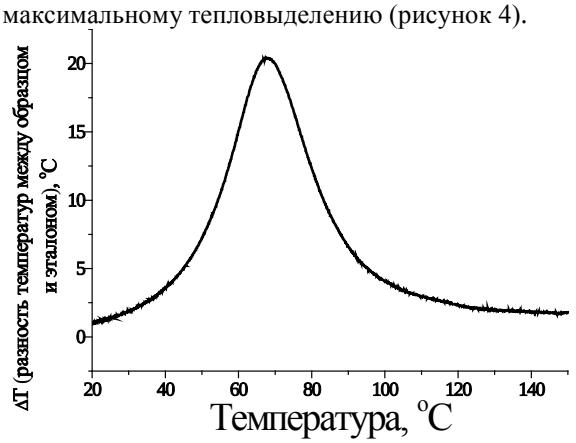


Рис. 4. Кривая дифференциальной сканирующей калориметрии отвердевания образца (скорость нагрева 10 К/мин)

В заключении стоит отметить, что ТРГ является перспективным материалом для использования в качестве наполнителя эпоксидных композитов. Установление оптимальных параметров получения композитов на базе ТРГ требует более детального исследования и позволит существенно повысить свойства композитов на базе данного материала.

Список литературы:

1. О механизме усиления эпоксидных смол углеродными нанотрубками / В.А. Богатов, С.В. Кондрашов, И.А.Мансурова и др. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. - №4.

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ LiF-Fe_2O_3

Фазылов Д.С., Петикарь П.В., Камрикова А.А.
Научный руководитель: Корепанов В. И., д.ф.-м.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: paul_petikar@mail.ru

Введение

Фторид лития может быть использован в сцинтилляционных системах регистрации астрофизических нейтрино, частиц «темной материи». Чистые кристаллы LiF под действием ионизирующих излучений люминесцируют очень слабо и только при низких температурах [1]. Высоким выходом свечения обладают кристаллы с примесями оксидов тяжелых металлов: LiF-WO_3, LiF-TiO_2, LiF-Fe_2O_3 и др. [2]. Центром сцинтилляционного свечения является оксианионный комплекс. Однако до настоящего времени не выяснен механизм возбуждения люминесценции и структура этого центра, без знания которых невозможно определить пути совершенствования сцинтилляционных детекторов.

Ранее проведенными в лаборатории «Импульсной спектроскопии» исследованиями было установлено, что при облучении электронами наблюдается одинаковый характер поведения этих кристаллов в поле радиации и схожие закономерности импульсной катодолюминесценции (ИКЛ) LiF-W, LiF-Ti. Цель настоящей работы – изучить особенности ИКЛ при воздействии наносекундными электронными импульсами кристаллов LiF-Fe_2O_3.

Методика

Возбуждение ИКЛ производилось пучком электронов, генерируемых наносекундным импульсным ускорителем, с параметрами: длительность импульса тока электронов: 2-10нс; диапазон возможных плотностей тока пучка электронов: 0.1-1000А/см^2; средняя энергия электронов: 200-250кэВ. Регистрация спектрально-кинетических характеристик излучения осуществлялась с помощью монохроматора МДР 204, фэу 97, 83 и осциллографа Tektronix с временным разрешением 7 нс.

Результаты исследований

Нами подробно изучены спектрально-кинетические характеристики ИКЛ кристалла LiF-Fe_2O_3 в температурном интервале 20…..300 К и временном диапазоне 10 нс – 10 мс.

Как оказалось, в спектрах сцинтилляционного (активаторного) свечения можно выделить две основные полосы люминесценции с максимумами при 2,65 эВ и 2,85 эВ. При 300 К кинетики свечения каждой полосы содержат два экспоненциальных компонента затухания с характеристическими временами τ = 74 мкс и τ = 1,9 мкс, соответственно. На рис. 1 показаны спектры миллисекундного и микросекундного компонентов ИКЛ кристалла LiF-Fe_2O_3.

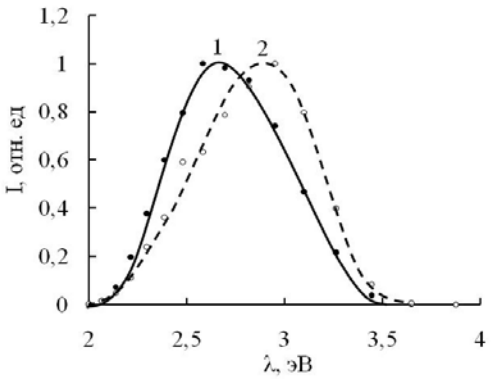


Рис. 1. Нормированные спектры ИКЛ сцинтиллятора LiF-Fe_2O_3 при 300 К: 1– миллисекундный компонент, 2– микросекундный компонент

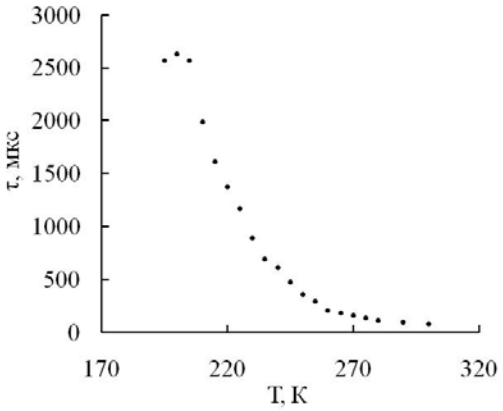


Рис. 2. Температурная зависимость времени затухания медленного компонента свечения.

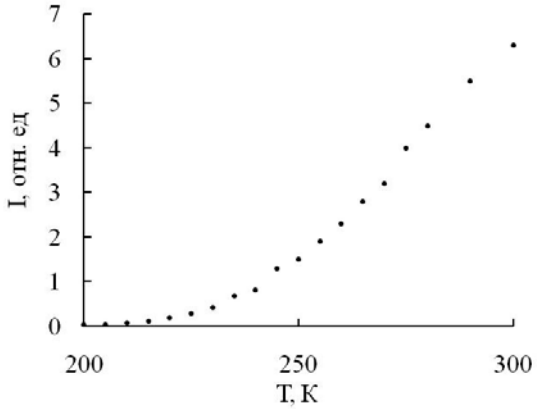


Рис. 3. Зависимость интенсивности от температуры медленного компонента затухания свечения.

При изменении температуры кристаллов при облучении изменяются параметры кинетики затухания люминесценции, интенсивности полос излучения (I), высвеченные светосуммы (S) и их соотношения для обеих полос ИКЛ. На рис. 2, 3 показаны температурные зависимости τ, I медленного компонента затухания. Из представленных результатов исследований следует, что при температурах меньших 200 К этот компонент затухания в спектрах практически не заметен из-за уменьшения I. Поэтому при 15 К обе полосы представлены только быстрым компонентом затухания активаторной ИКЛ. При этом соотношение полос в сравнении с 300 К изменяется. По-видимому, эти две полосы принадлежат двум типам электронных состояний центра люминесценции.

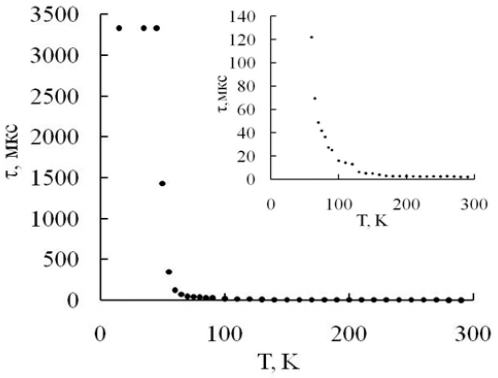


Рис. 4. Температурная зависимость времени затухания быстрого компонента свечения.

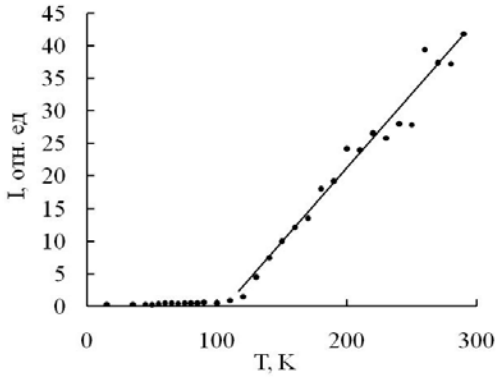


Рис. 5. Зависимость интенсивности от температуры медленного компонента затухания свечения.

Температурные зависимости τ, I и S быстрого компонента затухания ИКЛ показаны на рис. 5, 6. Анализ этих зависимостей показывает, что резкие изменения значений этих параметров ИКЛ связаны с характрными температурными интервалами процессов создания и накопления, различных типов радиационных дефектов структуры в чистых кристаллах фторида лития. Это отличает кристалл LiF-Fe_2O_3 от LiF-WO_3, LiF-TiO_2

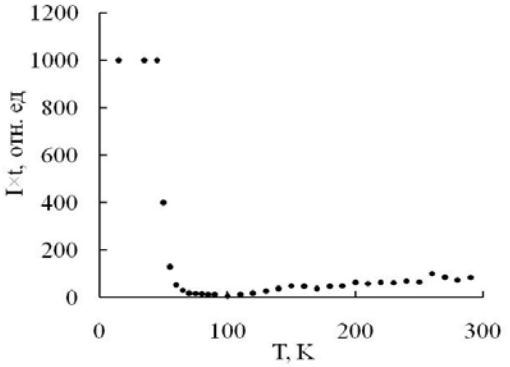


Рис.6. Зависимость S от температуры медленного компонента затухания свечения

На рис.4 показана температурная зависимость τ затухания люминесценции быстрого компонента затухания свечения. Видно, что τ постоянно при низких температурах, но при T > 50 K резко уменьшается, затем плавно уменьшается с ростом температуры. Вторая температурная точка существенного изменения τ приходится на область 110 - 140 К (вставка на рис. 5). Известно, что в чистых кристаллах фторида лития в температурном интервале 20 – 60 К происходит преобразования между различными типами автолокализованных экситонов (АЛЭ), тушение их люминесценции, наблюдается делокализация H-центров. При температурах близких к 125 К в кристалла фторида лития происходит делокализаци накопленных при низких температурах $V_к$ –центров. При 100 – 120 К уменьшается эффективность создания АЛЭ и ростет эффективность создания пар френкелевских дефектов. На эти же температурные области приходятся также характерные точки резкого изменения интенсивности и высвеченной светосуммы ИКЛ (рис. 5и рис.6).

Таким образом, мы нашли систему, которая может стать модельной для выяснения механизмов процесса передачи энергии от основы сцинтиллятора (LiF) центру свечения – оксианионному комплексу (Fe_2O_3, W_2O_4, TiO_2 и др.). В частности эти результаты имеют важное значение для выяснения механизма реализации стадия разгорания сцинтилляционного свечения.

Литература

[1]. Д.Абдурашитов, А.Гектин, А.Непомнящих, Е.Раджабов, Н.Ширан.- Возможности применения сцинтилляционных кристаллов LiF как детекторов частиц темной материи,- ИСМАРТ-2012, Дубна.- 20 ноября 2012.

[2]. Лисицына Л.А., Гречкина Т.В., Корепанов В.И., Лисицын В.М. Короткоживущие первичные радиационные дефекты в кристалле LiF // ФТТ.- 2001.- Том. 43, вып. 9.- С. 1613.

ОПЫТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ ГАТФИЛЬДА

Федосеев С.Н.
Научный руководитель: Лычагин Д.В., д.ф.–м.н., профессор
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, д.26
E-mail: fedoseevsn@list.ru

Важнейшая задача современного машиностроения – увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей машин, особый интерес, представляющий для горнорудной, машиностроительной, железнодорожной и других отраслей промышленности.

Одним из наиболее широко применяемых износостойких материалов является марганцовистая аустенитная сталь Гадфильда (сталь 110Г13Л), служащая для изготовления деталей, износ которых сопровождается ударами и большими давлениями.

По мнению ряда авторов [1-4], большую роль в упрочнении стали 110Г13Л играет измельчение блоков и микронапряжения. Высокая вязкость аустенита наряду с достаточной прочностью и износоустойчивостью делает сталь 110Г13Л незаменимым материалом для деталей, работающих на износ и удар одновременно. Из стали 110Г13Л изготавливают черпаки экскаваторов, траки гусениц тракторов, трамвайные крестовины, детали камнедробилок и другие детали. В этих деталях трение сопровождается ударами и большими давлениями. При абразивном износе, когда давление и, следовательно, наклеп отсутствуют, сталь 110Г13Л не имеет существенных преимуществ в отношении износоустойчивости перед другими сталями такой же твердости.

По механическим свойствам, устойчивости к высоким статическим и динамическим нагрузкам, высокомарганцовистая сталь 110Г13Л намного превосходит аналогичные стали данного класса. При деформации данной стали на 60-70 % твердость увеличивается в 2-2,5 раза, что объясняется большими искажениями кристаллической решетки, вследствие наклепа и образованием структуры мартенсита в поверхностных слоях. По ГОСТ 7370-86 сталь 110Г13Л не применяется для сварных конструкций, механической обработке практически не поддается, имея структуру однородного марганцовистого аустенита с НВ = 200-230 после закалки при 1050-1100 ^{o}С в воде, поэтому из нее удается получать готовые детали только по литейной технологии [5].

Одним из перспективных способов, позволяющих повысить качество отливок, является модифицирование их ультрадисперсными (размер фракции до 1000 нм) и нанодисперсными (до 100 нм) материалами в порошкообразном состоянии. Это направление позволяет качественно изменить саму технологию модифицирования. Основными причинами, препятствующими широкому распространению модифицирования в практике литейного производства, является нестабильность достигаемого эффекта, обусловленная чувствительностью не только к условиям плавки и заливки, но и к процессам коагуляции, растворения, распределения модификаторов в объеме расплава [6]. Устранение этих недостатков путем создания комплексных ультрадисперсных модификаторов позволит обеспечить изменения в строении жидких расплавов, повышающее свойства отливок.

В результате проведения опытных плавок стали 110Г13Л без модификатора и с применением модификатора типа «МС» [7], на ОАО «Новосибирский стрелочный завод». Были исследованы микроструктуры образцов сердечников из высокомарганцовистой стали, полученных по существующей технологии ОАО «НСЗ», и после введения модификатора типа «МС» по ТУ 1760-001-64101572-2011.

Морфологические характеристики образцов определяли с помощью электронного микроскопа Vega II LMU интегрированного с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford INCA Energy 350 (ЦКП ТГУ, г. Томск).

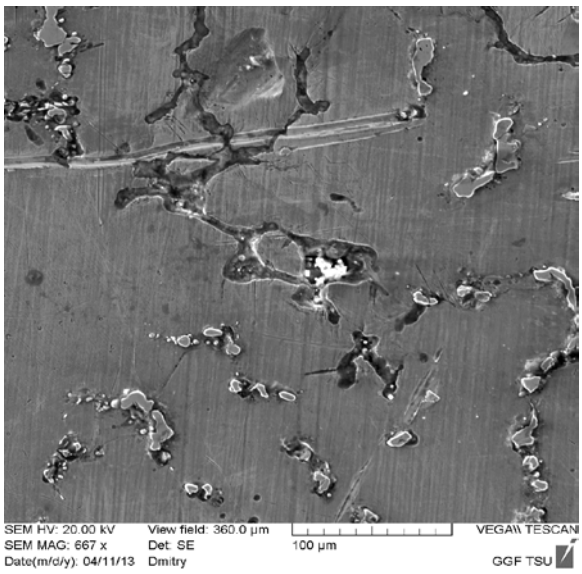


Рис 1. Микроструктура не модифицированного образца № 195

В результате исследования образцов без использования модификатора «МС»,

микроструктура немодифицированных образцов представляла собой аустенит с неметаллическими включениями по границам и внутри зерна (рис. 1).

При разрезе образцов наблюдаются газовые раковины. В немодифицированном образце № 195 наблюдаются избыточные карбиды, образующиеся после разливки, которые снижают прочность и вязкость стали.

В результате исследования образцов с использованием модификатора типа «МС», микроструктура модифицированных образцов представляла собой аустенит. Модифицирование образцов производили по существующей технологии, с использованием ультрадисперсных порошков оксидов циркония, титана, ниобия, гафния, ванадия, тантала, меди, алюминия и в качестве основы использовался криолит.

Присутствуют незначительные неметаллические включения по границам и внутри зерна (образец № 622) рис. 2.

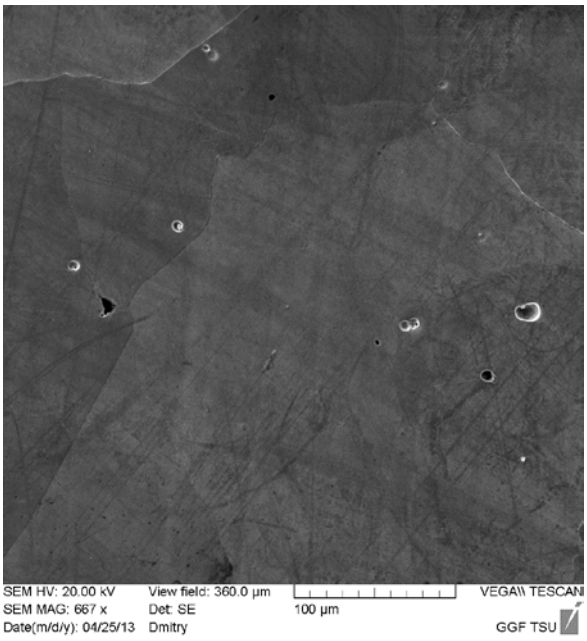


Рис. 2 Микроструктура модифицированного образца № 622

При качественном сравнении поверхности образцов без модификатора (рис. 1) и образцов после введения модификатора типа «МС» (рис. 2) видно, что количество неметаллических включений значительно уменьшилось. Расчет размеров неметаллических включений показал, что для образцов без модификатора размеры данных включений находятся в диапазоне от 18 мкм до 145 мкм, а для образцов после введения модификатора типа «МС» размеры включений находятся в диапазоне от 5 мкм до 15 мкм, т.е. наблюдается значительное уменьшение размеров неметаллических включений, что приводит к уменьшению диапазона типоразмеров этих включений и повышает плотность структуры стали.

Исследование микроструктуры образцов высокомарганцовистой стали выявило влияние модификатора типа «МС» на микроструктуру образцов по сравнению с плавками, полученными по существующей технологии, а именно: модифицирование расплава стали 110Г13Л позволило значительно улучшить однородность структуры стали, что в свою очередь способствует повышению ее плотности и приводит к улучшению ее изотропности, т.е. улучшает равномерность распределения нагрузок, уменьшает трещинообразование, образование пор и сколов. В модифицированных образцах отсутствуют карбиды, газовые раковины, наблюдается уменьшение количества и размеров неметаллических включений по границам и внутри зерна, а также визуально наблюдается уменьшение размера зерна.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант №13-02-98034 р_сибирь_а, грант № 13-08-13170 офи_м_ржд). Исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Национального исследовательского Томского государственного университета.

Список литературы

1. Цуркан Д.А., Корзунин Ю.К., Расщупкин В.И. Повышение эксплуатационной надёжности машин. // Омский научный вестник. – 2010. – №2. – С. 113-115.

2. Мулявко Н.М. Анализ эксплуатационной стойкости отливок из стали 110Г13Л. // Известия Челябинского научного центра. – 2001. – Вып. 4 (13). – С. 28-30.

3. Давыдов Н.Г. Высокомарганцевая сталь. М., Металлургия, 1979. – 176 с.

4. Волынова Т.Ф. Высокомарганцовистые стали и сплавы. М., Металлургия, 1988. – 341 с.

5. Крянин И.Р. Повышение качества отливок из стали 110Г13Л. М.: Металлургия, 1963. – 157 с.

6. Черепанов А.Н., Полубояров В.А., Калинина А.П., Коротаева З.А. Применение ультрадисперсных порошков для улучшения свойств металлов и сплавов // Материаловедение. – 2000. – № 10. – с. 45-53.

7. Модификатор МС // Технические условия 1760-001-64101572-2011.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА

Антонова Е.В., Фролова И.С., Баннов А.Г.
Научный руководитель: Крутский Ю.Л., к.т.н., доцент
Новосибирский государственный технический университет,
630073, Россия, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
E-mail: irson_mahabbat@mail.ru

Диборид титана обладает комплексом уникальных физико-механических свойств. Это, прежде всего, высокая температура плавления, высокая твердость, низкое электрическое сопротивление, высокая теплопроводность, стойкость к абразивному износу и воздействию агрессивных сред, сравнительно невысокая плотность. В связи с этим диборид титана используется в современной технике в составе износостойких и эрозионностойких материалов, при изготовлении легковесной керамической брони, тиглей и лодочек для вакуумного испарения металлов с последующей металлизацией, деталей химической аппаратуры, в составе керметов для ядерной энергетики. [1, 2].

В данной работе проведено исследование процесса синтеза диборида титана с использованием нановолокнистого углерода (НВУ) и анализ его характеристик.

Реакция процесса образования диборида титана приведена ниже (карбидоборный метод [3]):

$$2TiO_2 + 3C + B_4C = 2TiB_2 + 4CO \quad (1)$$

Этот способ применяется наиболее часто. Источником углерода является ламповая сажа с удельной поверхностью 14-18 $м^2/г$. Используемый карбид бора (ГОСТ 5744) имеет дисперсность от 3 до 200 мкм и может содержать значительное количество примесей. Температура процесса 1900 ^oC, время синтеза 1 час [4].

Использование более дисперсных реагентов позволит снизить параметры синтеза, а применение карбида бора с небольшим содержанием примесей получить наряду с этим более чистый диборид титана. В связи с этим при исследовании данного процесса в качестве восстановителя использовался нановолокнистый углерод (НВУ). Он получается при каталитическом разложении метана с использованием Ni-содержащих катализаторов при температуре 550 °С. Размер гранул НВУ составляет 4-8 мм. Гранулы НВУ образованы плотно переплетенными волокнами диаметром 10-100 нм. НВУ достаточно чист: содержащиеся в нем примеси представляют собой остатки исходного катализатора (90 % Ni/10 % Al_2O_3); их содержание не превышает 1 %. Гранулы сравнительно легко растираются в порошок. Величина его удельной поверхности находится в пределах 140-160 $м^2/г$, т.е. значительно выше, чем у ламповой сажи [5, 6]. Используемый в экспериментах карбид бора был получен синтезом из элементов с использованием нановолокнистого углерода при температуре 1900 °С [7]. Содержание примесей в нем находится на уровне 1,5 % масс., а средний размер частиц не превышает 1 мкм.

Расчетным путем, с использованием данных по изобарно-изотермическим потенциалам образования соединений [1, 8] определена температура начала восстановления для вышеуказанной реакции при давлении CO 0,1 МПа . Она составила 1250 К (~ 1000°С). С учетом возможного протекания реакции через образование низших оксидов титана ($TiO_2 \rightarrow Ti_3O_5 \rightarrow Ti_2O_3 \rightarrow TiO$) реальная температура процесса должна быть значительно выше и в то же время не превышать температуру плавления диборида титана (3225 ^oC) [3], поскольку целью данной работы является получение этого соединения в порошкообразном состоянии.

Процесс синтеза проводился в индукционной печи тигельного типа в среде аргона при температурах 1800^0C, 1600^0C, 1400^0C в течение 30 мин. Защитная среда из инертного газа выбрана для предотвращения азотирования карбида бора при высоких температурах [1, 3]. Температуры процесса были выбраны исходя из вышеуказанных соображений. Экспериментальная убыль массы составляла 45,3 %, 43,3 % и 40,48 % масс. соответственно. Расчетная убыль массы в предположении полного протекания реакции боридообразования 44, 4 % масс. Это свидетельствует о том, что температура 1400^0C недостаточна для завершения процесса. Таким образом, процесс целесообразно проводить при температурах 1600-1800 ^0C.

Продукты синтеза исследовались рентгенофазовым анализом (РФА) на дифрактометре ДРОН-3 с использованием Cu Kα излучения (λ = 0,15406 нм).

Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались на растровом электронном микроскопе (РЭМ) S–3400N производства фирмы «Hitachi», оборудованным приставкой для энергодисперсионного анализа производства фирмы «Oxford Instruments». Микрофотографии поверхности образцов были получены в режиме низкого вакуума детектором обратно-рассеянных электронов.

Тугоплавкие соединения и изделия из них обычно эксплуатируются в экстремальных условиях, в том числе и в окислительных средах. Поэтому стойкость их к действию кислорода при повышенных температурах является важным

свойством. Термоокислительная стабильность полученных образцов диборидов определялась с использованием прибора синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 C *Jupiter*. В ходе анализа проводили окисление образцов в атмосфере кислорода и аргона при нагревании до температуры 1100 °С со скоростью 20 К/мин и выдерживании при температуре 1100 °С в течение 3 часов для полноты реакции окисления. Анализировались данные термогравиметрии (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Рентгенофазовым анализом установлено, что полученные при температурах 1600 и 1800 ^{0}С материалы состоят из одной фазы - диборида титана. Дифрактограммы образцов практически идентичны. На рис. 1 приведена дифрактограмма образца, синтезированного при 1600 ^{o}С.

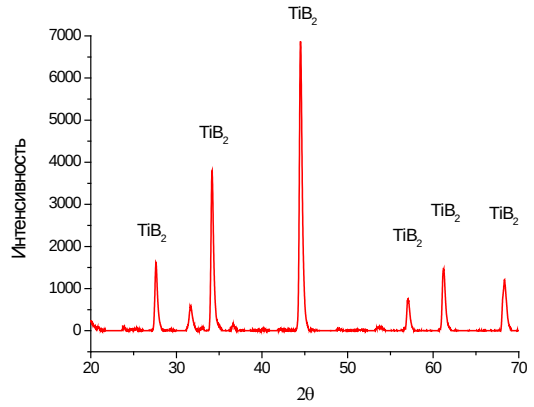


Рисунок 1- Спектры РФА образца, синтезированного при 1600 ^{o}С

С привлечением метода сканирующей электронной микроскопии (рис.2) установлено, что материалы состоят из частиц длиной 3-5 мкм и диаметром 2 мкм. По результатам энергодисперсионного анализа образцы содержат титан, бор и незначительные количества кислорода и углерода; наличие азота не обнаружено.

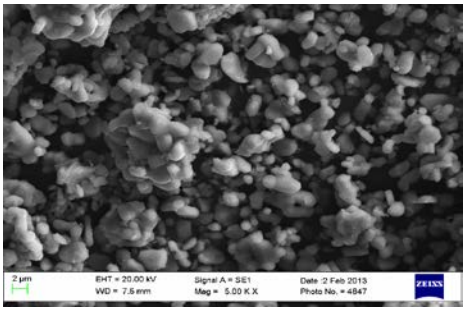


Рисунок 2- Снимок РЭМ образца, синтезированного при 1600 ^{o}С

При окислении диборида титана термодинамически наиболее вероятно протекание следующей реакции [9]:

$$2TiO_2 + 5O_2 = 2TiO_2 + 2B_2O_3 \qquad (2)$$

В предположении полного протекания реакции (2) расчетная прибыль массы при полном окислении чистого диборида титана составляет 114,29 % масс.

Дериватограммы образцов, синтезированных при 1600 ^{o}С и 1800 ^{o}С, практически идентичны. Прибыль массы, свидетельствующая о начале процесса окисления, начинается с температуры ~ 450 ^{o}С. При достижении температуры 1100 ^{o}С прибыль массы составляет ~ 82 % масс., т.е. ~ 72 % от расчетной. Это свидетельствует о неполном окислении образца, что явно связано с защитным действием образующейся на поверхности частиц жидкой пленки оксида бора.

Полученный материал вследствие высокой чистоты и дисперсности может быть использован для изготовления керамики.

Список литературы:

1. Свойства, получение и применение тугоплавких соединений / под ред. Косолаповой Т.Я. – М.: Металлургия, 1986. 928 с.

2. Mroz C. Titanium Diboride. American Ceramic Society Bulletin, 1995, V. 74, N 6, p. 158-159.

3. Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Пешев П.Д. Высокотемпературные бориды. М.: Металлургия, Челябинское отделение, 1991. 368 с.

4. Карасев А.И. Получение порошков технических боридов титана, циркония, хрома и вольфрама борокарбидным методом. Порошковая металлургия, 1973, № 10, с. 1-5.

5. Kuvshinov G.G., Mogilnykh Yu.I., Kuvshinov D.G., Yermakov D.Yu., Yermakova M.A., Salanov A.N., Rudina N.A. Mechanism of Porous Filamentous Carbon Granule Formation on Catalytic Hydrocarbon Decomposition. Carbon. – 1999. - 37. - P.1239-1246.

6. Соловьев Е.А. Получение водорода и нановолокнистого углерода селективным каталитическим пиролизом легких углеводородов. Автореферат дис.канд.тех.наук. –М. 2008.22 с.

7. Krutskii Yi.L., Bannov A.G., Sokolov V.V. a. o. Synthesis of Highly Dispersed Boron Carbide from Nanofibrous Carbon. Nanotechnologies in Russia, 2013, V. 8, N 3-4, p. 191-198.

8. Физико-химические свойства окислов. / Под ред. Самсонова Г.В. М.: Металлургия, 1978. 472с.

9. Войтович Р.Ф., Пугач Е.А. Окисление тугоплавких соединений. М.: Металлургия, 1978. 112 с.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, УПРОЧНЕННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ АЛМАЗА.

Хрусталёв А.П., Ворожцов С.А.
Научный руководитель: Кульков С.Н., д.ф-м.н, профессор
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, пр.Ленина, 36
ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, пр.Академический, 2/4
E-mail: tofik0014@mail.ru

Введение

Композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные неметаллическими частицами, имеют высокую удельную прочность, твёрдость, износостойкость, благодаря чему, вызывают большой интерес в различных областях науки и техники. Наиболее универсальный метод их получения – литьё. В качестве матрицы для такого композиционного материала, возможно использование алюминиевого сплава А356 системы Al–Si (российский аналог – АК7), обладающего хорошими литейными и эксплуатационными характеристиками, обеспечивающего тем самым широкое использование в современном машиностроении [1]. В качестве упрочняющих частиц используют микро- и наночастицы оксидов, карбидов, боридов и т.д [2,3], при этом актуальным представляется введение в мягкую алюминиевую матрицу высокомодульных наночастиц детонационных алмазов [4].

Введение тугоплавких частиц в расплав осложняется их склонностью к агломерации и флотации из-за плохой смачиваемости жидким металлом. Одним из путей решения данной проблемы является ультразвуковая обработка, приводящая к измельчению зерна сплава и диспергированию упрочняющих наночастиц в его структуре [5, 6].

Цель работы – анализ структуры и физико-механических свойств композитов на основе алюминиевого сплава А356, упрочненных наночастицами детонационных алмазов.

Материалы и методы

В качестве материалов для исследований в работе использован промышленный алюминиевый сплав А356 системы Al–Si и шихта, содержащая углерод в кристаллической и аморфной фазе и детонационные алмазы с наноструктурой [7].

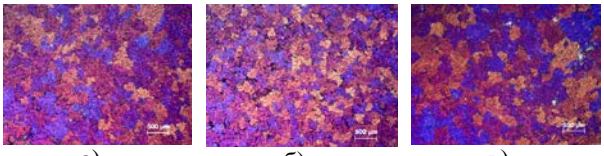
Сплав плавили в графитовом тигле с объемом в 1 кг расплава. При температуре 720°С проводили ультразвуковую дегазацию расплава в течение 1 мин, а затем вводили частицы при одновременной обработке ультразвуком. Обработку ультразвуком проводили с помощью водоохлаждаемого магнитострикционного преобразователя мощностью 5 кВт и с рабочей частотой 17,5 кГц.

Структура полученных материалов исследовалась на оптическом микроскопе Neophot 21. Исследование фазового состава и структурных параметров детонационных алмазов и алюминиевых композитов осуществлялось на дифрактометре с использованием CuK_α – излучения. Исследования механического поведения образцов алюминиевых композитов при квазистатическом растяжении выполнены на испытательной машине Instron 3369. Измерение микротвердости и модуля Юнга материалов проводилось на микротвердомере Nano Indenter G200/XP с нагрузкой 250 г.

Результаты и обсуждение

Порошок углерода имеет мелкокристаллическое морфологическое строение, но при этом, по данным РЭМ, содержит агломераты частиц с размерами около 10 мкм. Средний размер алмазных микроблоков по данным малоуглового рассеяния рентгеновского излучения составляет 4 нм [1]. По данным рентгенофазового анализа порошок содержит рентгено-аморфную фазу в количестве $40 \pm 5\%$ и фазу алмаза $45 \pm 5\%$, так же присутствуют следы кристаллической фазы углерода. Средний размер ОКР в нанопорошке по данным рентгеноструктурного анализа составил 4 нм, величина микродисторсии кристаллической решётки 1.7×10^{-2}.

На рис. 1 представлена микроструктура композитов с разным содержанием наночастиц. Установлено, что в материалах присутствует пористость. При этом в исходном сплаве объем порового пространства составляет менее 2 %, а с добавлением наночастиц углерода пористость увеличивается до 8%. Расчет среднего размера зерна показал, что у сплавов с 0.2 % наночастиц он уменьшается с 210 до 170 мкм, а при добавлении 1 % С, размер зерна становится таким же как в исходном сплаве, порядка 220 мкм.



а) б) в)

Рисунок 1. Микроструктура материалов:
а) А356; б) А356+0,2%С; в) А356+1%С.

В таблице 1 представлены данные рентгеноструктурного анализа. Видно, что размер

ОКР фазы на основе алюминия с введением наночастиц уменьшается. Так в частности, размер ОКР алюминия в исходном состоянии без наночастиц составляет 140 нм, а при введении в сплав 1% С, ОКР снижается до 80 нм. Кроме этого, микродисторсия кристаллической решетки также уменьшается. Параметр кристаллической решетки алюминия во всех случаях выше табличного значения (4,0494 Å [8]) и составляет около 4,0592 Å. Увеличение параметра кристаллической решетки может быть обусловлено высокой степенью ее микроискажений, как из-за растворенных в алюминии элементов, так и из-за внедрения наночастиц в матрицу.

Таблица 1. Результаты рентгеноструктурного анализа

	ОКР Al, нм	$<\varepsilon^2>^{1/2}$	Параметр решетки a Al, Å
A356	140	$5*10^{-4}$	4.059
A356+0.2%C	90	$4.7*10^{-4}$	4.0629
A356+1%C	80	$2.8*10^{-4}$	4.0519

Испытания композитов на растяжение (рис.2) показали, что введение 0.2 % наночастиц алмаза приводит к существенному увеличению механических свойств – возрастает предел прочности, предел текучести, модуль упругости и пластичность до разрушения, что хорошо соответствует данным по искажению решетки. Введение в сплав бо́льшего количества наночастиц, до 1 %, приводит к образованию пористости и агломератов, в результате чего снижаются механические свойства композита.

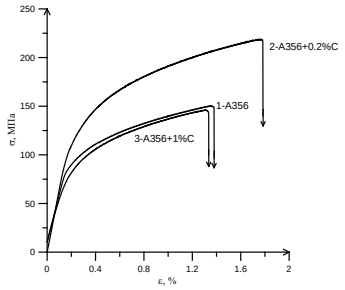


Рис. 2 Диаграммы растяжения композитов с различным количеством наночастиц

Твёрдость композита без добавок составляет 870 МПа, а при введении наночастиц углерода возрастает до 1360 МПа. При этом возрастает инженерный модуль упругости до 65 ГПа, рассчитанный из кривых нагружения и модуль Юнга, определенный индентированием, достигая величины 86 ГПа.

Выводы

Показано, что размер ОКР фазы алюминия в композитах А356 при введении наночастиц детонационных алмазов уменьшается со 140 до 80 нм.

Установлено, что введение в сплав 0.2 % наночастиц детонационных алмазов приводит к существенному увеличению механических свойств: возрастает предел прочности, предел текучести, модуль упругости, пластичность и твердость материалов. Увеличение пористости при введении частиц говорит о том, что процесс приготовления композитов нуждается в дальнейшей оптимизации.

Список литературы

1. Q.G. Wang. Microstructural Effects on the Tensile and Fracture Behavior of Aluminum Casting Alloys A356/357. Metallurgical and Materials Transactions A. Vol. 34A. 2003. P. 2887–2899.

2. Sunghak Lee, Dongil Kwon, Dongwoo Suh. Microstructure and Fracture of SiC-Particulate-Reinforced Cast A356 Aluminum Alloy Composites. Metallurgical And Materials Transactions A. Vol 27A. 1996. P. 3893-3901.

3. Hongseok Choi, Milton Jones, Hiromi Konishi, And Xiaochun Li. Effect of Combined Addition of Cu and Aluminum Oxide

Nanoparticles on Mechanical Properties and Microstructure

of Al-7Si-0.3Mg Alloy. Metallurgical And Materials Transactions A. Vol 43A. 2012. P. 738-746.

4. A.A. Gromov, S.A. Vorozhtsov, V.F. Komarov, G.V. Sakovich, Yu. I. Pautova, M. Offermann. Ageing of nanodiamond powder: Physical characterization of the material. Materials Letters, 2013, Vol. 91. P. 198-201.

5. G.I. Eskin. Influence of cavitation melt treatment of melts on nucleation and growth of crystals during solidification of ingots and casting of light alloys. Ultrasonic Sonochemistry. Vol. 1. 1994. P. 59–63.

6. H. Choi, M. Jones, H. Konishi, X. Li. Effect of Combined Addition of Cu and Aluminum Oxide Nanoparticles on Mechanical Properties and Microstructure of Al–7Si–0.3Mg Alloy. Metallurgical and Materials Transactions A. Vol. 43A. 2012. P. 738–746.

7. С.А. Ворожцов, С.П. Буякова, С.Н. Кульков. // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2011. № 1. С. 52–7

8. Картотека ASTM – 4–787

НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЭТОКСИСИЛАНА И СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И АЛЛИЛГЛИЦИДИЛОВОГО ЭФИРА

Черниговская М.А.[**], Малахова Е.А. [**], Сипкина Е.И.[*]
Научные руководители: Раскулова Т.В., д.х.н., профессор**; Лебедева О.В., к.х.н., доцент*;
Пожидаев Ю.Н. д.х.н., профессор*
*ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет»,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83;
**ФГБОУ ВПО «Ангарская государственная техническая академия»,
665835 Россия, Иркутская обл., г. Ангарск, ул. Чайковского, 60
E-mail: pm888@mail.ru.

В настоящее время гибридные композиционные материалы на основе кремнийорганических соединений получают все большее распространение. Это связано с возможностью совмещения в конечных продуктах ценных свойств органической составляющей и кремнийорганического компонента. Наличие в составе композитов органических полимеров дает возможность дополнительной модификации их свойств, позволяя получать материалы с требуемым комплексом эксплуатационно-технических характеристик.

Особый интерес представляет модификация полимера соединениями с кислотными свойствами, например, серной кислотой. Материалы, полученные таким образом, приобретают свойства протонной проводимости и могут быть использованы в качестве ионообменных смол либо протонпроводящих мембран для топливных элементов [1].

Самым распространенным материалом для изготовления подобных мембран в настоящее время являются перфторированные сульфосодержащие сополимеры на основе тетрафторэтилена, например «нафион» (Nafion). Этот материал характеризуется высокой протонной проводимостью, химической стойкостью и хорошими прочностными свойствами. Однако технология его получения сложна и включает шесть основных стадий, что негативно сказывается на себестоимости мембраны и всего топливного элемента в целом. Кроме того, область применения таких мембран довольно ограничена из-за жестких требований, предъявляемых к материалу мембраны (жесткость, пористость, влагостойкость), а также зависит от характеристик топлива (агрегатное состояние, чистота), используемого в конкретном топливном элементе.

Для улучшения физико-химических характеристик нафиона были предложены методы поверхностной модификации мембраны путем радиационной прививки стирола с его последующим сульфированием [2 – 4]. В результате такой обработки ионная проводимость мембраны возрастает. Дополнительное увеличение ионной проводимости дает также модификация диоксидом кремния [5, 6], проводимая, в основном за счет обработки мембраны раствором тетраалкоксисилана и его последующим гидролизом. Такая обработка приводит также к дополнительному расширению температурного интервала эксплуатации, улучшению влагоудерживающих и барьерных свойств.

Для увеличения прочностных свойств материала мембраны в ее состав вводят эпоксидные или изоцианатные группы, которые при дальнейшей сшивке увеличивают прочность конечного материала [7]. Однако, нафион, как фторсодержащий полимер, плохо поддается химической модификации, и, более того, в случае получения двухкомпонентных (двухслойных) мембран он не всегда совместим со вторым компонентом мембраны.

Альтернативным вариантом решения данной проблемы может стать синтез полимерных материалов, не содержащих в своем составе фтор, но обладающих требуемой протонной проводимостью, прочностью, термической и химической стойкостью за счет комбинирования различных функциональных групп в боковых цепях полимера.

Ранее [8] нами были получены сополимеры стирола (Ст) и аллилглицидилового эфира (АГЭ), способные к направленной модификации за счет наличия ароматического кольца и оксиранового цикла, что позволяет получать материалы с требуемыми свойствами.

Целью данной работы являлось исследование процесса сульфирования сополимеров стирола и АГЭ и дальнейшего синтеза на их основе гибридных композиционных материалов, обладающих протонпроводящими свойствами, с использованием тетраэтоксисилана.

Сополимеры Ст-АГЭ подвергались сульфированию в растворе бензола или толуола при температуре от 60 до 90 °С в течение 1-2 ч согласно [9]. В качестве сульфирующего агента использовали концентрированную серную кислоту. Для определения структуры полученных продуктов были использованы методы турбидиметрического титрования, элементного анализа и спектроскопии ЯМР ^{13}С. Некоторые экспериментальные данные представлены в таблице 1.

Полученные продукты представляют собой порошкообразные вещества от кремового до темно-коричневого цвета, обладающие хорошей растворимостью в бензоле и ацетоне.

Мономодальный вид кривых турбидиметрического титрования растворов сополимеров позволяет говорить об отсутствии деструкции полимерной цепи в ходе сульфирования.

Таблица 1

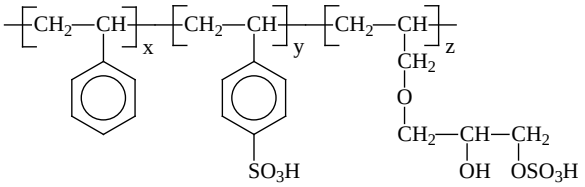
Общие закономерности процесса сульфирования сополимеров стирола и АГЭ

Состав исходного сополимера, % мол.		Условия сульфирования			Содержание серы в продукте, % мол.	Состав сульфированных сополимеров, % мол.		
Ст	АГЭ	t, ºС	τ, ч	n* H_2SO_4		Ст	$Ст_{сульф}$	$АГЭ_{сульф}$
97,65	2,35	60	1	3,5	3,720	86,60	12,00	1,40
97,78	2,22	60	1	3,5	4,880	81,84	16,80	1,36
97,65	2,35	73	2	9,3	7,055	71,97	26,51	1,51
97,65	2,35	90	1	18,7	16,955	3,69	94,13	2,17

* n – число молей серной кислоты на 1 основомоль сополимера.

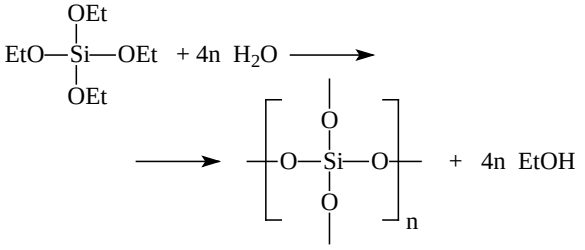
Основными активными центрами для реакции сульфирования являются реакционноспособноый оксирановый цикл АГЭ и углеродные атомы бензольного кольца стирола. Данные спектроскопии ЯМР ^{13}C показали, что сульфирование сополимера протекает как по бензольному кольцу, так и по эпоксидной группе.

Расчет состава сульфированных продуктов проводился на основании данных элементного анализа (по содержанию S, C, H). На основании данных элементного анализа было рассчитано соотношение звеньев стирола, АГЭ и сульфогрупп в составе полученного продукта. Согласно расчету, структура полученного продукта напрямую зависит от условий процесса сульфирования и может выглядеть следующим образом:



где x = 2÷72; y = 3÷43; z = 1.

Синтез гибридных композитов на основе сульфированных сополимеров проводили методом золь-гель синтеза аналогично [10]. В качестве кремнийорганического мономера нами был использован тетраэтоксисилан (ТЭОС). Процесс гидролитической поликонденсации ТЭОС в присутствии сополимеров Ст-АГЭ протекает с образованием пространственно сшитых кремнийсодержащих композитов в соответствии со схемой:



На основе данных композитов далее были получены эластичные мембраны темно-коричневого цвета, обладающие протонной проводимостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванчёв С.С., Мякин С.В. Полимерные мембраны для топливных элементов: получение, структура, модифицирование, свойства. // Успехи химии. 2010. 79 (2). С. 117-134.
2. M. Nasef. Eur. Polym. J. 2002. V. 38. P. 87.
3. D. Kim, J. Sauk, J. Byun, K.S. Lee, H. Kim. Solid State Ionics. 2007. V. 178. P. 865.
4. J.Y. Li, S. Ichizuri, S. Asano, F. Mutou, S. Ikeda, M. Iida, T. Miura, A. Oshima, Y. Tabata, M. Washio. J. Appl. Polym. Sci. 2006. V. 101. P. 3587.
5. U. Mioc, M. Davidovic, N. Tjapkin, Ph. Colomban, A. Novak. Solid State Ionics. 1991. V. 46. P. 103.
6. M. Tatsumisago, H. Honjo, Y. Sakai, T. Minami. Solid State Ionics. 1994. V. 74. P. 105.
7. Пат. 6962959 США (2005).
8. Раскулова Т.В., Покровская М.А. Сополимеризация стирола и аллилглицидилового эфира в присутствии радикальных инициаторов. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 2. С. 154-157.
9. Голодников Г.В., Мандельштам Т.В. Практикум по органическому синтезу. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1976. – 376 с.
10. Сипкина Е.И., Покровская М.А., Лебедева О.В., Раскулова Т.В., Пожидаев Ю.Н., Чеснокова А.Н., Иванов В.И.. Формирование композитов на основе винилглицидилового эфира этиленгликоля и винилхлорида // Пластические массы. 2013. № 9. С. 35-39.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Чудинова Е.А., Сурменева М.А., Грубова И.Ю.
Научный руководитель: Сурменев Р.А., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: e_chudinova93@mail.ru

В настоящее время в области биомедицины широкое применение получили покрытия для имплантатов на основе фосфатов кальция, характеризующиеся активностью по отношению к соединению с костной тканью и формированию новой.

Однако актуальной остается проблема разрушения покрытия при помещении в жидкую биологическую среду, т.е. образование трещин, которые достигают границы раздела «покрытие-подложка» [1]. Один из эффективных способов решения данной проблемы – применение электронно-лучевого оплавления поверхности, сопровождающегося частичным или полным перемешиванием области «покрытие-подложка», который даст возможность получить высокую адгезионную прочность.

В связи с этим целью данной работы является исследование морфологии и элементного состава кальций – фосфатного слоя после обработки импульсным электронным пучком.

Осаждение покрытий на основе кремнийзамещенного гидроксиапатита (Si–ГА) производилось с помощью промышленной установки COMDEL с магнетронным источником (13,56 МГц). Расстояние между подложками и магнетронным источником – 40 мм, ВЧ-мощность – 500 Вт, давление рабочего газа – 0,1 Па, рабочий газ – аргон, время напыления – 8 часов. Получение и исследование порошка и мишеней для распыления представлено в работе [2].

В качестве материала подложки использовался наиболее часто применяемый в медицине технически чистый титан марки ВТ1-0. Облучение поверхности образцов проводилось на вакуумной импульсной электронно-пучковой (ИЭП) установке «СОЛО» (Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, в коллективе под руководством Коваля Н.Н.). Режимы облучения образцов приведены в таблице 1.

Морфология поверхности и элементный состав Si–ГА покрытий были исследованы методом растровой электронной микроскопии (РЭМ, ESEM Quanta 400 FEG) со встроенным энергодисперсионным рентгеновским спектрометром (EDS analysis system Genesis 4000, S-UTW-Si(Li)detector).

Таблица 1. Режимы облучения образцов импульсным электронным пучком до (R5) и после обработки (R1-R4)

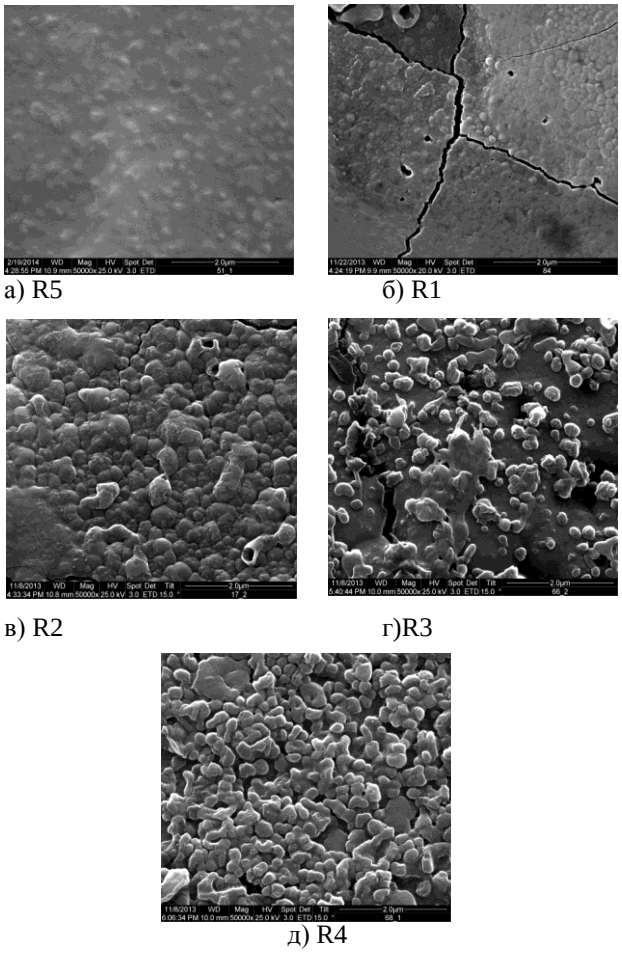
Для измерения элементного состава был также использован оптический эмиссионный спектрометр тлеющего разряда (RF GD-OES) - GD Profiler 2.

Режимы	E_s, Дж/см^2	τ, мкс	f, Гц	N
R1	3	50	0,3	3
R2	0,8	50	5	50
R3	6,5	50	0,3	3
R4	8	50	0,3	3
R5	–			

На рис. 1 представлена морфология поверхности системы «покрытие-подложка» до и после обработки ИЭП. Обработка таким способом кальций-фосфатных пленок и титана вносит существенные изменения в рельеф формируемой поверхности. До обработки поверхность покрытия представляет собой чередование равномерно распределенных выступов, переходящих во впадины. Режимы R1 и R2 давали возможность кратковременного термического отжига поверхности, который обуславливает формирование однородной поверхностной морфологии, однако присутствуют трещины. Сохраняется чешуйчатое строение поверхности, но форма и размер зерен претерпевают изменение. В случае, когда плотность энергии составляет 6,5 и 8 Дж/см^2, поверхность композита состоит из множества мелких, сплавленных, бесформенных и неравномерно распределенных частиц (рис. 1, г–д) с областями, обладающими низкой рельефностью.

Элементный анализ поверхностей показал, что интенсивности элементов покрытия и их соотношение на поверхности практически не изменяется в случае плотностей энергии 0,8 и 3 Дж/см^2 (Рис.2).

В случае режимов R3 и R4 доминирующими элементами являются элементы подложки. При этом отношение Ca/P для данных режимов значительно увеличилось (таблица 2), что говорит об преимущественном испарении с поверхности при обработке фосфорсодержащих элементов. Однако, при данных энергиях пучка могло произойти перемешивание покрытия с материалом подложки



а) R5 б) R1

в) R2 г)R3

д) R4

Рис.1. Морфология поверхностного слоя композита «покрытие-подложка» до (а) и после обработки импульсным электронным пучком (б - д)

Таблица 2. Значения отношений Ca/P и Ca/(P+Si)

Режим	Ca/P	Ca/(P+Si)
R5 (до обработки)	1.94	1.66
R1	1.80	1.56
R2	1.87	1.66
R3	8.27	5.82
R4	11.96	8.29

при образовании новых фаз. Предположение о перемешивании подтверждается при анализе содержания кальция в поверхности композита по глубине, представленном на рис. 2, б. Ось абсцисс показывает время распыления покрытия во время исследования, что отражает изменения состава образца в зависимости от глубины.

Таким образом, режимы обработки импульсным электронным пучком с плотностью энергий 0,8 и 3 Дж/см^2 приводит к термическому отжигу покрытия, сформированного на титановую подложку.

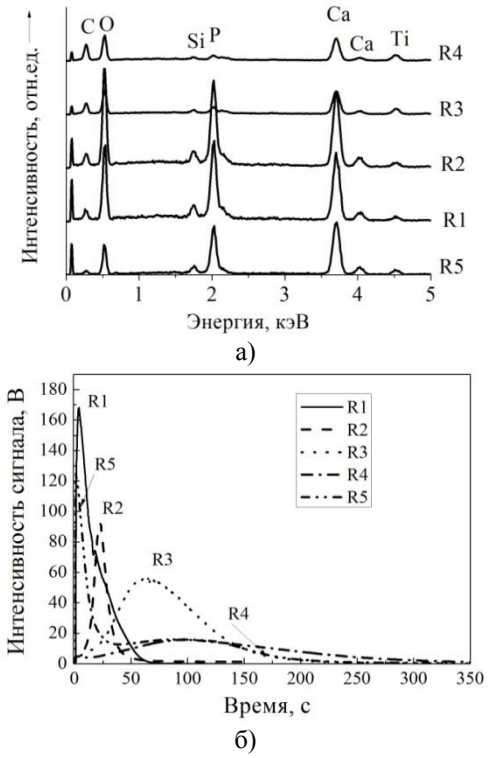


Рис. 2. EDS-спектр (а) и распределение кальция по глубине (б) для поверхностного слоя композита «покрытие-подложка» до (R5) и после обработки импульсным электронным пучком (R1-R4)

Использование пучка с плотностью энергий 6,5 и 8 Дж/см^2 приводит к частичному испарению и перемешиванию материала покрытия с титановой матрицей. Необходимо использование рентгенофазового анализа для выявления образовавшихся фаз в поверхностном слое.

Авторы благодарят Тересова А.Д. и к.ф.-м.н. Пушилину Н.С. за подготовку и помощь в исследовании образцов. Исследование выполнено при финансовой поддержке стипендии Президента СП-6664.2013.4 и РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-31027.

Список литературы

1. E. Saiz, M. Goldman, J.M. Gomez-Vega, A.P. Tomsia, G.W. Marshall and S.J. Marshall, Biomaterials 23, 3749 (2002).

2. M.A. Surmeneva, M.V. Chaikina, V.I. Zaikovskiy, V.F. Pichugin, O. Prymak, V. Buck, M. Epple, R.A. Surmenev, «The structure of an RF-magnetron sputter-deposited silicate-containing hydroxyapatite-based coating investigated by high-resolution techniques», Surface and Coatings Technology 218 (2013), P. 39-46

ВЛИЯНИЕ ZrW_2O_8 НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ

Шадрин В.С.,[1] Дедова Е.С.,[2] Ше В.Р.[1]
Научный руководитель: Кульков С.Н., д.ф.-м.н., профессор[1,2,3]
[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
[2]Институт Физики прочности и материаловедения СО РАН,
634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vshadrin91@gmail.com

Введение

Возрастание требований к прочностным свойствам конструкционных материалов определяет необходимость разработки и внедрения альтернативных механизмов упрочнения. Дисперсное упрочнение металлических материалов позволяет качественно повысить их механические свойства. Однако, введение частиц, обладающих отрицательным коэффициентом теплового расширения (КТР), в металлическую матрицу усиливают упрочняющий эффект за счет формирования внутренних сжимающих напряжений, вызванных различием КТР исходных компонентов. В связи с вышесказанным, вольфрамат циркония является одним из наиболее перспективных материалов, благодаря изотропному отрицательному КТР, равному $-9{,}6\cdot10^{-6}$ C^{-1}, от очень низких (-270 °С) до высоких (770 °С) температур.

Целью работы является изучение влияния ZrW_2O_8 на структуру, фазовый состав и механических свойств алюминия при введении ZrW_2O_8.

Материалы и методика

В качестве исходных компонентов для создания композиционных материалов Al – ZrW_2O_8 использовали порошок алюминия (т.ч.) и порошок вольфрамата циркония, полученный отжигом прекурсора $ZrW_2O_7(OH_{1,5},Cl_{0,5})\cdot2H_2O$ с выдержкой в течение 1 часа при температуре 570 °С [1]. Количество добавки ZrW_2O_8 в исходной порошковой смеси составляло 0; 0,1; 1 и 10 вес.%. Для изучения свойств материала Al – ZrW_2O_8 производилось прессование образцов на механическом прессе с последующим спеканием при температуре 600 °С в течение 1 часа.

Исследование фазового состава и структурных параметров композиционных материалов осуществлялось на рентгеновском дифрактометре с фильтрованным CuKα–излучением. Исследование формы и размеров частиц проводилось на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515. Испытания на сжатие образцов осуществлялись на испытательной установке «INSTRON – 1185» со скоростью нагружения 0,2 мм/с. Измерение твердости по Виккерсу (HV) проводилось на микротвердомере ПМТ – 3 с нагрузкой на индентор 50 г.

Результаты и обсуждение

Результаты растровой электронной микроскопии композиционных материалов Al – ZrW_2O_8 показали, что с увеличением содержания вводимой добавки ZrW_2O_8 на поверхности образцов наблюдались белые частицы, при этом их средний размер менялся от 0,5 мкм для композита Al – 0,1 вес. % ZrW_2O_8 до 1 мкм в Al – 10 вес.% ZrW_2O_8. Распределение частиц по размерам носило унимодальный характер, преимущественное количество частиц находилось в интервале от 0.5 до 1 мкм. Элементный анализ показал, что отношение атомов циркония (Zr) и вольфрама (W) удовлетворяет стехиометрии вольфрамата циркония (Zr:W = 1:2). Видно, что с ростом весовой доли ZrW_2O_8 пористость алюминиевых материалов увеличивалась (рис.1).

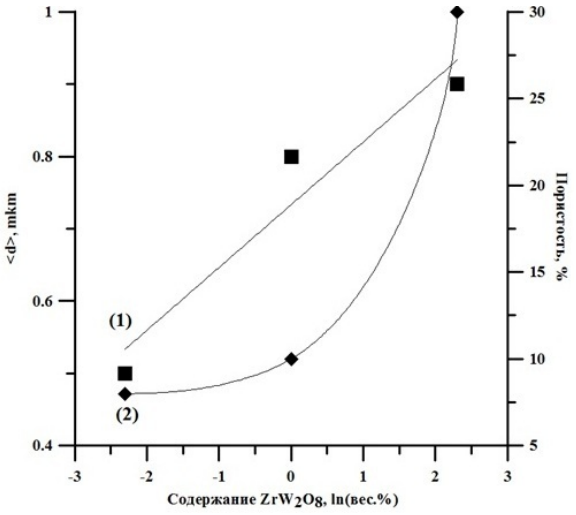


Рис. 1. Зависимость размера частиц (1) и пористости (2) в Al – ZrW_2O_8 от содержания ZrW_2O_8

Фрагменты рентгенограмм образцов представлены на рисунке 2. Видно, что при содержании ZrW_2O_8 менее 1 вес. % присутствовали только максимумы, соответствующие кубической модификации Al, линии ZrW_2O_8 появлялись при концентрации вольфрамата циркония выше 1 вес. %. Введение 10 вес. % ZrW_2O_8 привело к появлению

интенсивных рефлексов, принадлежащих вольфрамату циркония. Расчет параметров решетки показал, что в композитах, содержащих 10 вес. % ZrW_2O_8, у алюминия он равен 4,0479 Å, у ZrW_2O_8 – 9,1298 Å. Полученные значения отличаются от литературных данных [2,3], что может быть обусловлено двумя факторами: микролегированием матрицы вследствие взаимодействия исходных материалов при получении композиционных материалов и наличием остаточных механических напряжений.

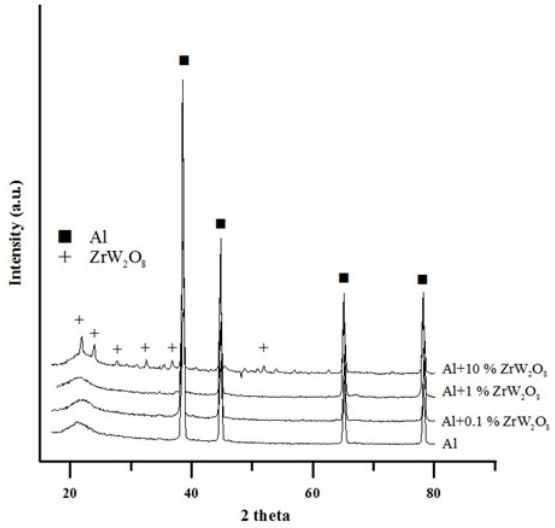


Рис.2. Рентгенограммы чистого алюминия и композиционных материалов Al – ZrW_2O_8

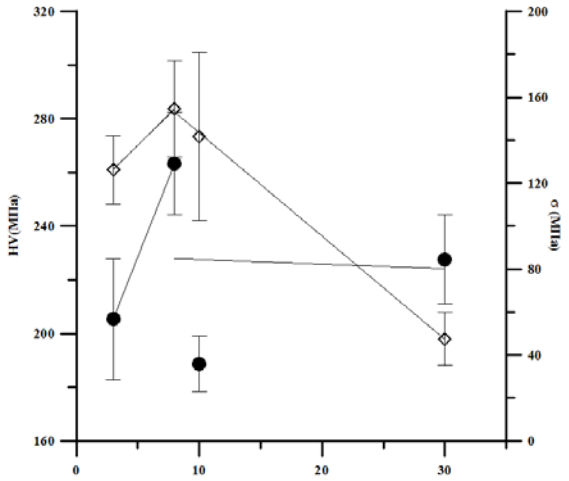


Рис.3. Зависимость предела прочности и микротвердости от пористости

Если предположить, что причиной разницы значений параметров являются остаточные механические напряжения, то, например, в модели линейно-напряженного состояния можно оценить их величину: напряжения сжатия равные 260 МПа. Для образцов из чистого алюминия предел прочности составил 125±10 МПа, значение микротвердости 205±10 МПа. Введение 0,1 вес. % вольфрамата циркония привело к росту механических свойств: предел прочности составил 155 МПа, значение микротвердости 263 МПа. Дальнейшее увеличение содержания вольфрамата циркония способствовало резкому уменьшению величины предела прочности и микротвердости. Снижение механических свойств может быть связано с ростом пористости в композиционных материалах, обусловленным увеличением содержания ZrW_2O_8 в металлической матрице (рис. 3).

Заключение

Исследованы структура и фазовый состав алюминиевых композиционных материалов, упрочненных частицами ZrW_2O_8. Кубическая модификация вольфрамата циркония в материале представлена в виде белых включений размером не более 1 мкм. Вычисленные значения параметров решетки a(Al) и a(ZrW_2O_8) не соответствовали значениям, представленным в литературе. Отличие может быть обусловлено влиянием микролегирования матрицы вследствие взаимодействия Al и ZrW_2O_8 в процессе получения композиционного материала и остаточными механическими напряжениями, возникающими в результате разницы КТР матрицы и упрочнителя. Экспериментально установлено, что введение 0,1 вес. % вольфрамата циркония в качестве добавки приводит к повышению механических свойств композитов Al – ZrW_2O_8 на 25 % по сравнению с аналогичными свойствами чистого алюминия.

Литература:

1. Дедова Е.С. Исследование фазовых превращений при синтезе вольфрамата циркония / Е.С. Дедова, А.И. Губанов, С.Н. Кульков // Известия высших учебных заведений. Физика.– 2013. – №10/2.

2. Химическая энциклопедия: в 5-ти т. / Редкол.: Кнунянц И. Л. (гл. ред.). – М.: Советская энциклопедия, 1988. – Т. 1. – С. 116.

3. Negative Thermal Expansion from 0.3 to 1050 Kelvin in ZrW_2O_8 / T.A. Mary [et al.] // Science. – 1996. –vol. 272. – P. 90 – 92.

XRD INVESTIGATIONS OF CO FILMS DEPOSITED BY CVD

[1,2]Hairullin R.R., [3]Dorovskikh S.I.
Scientific supervisor: Professor Panin A. V.
[1]National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina Ave, 30
[2]Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, 634021, Russia, Tomsk
[3]Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk
E-mail: hairullin@list.ru

Introduction

Thin films of cobalt, cobalt-based alloys, and Co/X multilayers, where X can be another metal or a dielectric, have been the subject of significant scientific research and have attracted great interest with respect to applications in data storage devices and sensors [1].

There are currently many deposition techniques for metal films. However, chemical vapor deposition (CVD) has a special place among them. CVD is a technique which offers potential for producing films with high uniformity of thickness and composition, high purity, minimal substrate damage, high deposition rates and the possibility for selected area growth [2].

The dependence of structure and phase composition on deposition conditions is necessary to know for film formation with specified operational characteristics. One of the modern methods that is used for the identification of crystal phase composition is X-ray diffraction analysis. The results of X-ray diffraction investigations of Co thin films deposited by CVD are presented in this work. The aim of this research is to reveal the effect of substrate and vaporization temperatures on the structural parameters of Co thin films.

Experimental details

Co films were deposited on Si(100) substrates by CVD. Co(*N'acN'ac*)$_2$ was used as a precursor. The deposition conditions were as follows: gas-carrier flow rate (Ar) was 1 l/h, gas reagent flow rate (H_2) - 4 l/h, the operating pressure was atmospheric (~760 *Torr*), the deposition process was carried out during a period of 4h. Three sets of samples were investigated. In the first set the vaporization temperature (T_{vap}) was fixed and was equal to 120 °C, while the substrate temperatures (T_s) were varied in the range of (310 – 420) °C. In the second set the vaporization temperature was also fixed (130 °C) and the substrate temperatures were varied in the range (300 – 340) °C. In the third set the substrate temperature was constant (330 °C) and the vaporization temperature was varied in the range from 120 to 155 °C.

The X-ray diffraction (XRD) analysis of the samples was performed on a DRON-SEIFERT-RM4 diffractometer (Cu Kα radiation, λ = 1.54051 Å). All measurements were carried out at an atmospheric pressure and at room temperature.

Results and discussion

According to XRD data, only one of the diffraction peaks centered at around 44,2 – 44,7° in 2Θ is observed in the samples deposited at T_{vap} = 120°C and at different substrate temperatures (Fig. 1). The asymmetric broadening of the diffraction peak can be considered as the superposition of several peaks for α and β –Co. Detailed analysis of XRD pattern reveals that this diffraction peak is positioned between fcc (111) of β-Co (face centered cubic) at 44,3° and the (002) reflection of α-Co (hexagonal close-packed) at 44,6°. Therefore, it is difficult to uniquely determine the phase condition of the studied Co films.

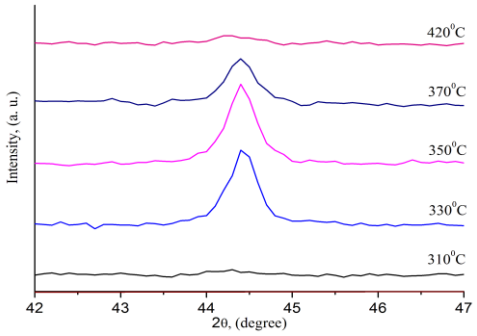


Fig. 1. XRD patterns of the Co samples deposited at T_{vap} =120 °C.

The height of the diffraction peak (*2*Θ = 44, 2 – 44, 7°) depends on the substrate temperature (Fig. 1). XRD analysis of the samples deposited at T_s = 310 °C revealed no peaks corresponding to the Co phase. Co films evaporated at T_s = 330 °C are characterized by the appearance of the peak. The observed diffraction peak becomes higher with increasing substrate temperature and reaches its maximum at T_s = 350 °C. However, further temperature growth results in a decrease in height of the X-ray diffraction peak until its loss at T_s = 420 °C.

The increase in vaporization temperature up to T_{vap} = 130 °C causes some changes in the crystalline texture of Co thin films (Fig. 2). The XRD pattern for Co samples deposited at T_s = 300 – 340 °C contain additional peaks, which could be indexed to the α-Co (100) (2Θ = 41.7°), α-Co (101) (2Θ = 47.6°) and β-Co (200) (2Θ = 51.7°). The height of the diffraction peaks is governed by the substrate temperature. The XRD peak becomes higher with increasing substrate temperature from T_s = 300 to T_s = 320 °C. However, further growth of substrate temperature up to T_s = 330 and 340 °C results in a gradual weakening of the peaks. The Co film deposited at substrate temperature T_s = 320 °C is noted to be characterized by well-pronounced texture (the maximum height of the diffraction peaks).

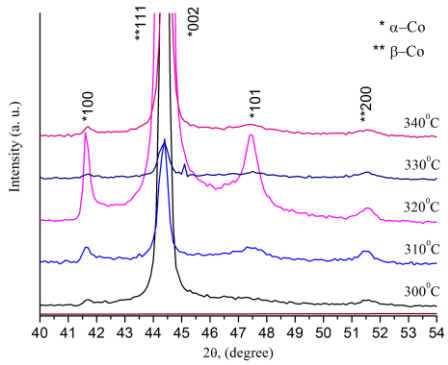


Fig. 2. XRD patterns of the Co samples deposited at T_{vap} =130 °C.

The comparison of fig. 1 and 2 shows that the increase in vaporization temperature of Co films from 120 up to 130 °C causes a considerable change in diffraction patterns. Fig. 3 presents the results of detailed investigations of vaporization temperature's effect on a metal film's structure.

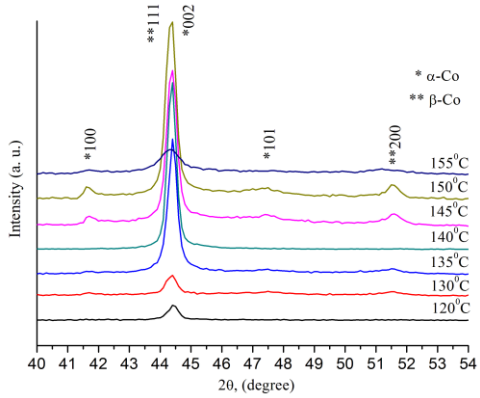


Fig. 3. XRD patterns of the Co samples deposited at T_s =330 °C.

The sizes of the coherent scattering region (CSR) and microstress values of Co films under study are presented in table 1. As seen from the table, the CSR size of films deposited at T_{vap} = 120 °C weakly depends on the substrate temperature in the range of temperatures from 300 to 350 °C. However the CSR size starts to decrease after increasing substrate temperature over 350 °C. A similar substrate temperature dependence of the CSR size is observed for films deposited at T_{vap} = 130 °C. Nevertheless, a comparison of samples from the first and second sets allows us to conclude that a temperature range in which films are characterized by a constant CSR size decreases with increasing vaporization temperature from 120 up to 130 °C.

The vaporization temperature dependence of the CSR size has a maximum (table 1). Actually, the growth of T_{vap} from 120 up to 135 °C results in a more than twofold increase in the CSR size. Further increase in vaporization temperature up to T_{vap} = 140°C causes a sharp decrease in CSR size. After this point, the CSR size remains unchanged until T_{vap} = 155 °C.

Microstresses of Co films deposited at T_{vap} = 120°C decrease with increasing substrate temperature, whereas values of microstresses are kept constant within the measurement error in films deposited at T_{vap} = 130 °C (table 1). It should be noted that the rise of T_{vap} from 120 up to 130 °C causes a threefold decrease in microstresses. However, further growth of vaporization temperature up to T_{vap} = 155 °C does not affect them.

Table 1. CSR size and microstresses σ of Co films deposited at different vaporization T_{vap} and substrate T_s temperatures.

T_{vap}, °C	T_s, °C	CSR,nm	σ, GPa
First set			
120	310	17	1,7
120	330	15	1,4
120	350	19	1,2
120	370	13	1,4
120	420	11	0,8
Second set			
130	300	35	0,4
130	310	26	0,5
130	320	33	0,2
130	330	26	0,4
130	340	20	0,3
Third set			
120	330	15	1,4
130	330	26	0,4
135	330	39	0,3
140	330	16	0,4
145	330	20	0,2
150	330	16	0,3
155	330	16	0,1

Conclusion

The results of the performed investigations show that Co films deposited by chemical vapor deposition consist of α-Co and β-Co crystals. Varying the substrate and vaporization temperatures allows us to widely modify the microstructure and texture of Co films. An increase in substrate temperature causes a decrease in the sizes of the coherent scattering region and values of microstresses. The degree of substrate temperature's effect on the structural parameters of Co thin films decreases with increasing vaporization temperature from 120 up to 130 °C. Moreover, the texture of Co films is modified – crystals with a new orientation appear.

References

1. Chioncel M. F, Haycock P. W. Cobalt thin films deposited by photoassisted MOCVD exhibiting inverted magnetic hysteresis // Chemical Vapor Deposition. - 2006. - № 12. - P. 670–678.

2. Chioncel M.F, Nagaraja H. S. Domain structures of MOCVD cobalt thin films // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. - 2007. - № 313. – P. 135–141.

СЕКЦИЯ 7

ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

SECTION 7

INFORMATICS AND CONTROL IN ENGENEERING SYSTEMS

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И АНАЛИЗА СВАРОЧНЫХ МАСТЕРСКИХ ГОУ СПО ЮТМИИТ

Агеева Ю.Н.
Научный руководитель: Важдаев А.Н., старший преподаватель
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета,
652055, Россия, г. Юрга, Кемеровская обл., ул. Ленинградская, 26
E-mail: snigirevaun@rambler.ru

На основании решения Коллегии Федерального агентства по образованию от 23 ноября 2006 г. № 13 и приказа Федерального агентства по образованию от 07 декабря 2006 г. № 1467 приказом директора техникума от 14.05.2007 г. № 81-к в техникуме был создан отдел содействия трудоустройству выпускников[3]. Проанализировав рынок труда, понимаешь, что вакансий сварщиков много, но в основном работодатель предпочитает нанимать рабочих уже с опытом работы, а не студентов, которых нужно еще много чему учить. Поэтому принимается решение позволить студентам работать в мастерских помимо практики и набираться опыта. Для этого необходимо создать информационную систему, которая бы систематизировала работу сварочных мастерских[1].

Целью проекта является разработка и создание информационной системы для определения компетенций у студентов за определенный период или работу и оценки работы сварочных мастерских. На основе показателей и отчетов будет производиться анализ деятельности студентов и мастерских. Он позволит принимать решение о готовности студентов к работе и оценить рентабельность мастерских.

Создаваемая информационная система призвана помочь руководителям ГОУ СПО ЮТМиИТ контролировать работу сварочных мастерских, оценивать работу студентов и выдавать соответствующую рекомендации о работе студентов работодателю.

Для функционирования программы необходимо создать ряд объектов информационной системы.

Рассмотрим справочники, созданные в системе.

1. Справочник «Заказчики» – предназначен для хранения информации о клиентах.

Для работы со справочником необходимо заполнить следующие реквизиты: наименование – указать ФИО или организацию, тип заказчика, ИНН, телефоны заказчика.

2. Справочник «Продукция и услуги» – предназначен для хранения информации об услугах, которые оказывает техникум и продуктах.

Для работы со справочником необходимо заполнить следующие реквизиты: наименование, поставить галочку, если это услуга (если не поставить система будет считать это продуктом)

3. Справочник «Материалы и работа» – предназначен для хранения информации о материалах и видах роботы, которые предоставляются заказчикам.

Для работы со справочником необходимо заполнить следующие реквизиты: наименование – вид материала или услуги, если это работа необходимо поставить галочку, в противном случае система будет считать это материалом.

4. Справочник «Единицы измерения» – предназначен для хранения информации о различных единицах измерения.

Для работы со справочником необходимо заполнить следующие реквизиты: наименование – единицу измерения.

5. Справочник «Сотрудники и студенты» – предназначен для хранения информации о сотрудниках и студентах техникума, которые работают в мастерских.

6. Справочник «Студенческие группы» – предназначен для хранения информации о группах.

7. Справочник «Должности» – предназначен для хранения информации о должностях сотрудников, которые работают в сварочных мастерских.

8. Справочник «Мастерские» – предназначен для хранения информации о мастерских.

Рассмотрим документы, созданные в системе.

1. Документ «Заказ»

При создании нового документа необходимо задать ряд реквизитов. Форма документа представлена на рисунке 1.

2. Документ «Поступление материалов».

Форма документа представлена на рисунке 2.

Рассмотрим отчеты системы.

1. Отчет «Остатки материалов заказчиков» – позволяет получить список остатков материалов заказчика.

2. Отчет «Остатки покупных материалов» – позволяет получить список остатков материалов техникума.

3. Отчет «Рейтинг студента» – позволяет получить список студентов с их оценкой.

4. Табель сотрудников для бухгалтерии.

5. Отчет по денежным средствам[2].

Для оптимальной работы системы необходимо, чтобы корректно были заполнены все справочники, так как для своей работы система берет данные именно из них.

После того как все справочники будут

заполнены можно непосредственно начать работу с системой по назначению. Для этого нужно перейти на вкладку «Работа с заказами» и на панели действий выбрать «Заказы» и нажать кнопку создать.

Далее необходимо заполнить первоначальные данные, чтобы оформить заказ (ФИО, номер и т.д.) остальные данные заполняются после того как студент выполнит все необходимые расчеты и выполнит работу.

С помощью системы можно получить данные о заказчиках и их заказах. Для этого нужно всего лишь выбрать нужный отчет и нажать кнопку «Сформировать».

Основным результатом работы системы является формирование отчета об успехах студентов.

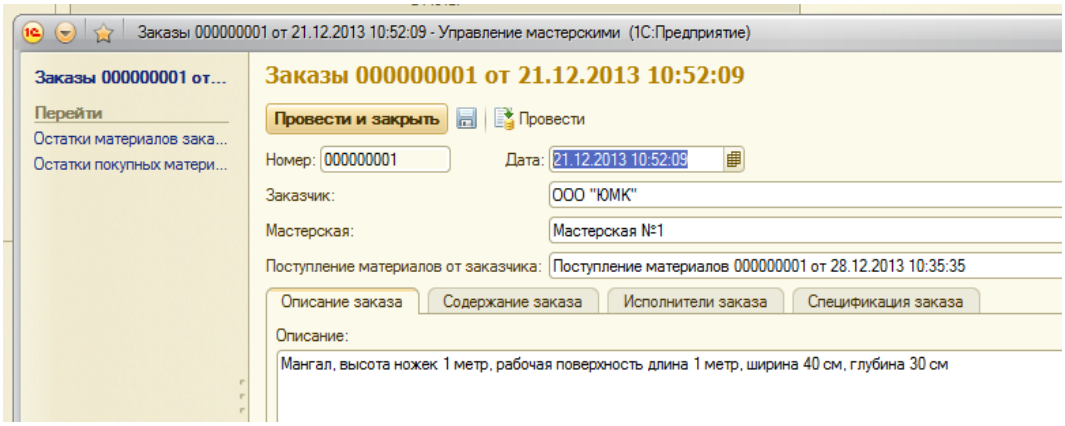


Рисунок 1 - Документ «Заказ».

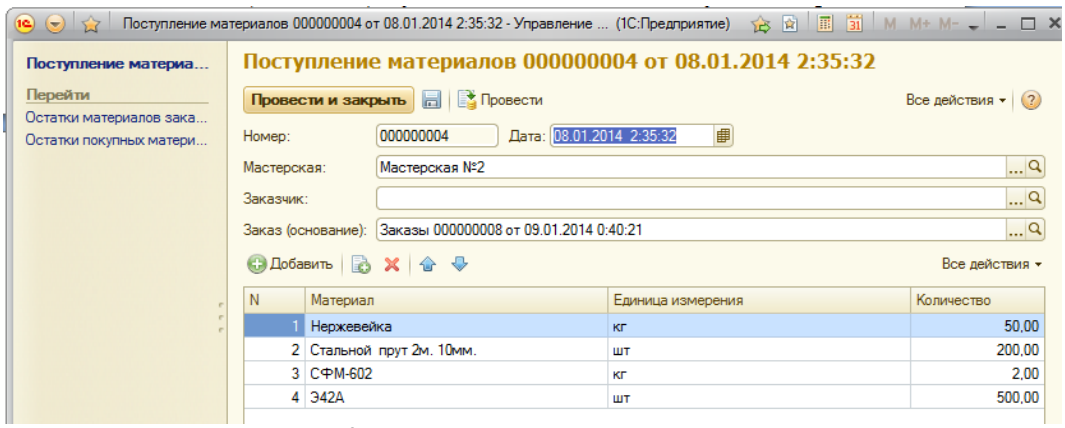


Рисунок 2 – Документ «Поступление материалов»

Литература:

1 А.Н. Важдаев Технология создания информационных систем в среде 1С:Предприятие: учебное пособие / А.Н. Важдаев. – Юрга: Издательство Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета, 2007. – 132 с.

2 М.Г. Радченко 1С Предприятие 8.2 Практическое пособие разработчика. – Москва: Издательство ООО «1С-Паблишинг», 2009. – 874 с.

3 Официальный сайт ГОУ СПО ЮТМиИТ [Режим доступа]: http://utmiit.ru/index.php?do=static&page=otdel_sodeystviya_trudoustroystvu.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОСМОТРА УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ В ТОМСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Аипова А.А.
Научный руководитель: Кузнецов Д.Ю., к.т.н.
Томский Политехнический Университет, 634050б Россия, г.Томск, пр.Ленина, 30
E-mail: aipova@tpu.ru

В 2010 учебном году Томский Политехнический Университет одним из первых в системе российского высшего образования начал подготовку по образовательным программам подготовки бакалавров и магистров на основе Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) «третьего поколения». Этот стандарт устанавливает различные нормативные документы по переходу на уровневую систему высшего профессионального образования. Для нормативно-методического обеспечения перехода университета на уровневую систему подготовки в соответствии с ФГОС в 2010 г. разработаны и введены в действие «Стандарты и руководства по обеспечению качества основных образовательных программ подготовки бакалавров, магистров и специалистов по приоритетным направлениям развития (Стандарт ООП ТПУ)». Данный стандарт включает в себя различные требования к выпускникам и к управлению процессами образовательной деятельности, а также описание структуры ООП. На основании этих документов ТПУ разрабатывает для каждой специальности и направления рабочий учебный план.

В настоящее время в ТПУ существует информационно-программный комплекс для формирования учебных планов различных форм обучения, сводного линейного графика, потоков, рабочих планов занятий групп под названием «Планирование и организация учебного процесса». Также существует веб приложение для поиска и просмотра учебных планов для студентов, преподавателей и сотрудников учебного отдела. Данные программные системы основаны на единой информационной среде Томского Политехнического Университета.

Образовательные стандарты постоянно улучшаются и изменяются, также вводятся новые стандарты, поэтому задача разработки программного обеспечения для планирования учебного процесса всегда актуальна.

Веб приложение для поиска и просмотра учебных планов было создано несколько лет назад, поэтому существует необходимость в создании нового приложения, соответствующего современным тенденциям в разработке программного обеспечения.

На данном этапе научно-исследовательской работы была поставлена цель: разработать веб приложение для поиска и просмотра учебных планов ТПУ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- Обзор ФГОС «третьего поколения», а также стандарта ООП ТПУ для понимания принципов формирования и структуры учебных планов;
- Изучение структуры базы данных единой информационной среды ТПУ, необходимой для формирования учебных планов;
- Анализ существующего приложения и выявление требований к разрабатываемому приложению;
- Выбор и изучение технологий для реализации приложения;
- Программная реализация приложения для поиска и просмотра учебных планов;
- Тестирование и внедрение приложения.

В стандарте ООП ТПУ для задачи отображения учебного плана значимыми являются разделы «Структура ООП», «Учебный план», а также приложения «Структура ООП» и «Форма представления базового учебного плана». По каждой ООП, реализуемой в ТПУ, ежегодно составляется базовый учебный план [1].

В ТПУ существует единая база данных под управлением СУБД Oracle, используемая для всех разрабатываемых информационных систем. Для обеспечения планирования учебного процесса используются схемы poup (Планирование и организация учебного процесса) и kdf (Кодификаторы).

Существующее веб приложение для поиска и просмотра учебных планов состоит из двух частей: страницей с формой поиска и страницей непосредственного отображения учебного плана [2]. Найденные учебные планы отображаются под формой поиска в виде таблицы. При нажатии на название образовательной программы, открывается новая страница с учебным планом.

Учебный план, оформленный по стандартам ООП ТПУ, очень большой по размеру, и на не широкоформатных мониторах возникает ситуация, когда необходимо горизонтальное прокручивание страницы. Также многим студентам интересно знать распределение дисциплин по семестрам, что не совсем удобно смотреть в данном отображении, так как здесь проводится распределение дисциплин по блокам и компонентам.

Если сделать отображение дисциплин учебного плана по семестрам, то практически треть таблицы не будет нужна. Тогда формы поиска учебных планов можно компактно разместить на той же странице, на которой будет отображаться учебный план по семестрам.

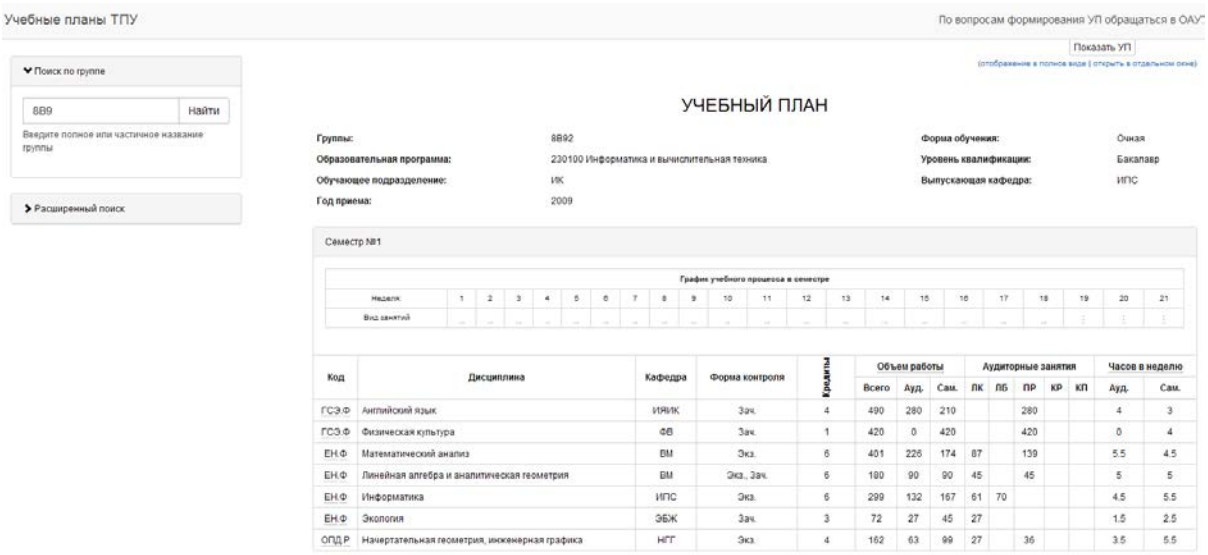


Рис.1. Веб приложение для просмотра учебных планов.

Однако отображение учебного плана в текущем виде, то есть по стандартам ТПУ, необходимо. Также необходимо добавить отображение графика учебного процесса и отображение практик и гос.аттестаций.

В информационной системе ТПУ существует программный компонент, разработанный на основе технологии Java Enterprise Edition, содержащий классы сущностей базы данных и сервисы, необходимые для разработки различных приложений для образовательных и организационных нужд. Целесообразно в реализации приложения для поиска и просмотра учебных планов использовать данный компонент, так как в нем уже содержится часть необходимых сущностей. Поэтому разрабатываемое веб приложение со стороны сервисной части будет также написано на языке Java с использованием веб-сервисов.

С клиентской стороны целесообразно выбрать популярное в настоящее время одностраничное отображение, то есть загрузку данных на страницу и обновление контента без обновления страницы. Для реализации такого способа отображения необходимо использовать технологию AJAX.

На сегодняшний момент стандартом в разработке веб сайтов стало использование javascript библиотеки jQuery. Однако для реализации одностраничного приложения лучшим подходом будет использование дополнительных фреймворков, которые облегчают задачу реализации приложения, а также улучшающие структуру программного кода. Современные библиотеки дают разработчикам простой путь к организации кода, используя вариации паттерна проектирования, известного как MVC (Model-View-Controller).

Выбор определенного фреймворка достаточно сложная задача. Быть абсолютно уверенным, что фреймворк подходит в данной задаче можно только после его использования. Одним из важных критериев при выборе является наличие обширной документации и примеров [3].

Для реализации приложения поиска и планирования учебных планов был выбран фреймворк Backbone, он направлен на создание одностраничных приложений. Этот фреймворк удобно использовать в связке с другими, такими как Underscore (для применения шаблонов) и RequireJS для лучшей структурной организации кода.

Разработанное приложение показано на рис. 1. На странице отображается учебный план по семестрам. Кроме того, можно перейти к просмотру учебного плана, оформленного близко к стандартам ТПУ.

Добавлен график учебного процесса, а также работы в течение семестра – практики, гос. экзамены и т.д. Для облегчения просмотра учебного плана добавлена функция выделения дисциплин по семестрам.

В настоящий момент проводится тестирование приложения.

Список литературы:

1. Стандарт ООП ТПУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/standard/design/oop_standard, свободный.

2. Учебные планы ТПУ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://app.tpu.ru/up-viewer/, для пользователей корпоративной сети ТПУ.

3. Обзор JS-фреймворков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/149594/obzor-frejmvorkov-JS-MVC-chast1/, свободный.

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ТЕЛЕКОММУКАНИЦИЯХ

Альшиц И.М.
Научный руководитель: Володина Е.Е., к.э.н., профессор
МТУСИ, Россия, г. Москва, 111024, Москва, Авиамоторная ул., 8а.
E-mail: alshit@gmail.com

В настоящее время процесс информатизации затрагивает практически все сферы человеческой деятельности, такие как: наука, управление, образование, производство,. оборона и др. Особую роль информационные технологии выполняют в сфере телекоммуникаций, поскольку на основе их взаимного слияния (конвергенции) сформировалась новая отрасль - инфокоммуникации

Использование информационных технологий (ИТ), основой которых является высокотехнологичное программное обеспечение– это наиболее эффективное средство управления бизнес-процессами предприятий связи в современных условиях усиливающейся конкуренции на телекоммуникационном рынке. Без внедрения ИТ компаниям связи, использующим конвергентные технологии и предоставляющим мультисервисные услуги, практически невозможно контролировать постоянно изменяющиеся бизнес-процессы предприятия.

Деятельность операторов связи представляет собой ничто иное, как совокупность выработанных в повседневной практике бизнес-процессов, в которые вовлечены финансовые, материальные, кадровые, информационные и прочие виды ресурсов. Именно бизнес - процессы определяют порядок взаимодействия отдельных сотрудников и подразделений.

Телекоммуникационные компании имеют существенные преимущества по сравнению с предприятиями других отраслей, поскольку по роду своей деятельности постоянно изменяют и адаптирующие свои процессы в соответствии с увеличивающимися скоростью и объемом распространения информации.

Внедрение ERP (англ. Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия) системы может подразумевать, в том числе, существенную реструктуризацию предприятия, изменение принципов его работы, в результате чего электронная инфраструктура становится неотъемлемой частью бизнес-процесса. В связи с этим возрастает количество проектов в области корпоративного программного обеспечения (КПО). Современные проекты этой сферы характеризуются возрастающими требованиями к срокам разработки, масштабам и сложности программных комплексов, а также частыми изменениями автоматизируемых процессов.

Концепция бизнес-планирования. Под ERP подразумевается "интегрированная" система, выполняющая функции, предусмотренные концепциями MPS-MRP/CRP-FRP. Важным отличием от методологии MRPII является возможность "динамического анализа" и "динамического изменения плана" по всей цепочке планирования. Конкретные возможности методологии ERP существенно зависят от программной реализации. Для реализации функций планирования и оптимизации необходимо наличие в системе обратной связи. Т.е. на основании целей управления составляется план, затем по ходу выполнения работ проводится фиксация реальных показателей, их анализ и на основании сравнения поставленных целей и достигнутых результатов вырабатывается корректирующее воздействие. Учётная система позволяет только фиксировать результаты. Она, в отличие от ERP-системы не включает в себя функции для автоматизации планирования, и сравнения `план — факт`. Иначе говоря, с помощью учетных систем можно выполнить только некоторую аналитическую часть управления, но не синтетическую. В этом принципиальное отличие ERP-системы от учетной системы.

ERP оператора связи является основой составляющей корпоративной информационной инфраструктуры предприятия и тесно интегрирована с другими операционными, бизнес и внутренними ИТ-системами компании. В ходе внедрения системы проходит интеграция со специализированными системами, используемыми предприятием, такими как билинговые системы, системы бюджетирования и CRM системы. Внедрение и тиражирование ERP позволяет консолидировать все структурные подразделения компании в единую бизнес систему. Результатом чего становится повышение эффективности и прозрачности бизнес-процессов компании, оптимизация закупок оборудования, а также сокращение внутренних информационных потоков и снижение затрат на их обеспечение. Внедрение ERP позволяет снижать долю ручного труда сотрудников, поскольку в таких системах предполагается работа более 5000 сотрудников практически всех подразделений компаний.

В настоящее время идет широкомасштабное освоение систем класса ERP операторами связи: в МТС, МГТС, БИЛАЙН и Ростелекоме - это Oracle E-Business Suite (OEBS), а в Мегафон SAP Extended ECM by OpenText.



В марте 2013 года в ОАО «Мобильные ТелеСистемы», ведущем телекоммуникационном операторе в России и странах СНГ, введена в промышленную эксплуатацию полномасштабная корпоративная информационная система, одна из крупнейших в СНГ. Единое информационное поле на основе передовой версии Oracle E-Business Suite R12 включает более 10 тысяч пользователей-сотрудников МТС. Модернизация охватила все ключевые направления деятельности МТС и обеспечила соответствие критически важных бизнес-процессов компании самому прогрессивному мировому опыту.

В сентябре 2013 года компания «МегаФон» и SAP СНГ объявили об успешном окончании проекта по созданию платформы управления электронными документами на базе продукта SAP Extended ECM by OpenText. По предварительным оценкам экспертов SAP, решение принесет компании «МегаФон» экономические выгоды, сократив количество непродуктивных часов сотрудников. В результате проекта, длившегося 11 месяцев, «МегаФон» построил систему управления корпоративными электронными документами, включающую КСЭДО (корпоративную систему документооборота). Благодаря созданию сквозных бизнес-процессов работы с документами компания смогла обеспечить руководство оперативной информацией для принятия решений, увеличить производительность сотрудников при работе с документами, сократив число непродуктивных часов на 20 — 40%, и уменьшить затраты на хранение информации как на бумажных, так и на электронных носителях на 10% — 25% в год. Проект выполняли специалисты SAP Consulting и Open Text.

Компания «Борлас» и представительство Oracle СНГ объявили о завершении проекта по развертыванию и настройке компонент программного продукта Oracle Identity Management для управления идентификационными данными пользователей корпоративной информационной системы управления ОАО «ВымпелКом», действующей на основе комплекса бизнес-приложений Oracle E-Business Suite. В ходе проекта, который длился три месяца, были проведены сбор и детализация требований к интеграционным потокам, разработана функциональная и техническая архитектура системы управления идентификационными данными и синхронизация идентификационных данных пользователей. Решение охватило всех пользователей распределенной многофилиальной организационной структуры ОАО «ВымпелКом» на территории России.

По прогнозам, российский рынок ERP в ближайшие пять лет будет ежегодно расти в среднем на 15,5%. Рост будет обусловлен высоким спросом на бизнес-приложения среди компаний финансового сектора, розничной торговли, профессиональных услуг, предприятий связи. Повышенным спросом будут пользоваться решения бизнес-аналитики и решения по управлению взаимоотношениями с клиентами.

Список используемых источников:

1. Голоктеев К.Н., Матвеев И.С. Управление производством: инструменты, которые работают. 2008 год – 251 с.
2. http://www.tadviser.ru/
3. С. В. Питеркин, Н. А. Оладов, Д. В. Исаев Практика применения ERP-систем 2012 – 2006
4. Рыбников А.И. Система управления предприятием типа ERP - 2011
5. Сатунина А. SAP ERP. Построение эффективной системы управления – 2012 346 страниц
6. Сигрид Хагеман, Лиане Вилл SAP R/3. Системное администрирование 2010

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БИЗНЕС-ЛОГИКИ В ОТЧЕТАХ НА БАЗЕ MS REPORTING SERVICES 2005

Аникина П.В.
Научные руководители: Буркатовская Ю.Б., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30
Юдахин Р.В., к.ф.-м.н., начальник отдела филиала ООО «Газпром информ» в г. Томск
E-mail: anikinapv@gmail.com

Время один из самых дорогих, не возобновляемых ресурсов. Именно этот факт заставляет автоматизировать все возможные бизнес процессы, что приводит к повышению продуктивности функционирования организации.

Создание отчётов в наше время – нужный и важный процесс в любой сфере деятельности человека. Но на то, чтобы собрать нужные данные для конкретного отчёта, приходится вручную перебирать большое количество информации (поднимать старые документы, и обращаться к базам данных).

На газотранспортном предприятии ООО «Газпром трансгаз Томск» (ГТТ) действует информационно-аналитической система (ИАС) на базе Microsoft Office PerformancePoint Server 2007 и Microsoft SQL Server 2005 для формирования отчетов в разрезах «факт», «план» и «анализ», на основании данных из эксплуатируемой ГТТ Модульной Интегрированной Корпоративной Системы (МИКС).

На рисунке 1 приведена схема архитектуры системы, которая используется в ГТТ. Данная система состоит из следующих компонентов:

- Windows Server 2003 (включая Internet Information Services);
- SQL Server 2005 (включая Database Engine, Analysis Services, Integration Services и Reporting Services);
- PerformancePoint Server 2007.

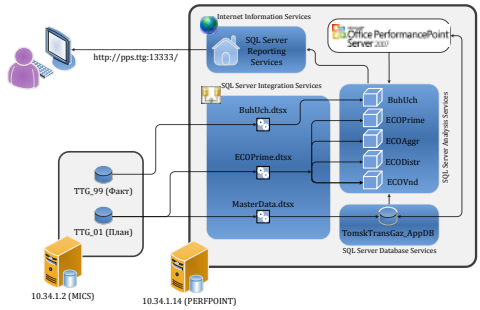


Рисунок 1 – Архитектура решения

Взаимодействие пользователя с системой построено по принципу «тонкого клиента» и осуществляется с помощью web-браузера, путем обращения к порталу SQL Services Reporting Server. На портале представлены отчеты в разрезах «Факт», «План» и «Анализ». Отчеты строятся на основании данных, загружаемых в кубы SQL Server Analysis Services. Данные поступают в систему из системы «МИКС», и обрабатываются с помощью SQL Server Integration Services и PerformancePoint Server 2007.

Учетные данные, т.е. данные бухгалтерских проводок, поступают из базы данных «TTG_99», обрабатываются ежечасно пакетом SQL Server Integration Services «BuhUch.dtsx» и загружаются в базу данных SQL Server Database Engine «TomskTransGaz_AppDB» и куб «BuhUch» (производится его расчёт). Плановые данные и метаданные поступают из базы данных «TTG_01», обрабатываются ежедневно пакетами «ECOPrime.dtsx» и «MasterData.dtsx», загружаются в кубы «ECOPrime», «ECOAggr», «ECODistr», «ECOVnd» и базу данных «TomskTransGaz_AppDB». PerformancePoint Server 2007, на основании базы данных «TomskTransGaz_AppDB», поддерживает структуру кубов в SQL Server Analysis Services [1].

Создание и выгрузка отчетов на сервер выполняется с помощью службы SQL Server Reporting Services.

SQL Server Reporting Services (SSRS) – программная сервисная система создания отчетов, разработанная компанией Microsoft.

Служба отчетов SSRS это среда для управления отчетами и доставки отчетов в масштабе предприятия. Службы отчетов позволяют в безопасном режиме доставлять отчеты потребителям в рамках всей организации, используя существующую инфраструктуру корпоративной сети; кроме того службы отчетов предоставляют средства интеграции отчетов как с обычными приложениями, так и с web-приложениями.

Отчеты ИАС позволяют получить выборки данных, относящихся к управленческому учету (УУ) в разрезе определенных аналитик (иногда их также называют признаками или характеристиками) в требуемом для ключевого пользователя формате. Все отчеты разбиты на три больших блока – План, Факт и Анализ. В первые два блока попадают соответственно данные их систем бюджетирования (планирования затрат) и учета (бухгалтерии), анализ предназначен для сравнения плановых и фактических показателей.

Основными аналитиками данных УУ в ГТТ являются подразделение (филиал), центр финансовой ответственности (ЦФО), место возникновения затрат (МВЗ), элемент затрат или статья затрат, вид деятельности, календарный период.

Для того, чтобы данные попадали в отчеты в требуемом от ключевых пользователей представлении, в ГТТ выстроены бизнес-процессы

по вводу и сбору таких данных в системе МИКС. Каждая аналитика в МИКС представлена соответствующим справочником, при этом часть справочников, например, МВЗ, элементов и статей затрат, являются иерархичными, при этом сбор первичной информации всегда происходит на самом нижнем уровне иерархии, а показатели по верхним уровням иерархий собираются из нижнем средствами отчетов [2].

Поясним вышесказанное на примере. Для того, чтобы запланировать затраты в части выполнения работ по ремонту легкового автомобиля сотрудник отдела организации транспортного обеспечения Управления технологического транспорта и специальной техники в модуле Экономика МИКС вводит следующие данные (таблица 1):

Таблица 1. Пример. Ввод данных

Версия плана	**Корректировка 2-го квартала**	**Выбирается из списка**
Филиал	УТТиСТ	Проставляется автоматически
ЦФО	Отдел главного механика	Выбирается из списка
МВЗ	Транспорт общего назначения	Выбирается из списка
Элемент затрат	Текущий ремонт транспортных средств	Выбирается в интерфейсе
Период	Апрель 2014 г	Выбирается в интерфейсе
Сумма	50 тыс. рублей	Вводится вручную

После того, как указанные данные введены, значение 50 тыс. рублей, к которому привязаны шесть значений аналитик, с помощью описанных выше механизмов из базы данных МИКС (TTG_01) сначала попадает в базу «TomskTransGaz_AppDB», а из нее в кубы Analysis Services. Если теперь сформировать отчет «Бюджет затрат в разрезе МВЗ» в разделе План, в параметрах которого указать соответствующие значения для версии плана, филиала, ЦФО и периода, то сумма в 50 тыс.рублей попадает в ячейку на пересечении элемента затрат «Текущий ремонт транспортных средств» и МВЗ «Транспорт общего назначения». Но так как справочники элементов затрат и МВЗ являются иерархическими, то указанная сумма также попадет в подсуммировки всех вышестоящих позиций в иерархии справочников. Соответственно, указанная сумма попадает во все остальные отчеты раздела План, которые построены на указанных в примере аналитиках.

Для получения подобных отчетов, для которых источником данных служат кубы Analysis Services, используются mdx-скрипты, которые специально предназначены для формирования сложных выборок многомерных (то есть когда у одного показателя – суммы затрат – много аналитик или характеристик, которые нужно отобразить в отчете) данных с автоматическим учетом иерархий аналитик (в Analysis Services их называют размерностями). Пример mdx-скрипта:

```
 …
 SELECT    {[Measures].[Value]}    ON
COLUMNS,
 NON EMPTY
 except(
 DESCENDANTS([Элемент затрат].
 [Элемент затрат].[All],,after) ) *
 except(existing(descendants([МВЗ].[
МВЗ].[All],,after),
[МВЗ].[IsPlan].&[True]), {
      ([МВЗ].[МВЗ].[-1003],
[МВЗ].[IsPlan].&[True]),
      ([МВЗ].[МВЗ].[-1004],
[МВЗ].[IsPlan].&[True])}
 …
```

Одним из основных итоговых отчетов экономического блока в ГТТ является отчет «Экономический анализ деятельности МВЗ» (ЭАД МВЗ), который активно используется для анализа затрат и расчёта себестоимости продукции. В силу сложности алгоритма выполнение отчета, построенного на базе технологии MS Analysis Services, занимало значительное время. Разработано решение по оптимизации производительности отчета с изменением технологии на прямой запрос к базе данных MS SQL.

Для поддержания иерархичности справочников в оптимизированном отчете ЭАД МВЗ использованы специальные алгоритмы выборки и подсуммировки иерархичных данных. Для реализации работы с параметром «Период», подразумевающим выборки и подсуммировки в разрезе любых комбинаций месяцев и кварталов, также разработаны отдельные функции на MS SQL.

Оптимизированный отчет, созданный на базе прямого доступа к таблицам базы данных «TomskTransGaz_AppDB» выполняется около 10 секунд. Соответствующий вариант отчета на базе кубов Analysis Services, выполняется более 10 минут.

Следует понимать, что в общем случае для создания подобных отчетов гораздо предпочтительнее использовать кубы аналитических служб, Но бывают особые ситуации, как в описанном случае, когда альтернатива, построенная на прямых запросах к витрине данных на основе транзакционной базы данных, является более выигрышным в части временных ресурсов вариантом.

Список литературы

1. Руководство по эксплуатации. Информационно-аналитическая система на базе Microsoft Office PerfomencePoint Server 2007. Модуль «Экономика». М., 2008.

2. Методические рекомендации по планированию и калькулированию себестоимости транспорта газа. М., 2006.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ LINUX/XENOMAI

Анистратов П.С., Голобоков Ю.Н.
Научный руководитель: Павлов В.М., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pavel903@gmail.com

Современной науке для изучения все более тонких и сложных явлений требуется оборудование, обладающее высокой производительностью и точностью. Это характерно для экспериментов, проводимых на современных физических исследовательских установках, где требуется измерение и согласованное управление множеством распределенных параметров с выдачей сигналов управления по строго заданным временным диаграммам. Поэтому все чаще для решения таких задач применяются интеллектуальные устройства автоматизации, работающие под управлением операционных систем реального времени.

Существуют операционные системы, изначально созданные для работы в реальном времени, как например, VxWorks, OS9, QNX. Также имеются проекты по модификации ядра операционных систем общего назначения таких, например, как Linux или Windows для получения ими свойств реального времени. Одним из представителей последней группы является фреймворк Xenomai, который распространяется под свободной лицензией LGPL.

Для работы Xenomai используется Adeos – микроядро для обеспечения слоя аппаратной абстракции (HAL) между аппаратным обеспечением и операционной системой. Данное микроядро применяется в виде патча для ядра Linux, после этого выполняется компиляция ядра и его установка в систему в соответствии с официальной документацией [1].

Фреймоворк Xenomai был установлен на компьютер (процессор Intel Celeron 700 МГц, ОЗУ 64 МБ) под управлением Debian 6.0.1 с ядром linux-2.6.

Для проверки характеристик системы при работе в реальном времени была проведена серия экспериментов.

В первом эксперименте к каналу 1 параллельного порта компьютера был подключен генератор прямоугольного сигнала. Осциллограф подключался к каналу 2 порта и к генератору. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

В эксперименте на каждый импульс генератора по его заднему фронту возникало прерывание, и вызывалась функция обработки, формирующая ответный импульс на канале 2 параллельного порта. Настройка обработчика прерываний от параллельного порта описана в статье [2]. Генератор настраивался на частоту сигнала 1 кГц и скважность 5%, при этом среднее время отклика системы составило 10 мкс.

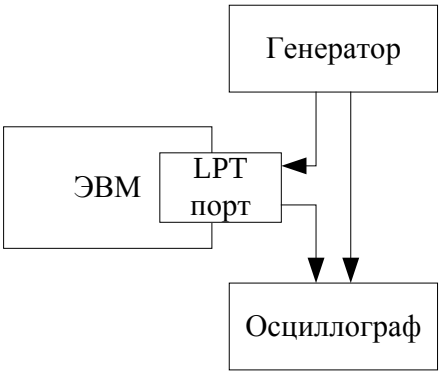


Рис. 1. Схема эксперимента

Для более точных измерений схема была модифицирована. В отличие от первого эксперимента (Рисунок 1): не использовался осциллограф, вместо этого программным образом записывалось время вызова обработчика прерывания. Используемая программа имеет следующие настройки: число импульсов, ожидаемых к обработке в одном эксперименте, период входного сигнала от генератора и допустимый порог отклонения в микросекундах.

Программа работает следующим образом: при получении прерывания от параллельного порта вызывается обработчик, который записывает время вызова и число полученных прерываний с момента последней обработки в массив. После этого программа переходит в режим ожидания нового прерывания. Так продолжается до получения заданного в настройках числа импульсов. На последнем этапе производится вычисление временных интервалов между прерываниями и число пропущенных прерываний. Интервалы, превзошедшие порог отклонения, записываются в файл для последующей обработки.

При частоте входного сигнала 1 кГц среднее время отклонения составило 9,5 мкс, максимальное – 117 мкс, причем отклонение для 95 % периодов составило менее 10 мкс.

Далее для тестирования времени отклика в тяжелых условиях, была использована программа Stressful Application Test [3], которая формировала высокую нагрузку на подсистемы тестового компьютера, производя операции доступа к жесткому диску и оперативной памяти, что давало полную загрузку процессора. Данная программа выполнялась одновременно с пользовательской программой обработки прерываний.

Проводились несколько экспериментов с разным периодом входного сигнала, результаты

приведены в таблице 1. Число принимаемых импульсов было задано равным 100 тысяч.

Таблица 1. Тесты под высокой нагрузкой

Период, мкс	Среднее, мкс	Макс., мкс	Пропущено, %
1000	34	467	0
500	26	413	0
250	21,4	435	0,67
125	14,9	416	0,87

Максимальное отклонение незначительно изменяется от периода, но среднее отклонение уменьшается с уменьшением периода. Это связано с особенностями переключения между задачами. Несмотря на то, что задачи Xenomai имеют наивысший приоритет, требуется время для переключения с других операций, так как система высоко нагружена во время тестирования. При увеличении частоты следования прерываний система реже переключается на другие задачи, что уменьшает среднее время отклонения обработки.

При использовании периодов (1000 мкс и 500 мкс) больших, чем максимальное отклонение, все прерывания успевают обработаться, при использовании меньших периодов происходят пропуски в обработке.

Для организации распределенной системы управления требуется обеспечить связь между устройствами, одни из способов это использовать компьютерную сеть Ethernet, которая по умолчанию не подходит для работы систем реального времени, так как в сети используется механизм CSMA/CD (множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий). Для исключения этого недостатка в системе с Xenomai возможно использовать протокол RTnet, это открытый протокол реального времени который позволяет избежать непредсказуемых коллизий и скопления пакетов, реализует передачу пакетов протоколов UDP/IP, TCP/IP, ICMP и ARP детерминированный образом [4].

Процедура интеграции RTnet в систему включает в себя компиляцию программы, а также замену драйвера сетевой карты на специальный драйвер, работающий с сетью реального времени. Драйвера для некоторых сетевых карт (Intel Pro/1000, Realtek RTL8139 и другие) включены в комплект поставки с программой. Более подробно процедура описана на сайте [5].

Для предотвращения коллизий и скоплений пакетов в протоколе RTnet используется механизм TDMA (множественный доступ с разделением по времени) для детерминированности времени передачи информации по сети. В сети один из компьютеров выступает в роли мастера, который в начале каждого цикла посылает пакет SOF (начало кадра). Каждому компьютеру выделен один слот времени в цикле.

Для тестирования сети реального времени на второй компьютер (процессор Intel Atom D525 1.8 ГГц, ОЗУ 2 ГБ) также был установлен фреймворк Xenomai и RTnet. Компьютеры подключались напрямую с использованием UTP кабеля. Время прохождения пакетов в прямом и обратном направлении тестировалось с помощью команды rtping, аналог команды ping для сетей реального времени.

Как показал эксперимент, время передачи в прямом и обратном направлении сильно зависит от цикла TDMA. При использовании цикла 500 мкс, минимальное время выполнения команды rtping составило 600 мкс, так как в первый цикл посылался пакет от подчиненного к мастеру, а во второй цикл приходил ответ. Худшее время в эксперименте составило 1100 мкс, в этом случае мастер не успевал отправить пакет во втором цикле, и передача происходила только в третьем, такое наблюдалось в 20 % опытов.

При уменьшении времени цикла до 100 мкс минимальное время составило 205 мкс, а максимальное 300 мкс. В этом случае, передача происходила или за два (87%) или за три цикла (13%).

Таким образом, требуется настраивать параметр цикла TDMA в соответствии задачей и количеством компьютеров в сети, так как это существенно влияет на время ответной реакции.

Результаты экспериментов показывают возможность создания распределенной системы управления на базе Linux\Xenomai и RTnet даже при использовании компьютера со слабой аппаратной конфигурацией. Допустимый период между входными воздействиями при использовании указанной выше аппаратной конфигурации составляет 1000 мкс, за это время система гарантированно успеет их обработать, передать на север и получить ответное сообщение.

[1] Installing Xenomai 2.6.3 URL: http://xenomai.org/documentation/xenomai-2.6/html/README.INSTALL (дата обращения: 21.02.2014).

[2] Real-time Linux (Xenomai) Radboud University Nijmegen Exercise #9: Interrupt Service Routines URL: http://www.cs.ru.nl/lab/xenomai/exercises/ex09/Exercise-9.html (дата обращения: 21.02.2014).

[3] Stressapptest URL: https://code.google.com/p/stressapptest/ (дата обращения: 21.02.2014).

[4] RTnet Hard Real-Time Networking for Real-Time Linux http://www.rtnet.org/ (дата обращения: 21.02.2014).

[5] RTnet:Installation & Testing URL: http://www.xenomai.org/index.php/RTnet:Installation_%26_Testing (дата обращения: 21.02.2014).

КОНФИГУРИРОВАНИЕ В 1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.2

Анциферова Е.В.
Научный руководитель: Вичугова А.А., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: Zhenya4549@mail.ru

«1С: Предприятие» является универсальной системой автоматизации деятельности предприятия. За счет своей универсальности система «1С: Предприятие» может быть использована для автоматизации самых разных участков экономической деятельности предприятия: учета товарных и материальных средств, взаиморасчетов с контрагентами и др.

Система «1С: Предприятие» представляет собой совокупность программных модулей, предназначенных для разработки и использования решений (конфигураций) по ведению учета и автоматизации хозяйственной деятельности предприятий, и конфигурации или совокупности конфигураций [1].

При запуске системы «1С: Предприятие» предоставляется выбор режима работы: «Конфигуратор» и «Предприятие» (рис.1). «Конфигуратор» – мощное инструментальное средство быстрой разработки и модификации прикладных решений. Программы для «1С: Предприятие» называются «конфигурации» и разрабатываются они программистами в режиме «Конфигуратор» [2].

Любая конфигурация состоит из модулей. Программные модули системы «1С: Предприятие» универсальны и способны работать с любой конфигурацией. Каждый модуль состоит из процедур и функций. Процедура – небольшая программа для выполнения конкретной задачи. Функция отличается от процедуры только тем, что выдает результат. Говорят «*функция возвращает результат*» [2].

На рынке существует несколько версий платформы «1С: Предприятие» (8.0, 8.1, 8.2). 9 сентября 2009 г. фирма 1С объявила о выходе новой версии платформы «1С: Предприятие 8.2» [3].

Главными отличиями от предыдущей версии можно назвать следующее:

- Возможность работать в режиме тонкого клиента и веб – клиента.
- Работа через интернет по низкоскоростным каналам.
- Установка программы в операционной системе *Linux*.
- Реализован режим управляемого приложения.
- Добавлена поддержка системы управления базой данных *Oracle Database*.
- Добавлен режим работы с регистрами.
- Создан новый дизайн, для удобной и комфортной работы пользователей.
- Увеличены масштабируемость и быстродействие системы.

Система «1С: Предприятие» может работать в двух режимах: файловый и клиент−серверный. Файловый режим предназначен для работы одного пользователя или же для работы по локальной сети, все данные располагаются в одном файле – файловой базе данных. Клиент−серверный вариант предназначен для работы всего предприятия. Этот вариант использует трехуровневую архитектуру: клиент – кластер серверов – сервер баз данных (рис. 1) [4].



Рис. 1.

В общем случае, архитектура клиент−серверного варианта работы включает в себя: клиентское приложение, кластер северов «1С: Предприятие», веб−сервер, сервер баз данных [4].

Тонкий клиент – это одно из клиентских приложений системы «1С: Предприятие», выполняющий ограниченный набор функций встроенного языка, предназначенных лишь для отображения и изменения данных в памяти. На веб – сервере выполняется работа с базами данных, исполнением запросов и объектными данными. Тонкий клиент только отображает готовые данные [4].

Режимы тонкого клиента и веб клиента при наличии интернет соединения позволяют пользователям удаленно работать on-line с информационными базами данных [4].

Для взаимодействия с веб–сервером тонкий клиент использует протоколы HTTP или HTTPS. В свою очередь, веб–сервер взаимодействует с системой «1С: Предприятие» используя файловый или клиент–серверный вариант работы (рис. 2).



Рис. 2. Клиент–серверный вариант работы

Если подключение осуществляется через низкоскоростной интернет (например, GPRS), то эти клиентские приложения следует запускать в *режиме низкой скорости соединения*. Основная цель работы в режиме низкой скорости соединения – это уменьшить количество обращений к серверу, что приводит к уменьшению издержек. Для этого несколько запросов к серверу объединяют в один пакет, выполняется сбор необходимых данных и не допускается отправки незначительной информации. В результате обеспечивается приемлемая работа пользователей с системой «1С: Предприятие» даже при низкоскоростных каналах связи [4].

Для реализации части системы, работающий с базами данных и реализующий бизнес–логику, используют управляемое приложение. Например, для описания структур данных в конфигурации, работы с прикладными объектами и т.д.



Рис. 3.

Режим управляемого приложения полностью меняет способ работы с интерфейсом: интерфейс не «рисуется», а «описывается». Разработчику достаточно определить общую схему форм и командного интерфейса, а дальше система будет использовать полученное описание для конкретного пользователя с учетом различных факторов: прав пользователя, настроек и т.д. [4].

В версии платформы «1С: Предприятие 8.2» произошли принципиальные изменения в архитектуре с момента ее выпуска. Система «1С: Предприятие» полностью меняет способ работы с интерфейсом, при этом меняется модель разработки пользовательского интерфейса в конфигурации. Предприняты существенные усилия по развитию кластера серверов «1С: Предприятие» по нескольким направлениям: масштабируемость, отказоустойчивость и динамическое распределение нагрузки. Новый дизайн интерфейса обеспечивает комфортную и эффективную работу, как обычным пользователям, так и программистам.

При знакомстве с конфигуратором платформы «1С: Предприятие 8.2» я на личном опыте убедилась в новых возможностях системы: разработать и изменить интерфейс программы, добавить различные объекты конфигурации и изменить их свойства на любом этапе разработки и т.д. Таким образом, новая версия системы расширяет возможности разработчика в реализации своих проектов.

Литература

1. Радченко М.Г. 1С: Предприятие 8.2 практическое пособие разработчика [Текст]/ М.Г. Радченко, Е.Ю. Хрусталева – Москва: ООО «1С − Паблишинг», 2009. – 872 с.: ил.
2. Основы 1С [Электронный ресурс] // URL: http://www.mista.ru/tutor_1c/basic.htm.
3. Услуги программиста 1С, компьютерные услуги [Электронный ресурс] // URL: http://www.elrey-uslugi.ru/stati/otlichiya_1s_82_ot_81.html.
4. 1С: Предприятие 8 Электронный ресурс] // URL: http://v8.1c.ru/overview/release_8_2_9.

ПРОГРАММА АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ УСТРОЙСТВ

Ахметов Т.А., Агеев А.В.
Научный руководитель: Горяинов Александр Евгеньевич, аспирант
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
Email: whitemailacc@gmail.com

Постановка задачи. В современном мире сверхвысокочастотные монолитные интегральные схемы (СВЧ МИС) становятся все более востребованными, особенно в таких областях, как радиолокация, сотовая связь, навигация; широкое применение СВЧ МИС нашли и в области космических и радиоастрономических исследований. Такие преимущества СВЧ МИС, как высокая скорость передачи данных, надежность, низкое энергопотребление, небольшие габаритные размеры и вес, позволяют использовать их практически во всех сферах человеческой жизни.

СВЧ МИС представляет собой структуру, состоящую из полупроводниковой подложки (круглая тонкая пластина), на которой изготавливаются активные элементы (транзисторы, диоды), и металлических и диэлектрических слоев, из которых формируются все пассивные элементы (конденсаторы, соединительные линии и другие элементы). Проще говоря, СВЧ МИС - это аналоговая интегральная схема маленьких размеров (отдельный чип имеет размеры порядка 1x1.5 мм), выполненная в едином технологическом процессе.

Одной из актуальных проблем разработки СВЧ МИС является анализ и обработка результатов измерений различных параметров: параметров рассеяния, вольт-амперных характеристик и шумовых параметров. Каждый производитель измерительного оборудования представляет измерения в собственном формате данных и не всегда предоставляет программное обеспечение для анализа полученных измерений. При этом, ни один из производителей не занимается поддержкой форматов других фирм, что осложняет дальнейшую работу с результатами измерений. Таким образом, в настоящее время на рынке отсутствует программа, позволяющая выполнять быстрый просмотр и анализ полученных измерений и представленных в разных форматах.

Основной целью разработки *DataViewer* являлось создание программы, позволяющей визуализировать результаты измерений параметров СВЧ МИС, представленных в различных форматах.

Программа *DataViewer* была создана на основе платформы *Indesys*, разработанной Лабораторией интеллектуальных компьютерных систем ТУСУР, и содержащей необходимые модули для обработки результатов СВЧ измерений.

Разрабатываемая программа должна иметь следующие функциональные возможности:

- Отображение вольт-амперных характеристик[1].
- Отображение на графике параметров рассеяния [2].
- Отображение на графике шумовых параметров[3].
- Просмотр эквивалентных схем.
- Редактирование файлов измерений в текстовом режиме.
- Возможность одновременного отображения набора файлов для их визуального сравнения.
- Интеграция в файловую систему ОС.

Вольт-амперная характеристика показывает зависимость тока СВЧ компонента от напряжения на данном компоненте.[1] Для описания СВЧ транзисторов существуют 3 вольтамперные характеристики:

- Входная - зависимость тока истока-затвора *Igs* от напряжения истока-затвора *Vgs*.
- Выходная – зависимость тока стока-истока *Ids* от напряжения стока-истока *Vds*.
- Проходная – зависимость тока стока-истока *Ids* от напряжения истока-затвора *Vgs*.

Вольтамперные характеристики в зависимости от измерительного оборудования представляются в формате **.ivd* фирмы *National Instrument* и в формате **.ivc* фирмы *Focus Microwave*.

Поскольку на высоких частотах трудно измерить абсолютные значения напряжения и тока, обычно вместо них измеряются *S*-параметры[2]. Их относительно легко измерить, кроме того, они не требуют подключать к тестируемому устройству дополнительные, нежелательные нагрузки. Количество *S*-параметров для заданного устройства равно квадрату количества портов.

Прямые *S*-параметры определяются путем измерения модуля амплитуды и фазы падающего, отраженного и переданного сигналов, когда на выходе источника мы имеем нагрузку, точно согласованную с сопротивлением тестируемой системы. В случае двух-портовой цепи (четырехполюсника) *S11* является комплексным коэффициентом отражения или импедансом тестируемого устройства, а *S21* – комплексным коэффициентом прямой передачи.

Параметры рассеяния представляются файлом формата *Touchstone* (**.s2p*). Данный формат файла представляет из себя текстовый документ, с набором измерений амплитуды и фазы падающих, отраженных и проходящих волн, в зависимости от частоты, на которых были выполнены измерения.

Современные СВЧ устройства самого различного назначения характеризуются очень высокой чувствительностью и, следовательно, могут обеспечивать приём весьма слабых сигналов. При этом главным фактором, ограничивающим эту чувствительность, являются собственные шумы устройства.

Коэффициент шума измеряется по принципу сравнения шумов измеряемого устройства и генератора шума[3]. Шум описывается следующими параметрами:

- R_n – шумовое сопротивление;
- F_{min} – минимальное значение коэффициента шума;
- Γ_{opt} – комплексный коэффициент отражения генератора шума, при котором достигается минимальное значение коэффициента шума.

В разрабатываемом модуле предполагается поддержка двух форматов файлов шумовых параметров:

- Формат файла Touchstone компании *Agilent Technologies* [5].
- Формат файла **.npar* компании *Focus Microwaves*.

Результаты работы. Основными элементами интерфейса являются панель с перечнем отображаемых файлов и панель с графиками. Каждый тип измерений находится на своей отдельной вкладке и работает со своим списком файлом.

Каждый просмотрщик данных работает со своим типом данных:

- *IvCurvesViewer* – вольт-амперные характеристики (*IVCurveTables | *.ivd, *ivc*) [4].
- *PortParametersViewer* – параметры рассеяния (*Port Parameters | *.s2p*) [5].
- *NoiseParametersViewer* – шумовые параметры (*Noise Parameters |*.xnp, *.npar*) [6].
- *CircuitViewer* – эквивалентные схемы (*Circuit Viewer Format | *.cvf*).
- *TextViewer* – предназначен для редактирования всех вышеперечисленных форматов.

Учитывая особенности использования программы, при которых пользователь будет работать с измерениями в файловой системе ОС, в программе были разработаны такие вспомогательные функции как *Drag&Drop* и открытие файлов программой напрямую через файловую систему. Всё это увеличивает удобство работы с программой. Программа позволяет редактировать файлы измерений, и преобразовывать их в различные форматы.

Пример работы программы представлен на рис. 1.

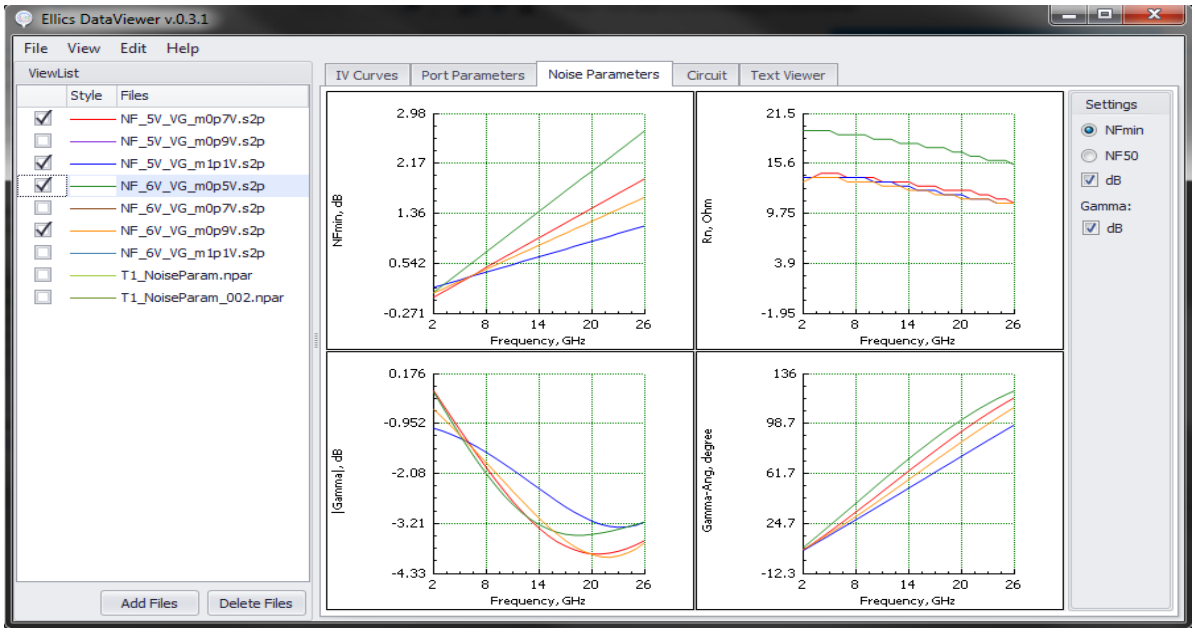


Рис. 1. Пример работы программы *DataViewer*

Заключение. В результате проделанной работы была написана программа, позволяющая работать с различными типами данных. В настоящее время подготавливается первая версия приложения. В дальнейшем планируется расширение функциональности приложения.

Литература

1. Шварц Н.З. Линейные транзисторные усилители СВЧ. // М.: Сов.радио, 1980, 368 с.

2. Эльвира. Основы векторного анализа цепей //. – URL: http://elvira.ru/_files/vektr.pdf

3. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ. Учеб.для радиотехнических специальностей вузов. — М.: Высш. шк, 1988. — Р. 432

4. PV Education. IV Curve file format //. – URL:http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve

5. Agilent Technologies. SnP (touchstone) file format//. – URL: http://na.tm.agilent.com/plts/help/WebHelp/FilePrint/SnP_File_Format.htm

6. Agilent Technologies. Fast Noise Parameter System //. – URL : http://www.home.agilent.com/upload/cmc_upload/All/Maury-WebEx-NewUltra-FastNoiseParameterSystem.pdf?&cc=RU&lc=rus

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ РУКИ НА ОСНОВЕ СКРЫТЫХ МОДЕЛЕЙ МАРКОВА

Бауэр А.В.
Научный руководитель Болотова Ю.А. к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30
E-mail: anton.bauer@inbox.ru

Разрабатываемый метод позволяет в реальном времени захватывать и интерпретировать жесты руки. В таблице 1 приведена последовательность обработки жеста с описанием входных данных для каждого этапа.

Таблица.1. Описание метода.

Этап	Входные данные
Захват и отслеживание жеста	На вход алгоритма подается видеопоток, на каждом кадре которого отыскивается изображение руки. Для каждого изображения рассчитывается его дескриптор
Распознавание жеста	На вход классификатора поступает последовательность дескрипторов изображений. Классификатор возвращает идентификатор команды.
Исполнение команды	На вход фабрики команд поступает идентификатор команды. Команда выбирается из конечного множества поддерживаемых команд.

В рассматриваемом методе для захвата жеста используется алгоритм Виолы-Джонса. Затем каждый жест представляется как последовательность HOG-дескрипторов.

Для распознавания жеста используются скрытые модели Маркова, которые являются эффективным методом представления пространственно-временной информации.

Алгоритм Виолы-Джонса для захвата жеста был выбран по следующим причинам:

- Этот алгоритм является одним из лучших по соотношению эффективность распознавания / скорость работы.
- Метод Виолы-Джонса обладает очень низкой вероятностью ложного срабатывания.
- Алгоритм в состоянии распознавать искомый объект, даже если на изображении он повернут на небольшой угол (до 30 градусов).

Принципы работы алгоритма Виолы-Джонса:

- Интегральное представление изображения – используется для ускорения расчетов, связанных с яркостью пикселей изображения.
- Использование признаков Хаара, с помощью которых происходит поиск объекта.
- Обучение основывается на алгоритме AdaBoost для выбора наиболее подходящих признаков Хаара искомого объекта.
- Все признаки поступают на вход классификатора, который возвращает один из двух вариантов – «истина» для искомого объекта и «ложь» в противном случае.
- Используются каскады признаков для быстрого отбрасывания участков изображения, на которых не найден объект.

Задача интерпретации жестов решается с помощью скрытых моделей Маркова (Hidden Markov models, HMM).

Скрытые Марковские модели – это двойной стохастический процесс, управляемый двумя вероятностями:

1. Вероятность перехода, которая определяет, с какой вероятностью произойдет переход в каждое состояние.
2. Вероятность выхода определяет, какой из символов конечного алфавита будет на выходе сети в текущем состоянии.

Скрытые Марковские сети являются эффективной моделью представления пространственно-временной информации естественным образом. Модель называется «скрытой» », так как все, что видно стороннему наблюдателю – лишь последовательность выходных символов, в то время как состояние, в котором находится модель, наблюдателю неизвестно. Таким образом, распознавание жеста основано на предположении о жесте и нет 100% уверенности в правильности предположения.

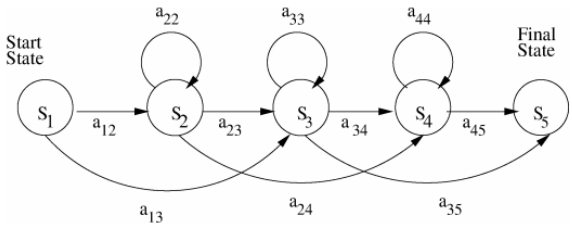


Рис. 1. Скрытая сеть Маркова.

Скрытая Марковская модель описывается следующим образом:

- Набор входных значений $O = \{O_1, \dots, O_T\}$ где $t = 1, \dots, T$.
- Множество состояний $\{s_1, \dots, s_N\}$.
- Дискретный набор наблюдаемых символов $\{v_1, \dots, v_k\}$.
- Матрица состояний-переходов $A = \{a_{ij}\}$, где a_{ij} - вероятность перехода из состояния s_i в момент времени t в состояние s_j в момент времени t+1.
- Вероятность наблюдаемого символа

$B = \{b_{jk}\}$, где b_{jk} - вероятность генерации v_k из состояния s_j

- Начальные вероятности $\Pi = \{\pi_j\}, j = 1, 2, \dots, N$ где π_j - вероятность нахождения сети в состоянии s_j в начальный момент времени.

Для решения задачи интерпретации жестов, для каждого жеста определяется наиболее кореллирующая с ним последовательность наблюдений, получаемых от скрытой модели Маркова. На каждой из последовательностей обучается одна Марковская модель, после чего этот набор моделей становится способен распознавать заданное множество жестов. Задача обучения скрытой марковской модели решается с помощью алгоритма Баума-Велша.

Гистограмма направленных градиентов (Histogram of Oriented Gradients, HOG) – дескрипторы особых точек изображения.

Основной идеей использования HOG-дескрипторов является допущение, что внешний вид и форма объекта на участке изображения могут быть описаны распределением градиентов интенсивности или направлением краев. Реализация этих дескрипторов может быть произведена путем разделения изображения на маленькие связные области, именуемые ячейками, и расчетом для каждой ячейки гистограммы направлений градиентов или направлений краев для пикселей, находящихся внутри ячейки.

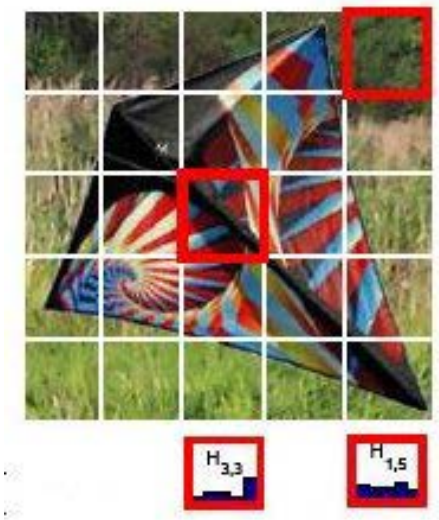


Рис. 2. HOG-дескрипторы.

Комбинация этих гистограмм и является дескриптором. Для увеличения точности локальные гистограммы подвергаются нормализации по контрасту. С этой целью вычисляется мера интенсивности на большем фрагменте изображения, который называется блоком, и полученное значение используется для нормализации. Нормализованные дескрипторы обладают лучшей инвариантностью по отношению к освещению.

Для тестирования системы используется Кембриджская база данных жестов.



Рис. 3. Пример кадра из базы жестов.

Подборка представляет собой 900 последовательностей изображений в 9 классах жестов. Класс определяется одним из 3-х примитивных движений и 3 формами ладони. Каждый класс содержит 100 последовательностей изображений – 5 различных типов освещения, 10 произвольных движений, 2 субъекта. Каждая последовательность была записана перед фиксированной камерой и изображает строго изолированный жест в пространстве и времени.

Литература

1. Vladimir I. Pavlovic, Rajeev Sharma and Thomas S. Huang, “Visual Interpretation of Hand Gestures for Human-Computer interaction.” in *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transaction, Vol.19 no. 7, pp 677-695*, Jul. 1997

2. Sushmita Mitra and Tinku Acharya, “Gesture recognition : A Survey”, IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics—part c: applications and reviews, vol. 37, no. 3, may 2007

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Беляев А.С.
Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина
E-mail: belyaewas@mail.ru

В настоящее время практически все организации устанавливают системы видеонаблюдения на своих объектах. Камеры устанавливают в общежитиях, в университетах, в магазинах, на различных базах, подсобных помещениях банках и так далее.

Целью данной работы является разработка универсальной платы для управления камерами видеонаблюдения.

Актуальность данной темы вытекает из того факта, зачастую сложные системы видеонаблюдения стоят очень дорого и требуют очень много ресурсов для своей работы.

В настоящее время, многие компании по видеонаблюдению предоставляют камеры, работающие либо на инфракрасных датчиках, либо поворачивающиеся от сигнала присланного оператором. Данные систем зачастую, стоят примерно 25-30 тысяч рублей, когда обычная камера стоит порядка 10 тысяч рублей.

Столкнувшись с данной проблемой, я разработал универсальную плату для управления обычными камерами видеонаблюдения при помощи любых датчиков.

Чтобы полностью проверить актуальность данной схемы, были выбраны одни из самых дешевых инфракрасных датчиков.

Структура данного датчика лежит в основе многих других датчиков. И так PIR-sensor HC-SR501 (Рис.1).

PIR-sensor переводится с английского как Pyroelectric (Passive) InfraRed sensor — пироэлектрический (пассивный) инфракрасный сенсор. Пироэлектричество — это свойство генерировать определенное электрическое поле при облучении материала инфракрасными (тепловыми) лучами. Поэтому PIR датчики позволяют обнаруживать движение людей в контролируемой зоне, так как тело человека излучает тепло. Такие датчики малы по размеру, недороги, имеют низкое энергопотребление. Они просты в использовании и не изнашивается. По этим причинам они применяются в большинстве промышленных датчиков движения.[1]

Созданный китайскими специалистами, данный датчик очень просто в обращении и имеет стоимость порядка 50 рублей, но заказ с американских сайтов позволяет снизить и до того низкую цену на данный датчик.

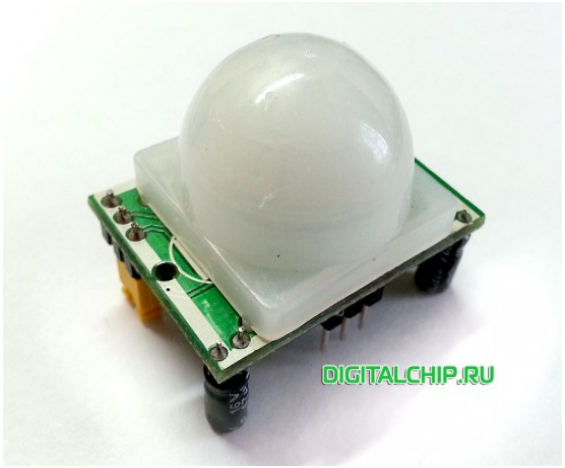


Рис.1. PIR-sensor HC-SR501.

Данные датчики работают в диапазоне от 3 до 7 метров, днем и ночью, и даже при температуре -30 градусов Цельсия. То есть данный датчик подходит для Российских условий.

Следующим этапом разработки был выбор моторов и микроконтроллера для данной платы.

В качестве микроконтроллера был выбран контроллер фирмы Atmel Atmega328P (Рис. 2). Но как в процессе создания было выяснено, что может быть использованы более дешевые контроллеры той же фирмы, например ATtiny2313.



Рис. 2. Микроконтроллер Atmega328P.

В качестве двигателя возможно выбирать как обычный коллекторный двигатель, так и сервопривод.

Сервопривод (следящий привод) — привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения.

Для коллекторного двигателя необходим Н-мост, или так называемый драйвер, позволяющий двигателю вращаться в обоих направлениях.

Поэтому был выбран сервопривод, который облегчает саму структуру схемы, а так же позволяет определять местоположения двигателя.

Для данной платы подойдет любой сервопривод, поворачивающийся на 360 градусов.

Следующим этапом проектирования, был расчет электронной схемы для управления, состоящей из 3 основных частей, входа и управления камерой, импульсным делителем напряжения (Рис.3), а так же разъемами под датчики.

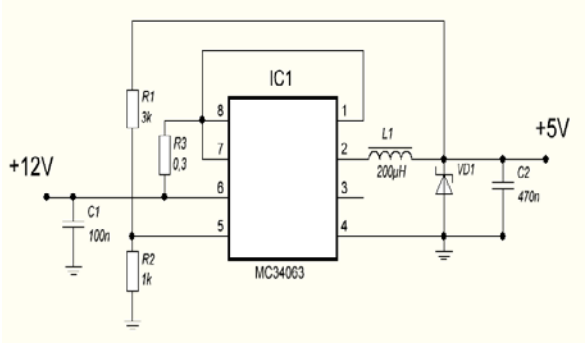


Рис. 3 Схема импульсного делителя напряжения.

Данная схема позволяет, преобразовывать входные 12 вольт постоянного напряжения в выходные 5 вольт постоянного напряжения, при этом сама схема не нагревается и выдает ток около 1 А.

В результате была напечатана следующая схема (Рис. 4).

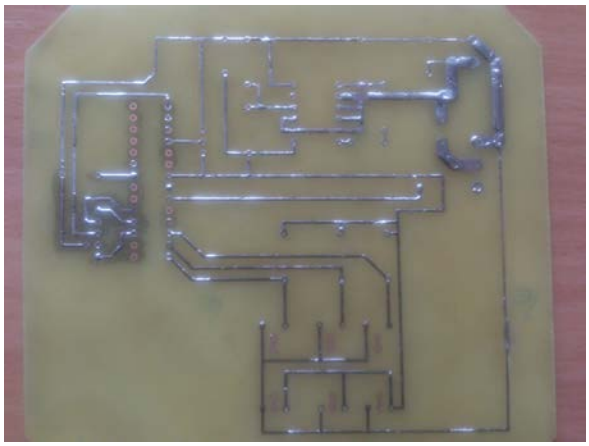


Рис.4 Печатная плата для данной работы.

Данная плата может быть легко модернизирована любыми другими датчиками или более мощными серводвигателями.

Принцип действия данной камеры состоит в том, что когда человек или крупный объект будет попадать в область работы датчиков, камера будет включаться и передавать изображение на записывающее устройство, которое независимо от платы, при этом камера будет поворачиваться в зону работы датчика, и снимать объект. При появлении сразу нескольких объектов в области работы датчиков, действие будет происходить по алгоритму, вложенному в микроконтроллер. То есть начнут работать внешние прерывания позволяющие сначала заснять один объект на короткое время, потом перейти ко второму объекту, заснять его действия, и вернуться к первому, то есть снимать каждого из них не очень продолжительное время, но позволяет снимать как действия одного объекта, так и другого.

При этом можно подключить сколько угодно датчиков к одной плате и значительно расширить область захвата.

На данный момент происходит тестирование этой платы, а так же доработка ее дополнительным сегментом для включения выключения освещения, при помощи обычных фотодиодов и реле с 5 на 220 вольт. Данная функция необходима для работы системы в ночное время, но при этом нет необходимости устанавливать специализированные дорогостоящие камеры, так как уличная подсветка будет освещать необходимый объект, при этом потребление электроэнергии не будет высоким, так как каждая лампа освещения будет включаться одиночно только при появлении объекта в зоне датчика.

Предполагается, что себестоимость такой платы с 5 датчиками будет не более 1 тысячи рублей, что получается намного дешевле имеющихся подобных систем видеонаблюдения, причем датчики могут быть вынесены далеко от камеры, что позволяет создавать обзор не от здания, а обзор здания со стороны.

Данная плата позволяет уменьшать количество камер видеонаблюдения на больших объектах, а так же экономить средства. Она удобна в обращении, предполагается создания корпуса для данной платы, всего с 4 входами, для питания, и доя самой камеры, что позволяет устанавливать ее даже не специалисту.

Литература.

1. Датчик движения (PIR Motion sensor) HC-SR501. http://digitalchip.ru/datchik-dvizheniya-pir-motion-sensor-hc-sr501

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛА ЭТО ТПУ

Бикинеева А.М.
Научный руководитель: Орлов О.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: bikineeva.am@gmail.com

В постоянно развивающемся мире растет потребность в высококвалифицированных кадрах, которые смогут проявить не только свои профессиональные знания, но и так называемые soft-skills - навыки, направленные на окружающий мир. В Томском Политехническом Университете с 2004 года осуществляется целевая Программа Элитного технического образования (ЭТО ТПУ) в Отделе Элитного образования. Цель элитного технического образования – подготовка специалистов, способных к комплексной исследовательской, проектной и предпринимательской деятельности. В программу элитного образования входят: углубленная фундаментальная подготовка; изучение дисциплин, направленных на развитие навыков проектной командной работы, способности ставить и решать задачи инновационного развития; работа по реализации проблемно-ориентированных проектов [1]. Подготовка подобных профессионалов предполагает использование современных информационных технологий как при непосредственной работе со студентами, так и при самостоятельной работе инициативных групп, организующих образовательные, корпоративные и прочие мероприятия в рамках программы. Следовательно, следует использовать специализированные информационные системы, поскольку по определению, информационная система – это автоматизированная система, предназначенная для организации, хранения, пополнения, поддержки и представления пользователям информации в соответствии с их запросами [2]. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированной информационной системы для сотрудников отдела ЭТО и студентов ТПУ. Таким образом, целью данной работы является разработка, реализация и внедрение информационной системы для отдела ЭТО ТПУ.

Информационная система должна хранить информацию обо всех студентах и сотрудниках, об их достижениях в научной деятельности, о приобретенных и развитых в ходе обучения компетенциях, а также базу интерактивных форм, используемых при подготовке студентов. Кроме того, система должна помогать в развитии личностных качеств, оттачиваемых в ходе корпоративных мероприятий. Поскольку база интерактивных форм (игр и тренингов) очень велика, требуется разработать систему, которая поможет подобрать такие формы, которые в полной мере помогут развить требуемые компетенции. Таким образом, система должна представлять собой базу данных (хранение информации) и экспертную систему (выбор интерактивных форм).

Для решения поставленных задач необходимо:

- проанализировать требования отдела, сформулировать требования к информационной системе;
- спроектировать и реализовать базу данных;
- проанализировать основные факторы, влияющие на развитие компетенций;
- спроектировать экспертную систему;
- протестировать и внедрить информационную систему в информационную систему ТПУ.

Первым этапом разработки было определение требований заказчика (отдела ЭТО). Для администрации отдела наиболее важны следующие функции:

- хранение всей информации о студентах (начиная от подразделения основного обучения и заканчивая информацией о родителях);
- хранение информации о сотрудниках отдела;
- максимально простая и быстрая корректировка списков обучающихся;
- сбор данных об успеваемости и научной активности студентов;
- сбор данных об уровне компетенций студентов и динамике их развития.

Студентам важна возможность:

- хранить и пополнять информацию о своих научных достижениях;
- планировать корпоративные мероприятия;
- хранить информацию о ранее проведенных мероприятиях: сценарии, фотоматериалы и т.п.;
- фиксировать прецеденты;
- оценивать компетенции на основе прецедентов.

Под прецедентами понимаются события на корпоративных мероприятиях, в рамках которых участник проявил какую-либо компетенцию. В прецеденте может принимать участие несколько участников.

На основе определенных требований разработана концептуальная модель базы данных. Модель разделена на логические составляющие, на рисунке 1 представлена часть концептуальной модели, описывающей информацию о принадлежности сотрудников и студентов к структурным подразделениям ТПУ.

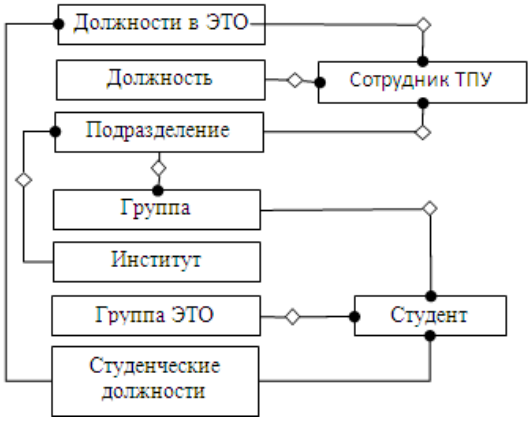


Рис.1. Часть (1) концептуальной модели

Данная часть практически полностью реализована в существующей информационной системе ТПУ, отсутствует информация о внутренних студенческих должностях отдела.

На рисунке 2 представлена часть концептуальной модели, описывающей информацию о корпоративных мероприятиях и развитых в ходе них компетенциях.

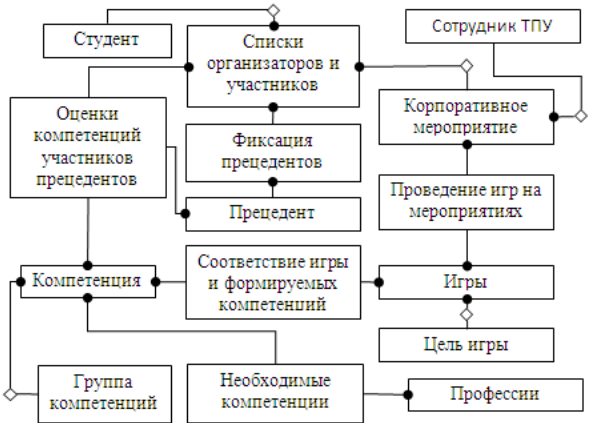


Рис.2. Часть (2) концептуальной модели

Часть (2) будет являться основой для экспертной системы. На основании этих данных будет также производиться сбор статистических данных о студентах, а именно о прогрессе развития компетенций.

На рисунке 3 представлена часть концептуальной модели, описывающей информацию об сотрудников и студентов возможностях на сайте и их участии в научных мероприятиях, таких, как конференции, конкурсы, получение патентов и пр.

Ключевыми во всех трех частях концептуальной модели являются сущности сотрудников и студентов.

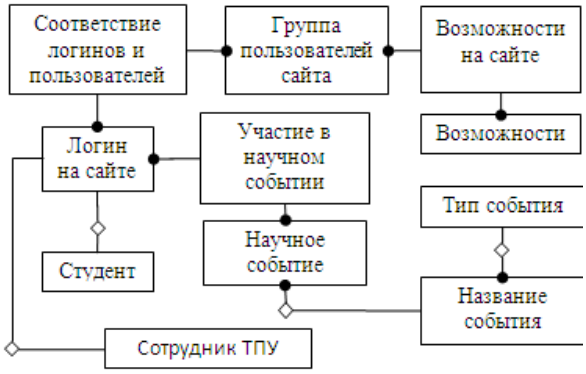


Рис.3. Часть (3) концептуальной модели

Поскольку планируется внедрять разрабатываемую систему в существующую информационную систему ТПУ, была проведена встреча с директором центра «Электронный университет», занимающимся управлением информатизацией университета. По итогам встречи был предоставлен доступ к серверу для разработки системы и определена среда разработки. Управление базой данных осуществляется с помощью Oracle Database.

В настоящее время совместно с группой студентов и сотрудников отдела ЭТО разрабатывается техническое задание к разработке web-интерфейса информационной системы. Кроме того, в группе разработчиков ведется исследование наиболее приемлемого алгоритма принятия решения экспертной системой. Алгоритм учитывает особенности предметной области, а его разработка ведется на основе анализа существующих подходов принятия решения. Основой алгоритма служат такие понятия теории вероятности, как вероятность появления события и несовместные события.

Выполнение работы упростит работу сотрудников отдела и позволит с меньшими временными затратами организовывать корпоративные мероприятия. Студенты получат доступ к информации о приобретенных ими компетенциях и смогут отслеживать свою динамику развития.

Используемая литература

1. Об элитном техническом образовании [Электронный ресурс]// Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет [Офиц. сайт]. URL: http://tpu.ru/initiatives/eto/about-eto/ (дата обращения: 25.01.2014).

2. Понятие информационной системы [Электронный ресурс]// Электронное учебное пособие по курсу «Информационные технологии». Бийский технологический институт [Офиц. сайт]. URL: http://do.bti.secna.ru/lib/book_it/inf_sistem.html (дата обращения: 27.01.2014).

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ

Бояршинова А.С..
Научный руководитель: Шумихин А.Г., д.т.н., профессор
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр. 29
E-mail: boyarshinovaann@gmail.com

Сложные химико-технологические системы характеризуются наличием множества параметров, влияющих на ход процесса, сложными взаимосвязями различных величин, которые трудно описать аналитически, а также наличием чистого запаздывания в каналах регулирования технологических параметров. В состав специализированного программного обеспечения химико-технологических систем включаются приложения, позволяющие реализовать на действующем производственном объекте управляющие функции, повышающие качество процессов управления, для настройки которых требуется идентификация соответствующих каналов передачи «вход-выход» передаточными функциями.

Аналитически или по результатам пассивного эксперимента не всегда можно получить адекватную модель объекта, а проведение активного эксперимента часто невозможно[1].

В докладе рассматривается достаточно простой способ моделирования химико-технологических систем. Предлагается использование нейронных сетей в качестве инструмента для идентификации взаимосвязей технологических переменных автоматизированных объектов.

Нейросетевая модель позволяет провести на ней активные опыты вычислительного эксперимента, которые невозможны на реальном объекте в режиме его эксплуатации, и получить необходимые данные для идентификации каналов объекта передаточными функциями.

С целью иллюстрации метода идентификации проведены исследования на лабораторной установке. Схема лабораторной установки представлена на рис. 1. Объектом является эмулятор печи ОВЕН ЭП10. Эмулятор печи предназначен для проведения экспериментов в процессе наладочных работ с применением терморегуляторов. ЭП 10 выступает в качестве объекта управления и представляет собой миниатюрную печь. В качестве терморегулятора используется измеритель-регулятор технологический ИРТ 5501/М1. Эмулятор печи обдувается воздухом. Температура воздуха измеряется термопреобразователем сопротивления ТС50М. Воздух проходит через сужающее устройство, перепад давления на котором измеряется датчиком МЕТРАН-150. Все параметры регистрируются многоканальным технологическим регистратором РМТ69L.

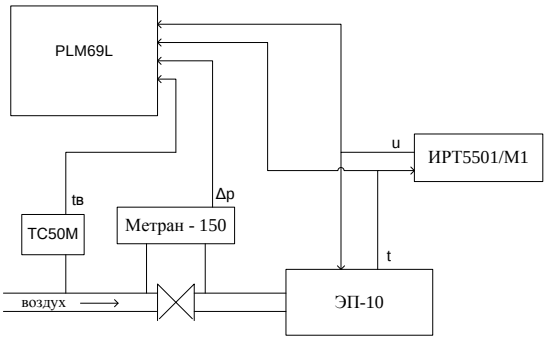


Рис. 1 Схема лабораторной установки

На лабораторной установке проведено два эксперимента. В первом из них получены экспериментальные переходные характеристики объекта по каналам перепад давления(dp), температура воздуха(tв), управляющее воздействие(u) – температура в печи(t). Пример переходной характеристики представлен на рис.2.

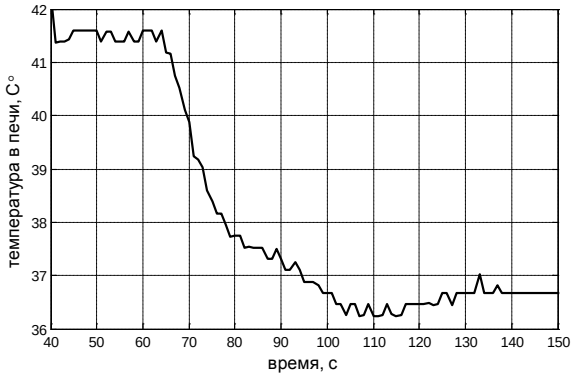


Рис.2. Переходная характеристика по каналу управления.

Управляющее воздействие в виде ступенчатого сигнала изменялось от значения 93,15% до 65,15% в момент времени, равный 61 с. В результате обработки переходной характеристики получены параметры передаточной функции по каналу управления: $k_p = 0.19$; $\tau_{зап} = 5,5$; $T = 8.75$.

Во втором эксперименте получены тренды контролируемого параметра и параметров по каналам возмущений и управляющего воздействия. Фрагмент трендов представлен на рис.3.

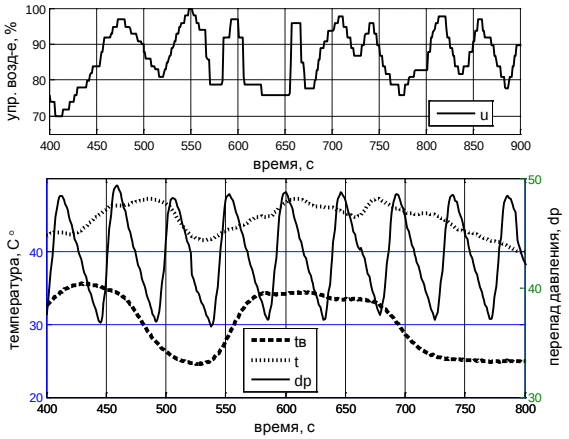


Рис.3. Фрагмент трендов контролируемых параметров.

По наработанным данным была обучена динамическая нелинейная автокорреляционная нейронная сеть, которая является рекуррентной сетью с обратной связью и несколькими внутренними слоями. Сеть имеет три внешних входа, 30 нейронов в скрытом слое и задержки на 10 тактов.

При подаче на соответствующие входы нейросетевой модели периодических испытательных воздействий, получены частотные характеристики моделируемого объекта. Экспериментальная комплексная частотная характеристика для канала передачи управляющее воздействие – температура печи, построенная по результатам опытов на нейросетевой модели, представлена на рис.4.

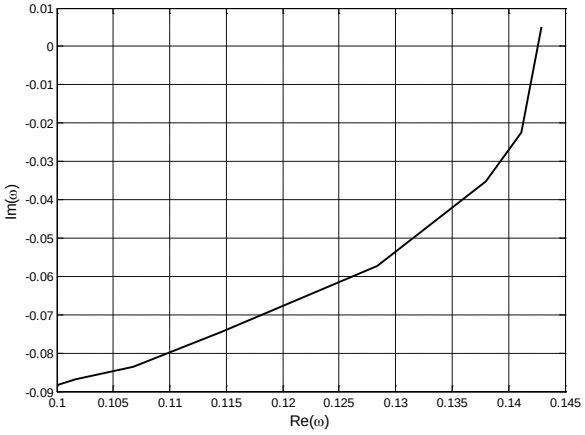


Рис.4. Экспериментальная комплексная частотная характеристика для канала передачи управляющее воздействие – температура печи, построенная по результатам опытов на нейросетевой модели.

Для оценки на всей области исследованных частот параметров канала объекта по результатам эксперимента на нейронной сети составлена аппроксимирующая комплексная частотная характеристика:

$$W^{An}(j\omega_v) = \frac{k_{об} e^{-j\omega_v \tau_{зап}}}{Tj\omega_v + 1} =$$

$$= \frac{k_{об}(1 - Tj\omega_v)}{T^2\omega_v{}^2 + 1}(\cos(\omega_v\tau_{зап}) - j\sin(\omega_v\tau_{зап})) =$$

$$= \frac{k_{об}\cos(\omega_v\tau_{зап}) - k_{об}T\omega_v\sin(\omega_v\tau_{зап})}{T^2\omega_v{}^2 + 1} -$$

$$j\frac{k_{об}\sin(\omega_v\tau_{зап}) + k_{об}T\omega_v\cos(\omega_v\tau_{зап})}{T^2\omega_v{}^2 + 1}$$

Получена функция ошибки, минимум которой дает значения искомых оценок:

$$\Phi(k_{об}, T, \tau_{зап}) = \sum_{v=1}^{n}(\mathrm{Re}^{Э}(\omega_v) - \mathrm{Re}^{An}(\omega_v))^2 -$$

$$\sum_{v=1}^{n}(\mathrm{Im}^{Э}(\omega_v) + \mathrm{Im}^{An}(\omega_v))^2 =$$

$$\sum_{v=1}^{n}(\mathrm{Re}^{Э}(\omega_v) - \frac{k_{об}\cos(\omega_v\tau_{зап}) - k_{об}T\omega_v\sin(\omega_v\tau_{зап})}{T^2\omega_v{}^2 + 1})^2$$

$$-\sum_{v=1}^{n}(\mathrm{Im}^{Э}(\omega_v) + \frac{k_{об}\sin(\omega_v\tau_{зап}) + k_{об}T\omega_v\cos(\omega_v\tau_{зап})}{T^2\omega_v{}^2 + 1})^2$$

Порядок найденных значений оценок параметров канала объекта (kp=0.144; τзап=8,732; T=12,05) близок к значениям оценок параметров полученных путем обработки экспериментальной переходной характеристики (kp=0.19; τзап=5,5; T=8.75). С аналогичной точностью получены результаты и для остальных каналов передачи.

Проведенные исследования с «прозрачными» лабораторными примерами показали, что рассмотренный метод позволяет достаточно точно параметрически идентифицировать объект передаточной функцией. Это является следствием высокой аппроксимирующей способности примененной в качестве нейросетевой модели динамической многослойной рекуррентной нейронной сети с обратной связью, а также корректностью изложенной методики определения параметров передаточной функции объекта по его экспериментальным частотным характеристикам. Метод применим для идентификации сложных автоматизированных технологических объектов управления по данным пассивных наблюдений технологических переменных в режимах их нормальной эксплуатации. Найденные передаточные функции каналов контролируемых возмущений могут быть использованы для настройки алгоритмов компенсации в автоматических системах управления.

Список литературы:

1. Шумихин А.Г., Бояршинова А.С., Орехов М.С. Применение нейросетевых моделей при автоматизированном управлении сложными химико-технологическими системами // Ползуновский вестник. 2012. -№ 3/2. -С. 9-12.

Автор выражает благодарность Орехову Михаилу Сергеевичу и Колыхматову Аркадию Олеговичу за помощь в организации эксперимента.

СРЕДСТВО ОБМЕНА И ПРОСМОТРА ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

Булдыгин Р.А., Цапко С.Г.
Научный руководитель: Цапко С.Г.
Томский Политехнический Университет, 634050, г.Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: buldo@tpu.ru

Все большее влияние на развитие предприятий оказывают современные средства телекоммуникации, компьютерной техники и программного. Тенденция их развития вдет к созданию распределенных кооперацій разно профильных организаций, где основная часть работ распределена между участниками проектной деятельности. В этих условиях ведущую роль играет степень реализации обмена информацией между участниками процесса проектирования, а зачастую и исследования корпоративных производных объектов.

Существующие средства проектирования и исследования, как правило, оперируют трехмерной графической информацией, передача которой через сеть Интернет затруднительна, а зачастую не возможна в связи с большим объемом передаваемых данных. Трёхмерные модели создаются в результате различной человеческой деятельности и для разных целей – от научных экспериментов и разработок в машиностроении до создания компьютерных игр и просто в качестве развлечения.

Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина(РФЯЦ-ВНИИТФ) занимается решением научно-технических проблем разработки и испытания ядерных зарядов и боеприпасов стратегического и тактического назначения, мирного использования ядерной и термоядерной энергии, проведение фундаментальных и прикладных исследований в области газодинамики, турбулентности и физики высоких плотностей энергии. В процессе проведения научных исследований возникала проблема, связанная с эффективность взаимодействия исследователей по электронной почте. Задача заключалась в создании способа демонстрации трёхмерной модели с определённого ракурса в процессе переписки. Изначально в таком случае создавался и отсылался собеседнику снимок экрана с программой, обеспечивающей визуализацию. Однако существенное влияние оказало наличие проблемы низкой информативности подобных снимков – адресат не имел возможности оперативно изменить угол просмотра, приблизить или отдалить модель при необходимости. Была поставлена задача создать открытое веб базированное средство просмотра трёхмерных данных, поддерживающее различные форматы и поддерживающее прямые ссылки на заданные пользователем ракурсы модели.

В первую очередь были рассмотрены технологии, позволяющие отображать трёхмерную графику в браузере. На момент начала работ активно развивались следующие технологии:

- WebGL;
- Adobe Stage 3D;
- Silverlight.

По критериям открытости и перспективности была выбрана технология WebGL. Как показало время именно эта технология получила развитие и распространение.

Использование чистого WebGL подобно использованию чистого OpenGL. То есть при практическом применении для сокращения затрат на разработку необходимо использовать готовый движок. Существует множество WebGL движков. Условно их можно разделить на специализированные и общего назначения. Авторами статьи было предложено использовать движок three.js, изначально позиционировавшийся разработчиками как «научный», предназначенный для визуализации различных экспериментальных данных. На настоящий момент проект развился и позиционируется, как движок общего назначения с максимально высокоуровневым API, максимально простой для разработчиков.

Серверная часть была реализована на языке C#/.Net с использованием фреймворка ASP.NET MVC. Стоит отметить, что существует открытая реализация языка C# и библиотеки .Net, а исходные коды библиотеки ASP.NET MVC открыты с 2009го года. Поэтому использование C#/.Net и ASP.NET MVC не противоречит поставленному требованию открытости системы.

Three.js имеет собственный формат представления 3D моделей. Так же он позволяет писать загрузчики моделей из других форматов. Однако, не смотря на это было принято решение проводить конвертацию файлов моделей непосредственно на сервере, так как такой подход позволяет снизить нагрузку на компьютеры пользователей за счёт проведения конвертации модели всего один раз и с максимальной скоростью. Импорт и конвертация 3D моделей реализована с помощью открытой и кроссплатформенной библиотеки Open Asset Import Library (Assimp), поддерживающей на

данный момент более 41 формата файлов. В данной реализации был использован открытый код, разработанный одним из членов сообщества three.js, реализующий для Assimp поддержку экспорта моделей в специализированный JSON формат библиотеки three.js.

Таким образом при разработке сервиса были использованы только компоненты с открытым исходным кодом.

При разработке была предпринята попытка максимального упрощения пользовательского интерфейса сервиса для улучшения пользовательского опыта.Процесс взаимодействия пользователя с сервисом при первоначальной загрузки модели показан на диаграмме 1.



Диаграмма 1. Взаимодействие пользователя с сервисом

При заходе на главную страницу пользователю предлагается выбрать файл для загрузки на сервис (рисунок 1).

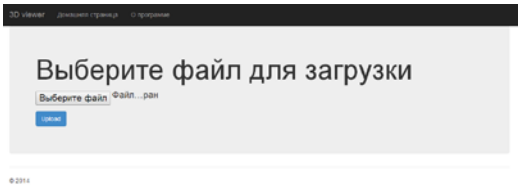


Рис. 1. Главная страница сервиса

После выбора файла и нажатия кнопки загрузки происходит перенаправление пользователя на страницу, отображающую загруженную модель (рисунок 2).

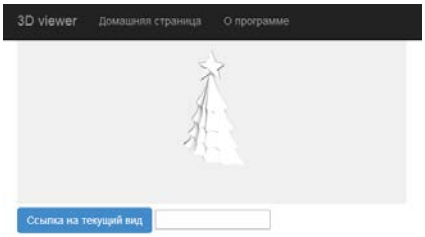


Рис. 2. Просмотр модели

Сервер во время загрузки проводит сохранение исходного файла и его конвертацию в необходимый формат. Таким образом у пользователя остаётся возможность скачивания исходного файла с моделью.

В результате работы был создан прототип системы, позволяющий загружать на сервер файлы моделей, отображать их непосредственно в окне браузера и создавать ссылки на определённые ракурсы модели. В ближайшее время планируется тестовое развёртывание системы в РФЯЦ-ВНИИТФ для сбора отзывав и предложений по удобству работы и функционалу сервиса. На текущий момент система не имеет системы авторизации и разделения прав доступа к загруженным файлам. Так же не реализована возможность скачивания оригинальных файлов моделей. Данные функции планируется реализовать в будущих версиях сервиса.

Кроме того, видны определённые перспективы развития и использования данного прототипа вне стен РФЯЦ-ВНИИТФ - в виду текущего бума развития 3D печати появляется множество сервисов для обмена 3D моделями. Онлайн просмотр моделей может сильно упростить и улучшить взаимодействие пользователей с такими сервисами, однако такой функционал на них отсутствует.

Список используемой литературы:

1. Троелсен Э. Язык программирования C# 5.0 и платформа .NET 4.5// Вильямс – 2013
2. Крокфорд Д. JavaScript. Сильные стороны// Питер – 2013
3. three.js – documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://threejs.org/docs/, свободный
4. STL (формат файла) — Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/STL_(формат_файла), свободный
5. 3D game development for Flash and video games | Adobe Developer Connection [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.adobe.com/devnet/flashplayer/stage3d.html, свободный.
6. ASP.NET MVC. Урок 0. Вступление / Хабрахабр [Электронный ресурс]. – Режим доступа, http://habrahabr.ru/post/175999/, свободный
7. WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.khronos.org/webgl/, свободный

ROBOTIS BIOLOID: НЕСТАНДАРТНЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТА

Булуев И.И.
Научный руководитель: Михайлов В. В.
Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет
ilusha070893@mail.ru

Научно-технический процесс не стоит на месте, новые изобретения появляются ежедневно в разных уголках Земли. Развитие технологий обусловлено тем, что огромное количество задач, требующих особых способов решения, является трудоёмким процессом, и эти задачи невыполнимы силами человека. К таким задачам относятся, например, перенос тяжёлых грузов по заданным траекториям с высокой точностью, применение роботов в космическом пространстве и в местах, недоступных для человека. Робототехника реализует и автоматизирует рутинные и трудоёмкие процессы, показав высокий уровень развития в как промышленных сферах, так и в сферах обслуживания.

К роботам, работающим в сферах обслуживания, предъявляются уже совершенно другие требования, нежели чем к производственным роботам, а именно: дружелюбный дизайн и интерфейс, коммуникабельность, способность распознавать команды, заданные голосом, и автоматически реагировать на внешние воздействия. Кроме того, роботы должны быть безопасными при работе с людьми.

Подготовка будущих специалистов по робототехнике происходит уже со школьного и дошкольного возраста, благодаря получениям базовых знаний. В помощь к этому развитию корейская компания Robotis разработала сборного робота-трансформера Robotis Bioloid, как один из ярких примеров роботов-андроидов.

Учитывая то, что предшественники Robotis – компания LEGO - разработала и внедрила наборы LEGO Mindstorms, развив этим интерес у подрастающего поколения, то робот-Bioloid вызывает будет логическим продолжением изучения школьниками робототехники. Продуктивность обучения на данном наборе высокая, так как он используется в военно-морской академии США как учебное оборудование в курсе машиностроения.

Немаловажную роль играет и факт того, что дети принимают участие во многих соревнованиях по робототехнике (самые знаменитые из них – международные соревнования RoboCup [1]), значит, и программирование данных роботов будет хорошей базовой подготовкой для будущего самих ребят, т.к. оно производится в среде программирования на С-подобном языке.

Определившись с целью научной работы, собрав 2 модели роботов-андроидов, разобравшись в программировании роботов с помощью программного пакета RoboMotion и RoboTask, началось взаимодействие с обучающимися в доме детства и юношества «Факел» г. Томска в рамках целевой программы «Образовательная робототехника».

В результате приобретённого опыта и полученных навыков в программировании роботов, было решено создать совместный проект работы студентов кафедры Интегрированных компьютерных систем Института кибернетики Томского политехнического университета со всеми сферами деятельности ДДЮ «Факел».

Целью создания проекта является совместная творческая деятельность студентов и школьников в конструировании, программировании и реализации взаимодействия роботов из наборов LEGO Mindstorms и Robotis Bioloid. Также, было решено, что, наилучшим способом реализовать данное взаимодействие посредством указанных наборов роботов, будет постановка сцен фрагментов мультфильмов нравоучительного характера, что немаловажно для воспитания подрастающего поколения.

Пересмотрев огромное количество мультипликационных фильмов, были отобраны самые яркие моменты (которые знакомы каждому ребёнку и взрослому). Совместно с педагогами ДДЮ «Факел» было решено, что наилучшим вариантом будет являться постановка фрагментов из мультфильма «Буратино».

Главными действующими лицами являются Буратино, Мальвина, собака Артемон и папа Карло. При чём два первых персонажа будут представлены роботами-Bioloid, а робот-собака и папа Карло собирают школьники из набора LEGO Mindstorms.



Рис. 1. Собранный Robotis Bioloid. Одна из запрограммированных позиций

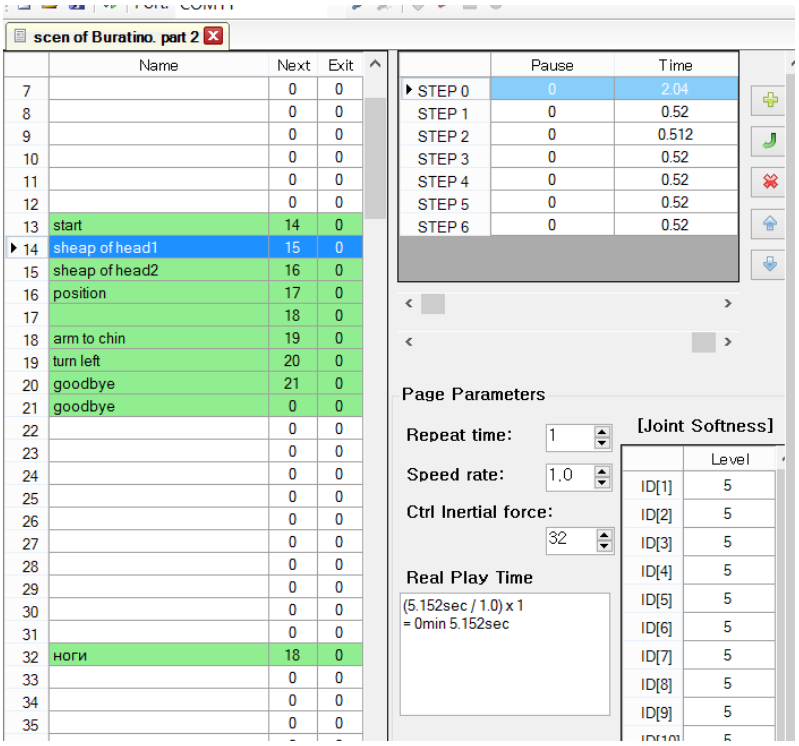


Рис. 2. Часть программного кода Robotis Bioloid, выполняющего роль Буратино

Одним из самых сложных этапов при программировании была реализация передвижений робота, в частности, подбор баланса и нахождения центра масс. Также многие движения невозможно было реализовать из-за ограниченности степеней свободы, а некоторые позиции вызывали перегрузку сервоприводов, в результате чего необходимо было отключать робота и возвращаться к предыдущим этапам, находя иные положения, которые могли бы соответствовать задуманному сценарию.

Все этапы программирования осуществлялись с использованием RoboMotion – программой, являющейся простым способом управления движениями робота, доступной для освоения школьниками. Само программирование заключается, большей частью, в изменении положений сервоприводов конечностей робота и считывание их положения в текущий момент времени. Каждое последующее считывание координат сервоприводов называется шагом (англ. «Step»). После определенного количества шагов, есть возможность воспроизвести движения робота. На каждом запуске программы робот возвращается в исходное положение, после чего исполняет все зафиксированные шаги.

На рисунке 2 приведен пример готовой программы главного героя постановочной сцены – Буратино –, написанной с помощью RoboMotion.

На данный момент полностью поставлены ранее выбранные фрагменты мультфильма «Буратино», решено большое количество задач программирования и позиционирования роботов. Создана площадка для проведения подобного рода показательных выступлений, а также найден нестандартный подход к использованию роботов не только в развлекательных целях, но и их применение в сфере образования. Результаты проделанной работы показывают, что данный подход к применению нового типа роботов-Bioloid во взаимодействии с роботами LEGO Mindstorms, мотивирует обучающихся учреждения дополнительного образования к занятиям робототехникой.

Литература

1. Электронная библиотека: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Robotis_Bioloid. Свободный.

2. Официальный сайт производителя и разработчика (англ.): [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.robotis.com/xe/. Свободный.

3. Интерактивная инструкция по обращению с роботом и сборки: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://support.robotis.com/en/. Свободный.

ШАГАЮЩАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА

Воронин А.А.
Научный руководитель: Александрова Т.В., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: aleksandr_av@bk.ru

Цель работы

Первое, что приходит на ум, когда думаешь над словом робот, это машина, которая имитирует поведение организмов. Люди до сих пор не в состоянии дать роботам достаточно адекватного смысла, чтобы надежно взаимодействовать с нашим миром.

Роботы столкнутся с людьми, которые выполняют работу в слишком опасных и грязных условиях. Эти типы роботов можно найти в автопроизводственной, медицинских и космической промышленности, а другие роботы, как например Mars Rover исследуют места, которые являются слишком опасными и труднодоступными для человека.

Мобильные роботы имеют способность перемещаться в среде, в отличие от стационарных промышленных роботов. И они могут быть классифицированы по их среде обитания – в воде, в воздухе, в земле и т.д. Или по устройству, с помощью чего они двигаются, например: ноги, колеса или гусеницы.

В настоящее время активно развиваются нетрадиционные средства передвижения, например как робот “Hallic II, который может передвигаться с помощью колес, так и с помощью конечностей. Аналогичной необычностью обладает робот “Rayered-X, мультитрансформер разработанный японской компанией Hemiji Soft Japan, может за считанные секунды превратиться из автомобиля в гуманоидного робота и обратно.

Постановка задачи

Основной целью данного проекта является создание платформы гексапод, которая может передвигаться по пересеченной местности, проходить сложные участки ландшафта. Эта платформа будет использована для дальнейшего применения в образовательных целях (для тех, кто заинтересован в изучении Arduino приложений, соревнованиях роботов по различным дисциплинам) и исследованиях (поведение платформы в разные климатических условиях, преодоление местности со сложным ландшафтом).

Гексапод это робот похожий на насекомого, который имеет шесть конечностей, что позволяет ему двигаться гибко на различной местности. В отличие от двуногих роботов, этот робот статически стабильный, поэтому он не должен зависеть от баланса механизмов.

Этот тип робота может использоваться для многих работ в реальной жизни, таких, как поиск и спасание людей, а также в разведке окружающей среды. Очевидно, основным преимуществом этого робота является “живучесть”. Машина является мультинаправленной, то есть не имеет значение, в какую сторону передвигаться, и какие препятствия будут на пути робота.

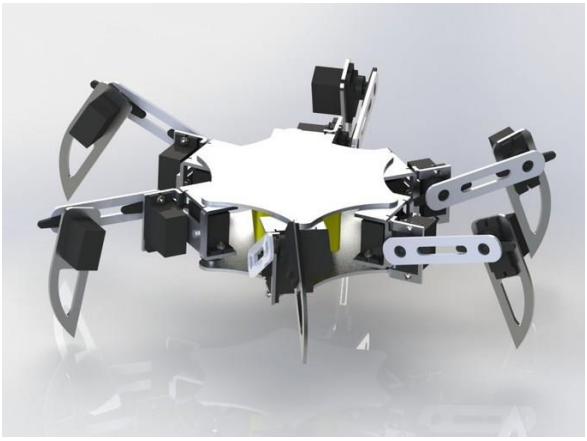


Рис.1 Модель робота

Область применения, полезность.

- этот робот имеет очень перспективное будущее, его можно использовать в военных и в научных целях;
- в армии робот может быть использован, как десантное наступательное оружие, которое легко транспортировать и доставлять в любую точку;
- в науке робот может быть использован для изучения других планет.

Решение

Описание алгоритма

Предусмотрено четыре основных алгоритма передвижения: неадаптивное передвижение, неадаптивное передвижение с выравниванием положения по акселерометру, адаптивное передвижение, адаптивное передвижение с выравниванием положения по акселерометру.

Рассмотрим адаптивный алгоритм передвижения. Адаптивный алгоритм передвижения позволяет расширить возможности перемещения робота по поверхностям с неровным рельефом. Каждое движение ноги состоит из 2 этапов: перемещение в горизонтальной плоскости и перемещение в вертикальной плоскости.

Для перемещения ног в горизонтальной плоскости используются заранее заданные положения ног. Точно также как и при неадаптивном движении, в конфигурационных файлах указываются углы поворота сервоприводов для достижения определенного состояния. Перемещение ног по вертикали вверх осуществляется также как и в предыдущем случае, по описанным в конфигурационных файлах значениям.

Перемещение ног по вертикали вниз происходит адаптивно, согласно принципу останова.

При дальнейшем совершенствовании данного алгоритма, в случае если после адаптивного опускания ног по принципу останова ноги не достигла поверхности, необходимо добавить принцип нащупывния поверхности. Если поверхность после горизонтального поиска (нащупывния поверхности) так и не будет достигнута, происходит вырабатывание сигнала об отсутствии поверхности для данной ноги. Если после окончания передвижения данный сигнал поступил более чем с 3 ног, то движение робота завершается.

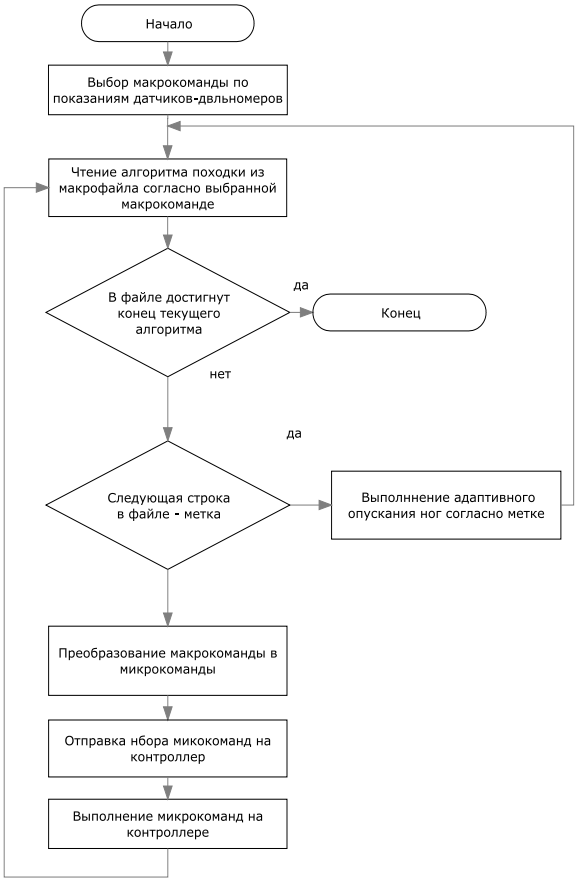


Рис.2 Блок-схема адаптивного алгоритма передвижения

Принцип останова

Принцип останова лежит в основе адаптивного опускания ног робота. Принцип останова заключается в том, что робот будет опускать ноги до тех пор, пока они не достигнут поверхности или не опустятся в крайнее нижнее положение. В алгоритме данного метода робот на каждом шаге опускает ноги на минимальную величину коррекции и затем считывает показание датчиков касания. Если нога не достигла поверхности, опускание ноги происходит заново. В случае, если поверхность достигнута или нога опущена в крайнее нижнее положение, опускание прекращается.

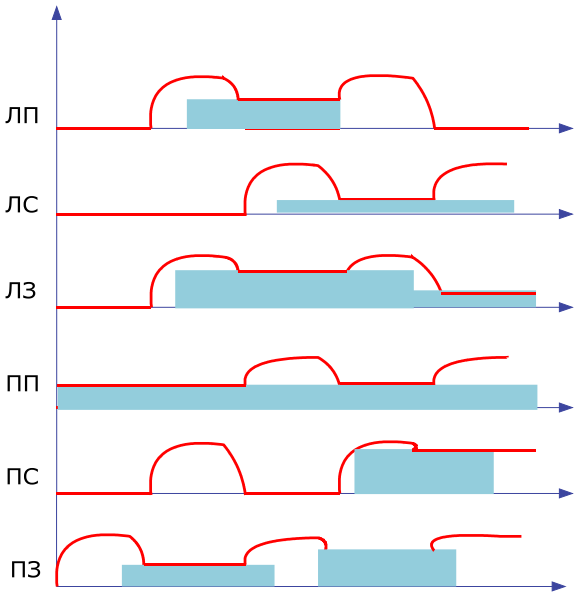


Рис.3 Циклограмма алгоритма походки 3+3 с принципом останова

Выводы

Результаты проведенных исследований доказали и подтвердили целесообразность использования шагающих мобильных платформ с адаптивным управлением и принципом останова.

Литература

1. Афанасьев О.А., Гендель В.С., Зимин А.В. Шагающие машины Теория Механизмов и Машин. 2005. №1. Том 3

2. Буданов В.М. Алгоритмы планирования движений шестиногого шагающего аппарата , 2005г

3. Тимонов А.В. Разработка алгоритмов управления шестиногим шагающим аппаратом "Катарина" на основе заданных походок 2002г.

4. Чернышев В.В. Методы расчета и проектирования шагающих движителей циклового типа мобильных робототехнических систем, 2008г.

5. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К.И. Алгоритмы: построение и анализ. — М.: «Вильямс», 2006.-357с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ФТОРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОМ СТЭ-1Э

Гладырь Е.М., Денисевич А.А.
Научный руководитель: Денисевич А.А., ассистент
Томский политехнический университет, 63405, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: denisevichaa@tpu.ru

Фтор – один из самых активных элементов периодической таблицы Д.И. Менделеева и образует соединения со всеми элементами. С рядом органических соединений он дает весьма ценные продукты, которые находят широкое применение в целом ряде отраслей народного хозяйства [1]. Для лабораторных целей фтор получают в экспериментальных электролизёрах малой производительности. Главной задачей при управлении такими электролизёрами является поддержание заданной температуры расплава электролита в автоматическом режиме.

Объектом исследования является среднетемпературный экспериментальный электролизёр СТЭ-1Э, который будет использоваться в ОАО ВНИИХТ г. Москва.

Математическая модель фторного электролизера представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих тепловые процессы, происходящие в экспериментальном среднетемпературном фторном электролизере на всех стадиях его работы. Необходимость решения полученной системы дифференциальных уравнений объясняется необходимостью получения параметров электролизера как объекта управления, которые используются в дальнейшей работе для создания системы автоматического регулирования температуры электролита.

Для точного составления математического описания тепловых процессов следует наиболее детально разобраться со всеми стадиями работы экспериментального электролизера в процессе производства фтора.

Первая стадия включает в себя разогрев электролита до начальной для процесса электролиза температуры, которая составляет примерно 80 °С. Это происходит посредством разогрева электролита ТЭНами. Вторая стадия работы установки включает в себя разогрев электролита до оптимальной температуры, необходимой для производства фтора путём среднетемпературного электролиза, которая составляет приблизительно 105 °С [1]. Нагрев происходит за счёт самого процесса электролиза при пропускании через электролит тока в 1 кА. Третья стадия работы электролизера включает в себя охлаждение электролита, в случае превышения оптимальной температуры. Охлаждение производится посредством продувки воздуха вентилятором через внутреннее пространство рубашки, окружающей внешнюю поверхность ванны для электролиза.

В аналитическом виде передаточные функции всех процессов установки выглядят следующим образом, с учетом рассчитанных запаздываний в системе:

$$W_1 = \frac{0{,}08}{18000s+1};$$

$$W_2 = \frac{0{,}0104}{9150s+1};$$

$$W_3 = \frac{-145}{22500s+1}.$$

где W_1 – передаточная функция, описывающая процесс разогрева электролита от комнатной температуры до 80 ^{0}С под воздействием трубчатых электрических нагревателей; W_2 – передаточная функция, описывающая процесс разогрева электролита от 80 ^{0}С до 105 ^{0}С под воздействием электрического тока; W_3 – передаточная функция, описывающая процесс охлаждения электролита, в случае превышения его температуры благоприятной отметки в 105 ^{0}С под воздействием электрического тока и вентилятора.

Основная сложность проектирования САУ температурой электролита заключается в том, что в зависимости от значения температуры электролита (выходной координаты САР) изменяется передаточная функция объекта управления (экспериментального электролизера). Изменение передаточных функций происходит на двух пороговых значениях, а уставка по температуре задается изначально одна 105 ^{0}С. Соответственно объект представляет собой сложную структуру, матрицу-столбец из трех передаточных функций: стартового разогрева электролита, разогрева электролита до благоприятной для среднетемпературного электролиза температуры и охлаждения электролита. Передаточные функции переключаются в зависимости от сигнала рассогласования, формирующегося на основе разности уставки по температуре и значения температуры электролита в текущий момент времени.

Подобная сложность имеется и в проектировании регулятора. Каждая из передаточных функций объекта управления (СТЭ-1Э) имеет свой регулятор с конкретными настройками. Соответственно, регулятор представляет собой сложную структуру – совокупность из нескольких простых ПИ-

регуляторов, которые переключаются между собой в зависимости от сигнала рассогласования.

В ходе проектирования необходим блок, управляющий регулятором, который в зависимости от сигнала рассогласования формирует управляющий сигнал на блок регулирования.

Функциональная схема разработанной САР представлена на рис. 1.

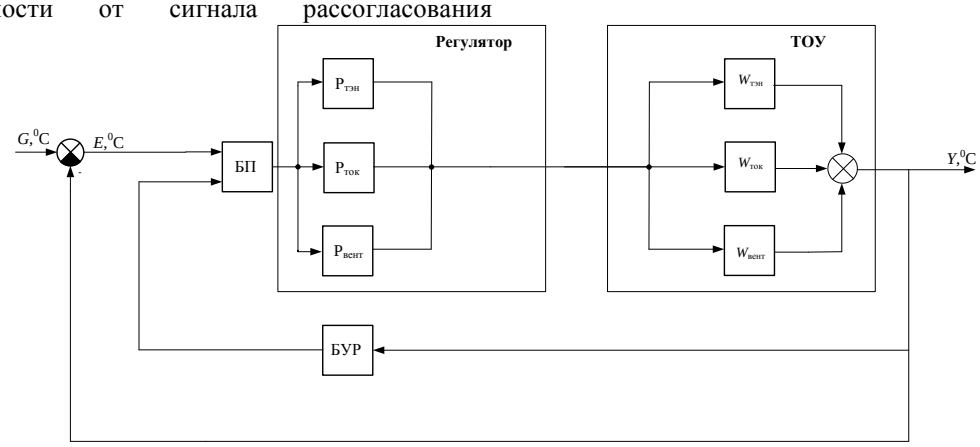


Рис.1. Функциональная схема САР температуры: *G* – уставка по температуре; БП – блок переключения регуляторов; $Р_{тэн}$, $Р_{ток}$, $Р_{вент}$ – регуляторы; БУР – блок управления регулятором; $W_{ТЭН}$, $W_{ВЕНТ}$, $W_{ток}$ – передаточные функции объекта в различные моменты времени; *G* – уставка; *E* – сигнал рассогласования; УС – управляющий сигнал; *Y* – выходной сигнал; ЛС – логический сигнал управления.

Реализована данная система была в вычислительном пакете MatLab/Simulink. Использования данного вычислительного пакета объясняется его высокими вычислительными способностями, простотой и структурированностью интерфейса библиотеки стандартных блоков Simulink.

Исследуемая САУ рассматривалась в трёх вариантах: все регуляторы – ПИД-типа, все регуляторы – ПИ-типа, все регуляторы – релейные (двухпозиционные).

Для ПИ- и ПИД-регуляторов параметры настройки определялись по методу оптимального модуля.

Для каждого варианта рассматриваемой САР были получены переходные процессы замкнутой системы на управляющее воздействие (рис.2).

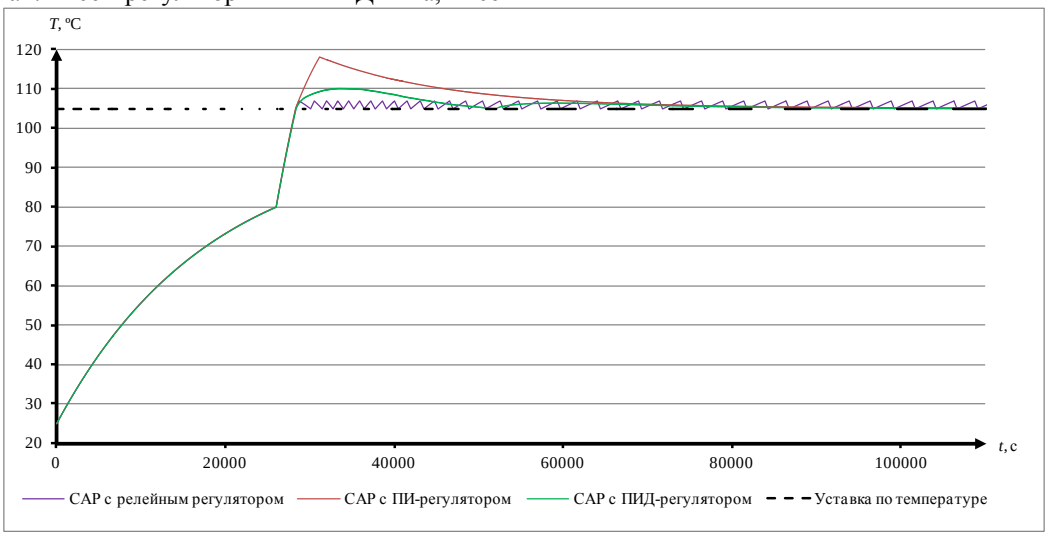


Рис.2. Переходные процессы замкнутой на управляющее воздействие.

По полученным переходным процессам были рассчитаны показатели качества САР сделан вывод, что наилучшим качеством управления обладает система с релейными регуляторами.

Полученные результаты исследований будут использованы при проектировании, настройке и эксплуатации АСУ экспериментальным среднетемпературным фторным электролизёром СТЭ-1Э в ОАО ВНИИХТ г. Москвы.

Литература:

1. Галкин Н.П., Крутиков А.Б. Технология фтора. – М.: Атомиздат, 1968. – 188 с.

2. Ливенцова Н.В. Диссертация по теме «Система автоматизированного управления среднетемпературным электролизёром производства фтора». – ТПУ, 2008.

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ, МОДЕЛИРУЮЩИХ РЕКУРРЕНТНУЮ НЕЙРОННУЮ СЕТЬ, ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Горемыкина Д.С., Немировский В.Б.
Научный руководитель: Немировский В.Б., к.ф.-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: goremykina2008@mail.ru

Сегментация является важным этапом в большинстве задач компьютерного зрения и обработки изображений. Известно много методов сегментации изображений, представленных в градациях серого цвета [1]. Часто применяются методы, основанные на кластеризации. В основном, это различные варианты метода k-средних, успешность применения которых ограничена требованием предварительной информации о числе кластеров. В [2] для сегментации таких изображений предложен метод кластеризации, не требующий никакой информации о числе кластеров. Более того, число кластеров определяется автоматически. В настоящей работе была предпринята попытка расширить предложенный в [2] алгоритм на задачу сегментации полноцветных изображений.

Особенность переноса метода кластеризации, описанного в [2], на сегментацию полноцветных изображений связана с тем, что цвет каждого пикселя представляется как сочетание трех его компонентов в выбранной модели цветового пространства (RGB, HSI, YUV и др.). Эти три компонента могут быть как полностью однородными (три базовых цвета в модели RGB), так и неоднородными (яркость и два компонента, связанные с цветом в ряде моделей). Выбор модели цветового пространства определяет, какие компоненты цвета пикселя подвергнуть кластеризации, и как использовать результаты кластеризации для формирования цвета пикселей обработанного изображения.

В настоящей работе для представления цветного изображения выбрана модель цветового пространства RGB, которая нашла широкое применение в технике. Обычно она используется для вывода изображений, получаемых с фотокамер, сканеров и подобных устройств, на экран монитора или телевизора. В этом пространстве любой цвет является смесью трёх базовых цветов разной яркости. При использовании RGB-модели можно выполнить кластеризацию каждого из цветовых компонентов, а затем, учитывая результаты кластеризации базовых цветов, смешать их так, как этого требует модель пространства RGB, для получения результирующего цвета в сегментированном изображении.

Как и в [2], кластеризация проводилась с помощью моделирования рекуррентной нейронной сети на основе одномерных отображений [3] вида:

$$x_{n+1} = f(x_n),$$

где x – входное значение сигнала нейрона (яркость монохромного компонента пикселя изображения), $f(x)$ – сигмоидальная активационная функция нейрона, $n = 1, 2, \ldots$ – номер итерации отображения входного значения. Одномерные отображения указанного вида реализуют локальную обратную связь каждого нейрона сети, изображенной на рис.1.

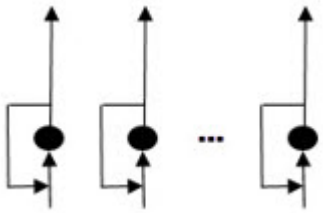


Рис. 1 Структура моделируемой нейронной сети

Процесс отображения позволяет выделить кластеры близких по яркости каждого компонента значений пикселей изображения.

Одна особенность описанной в [2] модели сети в том, что все входные нейроны используют активационную функцию с одними и теми же параметрами, что эквивалентно обработке входных сигналов (яркостей пикселей полутонового изображения) на одном нейроне с такой же активационной функции. Эта особенность позволит, при необходимости, распараллелить обработку параметров изображения.

Вторая особенность заключается в том, что процесс сегментации, описанный в [2], включает несколько шагов. На каждом шаге на входы нейронов сети подаются значения яркостей пикселей, полученные в результате кластеризации и дальнейшего усреднения по кластерам значений предыдущего шага.

Для проверки возможности сегментации полноцветных изображений с помощью описанной выше модели был проведен ряд численных экспериментов. При этом потребовалось модифицировать процесс сегментации. Был использован алгоритм, в котором на каждом шаге сегментации независимо друг от друга подвергались кластеризации все три компонента выбранной модели цветового пространства. После кластеризации разные значения компонентов заменялись усредненным по каждому кластеру. Затем новые значения компонентов использовались для формирования цвета пикселя в соответствии с моделью RGB. Этим завершался шаг.

Для определения условий завершения процесса многошаговой сегментации на каждом шаге подсчитывалась энтропия H распределения значений цветового компонента по полученным кластерам $H = -\sum_i p_i \log_2 p_i$, где $p_i = N_i/N$; N_i – количество значений компоненты, попавшей в i–й

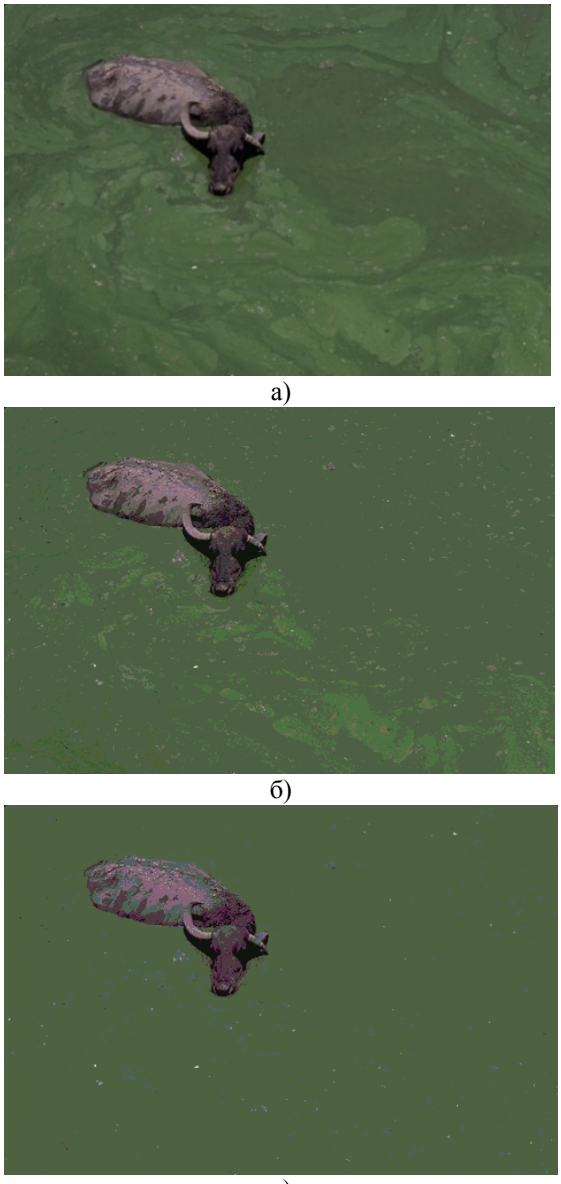
кластер; N – общее количество всех значений компоненты. Суммирование проводилось по всем кластерам, выделенным при отображении входного значения нейрона на его активационной функции. После завершения шага вычислялась суммарная энтропия распределений кластеризованных компонентов, и полученное значение сравнивалось со значением предыдущего шага. Когда вычисленная разница становилась меньше заданного порога, сегментация завершалась. При этом на каждом шаге получалось сегментированное изображение с различной степенью сегментации.

Для проведения численных экспериментов была разработана программа, включающая модуль предобработки изображения, модуль кластеризации и модуль сегментации полноцветных изображений в модели RGB, реализующие описанный алгоритм.

Проведенные эксперименты показали различное действие сегментации на разные классы исходных изображений. Наибольший интерес, на наш взгляд, представляет воздействие сегментации на цветные изображения, содержащие протяженные участки, близкие по цвету. В результате сегментации такие участки превращаются в практически однородный фон, на котором хорошо выделяются другие объекты. Обработанное таким образом изображение содержит, по сравнению с исходным, значительно меньше второстепенных объектов. Это обстоятельство может, например, значительно упростить задачи генерации и селекции классификационных признаков, которые являются важными этапами решения задачи распознавания образов [4].

На рис. 2 представлены результаты сегментации цветного изображения такого типа в RGB пространстве.

Хорошо просматривается динамика выделения больших однородных участков в изображении на разных шагах процесса. Финальное изображение, фактически, представляет собой исходную заготовку для проведения операции распознавания образа.



а) б) в)

Рис. 2. Многошаговая сегментация цветного изображения: а) исходное изображение, б) шаг 1, в) шаг 4

Выводы

1. Моделирование рекуррентной нейронной сети на основе одномерных отображений позволяет выполнять кластеризацию компонентов полноцветных изображений в цветовом пространстве RGB, которая используется для формирования сегментированного изображения.
2. Многократная последовательная кластеризация с использованием усреднённых на каждом шаге значений компонент позволяет получать последовательность пошаговых сегментированных изображений.
3. Сегментация изображений, содержащих близкие по цвету протяженные участки в цветовом пространстве RGB, превращает такие участки в практически однородный фон, на котором хорошо выделяются другие объекты. В таких случаях сегментация может существенно упростить в дальнейшем операцию распознавания образов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Немировский В.Б., Стоянов А.К. Сегментация изображений с помощью рекуррентной нейронной сети // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321 - №. 5 - С. 205-210
3. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики. М.: Изд-во ЛКИ, 2007, 312 с.
4. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов, курс лекций. – МГУ, кафедра «Математические методы прогнозирования», 2002-2004. – 85 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТАМИ ЭТО ТПУ

Гуляева К.В.
Научный руководитель: Орлов О.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: gulyaeva.kv@gmail.com

В образовательном процессе вуза необходимо использовать инновационные технологии образования, формирующие конкурентоспособную, самостоятельную, мобильную, востребованную на рынке труда личность. В список технологий, которые раскрывают конструкторские, проектировочные, творческие возможности студента, входит проектное обучение [1].

Целью проектного обучения в Томском политехническом университете является развитие мотивации и подготовка к комплексной проектной инженерной деятельности, начиная с базового и заканчивая продвинутым уровнем проектирования. Подготовка осуществляется посредством интеграции результатов обучения по отдельным дисциплинам/модулям, а также формирование базовых знаний и комплекса умений, необходимых для решения задач инженерной деятельности. Формирование компетенций, заложенных в проектах, происходит на разных этапах проектного обучения. Данные компетенции соответствуют целям основных образовательных программ (ООП). В Томском политехническом университете (ТПУ) проектное обучение предусматривает различные виды, уровни сложности и формы организации, занимает важное место в учебном процессе. Методом обучения и видом контроля достижений студента является выполнение проектов и их защита [2].

Проектное обучение в университете рекомендуется внедрять во все виды учебной деятельности студентов. Формы проектирования определяются содержанием учебной дисциплины, степенью подготовленности студентов, запланированными результатами и компетенциями. В результате будущий выпускник при освоении технологии работы в команде и работы над проектом мотивирован на понятный в профессиональном плане и по назначению результат, который в дальнейшем оценивается.

На младших курсах бакалавриата и специалитета при ведении проектов базового уровня главной задачей является формирование общекультурных компетенций (ОК) таких как способность работать с информационной базой, способность к письменной и устной коммуникации, развитие лидерских качеств, умение эффективно работать индивидуально и в команде, выполнение различных заданий, развитие способности проявлять инициативу и т.д. В пределах освоения изученных дисциплин начинают формироваться профессиональные компетенции (ПК). Проектная деятельность осуществляет усиление мотивации обучающихся младших курсов к выбору профиля/специализации в рамках своего направления. Формирование ПК происходит при выполнении проектов в магистратуре и на старших курсах бакалавриата [3].

В Томском политехническом университете в процессе проектирования эффективной образовательной среды и организации проектной деятельности возникла потребность в системе оценки компетенций студентов, их достижений, а также в проведении сравнительного анализа профессионально-личностных портретов студентов.

Целью данной статьи является создание информационной системы (ИС) для организации проектной деятельности при подготовке технических специалистов и ее дальнейшего внедрения как рабочего инструмента в процессе обучения по траектории Элитного технического образования Томского политехнического университета.

Для достижения поставленной цели:

1) выработаем общие требования к созданию ИС;

2) приведем состав ИС и осуществим его описание;

3) произведем описание системы Joomla, с помощью которой производится разработка ИС.

Состав ИС можно представить в виде совокупности модулей. Схема модулей ИС, представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема модулей ИС.

В состав проектируемой ИС входит ряд модулей.

Модуль 1. Единая база существующих проектов.

Модуль 2. Экспертная система по работе с новичками в проектной деятельности. Назначением данной системы является составление плана проектного обучения пользователя на основании его ответов на вопросы системы;

Модуль 3. Онлайн-инструмент для управления проектами, совместной работы и постановки задач по проектам:

- сервис постановки задач и отслеживание сроков;
- хранилище данных;
- организация проектной документации: заполнение дневника проекта, запись прецедентов;

Модуль 4. Сервис, содержащий систему оценки профессиональных и личных качеств. Ведение записи прецедентов позволит организаторам оценивать степень участия студентов в мероприятии и уровень развития компетенций;

Модуль 5. Информационный блок, предоставляющий сведения о ведении проектной деятельности, объявления и сообщения об организующихся мероприятиях. Модуль позволит пользователям-студентам следить за обновляющейся информацией, ознакомиться с основами проектирования и существующими проектами;

Данная ИС будет реализована на базе CMS Joomla. Система Joomla является свободным программным обеспечением, содержит в себе ряд инструментов для разработки веб-сайта. Особенность системы - наличие набора функций, который дополняется в процессе работы пользователем. Выделим основные возможности CMS Joomla:

- Возможность увеличивать функциональность, применяя дополнительные расширения (модули, компоненты, плагины).
- Наличие модуля безопасности, производящего многоуровневую аутентификацию пользователей и администраторов (используется собственный алгоритм аутентификации и «ведения» сессий).
- Система шаблонов дает возможность с легкостью изменять внешний вид сайта или создавать свой уникальный. Готовые шаблоны существуют в сети в большом объеме, платные и бесплатные.
- Наличие настраиваемых схем расположения модулей. Они включают правый, левый, центральный и любые другие произвольные положения блока.
- Возможность самостоятельного написания всех модулей, компонентов, плагинов и шаблонов, размещение их в структурированном каталоге расширений или осуществление редактирования существующего расширения по своему усмотрению.
- Возможность создания своих ключевых слов и описания всех динамических страниц для повышения рейтинга в поисковых системах.
- Начало и окончание публикации любых материалов можно отмечать по календарю.
- Наличие различных модулей (последние новости, счётчик посещений, подробная статистика посещений, гостевая книга, форум и другие) [4].

Таким образом, CMS Joomla содержит в себе ряд возможностей для разработки ИС.

Проектируемая ИС позволит создать площадку, объединяющую в себе набор функций для работы над студенческими проектами с теоритическими основами, познакомить студента с инструментами ведения проектной деятельности. Данные инструменты облегчают процесс реализации проектов в предметных областях, в которых студенты производят проектирование.

Список литературы

1) Гузеев В.В. Планирование результатов образования и образовательная технология. М.: Народное образование, 2000.

2) Мозгалева П.И., Замятина О.М. Технология проектной работы в системе элитной подготовки технического специалиста в ТПУ. – Москва: Научное обозрение: гуманитарные исследования, №4, 2012, с. 6-14.

3) Мозгалева П. И., Гуляева К. В., Замятина О. М. Информационные технологии для оценки компетенций и организации проектной деятельности при подготовке технических специалистов. Москва: Информатизация образования и науки, №4, 2013, с. 30-46.

4) Joomla [Электронный ресурс]: ru.wikipedia.org/wiki/Joomla (Дата обращения 21 февраля 2014)

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ АППАРАТА КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

Дериглазов А. А., Криницын Н.С.
Научный руководитель: Криницын Н.С.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: daa424@yandex.ru

В настоящее время ядерная энергетика вступила в новую фазу своего развития. В мире утвердилось отношение к атомной промышленности как к надежному и дешевому источнику производства электроэнергии.

Потребление топлива в атомной энергетике ежегодно возрастает, что требует увеличения количества производимого топлива и, соответственно, увеличение производственных мощностей и производительности предприятий ядерного топливного цикла, в том числе Сублиматного завода (СЗ) ОАО «Сибирского химического комбината».

В настоящее время на СЗ ОАО «СХК» реализовано производство гексафторида урана путем прямого фторирования оксидов урана. Структурная схема ПГУ существующего производства приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Структурная схема действующего ПГУ

Узел фторирования, основу которого составляет пламенный реактор, предназначен для получения гексафторида урана путем высокотемпературного фторирования урансодержащих компонентов поступающих со стадии улавливания (закись-окись U_3O_8, уранилфторид UO_2F_2 и тетрафторид UF4). Полученный газообразный гексафторид урана, в составе технологического газа на выходе ПР, поступает в узел десублимации, где происходит конденсация гексафторида урана [1].

Далее технологический газ поступает в АКТ, где происходит улавливание ценных компонентов «хвостового» газа (фтор F_2, фтористый водород HF, гексафторид урана UF_6) на закиси-окиси урана.

Замкнутость производства по твердофазным компонентам обеспечивается импульсным пневмотранспортом, который организует перегрузку полупродуктов из камерных питателей АКТ в бункер загрузки ПР. Согласованность загрузок твердофазных компонентов в аппараты ПР и АКТ в настоящее время обеспечивается в ручном режиме. Для синтеза системы управления организующей автоматический режим расчета загрузки закиси-окиси урана в АКТ требуется разработка математической модели горизонтальной части АКТ. Данная модель позволит произвести параметрический синтез алгоритма согласования загрузок в аппараты ПР и АКТ.

Анализ регистрируемых переменных, характеризующих количество полупродукта на входе и выходе горизонтальной части выявил частоту вращения шнека загрузки АКТ и показания весоизмерительных устройств камерных питателей АКТ (рис. 2).

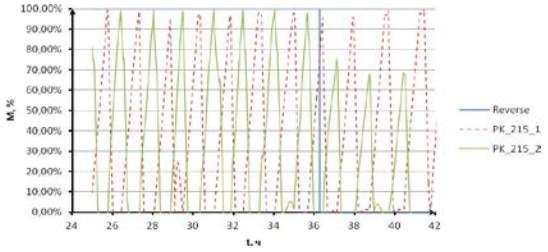


Рис. 2. Показания весоизмерительных устройств камерных питателей АКТ

Из рисунка 2 видно, что работа горизонтальной части аппарата приемлема как при прямом, так и при инверсном вращении барабана мешалки. Об этом свидетельствует непрерывное наполнение камерных питателей, независящее от направления вращения барабана мешалки.

Данная особенность позволяет судить о том, что вращение барабана мешалки приводит к выравниванию профиля распределения по высоте полупродукта внутри аппарата. Отталкиваясь от конструкционных особенностей аппарата (рисунок 3), было сделано допущение о том, что идеальное перемешивание полупродукта происходит на интервале Δl рисунка 3, что соответствует 150 мм. Это связано с разной направленностью лопастей мешалки на рассматриваемом интервале.

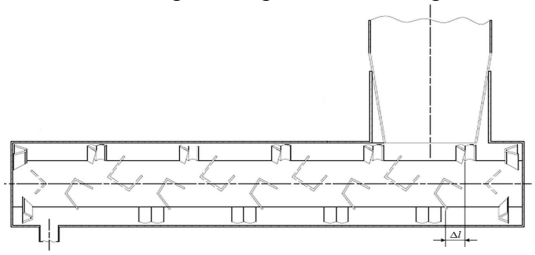


Рис. 3. Горизонтальная часть АКТ

Принятое допущение позволяет составить систему двух уравнений основанных на модели идеального смешения, описывающее перемешивание внутри интервала Δl рисунка 3[2].

$$\begin{cases} \dfrac{dM_1^k}{dt} = \left(M_2^k - M_1^k\right) \Big/ 2 \cdot T_{\text{меш.}} \\ \dfrac{dM_2^k}{dt} = \left(M_1^k - M_2^k\right) \Big/ 2 \cdot T_{\text{меш.}} \end{cases}, \quad (1)$$

где k = UO_2, UO_3, UO_2F_2, UF_4; M_1^k, M_2^k – мас-

са *k*-го компонента в *i*-ой ячейке, кг; $T_{\text{меш}}$ – постоянная времени мешалки.

Полученная экспериментально на математической модели зависимость постоянной времени от частоты вращения вала мешалки, для зависимости (1) выглядит следующим образом:

$$T_{\text{меш.}} = \frac{60}{3 \cdot N_{\text{меш.}}}. \qquad (2)$$

Уравнение (2) было получено путем подбора коэффициента при множителе $60/N_{меш}$, соответствующему времени одного оборота барабана мешалки, при котором достигается полное перемешивание двух соседних ячеек.

Итоговая система уравнений, описывающая распределение полупродукта по горизонтальной части представлена выражением:

$$\begin{cases} \dfrac{dM_1^k}{dt} = \left(M_2^k - M_1^k\right) \Big/ 2 \cdot T_{\text{меш.}} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \dfrac{dM_i^k}{dt} = \left(M_{i-1}^k + M_{i+1}^k - 2 \cdot M_i^k\right) \Big/ 2 \cdot T_{\text{меш.}} \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \dfrac{dM_{39}^k}{dt} = \left(M_{38}^k - M_{39}^k\right) \Big/ 2 \cdot T_{\text{меш.}} \end{cases},$$

Для составления математического описания горизонтальной части, она была описана 38 ячейками шириной 75 мм и одной крайней ячейкой, ширина которой равна 70 мм. Принцип разбиения горизонтальной части АКТ на ячейки отражен на рисунке 4.

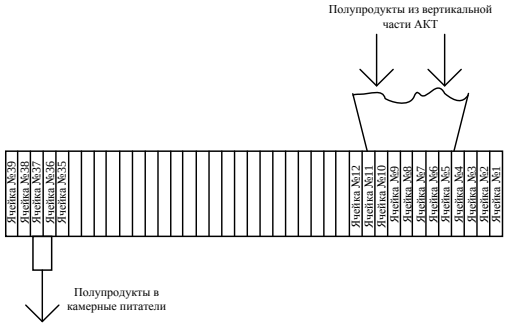


Рис. 4. Принцип разбиения горизонтальной части АКТ на элементарные ячейки

Проведение исследований составленной модели горизонтальной части АКТ проводились в пакете Matlab.

В ходе исследования модели производилось сопоставление графиков переходных процессов полученных с помощью разработанной модели и полученных из реальных производственных трендов. Рассматривались участки производственных данных, в которых происходило опустошение горизонтальной части АКТ (рис. 5). При этом среднеквадратичное отклонение (Sn) результатов моделирования от производственных данных составило 6,5% [3].

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x - x_i\right)^2}{n}}$$

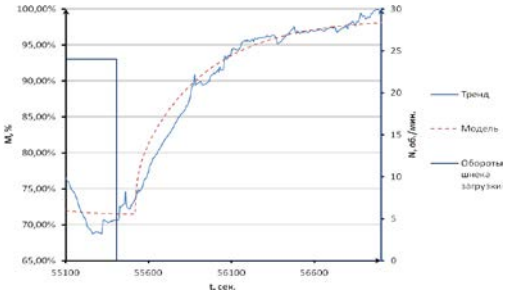


Рис. 5. Динамика изменения показаний весоизмерительных устройств камерных питателей при опустошении горизонтальной части АКТ

С помощью разработанной математической модели АКТ рассчитано распределение полупродукта по длине аппарата при номинальном режиме работы существующей оксидной технологической линии производства гексафторида урана.

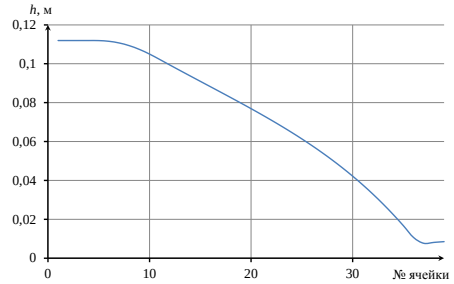


Рис. 6. Распределение полупродукта по ячейкам модели

Из приведенного графика 6 видно, что при номинальном режиме работы производства уровень полупродукта максимален в зоне загрузки горизонтальной части и не превышает 12 см. Стоит отметить, что в центральной части аппарата, уровень ниже 7 см.

Результатом проведенной работы является динамическая математическая модель горизонтальной части АКТ, адекватность которой была доказана сопоставлением расчетных данных с производственными. Разработанная модель будет использована при синтезе алгоритма согласования загрузок твердофазных компонентов в аппараты ПР и АКТ ПГУ.

Список литературы

1. Байдали С.А. Система автоматизированного управления комплексом аппаратов фторирования и улавливания производства гексафторида урана: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.

2. Слинько М. Г., Бесков В. С., Скоморохов В. Б., и др. Методы моделирования каталитических процессов на аналоговых и цифровых вычислительных машинах. – Новосибирск. Наука, 1972.

3. Лисьев В.П. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие/МЭСИ. – М., 2006.

АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЫЛЕПИТАТЕЛЯ ТЭЦ

Доронкин Д.Ю., Буркатовская Ю.Б.
Научный руководитель: Буркатовская Ю.Б., к.ф-м.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: paranamix2@mail.ru

Введение

В современной промышленности большое внимание уделяется таким аспектам отрасли, как экономия энергоресурсов, безопасность производства и экология. В связи с этим при решении современных задач автоматизации предпочтение отдается передовым, технологичным и высокоинтеллектуальным системам. Данные системы способны не только поддерживать технологический процесс в нормальном состоянии, но и реагировать на экстремальные ситуации, предотвращая тем самым аварии и отклонения регулируемых параметров от нормы.

Автоматизация процесса получения тепловой энергии занимает значительное место среди мероприятий по экономии топлива в системах теплоснабжения. Актуальной задачей является разработка автоматов и систем автоматического управления такого важного технологического объекта, как паровой котел [1].

В данной работе будет рассмотрен один из возможных способов оптимизации процесса подачи угольного топлива в топочную камеру котла – применение нечеткого регулятора (НР) как основного звена системы управления технологическим процессом. Целью данной работы является внедрение нечеткого регулятора в систему автоматического управления (САУ) электроприводом пылепитателя и разработка алгоритма его настройки.

Описание моделируемой САУ

Упомянутая ранее динамическая САУ представляет собой многокаскадную систему стабилизации выходного регулируемого параметра, состоящую из преобразователя частоты (ПЧ), асинхронного двигателя (АД), внутреннего контура с обратной связью по скорости, внешнего контура с обратной связью по температуре. Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

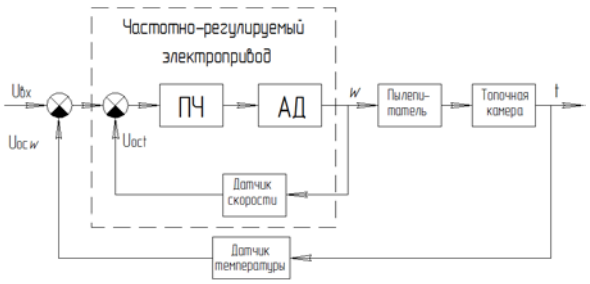


Рис. 1. Структурная схема САУ

Задающим сигналом является входное напряжение на обмотке АД, регулируемым параметром – угловая скорость вращения АД.

Математическое описание моделируемой САУ

Для проведения этапа моделирования необходимо математически описать моделируемую систему. Данный этап можно разбить на следующие подзадачи [2]:

- определение передаточных функций отдельных элементов и замкнутой системы;
- расчет коэффициентов и постоянных времени для передаточных функций;
- синтез функциональной схемы САУ.

При моделировании системы не будем учитывать внешний контур. Таким образом, мы сможем перейти от многокаскадной системы к системе с одним контуром регулирования, что упростит моделирование на начальном этапе.

Исход из математического описания ПЧ, его передаточная функция:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{\omega_0}{U_y} = k_n$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость двигателя;
kп – коэффициент передачи ПЧ;
Uy – напряжение управления;

Передаточная функция асинхронного двигателя состоит из электромагнитной и механической составляющих [3]:

$$W_{АДЭ}(p) = \frac{\beta_e}{1 + T_э p} \qquad W_{АДМ}(p) = \frac{1}{1 + T_м p}$$

где β_e – модуль жесткости естественной характеристики АД;
$T_э$ – электромагнитная постоянная времени;
$T_м$ – электромеханическая постоянная времени;

Передаточная функция преобразователя скорости в обратной ветви имеет вид безынерционного звена:

$$W_{ОСW}(p) = k_{осW}$$

Передаточная функция прямой ветви системы имеет вид:

$$W_{ПВ} = W_{ПЧ} * W_{АДЭ}$$

Передаточная функция замкнутой по контуру скорости системы имеет вид:

$$W = \frac{W_{ПВ}}{1 + W_{ПВ} * W_{ОСW}} = \frac{W_{ПЧ} * W_{АДЭ}}{1 + W_{ПЧ} * W_{АДЭ} * W_{ОСW}}$$

Механическую составляющую передаточной функции АД представим как возмущающее воздействие, т.к. необходимо поддерживать постоянное значение выходной величины в независимости от величины нагрузки. На рисунке 2 представлена функциональная схема САУ.

Схема собрана в ППП Matlab.

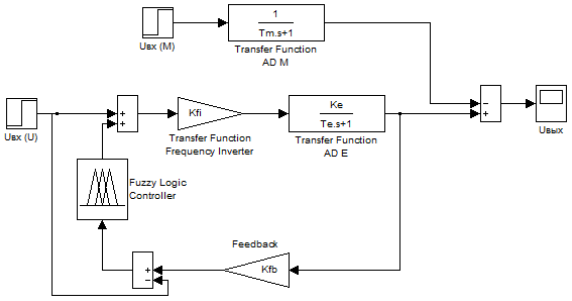


Рис. 2. Схема динамической САУ с нечетким регулятором

Настройка нечеткого регулятора

Выполнить настройки НР в ППП Matlab можно вызвав редактор настроек командой fuzzy в главном окне программы. В редакторе настроек необходимо [4]:

1. Указать лингвистические переменные, в данном случае сигнал рассогласования на входе нечеткого контроллера ε и выходное управляющее напряжение U_y.
2. Указать диапазоны определения значений переменных. Диапазон выставляется таким образом, чтобы охватывал все возможные значения для переменной.
3. Определить терм множества для лингвистических переменных. Для ε используем множество из трех термов Tε={отрицательная (NegE), , «нулевая (Ne)» «положительная (PosE)»}, для U_y – множество из трех термов U_y={«положительное (PosU)», «нулевое (Nu)», «отрицательное (NegU)»}.
4. Выбрать функции принадлежности для термов. Функции принадлежности зададим виде кусочно-линейных функций. Для крайних термов в виде Z и S образных функции принадлежности, а для средних значений в виде треугольной формы.

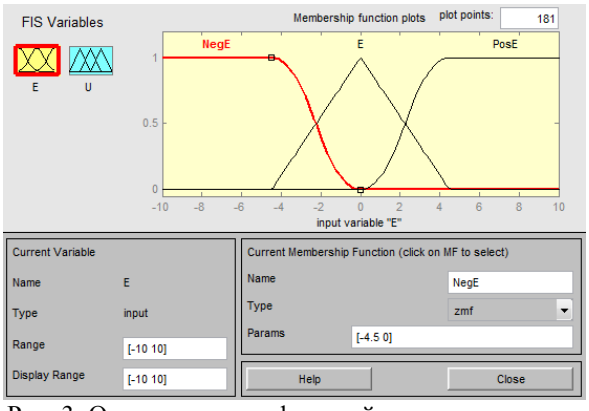


Рис. 3. Окно редактора функций принадлежности

Функции принадлежности располагаются таким образом, чтобы они перекрывали друг друга. Чем больше перекрытие, тем выше степень принадлежности смежных функций принадлежности, и тем большей мерой элементы универсального множества соответствуют свойствам нечеткого множества.

5. Создать базу правил нечеткого вывода:

ПРАВИЛО 1: ЕСЛИ «отрицательная ошибка» ТО «отрицательное управляющее воздействие»;

ПРАВИЛО 2: ЕСЛИ «нулевая ошибка» ТО «нулевое управляющее воздействие»;

ПРАВИЛО 3: ЕСЛИ «положительная ошибка» ТО «положительное управляющее воздействие».

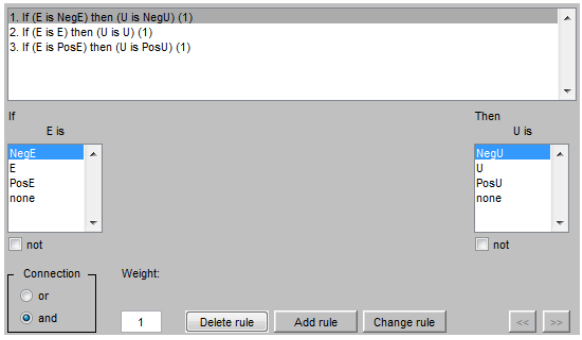


Рис. 4. Вид редактор правил нечеткого вывода

Заключение

Разработанный алгоритм настройки НР позволяет по шагам определить переменные входа и выхода, диапазон значений, функции принадлежности их термов, а также определить базу правил, в соответствии с которой будут реализованы принципы регулирования САУ. Использование нечеткой логики позволяет в независимости от характера возмущающего воздействия и значений параметров звеньев САУ стабилизировать выходное значение в поддерживаемом диапазоне регулирования.

При моделировании многокаскадной САУ сложность законов автоматического регулирования многократно растет. В связи с этим применение нечеткой логики будет рациональным решением, т.к. принципы его настройки позволяют модифицировать управление САУ в независимости от степени сложности ее построения.

Применение НР позволяет отойти от традиционных законов коррекции САУ, таких, как применение корректирующих звеньев и ПИД-регуляторов.

Список использованной литературы

1. Теория автоматического управления в примерах и задачах – А.А. Клавдиев, СПб: СЗТУ, 2005 – 74 с.
2. Руководство по проектированию систем автоматического управления – В.А. Бесекерский, М.: Высш. Школа, 1983 – 296 с.
3. Теория систем автоматического регулирования – В.А. Бесекерский, Е.П. Попов, Изд.: Наука, 1972 – 768 с.
4. MATLAB 7 – И. Ануфриев, СПб:БХВ-Петербург, 2005 – 1104 с.

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ СЛОЖНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Доронкин Д.Ю., Медведев Е.А., Кудинов А.В.
Научный руководитель: Кудинов А.В., к.т.н.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: paranamix2@mail.ru

Введение

Ввиду слабой освещенности принципов управления качеством программного продукта, в странах бывшего СССР сложилось определенное отношение к тестеровщику, как к роли второго плана, а к тестированию – как к конечному этапу разработки системы. Такая ситуация не соответствует современным реалиям и требует пересмотра и управление качеством должно стать непрерывным процессом на всех этапах жизненного цикла программного обеспечения (ПО). В связи с этим возникают серьезные вопросы. Как сократить расходы и повысить качество программного продукта? Какую часть бюджета выделить на тестирование и к чему приведет сокращение расходов на управление качеством? Какие ресурсы команды потребуются? Какие инструментальные средства надо использовать?

В сфере разработки ПО успешность компании определяется ее прибылью. В связи с этим, можно поставить главный вопрос: какую часть бюджета и кадровых ресурсов необходимо выделить для построения эффективного процесса управления качеством разрабатываемого продукта и как данный процесс повлияет на конечную прибыль?

Управление качеством требует систематического применения методов повышения качества, которое стало бы неотъемлемой частью процесса разработки. На сегодняшний день не существует универсальной модели управления качеством ввиду следующей зависимости: чем больше количество вариантов использования системы, тем сложнее ее протестировать.

В данной работе будут предложены решения проблемы контроля качества ПО, способствующие оптимизации процесса тестирования. Предлагаемые решения основаны на опыте работы команды разработчиков сложной распределенной информационной системы.

Описание рассматриваемой информационной системы

Система представляет собой корпоративную геоинформационную систему управления непрерывным производством компании по добыче полезных ископаемых, выполняющую широкий спектр задач: сбор, хранение, обработка, анализ, ввод-вывод, интеграция данных; ведение графиков и журналов; планирование работ и формирование производственных отчетности; мониторинг технологических процессов и др.

Система предоставляет удобный интерфейс пользователя, имеет многоуровневую сложную модель данных, развернутую на трех удаленных друг от друга серверах, объединенных системой репликации данных. Управление качеством такой системы затратный и трудоемкий процесс из-за большого количества возможных вариантов ее использования и обрабатываемых данных [1].

Основные проблемы управления качеством на примере рассматриваемой системы

Рассматриваемая геоинформационная система работает с непрерывным потоком данных, многие из которых не могут быть доступны разработчикам. В связи с этим, компании, осуществляющей разработку и сопровождение системы, необходимо иметь собственную тестовую среду, имитирующую «боевой сервер». Для этого необходимо ежедневно развертывать актуальную базу данных (БД) как разработчикам, так и тестеровщикам. Данная процедура в зависимости от объема БД и мощности сервера может занимать до 30-40 минут. На настройку параметров уходит около 10 минут, время ожидания развертывания занимает до 25 минут. Эти цифры можно отнести к потерям, т.к. специалист не способен решать задачи в этот временной отрезок. Тестеровщики часто развертывают актуальную версию БД более двух раз в день, что автоматически удваивает для них время бездействия. В зависимости от количества работающих сотрудников и уровня их заработной платы можно подсчитать, что убытки на время простоя составят достаточно крупную сумму.

Разработка масштабной распределенной системы требует грамотного планирования и организации работы. Помимо выполнения поставленных руководителем задач необходимо в непрерывном режиме фиксировать изменения в разрабатываемом проекте, ошибки и пожелания пользователей, контролировать процесс их устранения/выполнения, организовать централизованную среду ведения диалога между участниками команды разработки с доступом к документации и рабочим элементам проекта.

Как показывает практика, далеко не всегда данные задачи решаются своевременно, тогда, как при правильном планировании можно существенно сэкономить время и структурировать процесс разработки.

Еще одной важной проблемой при разработке ПО можно выделить отсутствие непрерывного тестирования требований к системе. Поскольку

чаще всего каждый разработчик несет ответственность за свою часть системы, необходимо тестировать как каждый блок по отдельности, так и работоспособность всей системы, т.к. при интеграции блоков в единую систему могут проявиться дефекты. При их своевременном обнаружении имеется возможность систематизировать исправление однотипных ошибок в разных частях программы, что сократит трудозатраты на разработку и позволит исключить их появление в будущем.

Предлагаемые решения поставленных проблем управления качеством

Одним из основных решений имеющихся проблем в области управления качеством ПО является использование специализированных инструментов разработки. По мнению экспертов в области контроля качества, таких как М. Мескон Д. Эванс [2], использование специализированного инструментария и структуризация процесса тестирования позволяет достичь максимального эффекта управления качеством. Идеи экспертов легли в основу концепции Test-drive development (TDD – разработка через тестирования), разработанной Кентом Беком. Данная техника разработки ПО является одним из ярких примеров достижения высокого уровня качества разрабатываемого продукта при соблюдении установленных заранее принципов.

Однако внедрение TDD накладывает определенные затраты по ресурсам и времени, которые может себе позволить не каждая компания. В связи с этим было решено оптимизировать управление качеством за счет использования специализированных средств разработки, таких как Team Foundation Server (TFS).

TFS позволяет: автоматизировать развертывание среды тестирования; обеспечить непрерывный диалог между всеми участниками команды разработки; обеспечить доступ к задачам проекта; организовать процесс фиксирования статуса работы по рабочим элементам (задачи, ошибки, заявки).

Данное решение позволяет существенно экономить затраты на выпуск продукта. Если в разработке задействовано 15 человек, в тестировании – 3, а максимальное время простоя достигает 25 (для тестеровщиков – 50) минут в сутки, то верхнюю границу экономии временных ресурсов можно оценить в:

$$\frac{15 \text{ сотрудников} * 25 \text{минут} * 22 \text{ рабочих дня}}{480 \text{ рабочих минут в день}} = 17 \text{ рабочих дней, для разработчиков}$$

$$\frac{3 \text{ сотрудника} * 50 \text{минут} * 22 \text{ рабочих дня}}{480 \text{ рабочих минут в день}} = 6 \text{ рабочих дней, для тестеровщиков}$$

Суммарная экономия составляет до 23 человеко/дней в месяц.

Кроме этого, TFS упрощает взаимодействие разработчика и тестеровщика, предоставляет удобный интерфейс для работы с проектом. Автоматизирование некоторых видов работ позволяет тестеровщику перераспределить свое рабочее время.

Во-первых, тестеровщик может участвовать в планировании проекта наравне с разработчиками. Это позволяет изначально сформировать свое видение разрабатываемой системы, принципы ее работы, определить возможные слабые места в разрабатываемой системе и уделить им особое внимание при тестировании, а также начать процесс тестирования параллельно разработке.

Во-вторых – взять на себя часть организационных работ: распределение обязанностей между разработчиками, документирование рабочих элементов. Тем самым тестеровщик не только управляет качеством ПО, но и структурирует процесс разработки, что упрощает работу всей команды.

Изначальное представление о разрабатываемой системе позволяет тестеровщику управлять качеством параллельно этапу разработки. Данный подход к управлению качеством позволяет находить и исправлять ошибки практически сразу после их обнаружения. Это удобно как для разработчика, допустившего ошибку, которому не нужно спустя определенное количество времени возвращаться на несколько этапом назад для исправления «старого бага», так и для других разработчиков, знающих природу ошибки.

Своевременное обнаружение, исправление и систематизация ошибок позволяет существенно сократить трудозатраты на разработку ПО и повысить качество минимизацией возможного количества дефектов.

Заключение

Применение предложенных решений по контролю качества разрабатываемого продукта существенно сокращает затраты на производство и сопровождение программных продуктов. Внедряются современные инструменты работы с проектом, повышается квалификацию тестеровщика за счет его внедрения в процесс проектирования разрабатываемой системы.

Работа выполнялась по тематике госбюджетной НИР № 4.1316.2014 в рамках государственного задания «Наука».

Список использованных источников

1. Проблемы автоматизации производства газодобывающих компаний: монография – А.В. Кудинов, Н.Г. Марков, Томск: изд-во ТПУ, 2012 – 247 с.

2. Управление качеством: учебное пособие – Д. Еванс, Изд.: Юнити-Дана, 2007 – 672 с.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СО СЛОЖНЫМ ФОНОМ

Друки А.А.
Научный руководитель: Спицын В.Г., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: druki2008@yandex.ru

Введение

Задача распознавания автомобильных номерных знаков на изображениях казалось бы уже давно изучена, но по прежнему является актуальной из-за сложности реализации и низкой эффективности применяемых алгоритмов. Основные трудности состоят в том, что алгоритмы распознавания должны быть устойчивыми к различным искажениям и шумовым помехам.

Процесс распознавания символов на изображениях со сложным фоном целесообразно разделять на несколько этапов:

1. Предварительная обработка изображения.
2. Выделение пластины автомобильного номерного знака.
3. Выделение отдельных символов.
4. Распознавание символов.

Многие соверменные методы распознавания используют этап предварительной обработки изображений, направленный на устранение, шумовых эффектов и прочих искажающих факторов. Всё это усложняет процесс реализации подобных систем, делая их более громоздкими и тем самым увеличивая общее время процесса распознавания.

Так же наличие посторонних объектов на изображениях со сложным фоном существенно снижают надежность распознавания методами, используемыми в современных системах распознавания символов на изображениях и видеопоследовательностях [1].

Поэтому было предпринято разработать метод который не требует предварительной обработки изображений.

Анализ методов выделения и распознавания объектов на изображениях показал, что для решения данной задачи эффективно использовать искусственные нейронные сети, так как они не требуют предварительной обработки изображения, слабо чувствительны к искажениям входного сигнала, тем самым увеличивая скорость и точность распознавания в сравнении с другими методами.

Разработка сверточной нейронной сети для выделения области расположения символов на изображениях

Для решения задачи выделения области расположения символов было решено использовать сверточные нейронные сети, т.к. они являются более устойчивыми к различным поворотам, смещениям, изменениям масштаба и прочим искажениям, в отличие от классических нейронных сетей и прочих методов.

Разработана сверточная нейронная сеть, состоящая из 7 слоёв (рис. 1).

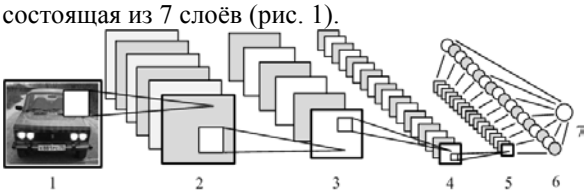


Рис. 1. Архитектура свёрточной нейронной сети для выделения области расположения символов:
1) вход; 2, 4) сверточные слои;
3, 5) подвыборочные слои;
6, 7) слои из обычных нейронов

Разработанная нейронная сеть состоит из двух сверточных слоёв, двух подвыборочных слоёв и двух слоёв, состоящих из простых нейронов.

В соответствии с выбранной активационной функцией (1) выходной слой состоит из одного нейрона, который принимает значения в интервале [–1;+1].

Активационная функция гиперболический тангенс:

$$f(a) = A\tanh(Sa). \quad (1)$$

Нейронная сеть сканирует входное изображение и в местоположениях автомобильных номеров отклики нейронной сети образуют значения, стремящиеся к +1.

Формула нейрона сверточного слоя:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \sum_{s=1}^{K}\sum_{t=1}^{K} w_{k,s,t}\, x^{((i-1)+s,(j+t))}. \quad (2)$$

Формула нейрона подвыборочного слоя:

$$y_k^{(i,j)} = b_k + \frac{1}{4} w_k \sum_{s=1}^{2}\sum_{t=1}^{2} x^{((i,j)+s,(i,j))}. \quad (3)$$

Для обучения сети используется алгоритм обратного распространения ошибки. Для измерения погрешности обучения используется средняя квадратичная ошибка:

$$E = \frac{1}{2}\sum_j\sum_s \left(y^s{}_j - d^s{}_j\right)^2. \quad (4)$$

Коррекция параметров сети рассчитывается на каждой итерации, чтобы вычисления градиента и выбора оптимального шага [4].

В качестве весовых коэффициентов устанавливаются случайные значения.

Для обучения сети была создана база данных из 1000 изображений автомобильных номерных знаков, расположенных под разными углами.

Выделение отдельных символов с помощью гистограмм средней интенсивности

Для выделения отдельных символов используется вычисление гистограмм средней интенсивности пикселей. Сначала происходит вычисление горизонтальных гистограмм для выделения строки символов, а потом вертикальных гистограмм для выделения отдельных символов.

Область расположения символов сканируется попиксельно слева направо, сверху вниз, при этом вычисляется средняя интенсивность пикселей в каждом столбце. В тех местах, где нет символа, средняя интенсивность будет значительно отличаться от интенсивности тех мест, где символы присутствуют.

Далее строятся вертикальные гистограммы и вычисляются максимальные котоыре соответствуют промежуткам между символами. Таким образом, выделяются области расположения отдельных символов на автомобильном номерном знаке.

Разработка сверточной нейронной сети для распознавания символов на изображениях

Для распознавания выделенных символов была разработана сверточная нейронная сеть с 4 скрытыми слоями (рис. 2).

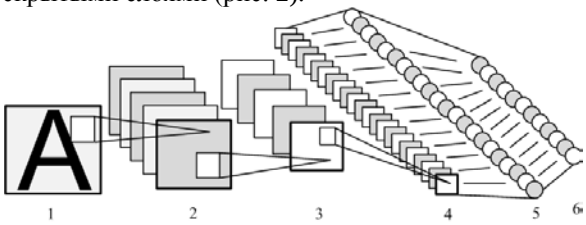


Рис. 2. Архитектура свёрточной нейронной сети для распознавания символов: 1) вход; 2, 4) сверточные слои; 3) подвыборочный слой; 5, 6) слои из обычных нейронов

Разработанная нейронная сеть состоит из двух сверточных слоёв, одного подвыборочного слоя и двух слоёв, состоящих из простых нейронов.

Выходной слой состоит из 21 нейрона, т.к. согласно ГОСТ Р 50577-93 автомобильные номерные знаки могут содержать символы: А, В, Е, К, М, Н, О, Р, С, Т, Х, У и все цифры от 0 до 9.

В качестве активационной функции используется гиперболический тангенс (1).

Формула нейрона свёрточного слоя (2).

Формула нейрона подвыборочного слоя (3).

Для обучения сети так же используется алгоритм обратного распространения ошибки. Для измерения погрешности обучения используется средняя квадратичная ошибка (4).

Для обучения сети была использована база из 60000 изображений рукописных цифр (MNIST) и создана база из 20000 изображений букв, написанных под разными углами и с различными искажениями. Размер тестирующей выборки – 10000 символов.

Заключение

В На основе представленных алгоритмов выделения и распознавания символов разработана программная система, которая обеспечивает вероятность распознавания символов на изображениях со сложным фоном не менее 98%, при следующих условиях регистрации:

- время обработки: 30 миллисекунд;
- высота символов не менее 12 пикселей;
- освещенность пластины номерного знака в диапазоне от 50лк до 1000лк;
- угол отклонения пластины номерного знака по горизонтали относительно регистрирующего устройства до $\pm 60^{\circ}$;
- угол отклонения пластины номерного знака по вертикали относительно регистрирующего устройства до $\pm 65^{\circ}$;
- угол поворота пластины номерного знака на плоскости до $\pm 20^{\circ}$.

Список литературы

1. Буй Тхи Тху Чанг, Фан Нгок Хоанг, Спицын В.Г. Алгоритмическое и программное обеспечение для классификации цифровых изображений с помощью вейвлет-преобразования Хаара и нейронных сетей // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 5. – С. 103–106.

2. Bolotova J.A., Spitzyn V.G., Fomin A.E. The hierarchical temporal memory model application for image recognition // News of Tomsk Polytechnic University. – 2011. – V. 318. – № 5. – P. 60–63.

3. Kermani Kolankeh A., Spitzyn V.G., Hamker F. The finding parameters and remove the constant component of Gabor filter for image processing // News of Tomsk Polytechnic University. – 2011. – V. 318. – № 5. – P. 57–59.

4. Hansen D.W., Hansen J.P., Nielsen M. Eye typing using Markov and active appearance models // Workshop on applications of computer vision. − 2002. – V. 12. − P. 132−136.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРИЛОЖЕНИИ К ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ ГЛУБИНЫ С СЕНСОРА KINECT

Дусеев В.Р., Рудь М.Н, Мальчуков А.Н.
Научный руководитель: Мальчуков А.Н., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vagiz.d@gmail.com

Введение

Фильтр Калмана широко используется в качестве инструмента фильтрации данных. Основной его принцип состоит в том, что при фильтрации используется информация о физике самого явления (рис. 1).

Целью данной работы является исследование возможностей фильтра Калмана при фильтрации данных, поступающих от сенсора глубины Kinect.

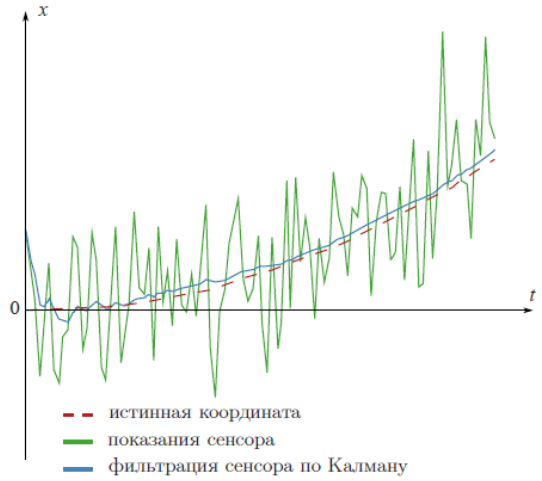


Рис. 1. График демонстрирующий применение фильтра Калмана в одномерном случае.

Основной проблемой поступающих от сенсора данных является непрерывное мерцание изображения (рис. 2). Связано это с неточностями работы алгоритма заложенного в SoC PS1080, который используется в сенсоре Kinect.

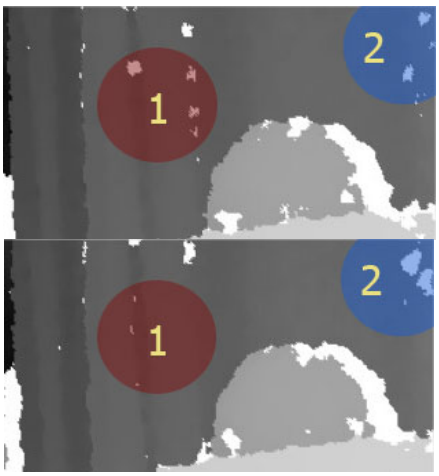


Рис. 2. Иллюстрация проблемы мерцания случайных пикселей. Показаны различия в 2-х областях на последовательных кадрах.

В работе приведены математические выкладки, оптимизирующие фильтр Калмана для поставленной задачи подавления мерцания.

Алгоритм Калмана

Довольно часто в жизни случайные величины распределены по Гауссу, когда плотность вероятности равна $p(x) \sim e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$. Математическое ожидание $M\xi$ для Гауссова распределения равно μ.

Допустим, что глубина точки изменяется по неизвестному пока для нас закону $f(t)$:

$$d_{k+1} = d_k + f(t). \quad (1)$$

Сенсор Kinect пытается измерить истинную глубину d_k точки, и, конечно же, мерит её с ошибкой η_k, которая является случайной величиной. Поэтому с сенсора мы получаем ошибочные данные с помехами:

$$z_k = d_k + \eta_k \quad (2)$$

Задача состоит в том, чтобы, зная неверные показания сенсора z_k, найти хорошее приближение для истинной глубины точки d_k. Это приближение мы обозначим как d_k^{opt}.

Таким образом, известно следующее:

- $f(t)$ – некий закон, контролирующий эволюцию системы;
- Ошибка сенсора η_k является случайной величиной. Закон её распределения не зависит от времени (от номера итерации k);
- Математическое ожидание ошибки равно нулю: $M\xi = 0$ [1];
- Сам закон распределения случайной величины неизвестен, но известна её дисперсия σ_η^2;

Используя эти данные, мы стремимся получить наиболее близкое значение к реальной глубине точки d_k.

Предположим, что на -ом шаге мы уже нашли отфильтрованное значение сенсора d_k^{opt}, которое хорошо приближено к истинной глубине точки d_k. Зная уравнение (1), ещё не получая значение с сенсора, мы можем предположить, что на $k+1$ шаге система эволюционирует согласно этому закону, и сенсор покажет что-то близкое к $x_k^{opt} + f(k)$. С другой стороны, на $k+1$ шаге нам известно неточное показание сенсора z_{k+1} из уравнения (2).

Идея Калмана состоит в том, что получить наилучшее приближение к истинному значению можно, выбрав золотую середину между

неточным показанием сенсора z_{k+1} и нашим предсказанием значения $x_k^{opt} + f(k)$. Показанию сенсора мы дадим вес K, а предсказанному значению сопоставим вес $(1-K)$:

$$d_{k+1}^{opt} = K \cdot z_{k+1} + (1-K) \cdot (d_k^{opt} + f_k). \quad (3)$$

Коэффициент K называют коэффициентом Калмана. Он зависит от шага итерации, но пока мы это опускаем. Мы должно выбрать коэффициент Калмана таким, чтобы получившееся оптимальное приближение d_{k+1}^{opt} было наиболее близко к истинное глубине точки d_k. К примеру, если сенсор глубины очень точный, мы будем больше доверять его показанию и сопоставим значению z_{k+1} больший вес (коэффициент Калмана K близкий к единице) [2]. В противном случае придётся больше ориентироваться на предсказанное значение.

Чтобы найти точно значение коэффициента Калмана, необходимо минимизировать разницу между истинным и полученным оптимальным значением:

$$e_{k+1} = d_{k+1} - d_{k+1}^{opt}.$$

Перепишем это выражение, используя уравнения (1), (2) и (3):

$$\begin{aligned} e_{k+1} &= (d_k + f_k) - Kz_{k+1} - (1-K)(d_k^{opt} + f_k) \\ &= (1-K)(d_k + f_k) - K\eta_{k+1} - (1-K)(d_k^{opt} + f_k) \\ &= (1-K)e_k - K\eta_{k+1}. \end{aligned}$$

Однако однозначного подхода к определению того, что считать минимальной ошибкой или разницей, не существует. Выберем самый простой для расчёта критерий и будем минимизировать математическое ожидание квадрата ошибки:

$$M(e_{k+1}^2) \to min.$$

Распишем это выражение:

$$M(e_{k+1}^2) = M((1-k)^2 e_k^2 - 2(1-K)e_k K\eta_{k+1} + K^2\eta_{k+1}^2).$$

Пользуясь тем, что $M\eta_{k+1} = 0$, перепишем формулу для дисперсии:

$$\sigma_\eta^2 = M\eta_{k+1}^2.$$

Тогда

$$Me_{k+1}^2 = (1-K)^2 Me_k^2 + K^2\sigma_\eta^2. \quad (4)$$

Это выражение примет минимальное значение, когда коэффициент Калмана, найденный путём приравнивания производной к нулю, будет равен

$$K_{k+1} = \frac{Me_k^2}{Me_k^2 + \sigma_\eta^2}.$$

Подставив это выражение в уравнение (4) для среднеквадратичной ошибки, получим

$$M(e_{k+1}^2) = \sigma_\eta^2 \cdot \frac{Me_k^2}{Me_k^2 + \sigma_\eta^2},$$

или, итерационную формулу для вычисления коэффициента Калмана.

Применение в фильтре глубины

На практике же не только данная итеративная формула, но и весь алгоритм Калмана не применимы к фильтрации данных сенсоров глубины, таких как Kinect. Поскольку нам заранее неизвестен закон, по которому изменяется значение глубины в каждой отдельной точке. Попытка скрыть $f(t)$ в случайной величине сделает вышестоящие выводы недействительными [3, 4].

Тем не менее, согласно выводам самого Калмана [1], коэффициент имеет свойство стабилизироваться после небольшого числа итераций. Поэтому вместо того, чтобы применять итерационную формулу, мы примем коэффициент Калмана как константу, опытным путём подобрав оптимальное значение:

$$d_{k+1}^{opt} = K_{const} \cdot z_{k+1} + (1 - K_{const}) \cdot d_k^{opt}. \quad (5)$$

Очевидно, что отфильтрованное значение есть линейная функция от показания сенсора z_{k+1} и предыдущего отфильтрованного значения d_k^{opt}.

Таким образом, вычисляемое значение зависит от всех предыдущих значений. Поэтому фильтр Калмана называют линейным фильтром.

Заключение

В случае фильтрации данных глубины, по большому счету, теория фильтра Калмана не применима, поскольку остаётся неизвестным закон $f(t)$ изменения глубины точки d_k. Тем не менее, пользуясь тем, что коэффициент Калмана в общем случае быстро стабилизируется к постоянному значению, мы значительно упрощаем фильтр и избавляемся от итерационного вычисления коэффициента.

Данный подход, несомненно, облегчает применение фильтра, сводя его к комбинированию предыдущего полученного оптимального изображения с текущими данными сенсора глубины. Однако такой подход применим только к изначально статичным изображениям, когда необходимо отфильтровать мерцание, обусловленное аппаратным устройством сенсора. Поэтому полученное выражение (5) необходимо доработать так, чтобы на статичном видео-потоке коэффициент K_{const} был минимален, а на динамичном напротив, был близок к единице.

Список литературы

1. Kalman, R.E. (1960). "A new approach to linear filtering and prediction problems". Journal of Basic Engineering 82 (1): pp. 35–45

2. M. Athans, R. P. Wishner, and A. Bertolini, “Suboptimal state estimation for continuous-time nonlinear systems from discrete noisy measurements,” IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-13, pp. 504–518, Oct. 1968.

3. Jazwinski, Andrew H., Stochastic processes and filtering theory, Academic Press, New York, 1970. ISBN 0-12-381550-9.

4. An Introduction to the Kalman Filter, SIGGRAPH 2001 Course, Greg Welch and Gary Bishop

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛИНОМА, ГАРАНТИРУЮЩИХ ЗАДАННУЮ СТЕПЕНЬ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Езангина Т.А.
Научный руководитель: Гайворонский С.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail:eza-tanya@yandex.ru

Введение

В условиях действия на систему автоматического управления (САУ) параметрических возмущений она должна сохранять работоспособность и обладать свойствами, удерживающими регулируемые параметры в допустимых пределах. В частности, задача управления САУ может заключаться в решении вопроса об устойчивости САУ при изменении параметров объекта управления.

Известно, что САУ сохраняет устойчивость, если возвращается в состояние равновесия, из которого она выводится возмущающими или управляющими воздействиями [1].

В процессе эксплуатации САУ параметры ее объекта управления могут изменяться по заранее неизвестным законам в определенных интервалах. Это изменение может привести к потере системой устойчивости. Если система способна сохранить свою устойчивость, то она является робастно устойчивой.

Анализ робастной устойчивости САУ удобно проводить на основе коэффициентов ее характеристического полинома. В связи с этим представляет интерес задача о нахождении допустимых пределов изменения коэффициентов характеристического полинома при заданном значении степени робастной устойчивости. Для решения поставленной задачи предлагается применить робастное расширение коэффициентного метода [2].

Постановка задачи

Пусть САУ задана характеристическим полиномом

$$D(s)=\sum_{i=0}^{4} d_i s^i , \qquad (1)$$

где $\underline{d_i} \le d_i \le \overline{d_i}$ ($\underline{d_i}$ - нижний предел, $\overline{d_i}$ - верхний предел). Заметим, что интервальные коэффициенты характеристического полинома (1) образуют параметрический многогранник *V*, вершины которого определяются крайними значениями коэффициентов.

Необходимо определить вершины многогранника *V* (допустимые пределы изменения коэффициентов характеристического полинома). Образы этих вершин должны лежать левее заданной степени робастной устойчивости.

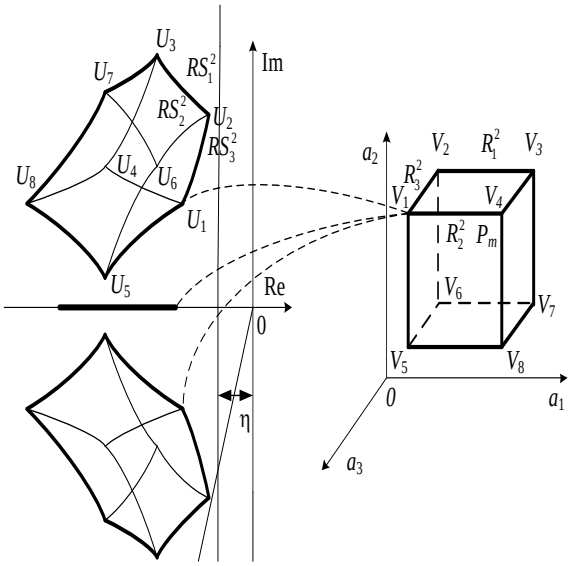


Рис. 1. Отображение параметрического многогранника

Теоретические сведения

Согласно [2], для анализа степени робастной устойчивости полинома достаточно (*n*–2) раз решить систему

$$\begin{cases} \lambda_i = \lambda^*, i = \overline{1, n-2}; \\ \lambda_j < \lambda^*, j = \overline{1, n-2}, j \ne i; \\ f_m > 0, m = \overline{1, n-1}; \\ g > 0. \end{cases} \qquad (2)$$

В системе (2) введены следующие обозначения:

$$\lambda_i = \frac{[d_{i-1}]\,[d_{i+2})]}{\left([d_i]-[d_{i+1}](n-i-1)\eta\right)\left([d_{i+1}]-[d_{i+2}](n-i-2)\eta\right)}$$

$$f_m = [d_m]-[d_{m+1}]n-m-1)\eta$$

$$g = [d_0]-[d_1]\eta+2[d_2]\frac{\eta^2}{3} \ .$$

Из выражения $\lambda_i(\vec{k}) = \lambda^*$ системы (2) можно выразить неизвестный интервальный коэффициент характеристического полинома через заданные коэффициенты и степень устойчивости:

$$[d_{i+2}] = \frac{\lambda^*\left[[d_i]-[d_{i+1}](n-i-1)\eta\right]\left[[d_{i+1}]\right]}{[d_{i-1}]\lambda^*\left[[d_i]-[d_{i+1}](n-i-1)\eta\right](n-i-2)\eta}, i \in \overline{1,2}$$

Из условия $\lambda_j(\vec{\mathrm{k}}) < \lambda^*$ системы (2) можно выразить другой неизвестный интервальный коэффициент характеристического полинома. $[d_{j+2}] < \dfrac{\lambda^*\left[[d_j]-[d_{j+1}](n-i-1)\eta\right]\left[[d_{j+1}]\right],}{[d_{j-1}]\lambda^*\left[[d_j]-[d_{j+1}](n-i-1)\eta\right](n-i-2)\eta}\ j \in \overline{1,2}$

Подставив в систему (2) выражение $[d_{j+2}]$, получим следующую систему условий:

$$\begin{cases} [d_{i+2}] = \dfrac{\lambda^*\left[[d_i]-[d_{i+1}](n-i-1)\eta\right]\left[[d_{i+1}]\right]}{[d_{i-1}]\lambda^*\left[[d_i]-[d_{i+1}](n-i-1)\eta\right](n-i-2)\eta}, i \in \overline{1,2}; \\ [d_{j+2}] < \dfrac{\lambda^*\left[[d_j]-[d_{j+1}](n-i-1)\eta\right]\left[[d_{j+1}]\right],}{[d_{j-1}]\lambda^*\left[[d_j]-[d_{j+1}](n-i-1)\eta\right](n-i-2)\eta}\ j \in \overline{1,2},\ j \neq i; \\ f_m > 0, m = \overline{1,n-1}; \\ g > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решив систему (3), найдем неизвестные допустимые пределы изменения коэффициентов характеристического полинома.

Алгоритм

На основании теоретических исследований для решения поставленной задачи необходимо:

1.Задать постоянные коэффициенты полинома, допустимое значение степени устойчивости.

2.Из условия $\lambda_i(\vec{k}) = \lambda^*$ выразить неизвестный коэффициент через заданные коэффициенты и степень робастной устойчивости.

3.Решить уравнение и определить интервалы коэффициента при максимальном значении $\lambda_i = \lambda^*$

4.Из условия $\lambda_j < \lambda^*$ выразить другие неизвестные коэффициент через заданные коэффициенты, степень робастной устойчивости и найденный коэффициент на шаге 3.

5. Решить полученную систему неравенств и определить допустимые значения интервалов коэффициентов полинома.

Пример

В качестве примера рассмотрим САУ, характеристический полином которой имеет вид:

$$[d_4]s^4 + [d_3]s^3 + [d_2]s^2 + d_1 s^1 + d_0 = 0$$

Пусть постоянные коэффициенты заданы и имеют следующие значения: $d_1 = 4.19,\ d_0 = 1.83$ При этом степень робастной устойчивости имеет значение $\eta = 0.5$.

Составим систему (2) для рассматриваемой САУ:

$$\begin{cases} 1.83[d_3] = 0.465(4.19 - [d_2])([d_2] - 0.5[d_3]); \\ 4.19[d_4] < 0.465([d_2] - 0.5[d_3]); \\ 4.19 - [d_2] \geq 0; \\ [d_2] - 0.5[d_3] \geq 0; \\ 1.83 - 2.095 + 0.167[d_2] \geq 0. \end{cases}$$

Очевидно, что решив систему неравенств $\begin{cases} 4.19 - [d_2] \geq 0; \\ d_0 - d_1\eta + 2d_2\dfrac{\eta^2}{3} \geq 0 \end{cases}$.

можно определить допустимый интервал изменения коэффициента $[d_2] \in [0.16; 4.19]$

Приняв интервал коэффициента $[d_2] \in [2; 4]$, определим пределы изменения коэффициента Выразим неизвестные интервальные коэффициенты через заданные:

$$\begin{cases} [d_3([d_2],\eta)] = \dfrac{0.465(4.19 - [d_2])([d_2])}{-2.8 + 1.94(4.19 - [d_2])}; \\ [d_4([d_2],\eta)] < \dfrac{0.465([d_2] - 0.5[[d_3([d_2],\eta)]])}{4.19}; \\ [d_2] - 0.5[[d_3([d_2],\eta)]] \geq 0; \end{cases}$$

Решив данную систему, находим $[d_3] \in [0.076; 2.17]; [d_4] < 0.0076.$

Заключение

Методы анализа САУ объектами с переменными параметрами будут эффективны только в том случае, если без большой вычислительной и графической работы можно определять диапазоны изменения параметров САУ. Для этой цели наилучшим образом подходит робастное расширение коэффициентного метода, когда диапазон изменения параметров определяется по показателям качества САУ без построения переходных процессов. В работе получены условия определения допустимых пределов изменения коэффициентов характеристического полинома при заданном значении степени робастной устойчивости.

Литература

1. Петров Б.Н., Соколов Н.И., Липатов А.В. и др. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами: Инженерные методы анализа и синтеза. – М.: Машиностроение, 1986. – 256с.

2. Гайворонский С.А. Методика выбора параметров регулятора для интервальной системы автоматического управления / Гайворонский С.А., Езангина Т.А. / / Вестник науки Сибири. 2012-№ 3(4).-с.143-147.

ДВУХКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТОКА ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КАСКАДА КОЛОНН С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НАСОСАМИ

Иванов К.А.
Научный руководитель: Горюнов А.Г., д.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kaiva@sibmail.com, alex1479@tpu.ru

Цель исследований – разработка системы автоматического управления, обеспечивающей эффективное демпфирование потока органической фазы каскада экстракционных колонн.

Существующая система стабилизации потока органической фазы установки по переработке концентратов природного и регенерированного урана на радиохимическом заводе ОАО «СХК» включает четыре буферные емкости (БЕ) и установленные в них погружные центробежные насосы [2]. Управление расходами осуществляется путем изменения напора на выходе насосов. Для этого используются регулирующие вентили и исполнительные механизмы постоянной скорости (ИМ). При увеличении напора поток органической фазы возвращается по байпасной системе в БЕ. При работе системы необходимо обеспечивать заданные пределы уровней в БЕ, не допускать аварийного отключения насосов при холостом ходе и при этом обеспечивать стабильность потока органической фазы.

Исходная система автоматического управления (САУ) осуществляет управление уровнем жидкости в БЕ и настроена с использованием методики, представленной в работе [1], как система демпфирующая входной расход $ОФ_{вх}$ с коррекцией уровня.

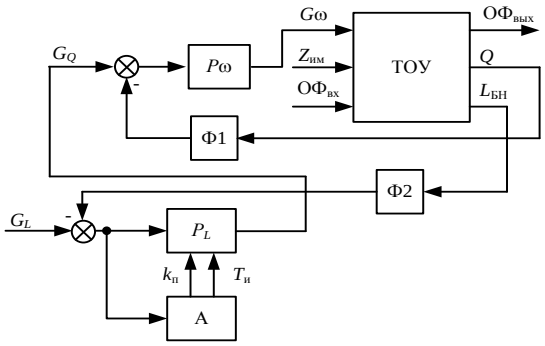
Поскольку регулирование потока жидкости происходит открытием и закрытием вентиля посредством ИМ, в то время как электродвигатель постоянно вращает вал насоса с номинальной частотой. В этом случае насос не обеспечивает приемлемого КПД и снижается срок его службы, в результате этого эксплуатации таких систем приводит к дополнительным затратам на обслуживание.

Для решения указанной выше проблемы разработана и предложена САУ БЕ, представленная на рис. 1. В этой системе управление расходом производится посредством насоса, управляемого частотным преобразователем. Вентиль предлагается установить в определенном фиксированном положении и изменять поток органической фазы посредством изменения частоты вращения асинхронного двигателя. В результате САУ БЕ представляет собой двухконтурную систему управления.

На рис. 1 для регулятора расхода P_L с помощью адаптера А непрерывно пересчитываются параметры настройки: коэффициент передачи $k_п$ и постоянная времени интегрирования $T_и$. Адаптер позволяет решить задачу эффективного демпфирования входного потока $ОФ_{вх}$ следующим образом:

– при небольших возмущения по расходу $ОФ_{вх}$ внешний контур уровня настраивается как фильтр нижних частот;

– при больших возмущения по расходу $ОФ_{вх}$ внешний контур настраивается как контур стабилизации уровня жидкости в БЕ.



ТОУ – технологический объект управления, $ОФ_{вх}$, $ОФ_{вых}$ – органическая фаза на входе и выходе БЕ, $L_{БЕ}$ – уровень жидкости в БЕ, Ф1, Ф2 – фильтры, P_L – регулятор уровня $L_{БЕ}$, $P_ω$ – регулятор расхода $ОФ_{вых}$, А – адаптер.

Рис. 1. Предлагаемая система управления буферной емкостью.

Непрерывный расчет параметров настройки ПИ-регулятора уровня жидкости в буферной емкости насоса в предложенной системе реализуется следующим образом:

$$\begin{cases} T_и = 300 \text{ с}, \ |\varepsilon| \geq 30\ \% \\ T_и = 2000 \text{ с}, \ |\varepsilon| < 10\ \% \\ T_и = T_и(t - T_ц), \ 10 < |\varepsilon| < 30 \\ k_п = -0.0005 \cdot \varepsilon^2 \\ k_п = -0.4, \ k_п > -0.4 \\ k_п = -1.2, \ k_п < -1.2 \end{cases}, \quad (1)$$

где ε - отклонение уровнем жидкости в буферной емкости насоса $L_{БН}$ от заданного значения уставки G_L, $T_ц$ – время цикла регулятора расхода.

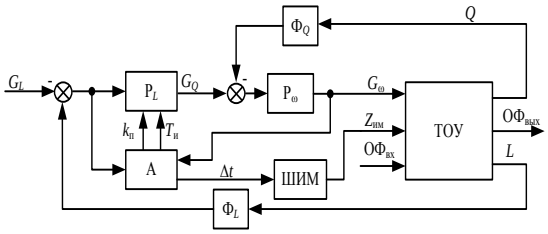
В адаптере, описываемом системой уравнений (1) малыми отклонениями уровня являются отклонения менее 10%, а под большими – более 30%.

В процессе проведения эксперимента обнаружено резкое увеличение тока в двигатели насоса ЗНП-10-60 при частоте вращения менее 540 об/мин.

Причиной увеличения тока при малой частоте

вращения вала, является посадка ротора двигателя насоса ЗНП-10-60 на подпятник. Это накладывает дополнительные условия: задание минимального значения частоты вращения на отметке 1600÷1800 об/мин; и фиксированное время разгона 3÷5 с до номинальной частоты вращения вала насоса.

Для решения указанной проблемы нами предложено доработать САУ (см. рис. 1) путем введения второго канала управления ИМ дроссельной заслонки (см. рис. 2).



ШИМ - широтно-импульсная модуляция, Δt - длительность импульсов.

Рис. 2. Двухканальная адаптивная система управления буферной емкостью.

В предложенной САУ (см. рис. 2) в отличии от САУ на рис. 1 адаптер помимо расчета параметров настройки $k_п$ и $T_и$ формирует длительность Δt импульсов ШИМ согласно условию (2).

$$\begin{cases} \Delta t_i = \Delta t_{i-1} \cdot \left| G_\omega^n - G_\omega \right| / \Delta G_\omega, \text{ при} \\ \qquad G_\omega = G_\omega^{\max} \text{ или } G_\omega = G_\omega^{\min} \\ \Delta t_i = \Delta t_{\min}, \text{ при } \Delta t_i < \Delta t_{\min} \\ \Delta t_i = \Delta t_{\max}, \text{ при } \Delta t_i > \Delta t_{\max} \\ \Delta t = \Delta t_i, \text{ при } G_\omega = G_\omega^{\max} \\ \Delta t = -\Delta t_i, \text{ при } G_\omega = G_\omega^{\min} \end{cases}, \quad (2)$$

где $G_\omega^{\max}$, $G_\omega^{\min}$, G_ω^{n} – максимальное, минимальное и номинальное значения частоты вращения вала двигателя насоса, Δt_i, Δt_{i-1} – текущее и предыдущее значения импульсов ШИМ, ΔG_ω – приращение G_ω в результате воздействия на ИМ импульса ШИМ длительностью Δt_{i-1}, $\Delta t_{\min}$, $\Delta t_{\max}$ – минимальная и максимальная длительности импульсов ШИМ.

Предложенная САУ БЕ успешно испытана на устойчивость и нечувствительность к изменению параметров объекта управления на компьютерной модели, результаты исследований представлены в работе [2, 3]. Кроме того, система успешно испытана на радиохимическом заводе ОАО «СХК».

Результаты испытаний системы приведены в таблице 1.

Таким образом, в работе предложена САУ БЕ, отличающаяся от известных систем:
– наличием двух каналов управления по частоте управления электродвигателем насоса и положению дроссельной заслонки;
– адаптацией параметров настройки ПИД-регулятора уровня и адаптацией длительностей импульсов ШИМ управления ИМ дроссельной заслонки. Указанные отличия позволяют достичь необходимого демпфирования расхода жидкости при требуемых ограничениях на уровень жидкости в БЕ.

Таблица 1. Результаты испытаний САУ БЕ

Физическая величина	Исходная	Предложенная	Исходная / Предложенная
Среднеквадратичное отклонение расхода $Q_{вых}$, %	30	3	10
Среднеквадратичное отклонение расхода $L_{БЕ}$, %	14	7	2
Частота вращения насоса N, об/мин	2944	900	3,3
Действующий ток насоса I, А	9,5	6,3	1,5
Потребляемая насосом мощность W, кВт	5,5	0,6	9,8

Промышленные испытания показали 10-кратное снижение низкочастотных колебаний расхода органической фазы по сравнению со штатной системой. Снижение частоты вращения вала электродвигателя насоса в 3 раза и энергопотребления в 10 раз позволяет судить о возможности существенного продления срока службы насосов.

Литература

1. Ливенцов С.Н., Козлов С.Е., Лысенок А.А., Симогаев Г.А. Система стабилизации потока органической фазы по каскаду экстракционных колонн установки «Утес» // Физика. – 2000. – Т.43, № 5. – С. 106–110.

2. Горюнов А.Г., Иванов К.А., Шенцов Э.Ю., Биянов А.В.Система стабилизации потока органической фазы каскада экстракционных колонн с применением частотного управления погружными центробежными насосами // Известия высших учебных заведений. Физика, 2010. – №11/2. – С. 206–210.

3. Горюнов А.Г., Иванов К.А. Система стабилизации потока органической фазы каскада колонн с частотным управлением насосами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2011. – № 6. – с. 47-52.

ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ

Измайлова Е.В.
Научный руководитель: Ваньков Ю.В., д.т.н., профессор
Казанский государственный энергетический университет,
420066, г. Казань, ул. Красносельская, д. 51
E-mail: evgeniya-izmailova@yandex.ru

В конце прошлого века возникло и успешно развивается новое и важное направление в теории и технике обработки сигналов, изображений и временных рядов, получившее название *вейвлет преобразование*, которое хорошо приспособлено для изучения структуры неоднородных сигналов.

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). Любой из наиболее часто используемых типов вейвлетов порождает полную ортогональную систему функций. В случае вейвлет анализа (декомпозиции) процесса (сигнала) в связи с изменением масштаба вейвлеты способны выявить различие в характеристиках процесса на различных шкалах, а посредством сдвига можно проанализировать свойства процесса в различных точках на всем исследуемом интервале. Именно благодаря свойству полноты этой системы, можно осуществить восстановление (реконструкцию или синтез) процесса посредством обратного вейвлет преобразования.

Вейвлеты обладают существенными преимуществами по сравнению с преобразованием Фурье, потому что вейвлет преобразование позволяет судить не только о частотном спектре сигнала, но также о том, в какой момент времени появилась та или иная гармоника. С их помощью можно легко анализировать прерывистые сигналы, либо сигналы с острыми всплесками. Кроме того вейвлеты позволяют анализировать данные согласно масштабу, на одном из заданных уровней (мелком или крупном). Свойства вейвлетов позволяют сконструировать базис, в котором представление данных будет выражаться всего несколькими ненулевыми коэффициентами.

В отличие от традиционно применяемого при анализе данных преобразования Фурье, результаты, полученные с помощью вейвлет анализа, зачастую обладают большей информативностью и способны непосредственно обрабатывать такие особенности данных, которые при традиционном подходе анализировать затруднительно.

Вейвлет преобразование вносит в обработку данных дополнительную степень свободы. Так, например, анализ Фурье способен показать поведение сигнала в частотной области, оставляя открытым вопрос о локализации во времени различных компонент сигнала. Локализационные свойства вейвлет анализа заложены в самой его структуре.

Вейвлет преобразование объединяет два вида преобразований — прямое и обратное, которые, соответственно, переводят исследуемую функцию *f(x)* в набор вейвлет коэффициентов $W_\psi(a,b)f$ и обратно.

Прямое вейвлет преобразование осуществляется согласно правилу:

$$W_\psi(a,b)f = \frac{1}{\sqrt{C_\Psi}}\int \frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)f(x)dx, \qquad (1)$$

где a и b – параметры, определяющие соответственно масштаб и смещение функции ψ, называемой анализирующим вейвлетом, C_ψ – нормировочный множитель. Интегрирование ведут по всей числовой оси.

Базисный или материнский вейвлет ψ образует посредством растяжений и сдвигов семейство $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$.

Имея известный набор коэффициентов $W_\psi(a,b)f$, можно восстановить исходный вид функции *f(x)*:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{C_\psi}}\iint \frac{1}{\sqrt{|a|}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)[W_\psi(a,b)f]\frac{da\cdot d}{a^2} \qquad (2)$$

Прямое (1) и обратное (2) преобразования зависят от некоторой функции $\psi(x) \in L^2(R)$, которую называют базисным вейвлетом.

Практически единственным ограничением на его выбор является условие конечности нормировочного множителя:

$$C_\Psi = \int_{-\infty}^{\infty}\frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|}d\omega = 2\int_0^{\infty}\frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{\omega}d\omega < \infty, \qquad (3)$$

где $\hat{\psi}(\omega)$ – Фурье-образ вейвлета $\psi(x)$:

$$\hat{\psi}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)e^{-i\omega x}dx.$$

Этому условию удовлетворяет множество функций, поэтому возможно подобрать вид вейвлета, наиболее подходящего для решения конкретной задачи.

Условие (3) неизбежно означает, что Фурье-образ вейвлета равен нулю при нулевой частоте, то есть $\hat{\psi}(\omega)|_{\omega=0} = 0$. Если это не так, то знаменатель дроби в интеграле (3.3) обращается в нуль, в то время как числитель имеет отличное от нуля значение, и коэффициент C_ψ перестает быть конечным.

В свою очередь, это требование можно представить в ином виде. Поскольку Фурье-образ $\hat{\psi}(x)$ при нулевой частоте имеет вид $\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)dx,$ мы можем потребовать равенство нулю интеграла от вейвлета по всей оси:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\psi(x)dx = 0. \quad (4)$$

Методы вейвлет анализа возможно применить к данным различной природы. Это могут быть, например, одномерные функции или двумерные изображения. Грубую классификацию вейвлет алгоритмов можно сделать, выделив из них вейвлет преобразования:

- непрерывное (CWT—Continuous Wavelet Transform);
- дискретное (DWT—Discrete Wavelet Transform).

Получить набор вейвлет коэффициентов в случае дискретного преобразования быстрее, и он дает достаточно точное представление о сигнале при меньшем объеме получаемых в результате данных. Непрерывное преобразование требует больших вычислительных затрат, но, вместе с этим, позволяет детальнее рассмотреть структуру сигнала.

Выбор того или иного метода зависит от поставленной задачи и типа имеющихся данных, которые необходимо обработать, от возможностей вычислительной техники и от того, в каком виде необходимо представить результат.

Не отвергая значимость анализа Фурье, вейвлет методы успешно дополняют, а иногда способны и полностью заменить обработку данных традиционными методами.

Внедрение в механизмы обработки данных методов вейвлет анализа наглядно показывает их способность комплексно подходить к решению задач. Известны применения вейвлет анализа для подавления шума, например, [1-3]. Реальные данные часто содержат выпадающие участки; для обработки таких сигналов разработаны адаптивные вейвлет методы [4, 5].

Реализация свойств вейвлетов сдерживается значительным объемом необходимых вычислений, который оборачивается низкой скоростью обработки данных.

Вейвлет анализ обладает способностью выделять из сигнала компоненты разного масштаба. Это часто используют для того, чтобы разделить исходные данные на составляющие (аналогично тому, что происходит при фильтрации с помощью преобразования Фурье). Проблема тесно связана с двумя другими: шумоподавлением и определением параметров сигнала по результатам наблюдения.

Автором были разработаны программы для ЭВМ «WaveDenoise.vi» [6] и «Программа для вейвлет преобразования акустических сигналов.vi» в среде графического программирования LabVIEW фирмы National Instruments. Программы предназначены для диагностики трубопроводов и может применяться для акустической диагностики промышленно опасных производственных объектов, сосудов и трубопроводов, работающих под давлением. Программы написаны с применением технологии вейвлет анализа. «WaveDenoise.vi» обеспечивает выделение импульсных сигналов на фоне помех, сравнимых с величиной сигнала. На «Программа для вейвлет преобразования акустических сигналов.vi» подана заявка на государственную регистрацию программы для ЭВМ. Программа обрабатывает записанные сигналы разными типами вейвлет-базиса, выводя результат на 3D график, также выводит массив разложенных коэффициентов сигнала. Программа включает в себя подпрограммы: WA Continuous Wavelet Transform (Array).vi, WA Wavelet Filter.vi, WA Mother Wavelet and Scaling Function.vi, WA Error CodeEnum2ErrorCode.vi, ErrorCode2ErrorCluster.vi, WA Check Time steps.vi, WA Scales Generation.vi, WA Bound Time Interval.vi, WA Set Time and Freq Scale Info.vi, WA Configure Scalogram Indicator (Real).vi, WA Get Time and Freq Scale Info.vi.

Список литературы:

1. Abry, P. (1997), Ondelettes et turbulence. Multiresolutions, algorithmes de decomposition, invariance d'echelles, Diderot Editeur, Paris.

2. Быкова Т.В., Черепащук Г.А. Метод подавления шума при коррекции результатов динамических измерений с использованием ортогональных вейвлетов / Харьков: Авиационно-космическая техника и технология, 2009, № 5 (62). С. 80-84.

3. Storm H. Noise reduction of Speech Signals with Wavelets / H. Storm. – Goteborg: Mathemitics. Department of Mathematics Chalmers University of Technoland Goteborg University , 1997. – 127 p.

4. Аббакумов А.А. Разработка методики и алгоритмов идентификации отклонений от нормативов параметров качества электроэнергии в системах электроснабжения / Кандидатская диссертация. 2005.

5. Егорова Е. В. Методы и алгоритмы вейвлетной обработки сигналов в цифровых системах связи / Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва: МГИЭиМ (ТУ), 2010. 16 с.

6. Измайлова Е.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013661532: WaveDenoise / Авторы: Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В., Загретдинов А.Р., Гапоненко С.О., Кондратьев А.Е. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 10 декабря 2013 г.

БЫСТРАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Калиновский И.А.
Научный руководитель: д.т.н., профессор Спицын В.Г.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kua_21@mail.ru

Введение

Фильтрация является одной из базовых операций в обработке изображений и сигналов. Под фильтрацией понимают преобразование исходного сигнала с целью выделения и/или подавления определенных частот этого сигнала. Частным случаем фильтрации является линейная пространственная фильтрация, используемая для удаления шумов, сглаживания и выделения особенностей. Пространственная фильтрация изображения x размера $M\times N$ заключается в его свертке с некоторой прямоугольной матрицей h (ядром свертки) размера $U\times V$, состоящей из коэффициентов фильтра:

$$y_{i,j}=\sum_{u=0}^{U-1}\sum_{v=0}^{V-1}x_{i-u,j-v}\cdot h_{u,v},\ i=\overline{0,M-1},\ j=\overline{0,N-1} \qquad (1)$$

Число арифметических операций для вычисления свертки по формуле (1) составляет $2MNUV$. Таким образом, свертка имеет высокую вычислительную сложность для ядер большого размера, что послужило причиной поиска более эффективных алгоритмов для ее вычисления.

Самый распространенный метод быстрого вычисления двумерной свертки (1) основан на теореме о свертке:

$$F(x*h)=F(x)\cdot F(h),$$

где F – оператор Фурье, следовательно:

$$y=x*h=F^{-1}\left(F(x)\cdot F(h)\right). \qquad (2)$$

Применение алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ) позволяет вычислить свертку (2) за $MN\left(C\cdot 2\log(MN)+1\right)$ операций (вычисление $F(h)$ не учитывается). Нижняя оценка константы C неизвестна, на сегодняшний день для лучшего алгоритма $C\approx 34/9$ (S. Johnson, Signal Processing, IEEE, 55 (1), 111–119, 2007).

Одним из недостатков алгоритма БПФ является использование комплексной арифметики и относительно большой расход памяти. В тоже время существуют другие подходы к уменьшению числа операций при вычислении двумерных сверток. Один из таких методов, предложенный Нуссбаумером [1, стр. 137], основан на свойствах циклической свертки и алгебре полиномов.

Полиномиальные преобразования

Введем понятие циклической (круговой) свертки. В случае циклической свертки предполагается, что дискретные сигналы x и h – периодические с одинаковым периодом. Если x и h представлены двумерными массивами $N\times N$, то циклическая свертка $y_{u,l}$ представляет собой:

$$y_{u,l}=\sum_{m=0}^{N-1}\sum_{n=0}^{N-1}x_{u-n,l-m}\cdot h_{n,m},\ u,l=\overline{0,N-1}. \qquad (3)$$

Можно заметить, что если дополнить нулями ядро линейной свертки h до размера изображения и вычислить циклическую свертку (3), то ее отсчеты совпадут с отсчетами линейной свертки в $(M\text{-}U+1)\times(N\text{-}V+1)$ точках. Преимущество такого подхода заключается в том, что применение полиномиальной арифметики и полиномиальных преобразований Нуссбаумера позволяет построить алгоритм вычисления свертки (3) с минимальным числом умножений.

Свертка (3) может быть представлена в виде одномерной свертки полиномов по модулю Z^N-1:

$$\begin{aligned}Y_l(Z)&\equiv\sum_{m=0}^{N-1}H_m(Z)X_{l-m}(Z)\bmod\left(Z^N-1\right),\\ H_m(Z)&=\sum_{n=0}^{N-1}h_{n,m}Z^n,\ m=\overline{0,N-1},\\ X_r(Z)&=\sum_{s=0}^{N-1}x_{s,r}Z^s,\ r=\overline{0,N-1}.\end{aligned} \qquad (4)$$

Отсчеты $y_{u,l}$ являются коэффициентами при степенях Z^u в $Y_l(Z)$:

$$Y_l(Z)=\sum_{u=0}^{N-1}y_{u,l}Z^u,\ l=\overline{0,N-1}.$$

Если $N=q$, q – простое число, то $\left(Z^q-1\right)$ является произведением двух неприводимых над полем вещественных чисел полиномов:

$$\begin{aligned}Z^q-1&=(Z-1)P(Z),\\ P(Z)&=Z^{q-1}+Z^{q-2}+\ldots+1.\end{aligned}$$

В этом случае, используя китайскую теорему об остатках (КТО) [1], $Y_l(Z)$ можно записать как:

$$Y_l(Z)\equiv S_1(Z)Y_{1,l}(Z)+S_2(Z)Y_{2,l}\bmod\left(Z^q-1\right),$$

$$Y_{1,l}(Z)\equiv Y_l(Z)\bmod P(Z), \qquad (5)$$

$$Y_{2,l}(Z)\equiv Y_l(Z)\bmod(Z-1). \qquad (6)$$

$S_j(Z)$ определяется из формул:

$$S_j(Z)\equiv T_j(Z)\prod_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{2}P_i(Z),\ j=1,2,$$

$$T_j(Z)\prod_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{2}P_i(Z)\equiv 1\bmod P_j(Z).$$

Так как $Y_{2,l}(Z)$ (6) определено по модулю $(Z-1)$, то $Y_{2,l}(Z)$ есть сверточное произведение скаляров $H_{2,m}$ и $X_{2,r}$, полученных из (4) при Z=1:

$$Y_{2,l}(Z)=\sum_{m=0}^{q-1}H_{2,m}X_{2,l-m}Z^m,\ l=\overline{0,q-1},$$
$$H_{2,m}=\sum_{n=0}^{q-1}h_{n,m},\ X_{2,r}=\sum_{s=0}^{q-1}x_{s,r}. \quad (7)$$

Для вычисления $Y_{1,l}(Z)$ (5) Нуссбаумер предложил взаимно-обратные полиномиальные преобразования (ПП) $\bar{H}_k(Z)$ и $H_{1,l}(Z)$, имеющее такую же структуру, как и ДПФ, но в которых комплексные экспоненты заменены на степени переменной Z и все операции выполняются по модулю $P(Z)$:

$$\bar{H}_k(Z)\equiv\sum_{m=0}^{q-1}H_{1,m}(Z)Z^{mk}\bmod P(Z),\ k=\overline{0,q-1}, \quad (8)$$
$$H_{1,m}(Z)\equiv H_m(Z)\bmod P(Z),$$
$$H_{1,l}(Z)\equiv\frac{1}{q}\sum_{k=0}^{q-1}\bar{H}_k(Z)Z^{-lk}\bmod P(Z),\ l=\overline{0,q-1}. \quad (9)$$

Свойства ПП позволяют получить $Y_{1,l}(Z)$ путем вычисления прямого ПП (8) для полиномов $H_m(Z)$ и $X_r(Z)$, затем q полиномиальных умножений $\bar{H}_k(Z)\bar{X}_k(Z)$ по модулю $P(Z)$ с последующим вычислением обратного ПП (9).

Использование быстрых алгоритмов на основе КТО [1, стр. 66] для расчета свертки (7) и произведений $\bar{H}_k(Z)\bar{X}_k(Z)$ позволяет получить отсчеты (3) за минимальное число умножений.

В общем случае рассмотренный выше алгоритм вычисления циклической свертки (3) можно построить для любого $N\in\mathbb{N}$, но для больших N удобней воспользоваться гнездовыми алгоритмами [1, стр. 43], позволяющими комбинировать несколько быстрых алгоритмов вычисления сверток меньшего размера.

Вычислительный эксперимент

На основании подсчета числа операций, требуемых для свертки изображения $M\times N$ с ядром $U\times V$ через $L\times L$-точечную циклическую свертку, был сделан вывод о том, что оптимальное значение L=36, т.к. в этом случае использование ПП позволяет произвести расчет с наименьшим числом операций на отсчет свертки. При этом алгоритм вычисления строится как комбинация алгоритмов ПП для L=4 и L=9 с помощью гнездового алгоритма. Вычисление линейной свертки для больших изображений (N, M > L) выполняется с помощью одного из методов секционирования – перекрытия с отбрасыванием.

В таблице приведено сравнение сложности вычисления свертки по формулам (1), (2) (C=3,8) и алгоритма ПП (L=36) для картинки 1920×1080 pix.

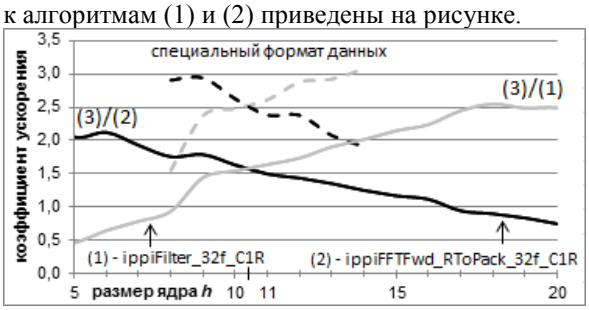
Ядро h	Прямой	БПФ	ПП
3×3	**38×10^6**	331×10^6	82×10^6
9×9	336×10^6	331×10^6	**120×10^6**
21×21	1829×10^6	**331×10^6**	364×10^6

Несмотря на преимущество ПП над БПФ для некоторого диапазона размеров ядер свертки этот метод не получил широкого распространения. Авторам не удалось найти его реализацию в специализированных библиотеках для высокопроизводительных вычислений, например Intel IPP и AMD APP. Тем не менее теоретическая оценка показывает увеличение производительности вычислений в 2,8 раза, что имеет важное значение для обработки сигналов в реальном времени. Поэтому авторами была осуществлена реализация этого метода с целью оценки его эффективности.

Аппаратная платформа. Процессор Intel Core i7-3610QM (Ivy Bridge). На данный момент компания Intel выпускает самые производительные решения на рынке процессоров. Процессоры с микроархитектурой Ivy Bridge являются суперскалярными и поддерживают набор SIMD инструкций AVX, позволяющих выполнять операции с 256 битными векторными регистрами.

Язык программирования. Для того чтобы максимально задействовать все возможности процессора алгоритм вычисления свертки (3) был реализован на языке ассемблера (inline assembler для C++) с использованием AVX инструкций. Была проведена оптимизация кода с целью максимально эффективного использования имеющихся 16-ти векторных YMM регистров. Отметим, что при использовании intrinsic-функций и опций автоматической векторизации компилятора Intel C++ Compiler 13.0 генерируется менее эффективный код для данного алгоритма.

Производительность. При сравнении производительности вычислительных алгоритмов очень важно выбрать правильный эталон. Для процессоров Intel таким эталоном является набор библиотек IPP (Integrated Performance Primitives). IPP 8.0 содержит высокопроизводительные функций из различных областей науки, оптимизированные для Intel CPU, в т.ч. функции фильтрации изображений и БПФ. Отношение времени фильтрации изображения (1920×1080 pix, одинарная точность, один поток) по алгоритму (3) к алгоритмам (1) и (2) приведены на рисунке.



Результаты тестирования показывают, что алгоритм фильтрации изображений на основе ПП является до 1,5 раза более производительным (до 2,5 раз, если данные представлены в специальном формате) для ядер h из интервала [9×9, 16×16] по сравнению с прямым вычислением свертки и методом БПФ. Поэтому алгоритмы ПП могут найти применение в задачах реального времени.

Список литературы

1) Нуссбаумер Г. Быстрое преобразование Фурье и алгоритмы вычисления сверток: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.: ил.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ JPEG2000

Капустин В.В.
Научный руководитель: Курячий М.И., к.т.н., с.н.с., доцент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: peregnun@mail.ru

В современном информационном мире одной из самых актуальных задач является сжатие изображений и видеоданных. Спутник, делающий снимки поверхности Земли в разных оптических диапазонах, передает информацию, которая затем помещается в хранилище изображений, где используется в геоинформационных системах для самых разных целей. При этом объем этой графической информации очень велик, поэтому ее сжатие и хранение требует больших финансовых затрат. По некоторым оценкам дополнительное сжатие хотя бы на 5% дает выигрыш в миллионы долларов. Примерно та же ситуация сохраняется и при передаче изображений по каналам связи. Существующей пропускной способности как провило не хватает, чтобы в полной мере удовлетворить потребности пользователей.

Не менее актуальной является задача шумоподавления в изображениях полученных, например, при помощи активно-импульсных телевизионно-вычислительных систем (АИТВС).

В настоящее время для решения задач сжатия и обработки изображений широко применяются вейвлет-преобразования.

Использование вейвлет-преобразований позволяет значительно повысить (до 2-х раз) степень компрессии чёрно-белых и цветных изображений при равном качестве восстановленного изображения относительно алгоритмов прошлого поколения, основанных на дискретном косинусном преобразовании (JPEG).

Примерами использования вейвлет-преобразований являются стандарты сжатия изображений JPEG2000 и ICER.

Выбор наиболее актуального типа вейвлетов во многом зависит от исследуемых сигналов и задач их анализа. Для разных типов изображений выбранные вейвлет-фильтры будут давать разные коэффициенты сжатия. На данный момент не существует идеального вейвлет-фильтра который бы выдавал максимальный результат для каждого типа образов [1].

В представленном докладе приводятся результаты работы по созданию программы, позволяющей выполнять кодирование и декодирование изображений на основе стандарта JPEG2000. Разрабатываемая программа включает в себя: преобразование цветового пространства RGB в YCrCb, дискретное вейвлет-преобразование (ДВП), квантование ДВП коэффициентов, арифметическое кодирование.

Средствами GUIDE (среда для создания приложений с графическим интерфейсом пользователя) и редактора m-файлов MATLAB [3, 4] разработан графический интерфейс пользователя, позволяющий в интерактивном режиме поэтапно управлять параметрами кодирования и анализировать результаты кодирования (степень компрессии и качество кодирования). Интерфейс программы оснащен панелью управления (рис. 1), которая позволяет:

- загрузить входное RGB изображение (рис. 2);
- выбрать один из шести вейвлет-фильтров (вейвлет Хаара, вейвлеты Добеши D2, D4, D6, D8, D10);
- задать уровень дискретного вейвлет-преобразования (от 1 до 4-х);
- визуально оценить вейвлет-плоскости изображения (рис. 3);
- установить величину квантования отдельно для яркостной и цветоразностных компонент.

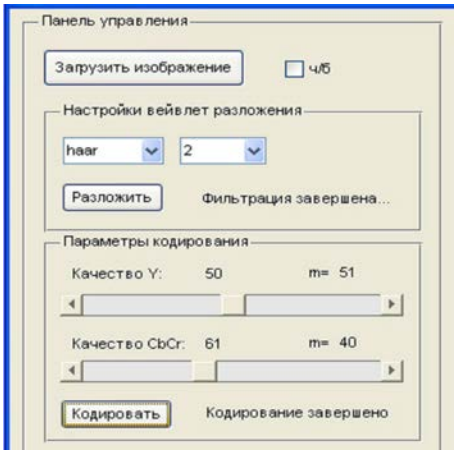


Рис. 1. Панель управления

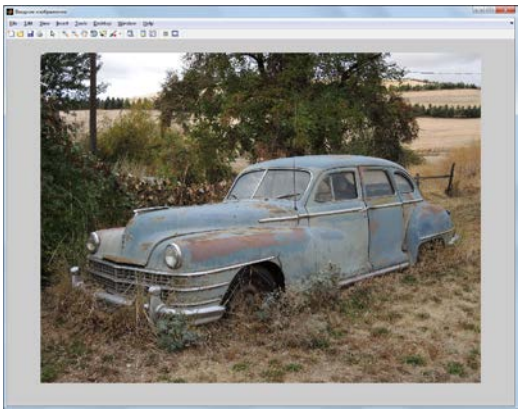


Рис. 2. Входное RGB изображение



Рис. 3. Вейвлет-плоскости (LL – низкие частоты по строкам и столбцам; HL – высокие частоты по строкам и низкие по столбцам; LH – низкие частоты по строкам и высокие по столбцам; HH – высокие частоты по строкам и столбцам)

При помощи панели оценки результатов компрессии изображений (рис. 4) пользователь может оценить:

- размер входного и кодированного изображения в байтах;
- коэффициент компрессии в разах;
- энтропию (бит/символ);
- среднеквадратическую ошибку;
- пиковое отношение сигнал/шум;
- построить гистограммы входного и восстановленного RGB изображения (рис. 5, 6);
- визуально отобразить разность входного и восстановленного изображений и при необходимости усилить ее для более наглядного представления потерь, вносимых квантованием (рис. 7).

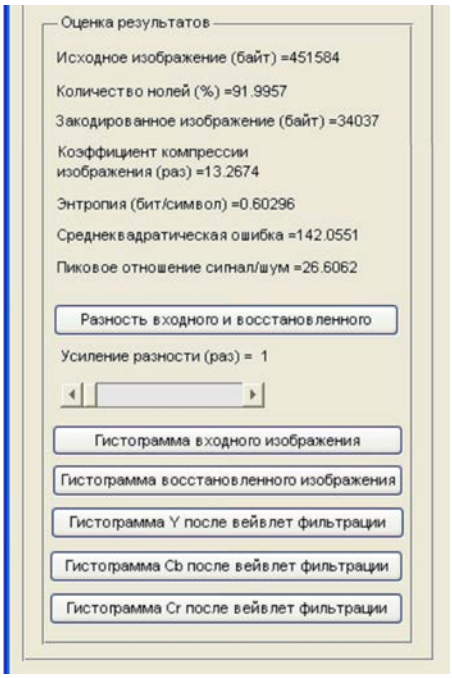


Рис. 4. Панель оценки результатов компрессии изображения

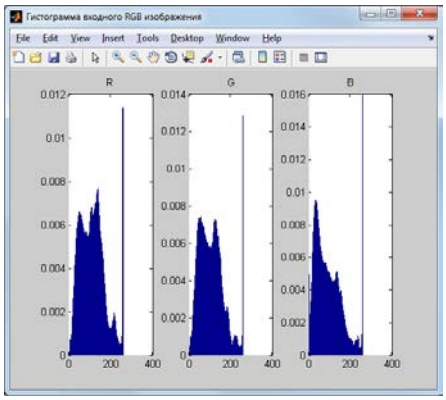


Рис.5. Гистограмма входного RGB изображения

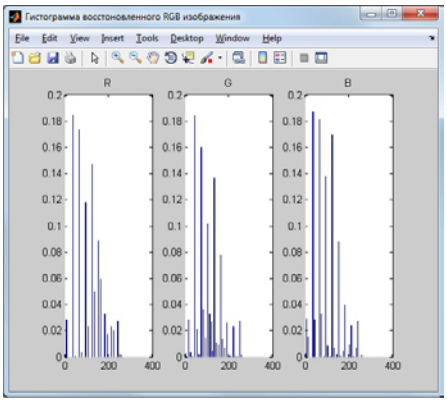


Рис. 6. Гистограмма восстановленного RGB изображения

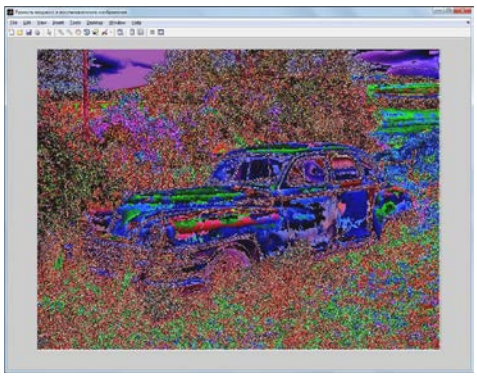


Рис. 7. Разность входного и восстановленного изображения (для наглядности усилена в 5 раз)

Созданное программное обеспечение работает независимо от среды MATLAB и позволяет исследовать эффективность применения дискретных вейвлет-преобразований для сжатия и обработки различных типов изображений.

Список литературы:

1. Сэломон Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с. – ISBN 5-94836-027-X.

2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с. – ISBN 5-94836-092-X.

3. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с. – ISBN 5-94074-123-3.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С U-ОБРАЗНОЙ ФУНКЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

Кармачев Д.П., Ефремов А.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: karmachevd@mail.ru

На сегодняшний день актуальной задачей в теории надежности является анализ и прогнозирование отказов технических систем в процессе их работы [1]. Одним из основных показателей надежности систем является интенсивность отказов, определяемая как

$$\lambda(x) = \frac{F'(x)}{1 - F(x)}, \qquad (1)$$

где $F(x)$ - интегральный закон распределения наработки на отказ (функция вероятности отказов) [1].

Зависимость интенсивности отказов большинства технических систем описывается U-образной кривой, имеющей вид, приведенный на рис. 1 [2].

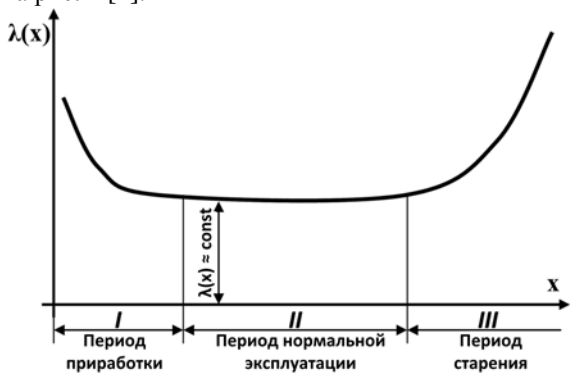


Рис. 1. Характерная кривая интенсивности отказов

Графики кривых интенсивностей отказов большинства использующихся на практике моделей надёжности (МН), основанных на простых законах распределения времени наработки (экспоненциальный и нормальный законы, распределение Вейбулла-Гнеденко и др.) позволяют учитывать лишь часть от характерной U-образной кривой [2]. В связи с этим, использование таких моделей для анализа надежности не всегда дает корректные результаты, т.к. во внимание не берутся интервалы приработки либо износа (рис. 2).

В связи с этим, основная задача современных исследователей в области надежности – поиск законов распределений, для которых форма кривой функции интенсивности отказов, определяемой выражением (1), близка к виду, изображенному на рис. 1 [1].

Целью настоящего исследования является изучение влияния параметров моделей надежности, введенных в работах [3-5], на форму кривой интенсивности отказов.

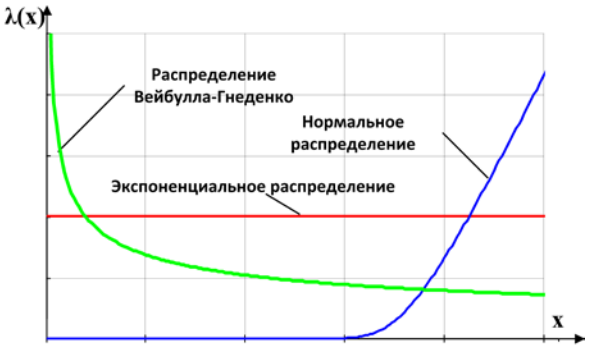


Рис. 2. Вид функций интенсивностей отказов для типовых распределений

J–образное распределение, подробно рассмотренное в работе [3], задается следующим законом:

$$F(x) = \begin{cases} (x/b)^{\upsilon}(2 - x/b)^{\upsilon}, 0 \le x \le b \le \infty, \\ 0, x < 0, \\ 1, x > b, \end{cases}$$

В результате исследования выявлено, что функция (1) для данной МН принимает вид, сходный с рис. 1 при $0<\upsilon<1$. Кроме того, значения функции $\lambda(x)\to\infty$ при $x \to 0$ и $x \to b$ [3]. В результате анализа было установлено, что с увеличением υ сокращается период нормальной эксплуатации, и увеличивается скорость убывания функции $\lambda(x)$ в период приработки. При увеличении параметра b увеличивается период нормальной эксплуатации и уменьшается интенсивность отказов на всех трёх периодах. Подробнее влияние параметров МН на функцию $\lambda(x)$ показано на рис. 3.

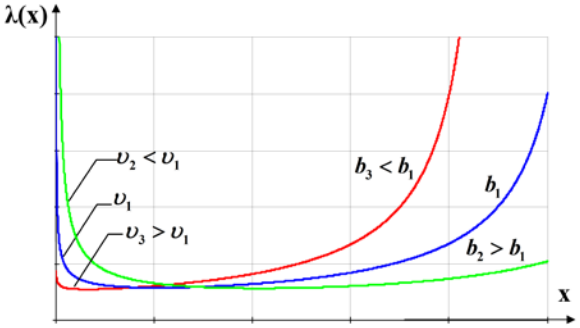


Рис. 3. Кривые интенсивности отказов J-образного распределения

Распределение Хьёрта рассмотрено как МН в работе [4]. Функция интенсивностей отказов для этой МН имеет вид:

$$\lambda(x) = \delta x + \frac{\theta}{1+\beta x},$$

при условии, что δ>0, θ>0, β>0. В результате исследований было выявлено, что кривая интенсивности принимает вид схожий с рис. 1 при $0<\delta<\theta\beta$. В результате анализа было установлено, что параметр θ напрямую влияет на положение начала периода приработки, т.е. увеличивая параметр θ, увеличивается количество отказов на первом периоде ($\lambda(0)=\theta$). При повышении параметра β скорость убывания функции интенсивности отказов на первом периоде возрастает, иначе говоря, сокращается период приработки и увеличивается период нормальной эксплуатации, не смотря на то, что он незначителен для данного распределения. При увеличении параметра δ повышается скорость возрастания функции $\lambda(x)$ на периоде старения и уменьшается длина второго периода. Более подробно влияние параметров на функцию интенсивности отказов приведено на рис. 4.

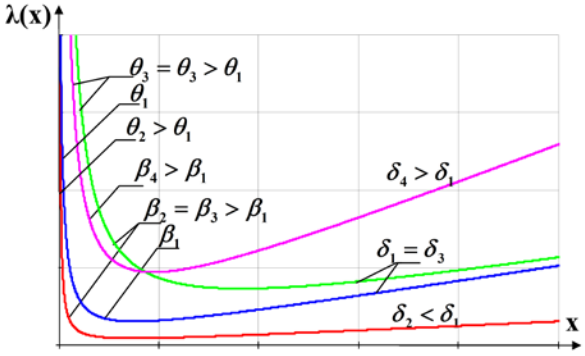


Рис. 4. Зависимость кривой интенсивности отказов от параметров распределения Хьёрта

Аддитивное распределение Бурра используется как МН в работе [5]. Функция вероятности отказов имеет вид:

$$F(x) = 1 - \exp\left\{-k_1 \log\left[1+\left(\frac{x}{s_1}\right)^{c_1}\right] - k_2 \log\left[1+\left(\frac{x}{s_2}\right)^{c_2}\right]\right\}$$

где k_1>0, k_2>0, s_1>0, s_2>0. В результате исследований было выявлено, что кривая интенсивности принимает вид схожий с рис. 1 при $0<c_1<1$, $c_2>2$ [5]. Модель является комбинацией двух распределений Бурра. На правую часть графика функции интенсивности отказов влияют параметры с индексом «2», на левую - с индексом «1». В результате анализа было выявлено, что при уменьшении параметров k_1 и/или k_2 уменьшается продолжительность периода нормальной эксплуатации. Параметры c_1 и c_2 влияют на скорость убывания и возрастания функции интенсивности отказов в периодах приработки и старения соответственно. Также, с ростом этих параметров увеличивается продолжительность периода нормальной эксплуатации. Параметры s_1 и s_2 влияют на положение точек перехода графика функции $\lambda(x)$ с периода приработки на II-ой, и со II-го периода на период старения. Данные параметры напрямую влияют на продолжительность нормальной эксплуатации. Более подробно влияние параметров МН на функцию интенсивности отказов приведено на рис. 5.

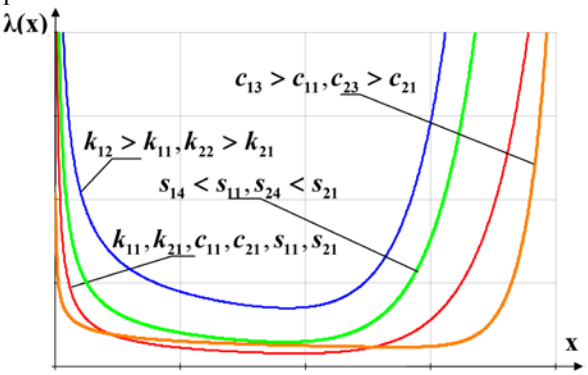


Рис. 5. Влияние параметров аддитивного распределения Бурра на кривую интенсивности отказов

J-образное распределение и аддитивное распределение Бурра имеют форму кривой интенсивности отказов схожую с характерной. Распределение Бурра позволяет с большей точностью настраивать внешний вид кривой $\lambda(x)$, но при этом большое количество параметров модели приводит к увеличению сложности вычислений. МН, основанная на распределении Хьёрта проста в настройке и хорошо подходит для моделирования надёжности механических систем, т.к. после периода приработки интенсивность отказов постоянно увеличивается. J-образное распределение является самым оптимальным из исследованных, однако, его недостаток заключается в ограниченной параметром b области определения функции интенсивности отказов.

Список литературы

1. В.А. Острейковский. Теория надежности: учебник для вузов – М.: Высшая школа, 2003 – 463 с.
2. И.А. Ушаков. Курс теории надёжности систем: уч. пособие – М.: Дрофа, 2008 – 239 с.
3. S. Nadarajah, S. Kotz. Moments of some J-shaped distributions, Journal of Applied Statistics, 2003, Vol. 30(3), pp. 311-317.
4. S. Nadarajah. Bathtub-shaped failure rate functions, Quality & Quantity, September 2009, Vol. 43(5), pp. 855-863.
5. F.K Wang. A new model with bathtub-shaped failure rate using an additive Burr XII distribution, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 70(3), December 2000, pp. 305–312.

ТЕСТИРОВАНИЕ НАБОРОВ ДАННЫХ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ z/OS.

Клюев С.В.
Научный руководитель: Бартеньев О.В., к.т.н., доцент,
Московский энергетический институт, 111250, Россия, г. Москва ул. Красноказарменная, 14
Email: KliuyevSV@mpei.ru

Введение

Операционная система (ОС) z/OS, разработанная компаний IBM, предназначается для поддержки архитектуры z/Architecture, которая используется в мейнфреймах на платформе zSeries. Ввиду того, что эволюция данной ОС берёт свои истоки от платформы S/360, выпущенной IBM в 60-х годах, структура ОС и заложенные в ней принципы отличаются от распространенных в настоящее время UNIX-подобных ОС.

В UNIX-подобных ОС организация данных (их формат) осуществляется приложением. Минимальной единицей информации для таких ОС является бит, в то время как в z/OS формат данных определяется ОС уже при создании, а минимальной единицей информации, с которой оперирует ОС, является запись, представляющая собой набор связанных данных, к которым приложение в дальнейшем получает доступ. Ввиду указанных особенностей файлы в z/OS именуются *наборами данных*, а их внутренняя структура - *организацией набора данных*. В зависимости от решаемых в ОС задач существуют разные виды организации наборов данных: последовательные, библиотечные, наборы данных VSAM и прочие. Более подробная информация о них представлена в [1]. Далее будет рассмотрена организация одного из библиотечных наборов данных – PDSE (Partitioned Data Set Extended).

Организация PDSE наборов данных

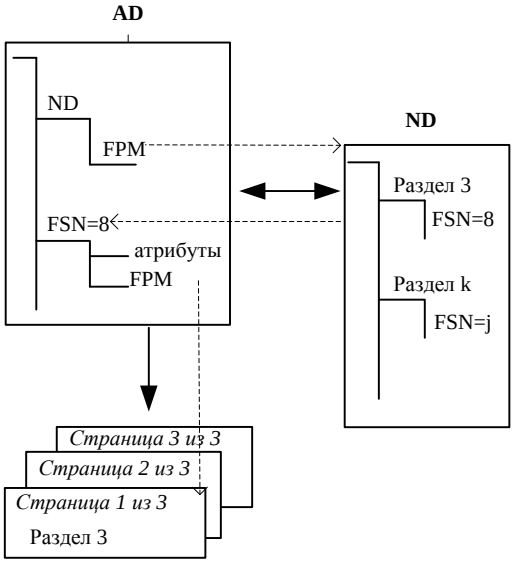
PDSE наборы данных используются для хранения исходных текстов программ, процедур, заданий, текстовых документов и т.п.

При создании PDSE-набора данных область внешней памяти разбивается на равные блоки по 4 КБ, именуемые страницами, в которых содержатся блоки оглавления и разделов (данных). Для обеспечения динамического расширения оглавление набора данных, а также изменения параметров разделов, блоки оглавления распределяются разрывным образом вместе с блоками данных.

Оглавление имеет индексную организацию, состоящую из AD (Attribute Directory) и ND (Name directory) страниц, которые обеспечивают взаимосвязь со страницами разделов. Иерархическая структура AD-страниц, реализована по принципу B-дерева и содержит информацию об атрибутах разделов (время создания, время последнего изменения, информацию о размере и т.д.), а также о самом наборе данных.

Разделы PDSE отслеживаются посредством идентификатора FSN (files sequence number). Указатель на страницу, содержащую данные раздела, хранится в FPM (fragment parcel map).

ND-страницы так же организованы по принципу B-дерева и связывают индивидуальные имена разделов с их идентификаторами FSN. Внутренняя структура элементов оглавления представлена на рис. 1 [2].



Страницы разделов

Рис. 1. Внутренняя структура элементов оглавления

Наиболее часто используемые страницы оглавления кэшируются в виртуальную память для ускорения доступа к данным.

Такая организация увеличивает скорость доступа к данным и реализует эффективный механизм использования памяти, но в свою очередь требует дополнительных затрат в процессе тестирования.

Задачи и средства тестирования PDSE наборов данных

Важными задачами тестирования PDSE наборов являются проверка целостности и доступности данных. Можно выделить следующие ключевые моменты в решении этих задач:

- Проверка целостности структуры набора данных.

- Тестирование поведения набора данных в условиях совместной обработки его несколькими системами, объединёнными в кластер.
- Оценка производительности, связанная с проверкой скорости выполнения таких операций, как добавление, удаление и поиск раздела в наборе данных.
- Проверка совместимости версий.
- Тестирование работы в «нештатных» условиях.

Средства ОС z/OS предоставляют ряд утилит и сервисов используемых при решении поставленных задач. Средства проверки целостности данных, представлены набором внутренних командам и утилит z/OS [2], которые позволяют идентифицировать проблемы связанные с разделением ресурсов и вовлечённые в них PDSE наборы данных, а так же верифицировать структуру директории. Производительность системы, в частности скорость обработки наборов данных, осуществляется средствами Resource Measurement Facility [3] (RMF), позволяющей отслеживать скорость обработки данных z/OS или кластера z/OS и имеет инструменты для оптимизации параметров и конфигурации системы (z/OS или кластера z/OS).

Описанные средства предоставляют возможности по диагностированию проблемы, но в большинстве случаев перед их непосредственным вызовом требуют предварительного анализа условий возникновения неисправности. Анализ условий осуществляется в ручном режиме, который не может быть применён в процессе исполнения группы автоматизированных тестов. Следует также отметить, что воссоздание причин возникновения ошибок связанных с синхронизацией и сериализацией ресурсов является сложной задачей, ввиду зависимости таких ошибок от времени выполнения операций. ОС z/OS не предоставляет специализированные средств имитации «нештатных» условий, таких, как эмуляция нехватки памяти, пространства для создания набора данных, задание некорректных параметров в процессе создания и др. Такие ситуации могут быть воссозданы при помощи языка управления заданиями JCL [4] и языков программирования, таких как REXX [5] и HLASM [6].

Заключение

В работе были рассмотрены особенности структуры библиотечного набора данных PDSE ОС z/OS. Сформулированы основные задачи тестирования и проведён анализ текущих внутренних средств ОС z/OS используемых для решения задач тестирования. Из представленного видно, что задачи автоматизации тестирования z/OS решены лишь частично, что заставляет разработчиков вкладывать значительные средства в разработку собственных решений. В качестве последующего направления исследования планируется дальнейшее изучение структуры наборов z/OS, определение требований к системе тестирования, способной производить анализ и выявление ошибок автоматизированным образом, и разработка автоматизированной системы тестирования z/OS.

Список литературы

1. z/OS DFSMS Using Data Sets. SC23-6855-00.
2. Partitioned Data Set Extended Usage Guide, IBM, SG24-6106-01, 38c.
3. z/OS RMF User's Guide, IBM, SC34-2664-00
4. http://www-01.ibm.com/software/awdtools/rexx/.
5. z/OS MVS JCL Reference,IBM, SA23-1385-01.
6. HLASM General Information, IBM, GC26-4943-06.

КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

Книга Е.В., Жаринов И.О.
Научный руководитель: Жаринов И.О., д.т.н., доцент
ФГУП «Санкт-Петербургское Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова»,
198095, Россия, Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д.40
E-mail: ekovinskaya@gmail.com

Введение

Бортовые цифровые вычислительные системы (БЦВС) структуры интегрированной модульной авионики (ИМА) представляют собой многопроцессорные многомодульные вычислительные системы, выполненные в едином конструктиве с использованием унифицированных конструктивно-функциональных модулей (КФМ) [1, 2]. Номенклатура КФМ представлена шестью функциональными элементами, классифицируемым в соответствии с назначением на: модуль вычислительный (МВ), модуль графический (МГ), модуль ввода-вывода (МВВ), модуль массовой памяти (МПП) и модуль коммутатор (МК), модуль напряжений (МН).

Внутренняя структура каждого модуля строится на основе базовой структуры вычислительного модуля [3], которая включает: узел поддержки модуля (УПМ), интеллектуальный узел электропитания (ИУЭП), узел функций модуля (УФМ), узел связи по межмодульному интерфейсу (УМИ).

В зависимости от назначения КФМ в его внутренней структуре присутствуют дополнительные функциональные элементы: узел связи с внешними интерфейсами (УВИ), узел связи с платами-мезонинами (УСМ) и схемы расширения УФМ.

Функциональные схемы КФМ

МВ предназначен для реализации общих и специальных алгоритмов управления движением летательного аппарата, для выполнения математических расчетов в реальном масштабе времени, для диагностики бортового оборудования и т.д.

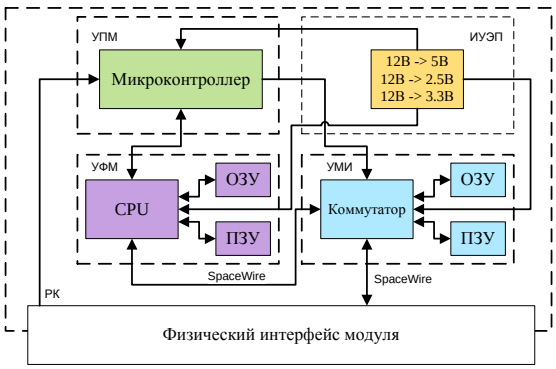


Рис.1. Функциональная схема МВ.

Функциональная схема МВ приведена на рис.1. МВ состоит из УФМ, содержащего процессор (CPU), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ); УМИ, содержащего коммутатор, ОЗУ и ПЗУ; УПМ и ИУЭП.

МВВ предназначен для реализации функций согласования между разнородными бортовыми интерфейсами (последовательные каналы связи (ПК), мультиплексные каналы информационного обмена (МКИО), аналоговые сигналы, разовые команды (РК) и пр.) с целью организации информационного взаимодействия абонентов на борту летательного аппарата (ЛА) друг с другом.

Функциональная схема МВВ приведена на рис.2. МВВ строится на основе внутренней структуры МВ с добавлением УСМ и подключением двух плат-мезонинов для поддержки в БЦВС необходимых бортовых интерфейсов.

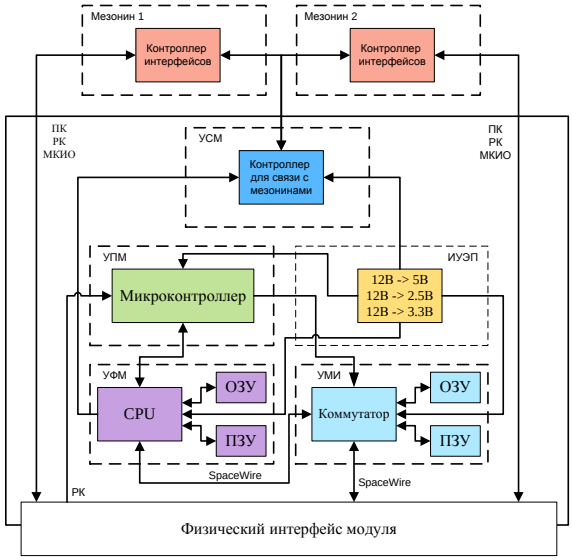


Рис.2. Функциональная схема МВВ.

МГ предназначен для приема информации от бортовых источников видеоизображения (в том числе, телевизионной и радиолокационной информации), для обработки и формирования графической информации, для вывода видеоизображения на средства индикации информационно-управляющего поля кабины пилота ЛА.

Функциональная схема МГ приведена на рис.3. МГ строится на основе внутренней структуры МВ с добавлением в УФМ специализированного графического контроллера с дополнительным ОЗУ.

МПП предназначен для хранения в своем ПЗУ баз данных функционального программного обеспечения; баз данных экспертно-советующих си-

стем; для обработки запросов, поступающих от вычислительных модулей, графических модулей и модулей ввода-вывода на исполнение специальных приложений программного обеспечения и для поддержки функции реконфигурации БЦВС при возникновении отказов КФМ.

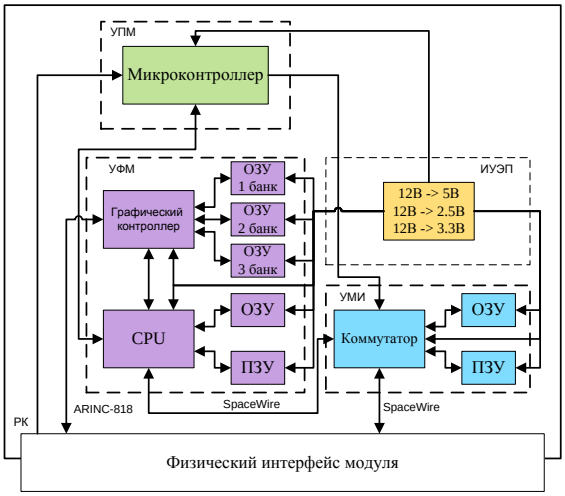


Рис.3. Функциональная схема МГ.

Функциональная схема МПП приведена на рис.4. МПП строится на основе внутренней структуры МВ с добавлением УСМ и плат-мезонинов для расширения объема постоянной памяти.

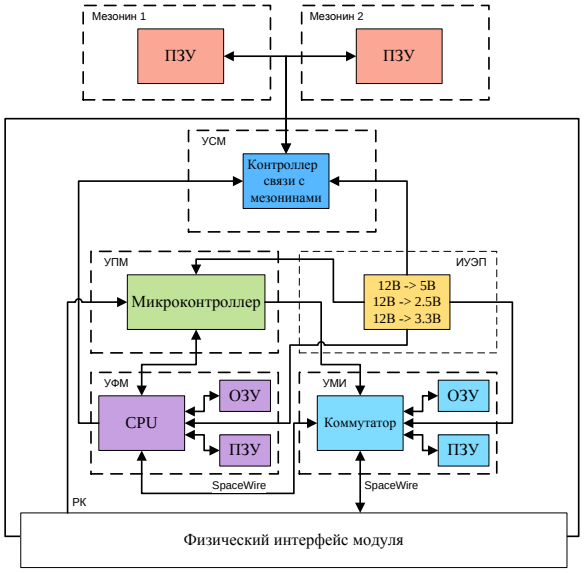


Рис.4. Функциональная схема МПП.

МК предназначен для реализации сопряжения внутреннего интерфейса SpaceWire БЦВС с интерфейсом внешней бортовой сети ЛА.

Функциональная схема МК приведена на рис.5. МК построен на основе внутренней структуры МВ с изменением УФМ. УФМ содержит специализированные устройства для приема и передачи информации по оптическому интерфейсу Fibre Channel (спецификация FC-AE-ASM) и контроллер этого интерфейса.

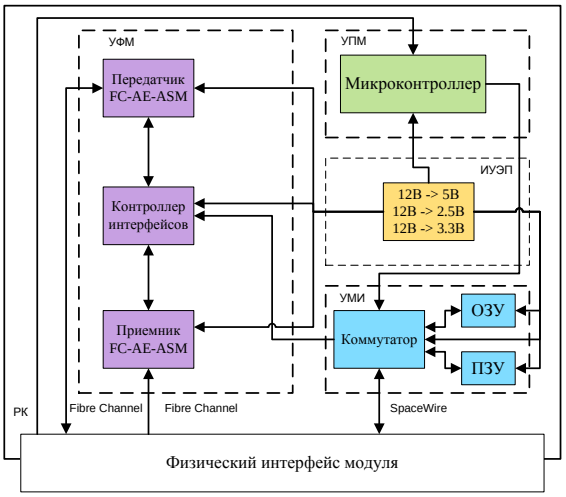


Рис.5. Функциональная схема МК.

Принцип работы всех КФМ (кроме МПП) заключается в следующем. При подаче напряжения электропитания КФМ осуществляет инициализацию входящих в его состав компонентов (микросхемы программируемой логики, микроконтроллеры, микропроцессоры). После инициализации КФМ принимает из постоянной памяти МПП функциональное программное обеспечение (ФПО) БЦВС по внутренней локальной сети SpaceWire и заносит его во внутреннее ОЗУ КФМ. Дальнейшая работа КФМ определяется алгоритмом ФПО.

Заключение

В результате проектирования представлены функциональные схемы КФМ для реконфигурируемой БЦВС класса ИМА (стандарты ARINC-651—ARINC-655). Показано, что различные по назначению КФМ могут быть построены на основе внутренней структуры базового модуля путем добавления новых специализированных узлов и расширения узла функций модуля.

Список литературы

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография, М.: Машиностроение, 2010, 224 с.

2. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2013, № 2 (84), с.1–17.

3. Книга Е.В., Жаринов И.О. Организация внутренней структуры модулей перспективных бортовых цифровых вычислительных систем авионики // Сборник трудов молодых ученых, аспирантов и студентов научно-педагогической школы кафедры ПБКС «Информационная безопасность, проектирование и техно-логия элементов и узлов компьютерных систем» / Под ред. Ю.А. Гатчина, СПб: НИУ ИТМО, 2013, ч.1, с.127-131.

РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОМ (NETWORK BRIDGE)

Комаров А.Ю, Дорофеев В.А
Научный руководитель: Дорофеев В.А., ст. преподаватель
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: alexvirus90@mail.ru

Введение

Удаленное администрирование – это управление компьютером (сервером) с удаленной точки. Доступ к компьютеру (серверу) осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения по защищенным каналам связи, что гарантирует высокий уровень безопасности. Удаленное администрирование поможет решить большинство возникающих проблем при использовании компьютеров, серверов и программного обеспечения. Необходимыми условиями пользования услугой являются отсутствие проблем с интернетом и возможность входа пользователя в систему.

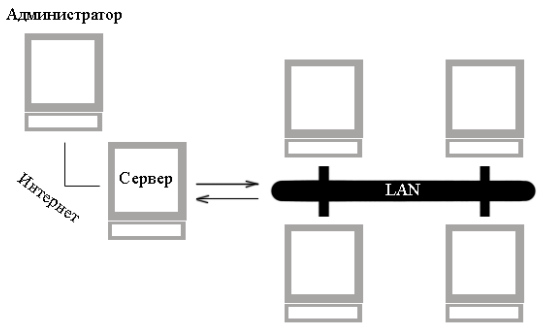


Рис.1. Удаленное администрирование рабочих станций

Удаленное администрирование позволит :

1. Установить, обновить и настроить ПО;
2. Выполнить настройку рабочего окружения пользователя и параметров ОС;
3. Провести антивирусную профилактику, удаление вирусов и шпионского (вредоносного и нежелательного) ПО;
4. Получить консультации по работе в прикладных программах;
5. Осуществить диагностику и устранить программные сбои ПО и ОС.

Принцип работы

После запуска появляется экран удаленного компьютера, на своем мониторе, в оконном режиме или в полноэкранном. Ваши манипуляции устройствами такими как, мышью или клавиатурой, передаются на удаленный компьютер. Поэтому, работая за ним вам, будет казать что, он находится прямо перед вами. Работая удалённо, можно управлять компьютером из любой точки, использовать обмен данными, голосовой и текстовый чат, удалённое выключение и другое.

Описание

Для реализации зложенных выше задач было разработано клиент-серверное приложение Network Bridge.

Приложение Network Bridge предназначен для организации удаленного администрирования операционных систем Windows.

Данное приложение может быть локализована и адаптирована на любые языки.

После подробного изучения всех возможностей и недостатков, таких основных программ как: TeamViewer, Ultra VNC, Radmin и т.д. Были сформулированы некоторые функции и возможности клиент-серверного приложения, а также в нем будет осуществляться безопасность и защита паролем.

Приложение Network Bridge включает в себя только самое основное, что необходимо для управления удаленным ПК.

Основная часть приложения

Приложение Network Bridge состоит только из одной серверной части, которую, путем применения некоторых настроек (ограничений), можно сделать клиентской. Эти настройки будут защищены паролем, чтобы пользователь не мог произвести изменения в них, тем самым установив себе административные права доступа. Также Network Bridge не требует установки на ваш ПК, тем самым экономит ваше время и облегчает работу.

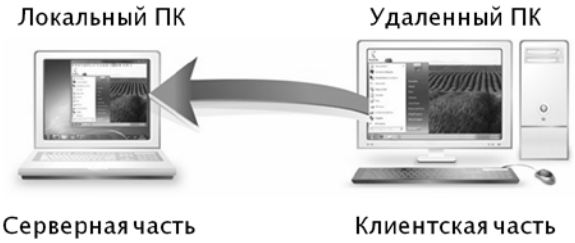


Рис. 2. Работа составных частей приложения

Также стоит отметить, что Network Bridge может осуществлять управление ПК, как по локальной сети, так и через интернет.

Функциональный состав приложения

После завершения разбора некоторых аспектов приложения Network Bridge, теперь давайте поговорим об остальных возможностях (функциях) этого приложения.

Клиентская, как и серверная часть имеет следующие возможности:

1. Позволяет совершать обмен данными между пользователями;
2. Позволяет производить обмен текстовыми сообщениями, а также есть возможность голосового общения;
3. Имеется поддержка видеовызова.
4. Помимо данных возможностей, серверная часть имеет еще несколько функций, таких, как:
5. Полное управление удаленным ПК с использованием периферийных устройств, как клавиатура и мышь;
6. Также есть возможность простого просмотра экрана удаленного ПК.

Спектр решений приложения

Системное управление компьютером:

1. Удаленное администрирование компьютеров по локальной сети;
2. Удаленное администрирование через Интернет.

Удаленное администрирование сетей малого, среднего и большого масштаба. С помощью данного приложения, вы будите экономить время на дорогу до места расположения ПК в той или иной сети.

Поддержка клиентов:

1. Осуществлять техническую поддержку клиентов удаленно;
2. Оказывать удаленную компьютерную помощь друзьям.

Приложение позволяет сотрудникам службы технической поддержки работать удаленно с клиентами. Также, если вы являетесь незаменимым экспертом в компьютерной технологии среди своих родственников и друзей, вы с легкостью сможете настроить их компьютеры, не выходя из дома, используя обычное удаленное управление компьютером. Помимо этого есть возможность использовать функции текстового и голосового чата.

Дистанционное обучение:

1. Транслировать действия, которые преподаватель выполняет непосредственно на своем компьютере, на экраны студентов;
2. Следить за работой студентов и в случае необходимости помочь им удаленно.

Приложение можно использовать в компьютерном классе для помощи ученикам, организовать «виртуальный класс» для удаленных студентов или сотрудников компании для обучения новым навыкам.

Удаленная работа

1. Работать удаленно из дома;
2. Работать на офисном ПК во время командировок.

Приложение позволит вам управлять удаленным офисным или домашним компьютером из любой точки мира, где есть доступ в Интернет. Вы можете получить безопасный доступ к своей электронной почте, к файлам, а также к рабочему столу из любого Интернет-кафе или гостиницы.

Демонстрация онлайн-презентаций

1. Транслировать свой экран для онлайн-демонстраций;
2. Поддерживать связь с партнерами, коллегами и между офисами компании.

Данное приложение поможет вам легко организовать онлайн-совещания и презентации с использованием текстового и голосового общения.

Технические средства реализации

Для реализации данного программного продукта, была использована Visual Studio и язык программирования C# (Си шарп).

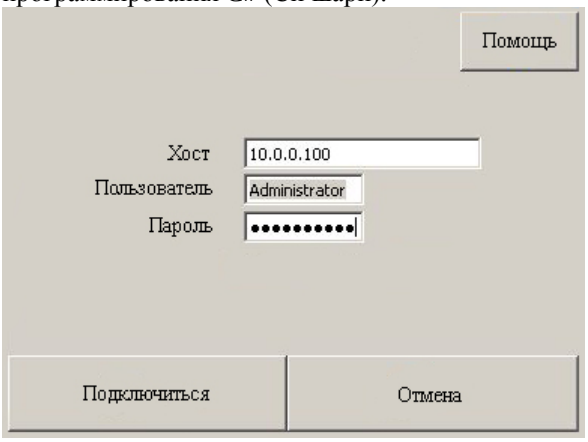


Рис.3. Главная форма программы

Данное приложение предполагает использование следующих элементов:

1. Серверных и клиентских компонентов сетевого протокола TCP (TcpListener, TcpClient);
2. Поддержка механизма многопоточности (Threadings);
3. Поддержка механизма событий Events, для оповещения сервера о событиях, наступающих на стороне клиента, таких, как подключение, отключение.

Для обеспечения хэширования информации о паролях будет подключено пространство имен System.Security.Cryptography.

Также подключим следующие пространства имен для работы с сокетами, для работы с потоками, для работы с вводом вывода:

1. System.Net;
2. System.Threading;
3. System.IO;
4. System.Net.Sockets.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ В ПОЛНОТЕКСТОВОМ ПОИСКЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Костыря Е.И.
Научный руководитель: Ковин Р.В, доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: e.kostyrya@gmail.com

Автоматизация производственных и управленческих процессов с помощью ERP и MES систем в настоящее время является почти стандартом ведения бизнеса на рынке. Оптимизация работы сотрудников позволяет сокращать многие расходы, связанные с неточностью расчетов или отставанием от плана. Системы управления производством, обладая широким функционалом, позволяют решать различные задачи, которые стоят перед отдельно взятой компанией[1].

Выбор того, какой тип систем стоит внедрить на предприятии, основывается на целях, которые ставит руководство. Так, системы ERP решают задачи финансового менеджмента, управления трудовыми ресурсами, управления активами. В то время как MES является исполнительной системой, направленной на решение задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства.

Эффективность использования таких систем в первую очередь зависит от того, насколько удобно можно найти требуемую информацию. Базы данных таких систем представляют хранилища, в которых находится более миллиона записей, таким образом, системы оперируют большим количество данных. Несмотря на качественную реализацию алгоритмов, которые выполняют основные операции, на которые нацелена отдельно взятая система, блок поиска, как часть системы, зачастую, прорабатывается менее детально. В итоге, поиск имеет очень маленький функционал, что вызывает трудности работы с системой в целом. Такой тип поиска как полнотекстовый позволяет решить эту проблему, однако сложность выбора необходимой информации остается, из-за слишком большого числа выведенных результатов. Поэтому реализация полнотекстового поиска с учетом релевантности в системе является оправданным шагом, который позволит оптимизировать работу с системой.

Реализация полнотекстового поиска была выполнена для MES-системы «Магистраль - Восток», которая является системой управления производством в нефтегазовой отрасли. Программное обеспечение «Магистраль – Восток» состоит из серверной (СУБД Microsoft SQL Server) и клиентской части [2]. Процесс поиска происходит следующим образом. Искомая информация, введенная клиентом в строку ввода, передается специальной процедуре-хранимой процедуре, которая является объектом базы данных, представляющий собой набор SQL-инструкций, который компилируется один раз и хранится на сервере. Хранимая процедура формирует текст запроса на языке TSQL и выполняет его. При этом происходит обращение к механизму полнотекстового поиска, который в свою очередь отвечает за хранимые данные. По полнотекстовому индексу происходит выборка требуемых данных. Запрошенные данные возвращаются через хранимую процедуру, которая передает результат запроса на клиентское ПО. В итоге клиент видит результат поиска. Поиск, предоставляет собой не одну хранимую процедуру, а как минимум две: одна - отвечает за индексирование таблиц (все полнотекстовые индексы хранятся в полнотекстовом каталоге), другая - непосредственный поиск. Автоматическая индексация таблиц является необходимым этапом, поскольку количество таблиц слишком велико для ручной индексации, именно поэтому модуль индексирования формируется в виде хранимой процедуры, так же как и модуль самого поиска.

Возможности полнотекстового поиска не ограничиваются морфологическим разбором слова, поиск можно интеллектуализировать, за счет введения ранжирования результатов. Ранжирование результатов поиска представляет некоторую сортировку, а именно вывод релевантных результатов к поисковому запросу.

Процесс вычисления ранга зависит от нескольких факторов. Средства разбиения по словам в различных языках по-разному разбивают текст на лексемы. Например, строку «dog-house» одно средство разбиения по словам может разбить на «dog» и «house», а другое — на «dog-house». Это означает, что соответствие и ранжирование будут зависеть от заданного языка, потому что в разных языках различаются не только слова, но и длина документа. Разница в длине документа может повлиять на ранжирование во всех запросах.

Такие статистические данные, как IndexRowCount (Общее число индексированных строк. Вычисляется на основе счетчиков в промежуточных индексах. Точность этого числа может быть различной.), могут различаться в широких пределах. Например, если полнотекстовый каталог имеет 2 миллиарда строк в главном индексе, то новый документ индексируется хранящимся в памяти индексом. Поэтому ранги для этого документа, вычисленные

на основе количества документов в индексе, хранящемся в памяти, могут отличаться от рангов для документов из главного индекса.

Средства MS SQL Server ранжирования:2008R2 позволяют использовать четыре различные предикаты[3]:

- FullText
- Containstable
- SABOUT
- Freetexttable

Предикаты ранжирования основываются на разных алгоритмах. Наиболее используемые являются алгоритмы ранжирования на основе формулы Жаккарда и формулы ранжирования OKAPI BM25.

Так, ранжирование предикатом FullText позволяет сравнить строку поискового запроса с ключевым полем, после сделать сортировку по убыванию. FullText является наиболее простым механизмом ранжирования. В то время как Containstable позволяет ранжировать неточные совпадения каждого из слов, входящих в строку поиска[4].

Наиболее эффективными являются предикаты Freetexttable и параметр ISABOUT предиката Containstable.

ISABOUT — это запрос в векторном пространстве, если пользоваться традиционной терминологией извлечения данных. Ранжирование вычисляется для каждого термина в запросе, а затем результаты объединяются.

Ранжирование предикатом Freetexttable основывается на формуле OKAPI BM25 [5]. Запросы FREETEXTTABLE добавляют к запросу словоформы, полученные по исходным словам запроса. Эти слова обрабатываются как отдельные и независимые, не относящиеся к словам, производными которых они являются. Синонимы, сформированные с помощью тезауруса, обрабатываются как отдельные, независимые и взвешенные выражения. Каждое слово в запросе вносит свой вклад в ранжирование.

В результате исследования, было выявлено, что предикат Freetexttable выполнял наиболее эффективный поиск, в рамках поставленных задач. Сравнение происходило двух наиболее успешных в полнотекстовом поиске предикатов Freetexttable и Containstable. Так, при работе с БД «Магистраль-Восток», при вводе строки ‘Бурение*’ (см. табл.1.) запрос с предикатом Containstable выдал все результаты по порядку, в то время как предикат Freetexttable выдал численное значение ранга релевантного результата.

Таким образом, полнотекстовый поиск с учетом релевантности позволяет существенно повысить эффективность поиска. За счет несложных алгоритмов, оптимизация поиска увеличивается в несколько раз. Выдавая ранжированные списки результатов запроса, полнотекстовый поиск помогает сократить время на выборку требуемой информации. В масштабах предприятий небольшая, с технической точки зрения, модернизация модуля поиска, позволяет повысить производительность труда в целом.

Таблица 1. Ранжирование таблиц

Название таблицы	Предикат Containstable	Предикат Freetexttable
Class._Геолого-технические мероприятия	1	65
Class._Геолого-технические мероприятия	2	65
Class._Геолого-технические мероприятия	3	65
Class. Мероприятия в процессе работ	7	21
Class. Мероприятия в процессе работ	8	21
Class. Мероприятия в процессе работ	9	21
Class. Мероприятия в процессе работ	10	21

Список литературы

1. Ковин Р.В., Копнов М.В., Кудинов А.В., Мирошниченко Е.А., Шерстнев В.С. Корпоративная геоинформационная система для управления производством ОАО “Востокгазпром” //Труды межрегиональной конференции “Газораспределительные системы. АГНКС. АГЗС. Проектирование. Строительство. Эксплуатация.” - Томск, 24-26 сентября 2003. - : , 2003. - с. 112-119 (36752207)

2. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г. Опыт внедрения MES «Магистраль-Восток» в нефтегазодобывающей компании //Автоматизация в промышленности, 2010. -№ 8 -с. 53–58 (66276283)

3. Обзор SQL Server. [Электронный ресурс]. URL: http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms166352(v=sql.90).aspx (дата обращения 10.02.2014)

4. Блог о технологиях .NET. [Электронный ресурс]. URL:http://djekmusic.blogspot.ru/2012/03/ms-sql-2008-2.html

(дата обращения: 10.02.2014)

5. Okapi BM25: a non-binary model. [Электронный ресурс]. URL: http://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/ okapi-bm25-a-non-binary-model-1.html (дата обращения: 10.02.2014)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Котов В.А., Громаков Е.И.
Научный руководитель: Громаков Е.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vladimirkotov91@mail.ru

При проектировании автоматизированных систем (АС) управления процессами нефтегазовой отрасли (НГО) часто возникает неопределенность при выборе необходимого объема контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА). Это обусловлено тем, что использовать общую универсальную формулу расчета объема автоматизации технологического процесса или любого объекта управления, указывающую, к тому же, какие именно КИПиА должны быть выбраны, невозможно, так как каждый исследуемый процесс НГО строго индивидуален по характеру процессов и требованиям к безопасности.

Все информационные переменные, полностью характеризующие функционирование системы, подразделяют на проектные (*установленные*) и переменные, обеспечивающие дополнительные (*предполагаемые, повышенного качества*) потребности заказчика.

Так, например, отраслевым стандартом ОАО «Роснефть» устанавливаются три класса автоматизации, которые обеспечивают достижения установленных и предполагаемых целей заказчика:

1) системы, обладающие лишь теми средствами автоматизации и функциональными возможностями, которые позволяют осуществлять *безопасное управление* технологическим процессом *в соответствии с действующими нормативными требованиями государственных органов;*

2) системы, обладающие улучшенными средствами и возможностями, позволяющими использовать *дополнительные источники эффективности автоматизации и соответствующими сложившейся мировой практике автоматизации* технологических объектов нефтегазодобычи (НГД);

3) системы, реализующие новейшие достижения в развитии автоматизации технологических процессов НГД и требования, предъявляемые вышестоящим уровнем интегрированной АСУ предприятия к АС объектов нефтегазодобычи, благодаря чему их создание оказывается высоко рентабельным направлением капиталовложений.

Целью данной работы является развитие методологии выбора (определения) проектного объема автоматизации технологических процессов НГО.

Можно указать некоторые основные рекомендации по определению необходимого объема автоматизации, которых следует придерживаться при решении задач проектирования АС.

Декомпозиционный принцип — это математическая формализация метода функциональной декомпозиции и последующий расчет степеней свободы (Degrees of Freedom, DOF) объекта управления [1] Для этого сначала весь технологический процесс делят на ряд функциональных подсистем, а затем каждая из них разделяется до уровня отдельных аппаратов (установок), для которых определяется число степеней свободы их процессов и какие именно КИПиА должны быть выбраны для управления свободными (независимыми) переменными, характеризующими процесс.

Эвристический принцип — это тоже формализация широко используемого проектировщиками интуитивно-эвристического метода, который позволяет специалистам при технологическом проектировании автоматизации производств НГО выбирать наиболее удачные (часто задаваемыми отраслевыми нормативными документами) проекты решения задачи автоматизации, без полного перебора всех возможных альтернативных вариантов.

При анализе математических моделей технологических объектов с большим числом варьируемых переменных создание оптимальной стратегии управления, эффективность и простота автоматизации зависят во многом от выбора «удачного набора» свободных (управляемых) переменных.

Концепция степеней свободы предоставляет такой инструмент, в котором степени свободы приходятся на любую независимую переменную, входящую в процесс, изменение которой, будет в той или иной степени влиять на один или более выходной параметр, характеризирующий производительность всего процесса. Соответственно, описание контуров АС этими переменными определяет необходимый объем автоматизации.

Таким образом, с помощью использования АС стремятся уменьшить степень свободы процесса путем использования КИПиА (электронных, пневматических, механических и гидравлические элементов управления), интегрированных в контур управления.

Согласно концепции Себорга Д. [2] нахождение свободных ИП заключается в определении максимального числа переменных процесса, которые могут быть независимо управляемы. Некоторые авторы (Конда Н. [3], Понтон Дж. [4]), отмечают, что этот подход

подвержен ошибкам для интегрированных систем в связи с большим числом уравнений и переменных.

Понтон Дж. представил метод анализа степеней свободы в управлении процессом на основе общего количества технологических потоков, включая нагрев и охлаждение коммунальных потоков. Он предложил, что максимальные степени свободы могут быть получены путем вычитания количества дополнительных этапов в каждом из блоков от общего числа потоков.

Описание математической модели исходит из определенного числа *m* переменных и параметров, характеризирующих состояние процесса и соответствие установленным техническим условиям. Эти информационные переменные связаны независимыми неявными функциями. Число таких функций *n*. Обычно система уравнений математической модели технологического объекта содержит избыток информационных переменных по сравнению с числом уравнений. Этот избыток определяет число независимых (свободных) переменных [5], которыми следует управлять с использованием средств автоматизации и называется степенью свободы технологического процесса отдельной установки или производства в целом *DOF*. Согласно [6] степень свободы технологического процесса удобно вычислять по формуле:

$$DOF = S_i + S_o + H - A,$$

где Si - число входных переменных, *So* - число выходных переменных, *H* принимает значение 1, если извне в процесс поступает энергия, иначе она равна 0, *A* принимает значение 1, если не используется (не контролируется) одна из переменных, характеризирующих приход/расход процессной продукции иначе 0.

Рассмотрим в качестве примера смеситель (рис.1). Здесь *Si=2; So=1; H=0; (нет поступающей извне энергии) и A =0 (считается, что оба входных потока, создающих приход/расход массовой составляющей продукции в смесителе контролируются).* Следовательно, *DOF*=3.

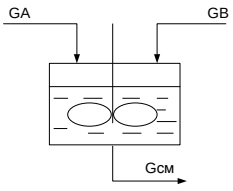


Рисунок 1. Схематичный смеситель

С учетом требований по защите объем автоматизации может быть представлен в виде схемы (рис.2)

Функциональность любой АС должна быть достаточной для обеспечения возможности управления данным технологическим объектом в соответствии с целями создания и функционирования системы, установленными в соответствующем техническом задании.

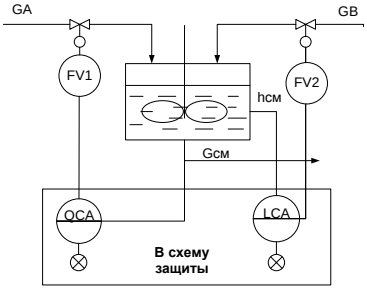


Рисунок 2. Управляемый смеситель

При выборе таких целей и связанного с ними состава функций следует иметь в виду, что существенное повышение показателей экономической отдачи системы часто может быть достигнуто только путем применения новых функций и алгоритмов управления.

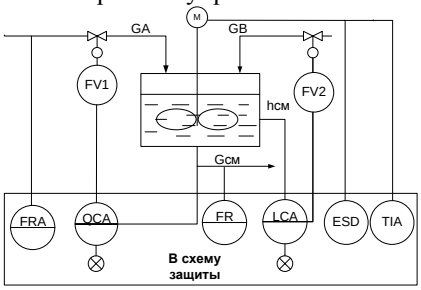


Рисунок 3. Управление повышенного качества

С учетом контроля электрических параметров привода смесителя, которые являются дополнительными источниками эффективности автоматизации, соответствующими сложившейся мировой практике автоматизации, предполагаемый вариант схемы управления смесителем может иметь вид (рис.3).

Предложенная методология позволяет устанавливать ориентировочный объем автоматизации при выполнении проектов АС для различных классов от базового до систем повышенного качества.

Литература:

1. Green, D. W., Perry, R. H.. Perry’s Chemical Engineers’ Handbook 8 th edition, The McGraw-Hill Companies, Inc. , 2008, 2728 p..

2. Seborg, D. E., Edgar, T. F. & Mellichamp, D. A. Process Dynamics and Control. Second edition. New Jersey, Wiley, 2004. 514 p.

3. Konda, N. V. S. N. M., Rangaiah, G. P. & Krishnaswamy, P. R. A simple and effective procedure for control degrees of freedom. Chemical Engineering Science, 61 (4), 2006, 1184-1194 pp

4. Ponton, J.W., Degrees of Freedom Analysis in Process Control, Chemical Engineering Science, Vol. 49 (1994) No. 13, 1089 - 1095 pp.

5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств , Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1991, 400 с

6. M.Rodríguez,J.A.Gayoso, Degrees of freedom analysis for process control 16th European Symposium on Computer Aided Process Engineering and 9th International Symposium on Process Systems Engineering, 2006. 1489-1494 pp.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОДЕКАДНОГО ИНДУКТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПАКЕТАХ ORCAD И MATLAB

Крашкевич А.С., Карабанова О.И.
Научный руководитель: Ким В.Л., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: crazy_skier@list.ru

В данной работе приведены результаты моделирования однодекадного индуктивного делителя напряжения (ИДН) с коэффициентами передач 0,8 и 0,2 в системе проектирования OrCad и в системе компьютерной математики MatLab. Приведена сравнительная оценка *PSpice*-модели и *T*-модели.

Введение

Основная цель моделирования ИДН в системе проектирования OrCad и в системе компьютерной математики MatLab является определение погрешности ИДН, которая зависит от инерционности ее звеньев и от частотного спектра входного сигнала [1]. Передаточная функция [2] представляет собой одну из полных динамических характеристик средств измерений. По передаточной функции можно найти частотные характеристики. Система MatLab позволяет получить аналитические выражения передаточной функции ИДН. В свою очередь, в системе проектирования OrCad можно осуществить расчет АЧХ и ФЧХ цепей с высокой точностью и достоверностью.

Моделирование однодекадного ИДН с коэффициентами передач 0.2 и 0.8 в системе MatLab

Моделирование однодекадного ИДН начинается с построение модели (рис. 1).

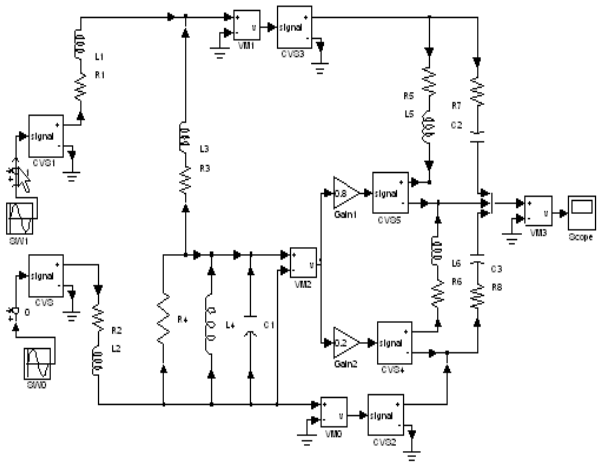


Рис. 1. Simulink-модель однодекадного ИДН с коэффициентом передачи 0,2

Второй этап моделирования – это процесс получения передаточной функции. Искомой передаточной функцией «вход-выход» является T_{13} (передаточная функция от входа управляемого источника напряжения *CVS*1 до выхода измерителя напряжения *VM*3). В процессе моделирования была получена передаточная функция двадцать пятого порядка. В вычислительном аспекте математическая модель такого порядка численно неустойчива и плохо обусловлена [3]. С помощью редуцирования [1] была получена передаточная функция третьего порядка для коэффициента передачи 0,2

$$T_{13}^{0,2} = \frac{0.2174s^3 + 5.084e004s^2 + 6.531e012s + 5.45e008}{s^3 + 2.23e005s^2 + 3.274e013s + 1.502e009}$$

и коэффициента передачи 0,8

$$T_{13}^{0,8} = \frac{0.7825s^3 + 1.683E005s^2 + 2.622E013s + 6.439E01}{s^3 + 2.166E005s^2 + 3.277E013s + 1.01E013}.$$

Завершающим этапом моделирования является сравнение редуцированной (*ivd*01*rtf*) и нередуцированной модели (*ivd*01*t*), где нередуцированная модель – полная модель двадцать пятого порядка, редуцированная модель – модель третьего порядка. Сравнение результатов (табл. 1) проводится по погрешности редуцирования – наибольшего относительного смещения амплитудных погрешностей в моделируемом диапазоне частот

$$\varepsilon_{irt} = \max \left| \frac{\delta_{it} - \delta_{ir}}{\delta_{it}} \right| * 100\%, \qquad (1)$$

где δ_{it}, δ_{ir} – относительные погрешности коэффициентов передач моделей *ivd*01*t* и *ivd*01*rtf* [1].

Таблица 1. Сравнительные результаты расчета редуцированной и полной моделей при частоте 200 кГц

Коэффициент передачи $K_{пj}$	Относительная погрешность δK_i, %		Погрешность редуцирования ε_{irt}, %
	*ivd*01*t*	*ivd*01*rtf*	
0,2	-0,45	-0,5	10
0,8	-0,125	-0,125	0

Моделирование однодекадного ИДН с коэффициентами передач 0.2 и 0.8 в системе OrCad

Исследование однодекадного ИДН при использовании пакета OrCAD начинается с построения его электрической модели с помощью графического редактора *PSpice Schematics* (рис. 2). В основу построения схемы модели (*P*-модель) положена базовая модель *MT* [1].

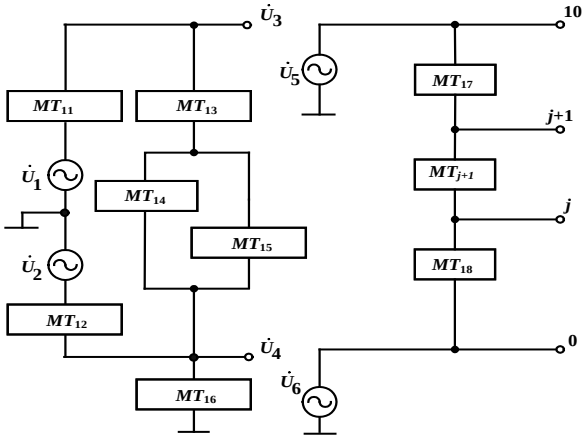


Рис. 2. *P*-модель однодекадного ИДН

Входная цепь состоит из шести базовых моделей (MT_{11}-MT_{16}). Выходная цепь представляет собой упрощенную модель (макромодель). Она содержит три базовые модели (MT_{17}, MT_{j+1}, MT_{18}).

Следующим этапом моделирования является расчет значений элементов выходной цепи для $K_{\text{п}}$ = 0,2(0.8) при C_0 = 300 пФ; l_{s0} = 1,1 мкГн; r_0 = 0,12 Ом (табл. 2), C_0, l_{s0}, r_0 – межпроводная ёмкость жгута, индуктивность рассеяния и активное сопротивление.

Таблица 2. Параметры модели однодекадного ИДН в системе OrCad

Коэффициент передачи $K_{\text{п}j}$	Параметры базовой модели		
	MT_{17}	MT_{j+1}	MT_{18}
0,2 (0,8)	$r_{8,10} = 2r_0$ $l_{s8,10} = 2l_{s0}$ $c_{8,10} = 4{,}25C_0$	$r_{2,8} = 6r_0$ $l_{s2,8} = 6l_{s0}$ $c_{2,8} = 3{,}63C_0$	$r_{0,2} = 2r_0$ $l_{s0,2} = 2l_{s0}$ $c_{0,2} = 4{,}25C_0$

Погрешность коэффициента передачи определяется по графикам АЧХ (рис. 3, рис. 4) используя формулу 1.

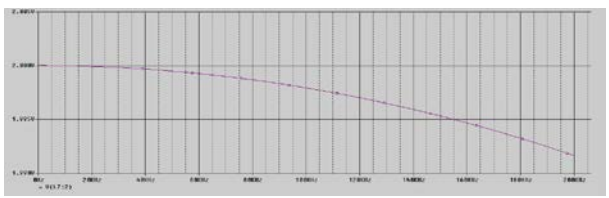


Рис. 3. АЧХ при коэффициенте передачи 0,2 в системе OrCad

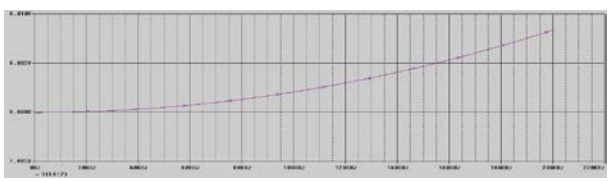


Рис. 4. АЧХ при коэффициенте передачи 0.8 в системе OrCad

Оценка качества моделей

Оценка качества моделей получена методом сравнения *T*-модели с ее с эталоном – *P*-моделью. *T*-модель – это редуцированная *rtf*-модель, созданная в системе MatLab. В таблице 3 приведены расчёты значений погрешностей на границе частотного диапазона 200 кГц для редуцированной *T*-модели и эталонной *P*-модели [1].

Таблица 3. Относительная погрешность коэффициента передачи эталонной и редуцированной моделей

Коэффициент передачи $K_{\text{п}j}$	Тип модели		Погрешность модели $\varepsilon_{\delta j}$, %
	rtf-модель	*P*-модель	
0,2	-0,5	-0,415	20%
0,8	0,125	0,105	19%

Из таблицы 3 следует, что максимальная погрешность *T*-модели ε_δ равна 20 %. Такое относительно немалое значение критерия качества обусловлено редуцированием моделей, преобразованиями *ss*-моделей в *tf*-форму и обратно, округлением чисел [4]. Учитывая погрешность эталонной модели ($\varepsilon_{\delta э}$ = 3%), максимальная погрешность редуцированной *T*-модели $\varepsilon_{\delta r} = \varepsilon_\delta + \varepsilon_{\delta э} = 23\%$ [1].

Заключение

В ходе работы было произведено моделирование однодекадного ИДН в системе MatLab и OrCAD. Были получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), а также была получена передаточная функция третьего порядка. Погрешность Т-модели не превышает 23%, что приемлемо для практических расчетов в частотной области.

Литература

1. Ким В.Л. Методы и средства повышения точности индуктивных делителей напряжения: Монография, Томск: ТПУ, 2009. – 213с.

2. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – Взамен ГОСТ 8.009-72; введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 38 с.

3. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 + Simulink 4/5 в математике и моделировании. Полное руководство пользователя / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН–Пресс, 2003. – 576 с. – ISBN 5-93455-177-9.

4. Медведев В.С. Control System Toolbox / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин; под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ–МИФИ, 1999. – 287 с. – ISBN 5-86404-135-1.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ В АПРИОРЕ НЕИЗВЕСТНОЙ СРЕДЕ

Курганов С.М.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
skurganov92@gmail.com

Цель работы

Одной из важных проблем современной робототехники, является полная автоматизация и автономность роботов и робототехнических систем.

В настоящее время актуальной задачей является создание автопилота для автомобилей. Изначально автопилоты разрабатывались исключительно для использования в авиации, но в дальнейшем системы автоматического управления перешли и на наземные транспортные средства (ТС).

Целью данной работы является разработка системы управления и навигации для движения в неизвестной среде. Существует три основных типа архитектур навигации и управления мобильного робота (МР) в неизвестной среде:

-Архитектура, основанная на разделении функций обработки полученной информации в процессе «распознавание-моделирование-планирование-действие»

-Реактивная архитектура основана на стратегии целенаправленного поведения мобильного робота. Методы оптимизации включают обучение под наблюдением, основанные на нечеткой логике и нейронных сетях, а также локальное планирование поведения на основе информации с датчиков.

-Архитектура гибридной системы на основе интеграции двух предыдущих типов архитектур, которая способна преодолевать трудности при моделировании незнакомой и неопределенной среды и обеспечение адаптивности поведения в реальном масштабе времени.

Для реализации проекта наиболее лучшим образом подойдет гибридная система управления, так как именно данный тип архитектуры наиболее полно поможет, решить все необходимые задачи.

Постановка задачи

Основной задачей данного проекта является создание мобильного робота (МР), способного самостоятельно формировать и передвигаться по определенному, заранее не известному, пути. В свою очередь, данную задачу необходимо разделить на ряд подзадач, представленных на рисунке 1:

-стратегическое планирование
-локальное позиционирование
-исполнительная часть

Решение

Решение поставленных выше подзадач будет основываться на данных, полученных с датчиков, от системы технического зрения, от памяти мобильного робота и других источников. На основе полученных данных будет формироваться определенный управляющий сигнал, передаваемый от одной подзадачи к другой.



Рис. 1. Уровни (подзадачи) навигации и управления

Решение задачи стратегического планирования сводится к нахождению пути из текущей позиции, в необходимую точку. Существует множество алгоритмов определения оптимального маршрута, но большинство из них сводятся к многократному повторению алгоритма и сравнения всех возможных комбинаций пути в каждый момент времени.

Задача локального позиционирования заключается в разделении всего маршрута на определенные участки, именно в этой задаче определяются основные правила поведения мобильного робота, его реакции на препятствия и прокладка пути от одного участка маршрута до другого.

Последней подзадачей является управление движениями МР. Данную подзадачу также можно разделить на две еще более мелкие задачи:

-определение необходимых угловых характеристик колес мобильного робота

-обеспечение определенных угловых характеристик при помощи двигателей

Для решения первой подзадачи, необходимо построить кинематическую схему мобильного робота, а для второй динамическую.

Интеллектуализация управления

Первоочередной задачей при построении автопилота, является интеллектуализация самого процесса управления ТС.

Для реализации данной задачи, мобильная платформа должна быть оснащена дистанционным управлением. Таким образом, оператор сможет управлять ТС на расстоянии. При этом, ТС будет оснащено несколькими ультразвуковыми датчиками, которые будут использованы как раз для интеллектуализации процесса. Датчики будут считывать показания из окружающей среды, и фиксировать расстояние до объектов. Далее, если ТС может стать причиной аварии, то система автоматически блокирует управление с пульта и останавливает ТС, до устранения возможной причины аварии. После устранение всех возможных причин, которые могли вызвать аварию, дистанционное управление переходит в режим полного функционала.

Движение робота в неизвестной среде

На рисунке 2 представлен упрощенный алгоритм движения полностью автономного мобильного робота. Роботу задается конкретная цель,

которую необходимо обнаружить, то есть выполнить задачу управления и навигации в неизвестной среде, для этого ему необходимо проложить все варианты маршрута и оперативно корректировать маршрут, относительно изменения внешней среды.

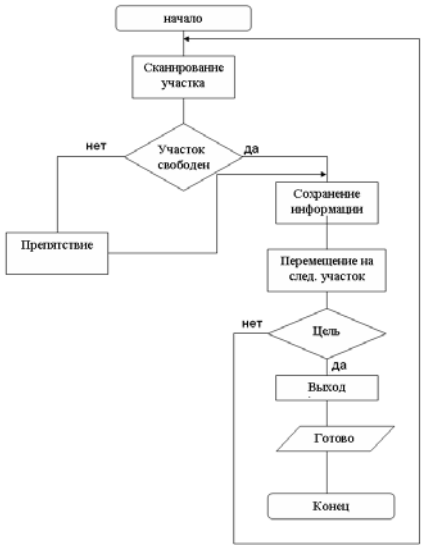


Рис. 2. Алгоритм движения робота в неизвестной среде

Мобильная платформа

Для решения поставленной задачи в качестве мобильного робота было выбрано полноприводное шестиколесное шасси Wild Thumper 6WD (рис. 3) с активной подвеской, что позволяет МР перемещаться в условиях пересеченной местности на довольно высоких скоростях. Параллельность соединения двигателей с каждого борта позволяет использовать систему управления на МР с большим или меньшим количеством колес. Также преимуществом данной платформы является высокая скорость и большая грузоподъемность. При собственном весе около килограмма, платформа может развивать скорость до 6 км/ч с полезной нагрузкой до 3кг, что будет использована нами для перевозки необходимо оборудования.



Рис. 3. Wild Thumper 6WD

Система управления нижнего уровня представлена контроллером коллекторного двигателя фирмы DAGU, специально разработанным для данной платформы.

В качестве датчиков для идентификации и распознавания объектов внешней среды используются: сенсор Kinect фирмы Microsoft (рис 4) и несколько ультразвуковых датчиков (рис 5). Выбор сенсора Kinect обусловлен его низкой стоимостью и огромным потенциалом. Сенсор Kinect состоит из двух сенсоров глубины и цветной видеокамеры. Все это позволяет осуществлять полное трехмерное сканирование пространства, а также позволяет распознавать необходимые объекты и препятствия. Минусом данного сенсора является невозможность его использования в реальной среде. Таким образом, вся разработка будет проходить в лабораторных условиях. При окончании работ в лаборатории, сенсор будет заменен на стереокамеры, способные работать на открытом пространстве, то есть вне помещений.



Рис.4. Сенсор Kinect



Рис.5. Ультразвуковой сенсор

Для обработки информации получаемой с установленных на МР датчиков будет использоваться персональная вычислительная станция. Для начала будет установлен одноплатный компьютер миниатюрных размеров – Raspberry Pi. Далее, когда потребуются большие вычислительные мощности для обработки больших объемов видео данных, одноплатный компьютер будет заменен на более продвинутую машину с дискретной видеокартой NVIDIA, что позволит использовать технологию CUDA для параллельных вычислений.

Вывод

Исследование проблем и разработка методов навигации мобильных роботов в незнакомой среде может внести большой вклад в развитие теории искусственного восприятия (техническое зрение и т.п.), распознавание образов, навигации и адаптивного управления движением мобильных роботов при наличии динамических ограничений и неизвестных препятствий.

Существует огромное множество применений: автомобильная техника, которая используется на угольных и рудных карьерах, сельскохозяйственная техника, машины-роботы, которые перевозят грузы на складе или где-либо на производстве и многое другое.

Литература:

1. Сайт поддержки разработчиков по ROS [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.ros.org/wiki/ , свободный.

2. Kinect — продвинутый датчик для роботов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://habrahabr.ru/post/108927/ , свободный.

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лихолат А.Д.
Научный руководитель: Тутов И.А., ассистент.
Томский политехнический университет, г Томск, пр. Ленина, 30
Lih0i2@yandex.ru

Введение

В настоящее время большинство средств автоматизации (в количественном соотношении) являются системами, разработанными в советское время и на элементной базе тех времен. В последнее десятилетие был совершен рывок в области полупроводниковых приборов и в силовой электронике в том числе. В связи с этим стоит проблема модернизации автоматизированных электроприводов и перевод их на современную элементную базу. В качестве примера такой модернизации, в рамках учебно-исследовательской работы, была использована самодвижущаяся платформа транспортного робота.

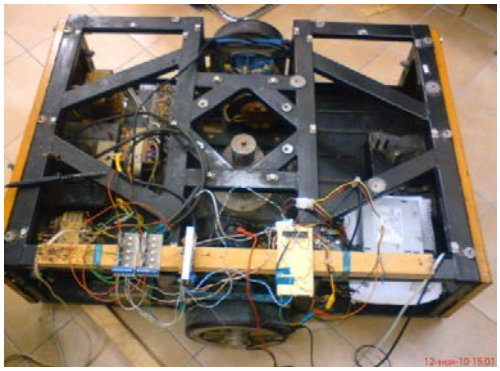


Рисунок 1 Внешний вид самодвижущейся платформы

Электропривод состоял из двигателя ПЯ – 250 Ф, для питания двигателя использовался тиристорный преобразователь, управляющая часть была реализована на релейной логике, в качестве датчиков использовались фотоэлектрические преобразователи (ФЭП). Использованная система не являлась эффективной по качеству управления и по энергопотреблению (в сравнении с современными технологиями). В исходном виде при модернизации были сохранены: шасси, ФЭП и двигатели (см. рисунок 1). Дальнейшие усилия в рамках учебно-исследовательской были направлены на разработку силовой электроники, элементов защиты и управляющей части электропривода. Тиристорный преобразователь был заменен на блок силовых электронных ключей (MOSFET транзисторов), что позволило реализовать систему управления с использованием широтно-импульсной модуляции в режимах, обеспечивающим более качественные характеристики управления двигателем постоянного тока (ДПТ); релейное управление заменено микроконтроллерным; добавлена система, обеспечивающая защиту не только от превышения допустимого тока, но и от перегрева MOSFET.

Структура преобразователя

В результате проведенного анализа применимости классов полупроводниковых приборов, MOSFET транзисторы были выбраны как наиболее подходящие для поставленных задач.

Благодаря использованию широтно-импульсной модуляции питающего напряжения для управления ДПТ, и, тем самым, работе транзисторов в ключевом режиме, удалось значительно снизить энергопотребление системы. Было разработано и исследовано несколько схемотехнических решений для управляемого транзисторного реверсивного преобразователя. В ходе исследования работы готовых вариантов устройств были выявлены недостатки схемотехники, а также трассировки платы влияющие на помехозащищенность отдельных цепей устройства. Проектирование печатной платы проводилось в САПР EagleCAD.(рисунок 2)

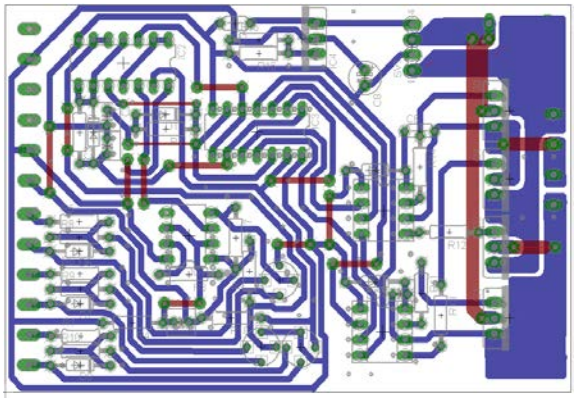


Рисунок 2 Схема трассировки печатной платы преобразователя

Кроме того было принято решение использовать модульную конструкцию, что делает систему гибкой и применимой к различным типам двигателей. В результате был выбран вариант - по одному модулю на каждый ДПТ. Силовые MOSFET транзисторы включены в цепь питания ДПТ по схеме «Н-мост». Питание преобразователя может производиться либо от импульсного источника 12В, либо от силового выпрямителя, питающего транзисторы (36В). Во втором случае

питание цепей логики преобразователя идет с использованием интегрального высоковольтного регулируемого стабилизатора напряжения. Ввиду того, что критерием выбора элементов преобразователя являлось соотношение цена – эффективность, были использованы специализированные микросхемы управления транзисторами. Была разработана и подобрана периферия, управляющая состоянием силовых транзисторов, воспринимающая на входе логические уровни. Чтобы не допускать запрещенных состояний в драйвере двигателя (открытие верхнего и нижнего транзисторов разных диагоналей), были созданы цепи реализации «мертвого» времени и блокировки. Были приняты меры по устранению нежелательных эффектов утечки заряда влияющих на работу микросхем конденсаторов, введен дополнительный информационный канал для отключения преобразователя при столкновении платформы с препятствием.

Все это, включая гальваническую развязку управляющей и силовой частей, было объединено в один блок (см. рисунок 3).

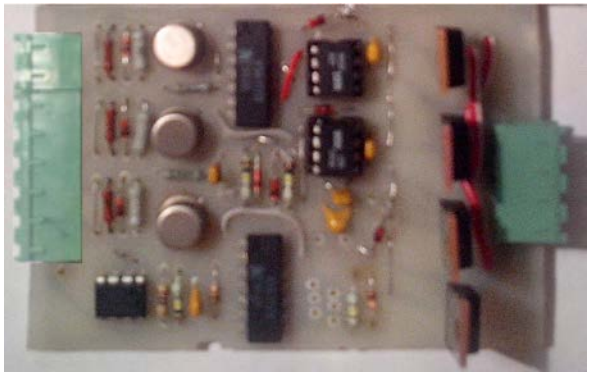


Рисунок 3 Драйвер двигателя. Внешний вид

Также был разработан микропроцессорный блок (на момент написания статьи - на базе AVR микроконтроллера ATmega16, в ближайшей перспективе - ARM микроконтроллер семейства STM32), который позволяет производить управление по сложным алгоритмам, использовать «интеллектуальные» датчики и осуществлять взаимодействие с различными вычислительными системами.

Использование двух блоков драйверов дает возможность производить управление платформой в ручном режиме оператором, либо подключить к драйверу микроконтроллерный блок, который будет производить управление драйвером в автоматическом режиме. Это позволит перемещать платформу, анализируя сигналы различных датчиков, (см. рисунок 5).

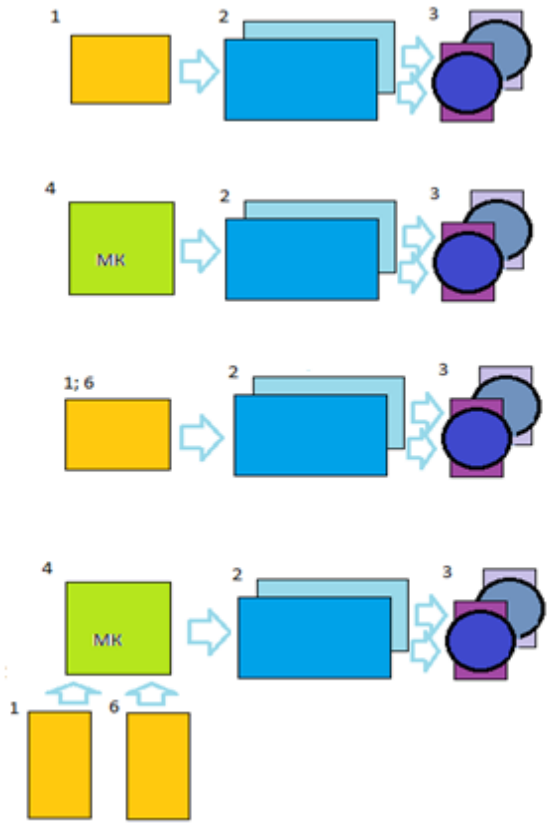


Рисунок 5 Различные управляющие структуры. На рисунке цифрами обозначены: 1- пульт управления; 2 – драйверы ДПТ; 3 – ДПТ; 4 - микроконтроллерный блок; 5 - датчики

Заключение

В результате выполнения учебно-исследовательской работы был модернизирован преобразователь питания ДПТ. Разработан надежный модуль, позволяющих изучать различные подходы к управлению ДПТ. Этот модуль планируется применять в учебном процессе на кафедре ИКСУ в рамках курсов «Компьютерное управление мехатронными системами», «Электромеханические и мехатронные системы», «Автоматизированный электропривод нефтегазовой отрасли».

Литература

1. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001.
2. Datasheet. IRFZ48N
3. Datasheet. IR2102
4. Datasheet. NE555

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИБОРА - ИДЕНТФИКАТОРА НА БАЗЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА

Медведев К.О., Рудницкий В.А.
Научный руководитель: В. А. Рудницкий, к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, г. Томск, пр. Ленина, 30
m_kiril@mail.ru

Введение

В современной технике применяются различные сигналы, а именно цифровые и дискретные.

Дискретный сигнал - это информационный сигнал. Сигнал называется дискретным, в случае если он имеет возможность принимать лишь конечное число значений. **Цифровым сигналом** называется сигнал данных, в котором каждый из представленных параметров описывается функцией дискретного времени, а так же различным множеством возможных значений. Главным свойством цифрового сигнала, определившего его преимущество в системах связи, является его способность стремиться к **полнейшей** регенерации вплоть до некоторого порогового отношения сигнал, в то время как аналоговый сигнал возможно лишь усилить в некоторой степени вместе с наложившимися на него шумами. Здесь кроется и недостаток цифрового сигнала: если цифровой сигнал утопает в шумах, восстановить его невозможно, в то время как человек может усвоить информацию из очень сильно зашумлённого сигнала на аналоговом радиоприёмнике, даже с трудом.

Рассматриваемый прибор - идентификатор предназначен для получения экспериментальным путём математических моделей объектов управления. На данный момент эксперимент по определению структуры и параметров объекта, для которого создаётся система автоматического управления, разделён на два этапа. На первом этапе выполняется получение экспериментальных данных, на втором выполняется их компьютерная обработка. Наличие портативного прибора, выполняющего оба этапа в условиях производства, позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на получение модели объекта управления.



Рис. 1. Схема подключения прибора-идентификатора

Прибор позволяет: получать математические модели управляемого объекта, оценивать работоспособность объекта в процессе эксплуатации путём периодического определения параметров его модели и, на этой основе, контроля приближения к постепенному отказу. Прибор позволяет снизить трудоёмкость процедуры настройки системы управления при изменении параметров объекта и условий его работы. Так же прибор позволяет сократить сроки настройки как на этапе пусконаладочных работ, так и во время проведения регламентного обслуживания.[1]

Прибор - идентификатор создан в рамках реализации концепции автоматизированного рабочего места (АРМ) специалиста-наладчика, включает в свой состав ноутбук, устройство сопряжения с объектом и специализированное программное обеспечение для идентификации объектов.

Прибор-идентификатор оценивается как общепромышленный, что определяет широкую область его применения для решения задач получения математической модели объекта по его переходной характеристике.

В настоящее время в программном обеспечении прибора - идентификатора осуществляется возможность работы с Z-преобразованиями.

Подготовлена заявка на изобретение совместно с фирмой Fastech (республика Корея), с целью совместного производства прибора - идентификатора.

Самые минимальные потребности различных производств на территории России в приборе-идентификаторе оцениваются на уровне, превышающем 100 тыс. единиц.

На данный момент подготовлен лабораторный образец.[1]

Вещественный интерполяционный метод

На данный момент известно большое число признаков, используемых при структуризации систем автоматического управления и их элементов. Объясняется это разнообразием функций, назначений, а также способов управления, исполнений и разнообразными особенностями систем автоматического управления. Одна из наиболее удобных позиций расчёта систем автоматического управления классификаций в качестве признака использует вид математического описания.

Алгоритм работы прибора-идентификатора основан на вещественном интерполяционном методе. Данный метод относится к группе численных методов и ориентирован на

компьютерные технологии выполнения расчётов.[2]

Он позволяет совершать действия над передаточными функциями, содержащими трансцендентные и иррациональные выражения. Кроме того, вещественный интерполяционный метод относится к операторным методам, так как операции в области изображения являются более экономичными, по сравнению с операциями в области времени.[3]

Основные расчёты ведутся на основе v-преобразований. Как известно по изображению Лапласа F(s) вполне однозначно может быть восстановлена функция-оригинал f(t). Для z-преобразования обратное z-преобразование не является однозначным, то есть если z-преобразование некоторой функции f(t) равно F(z), то обратное z-преобразование, применимое к F(z), не обязательно даёт f(t). Корректный результат обратного z-преобразования есть f(kt). Об этом необходимо помнить и это является одним из ограничений метода z-преобразования.[4]

В общем случае обратное z-преобразование может быть определено одним из трёх методов: метод разложения на простые дроби, метод разложения в степенной ряд и метод, основанный на использовании формулы обращения.[5]

В процессе модернизации программного обеспечения прибора - идентификатора использовался метод разложения на простые дроби. Было установлено, что процесс перехода функции вида W(z) к функции вида h(T) осуществляется согласно заданному алгоритму.

Первое действие, которое требуется выполнить - это вынести коэффициенты высшей степени за скобки. Далее произведение в скобках разложить на множители согласно формуле:

$$\frac{C(z)}{(z-z_1)(z-z_2)(z-z_n)} = \frac{C_1}{z-z_1} + \frac{C_2}{z-z_2} + \frac{C_n}{z-z_n}$$

При работе с обратными z-преобразованиями используем свойство:

$$Z^{-1}(A+B) = Z^{-1}(A) + Z^{-1}(B)$$

Чтобы найти значения обратных z-преобразований воспользуемся таблицей z-преобразований.

Некоторые структуры передаточных функций (ПФ) требуют разложения знаменателя в скобках на множители. В данном случае мы должны знать корни уравнения знаменателя, найти которые можно с помощью дискриминанта

В формуле вычисления W(z) нужно не только убрать умножение на dt, но и вместо умножения на номер узла исправить множитель на дробь.

Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) прибора-идентификатора написано на языке C# в среде программирования Microsoft Visual Studio 2010.

Данное программное обеспечение является бесплатным, свободно распространяется и имеет открытый код.

В программе-идентификаторе имеется класс «Koeffs» в котором содержится основная часть программы. В данном классе содержится функция InvLaplace в которой описаны преобразования Лапласа. Данная функция была заменена на функцию InvObrPreobr в которой реализован алгоритм обратных z-преобразований для работы с дискретными системами.

В классе Identificator были заменены структуры передаточных функций, также были изменены структуры в коде программы: изменены размеры массива.

Данные, которые считываются с прибора, сохраняются в формате txt и могут быть загружены для работы с полученными данными.

Заключение

Код модернизирован для дискретных систем. Был создан алгоритм для получения функции h(t) из различных структур передаточных функций W(z).

В будущем планируется рассмотреть более сложные структуры передаточных функций, создать алгоритм для перевода этих передаточных функций в функцию времени.

Литература

1. Выставочный центр инновационных, научных и образовательных достижений ТПУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vc.tpu.ru/html/id_object.html, свободный

2. Алексеев А. С., Антропов А. А., Гончаров В. И., Замятин С. В., Рудницкий В. А. Вещественный интерполяционный метод в задачах автоматического управления. Учебное пособие, Томск, Издательство ТПУ, 2010. 215 стр.

3. Алексеев А. С., Курганкин В. В., Руднцкий В. А. Идентификация объектов управления в форме дискретных передаточных функций на основе вещественного интерполяционного метода. Известия Томского политехнического университета. – 2012 – Т. 320-№5-С. 89-94

4. Интерполяционный синтез регуляторов систем автоматического управления на основе нулей полиномов Чебышева. В. И. Гончаров, Ф. Д. Нгуен. Доклады ТУСУРа, часть 1, декабрь 2010.

5. Математические основы теории систем часть 2. А. Г. Карпов. Томский межвузовский центр дистанционного образования. 2002 г. 141 стр.

ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ

Михальков Ф.Д.
Научный руководитель: Курячий М.И., доцент, к.т.н., с.н.с.
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail:fixed.fred@gmail.com

Дополненная реальность – это технология, дополняющая изображение реального мира виртуальными объектами. Примером использования технологии дополненной реальности может служить траектория движения мяча, показываемая на экране телевизора во время трансляции футбольных матчей.

По оценке экспертов компании РБК 37% приложений на рынке дополненной реальности к 2016 году будут относиться к маркетинговым коммуникациям [1]. Поскольку электронные презентации являются важным инструментом в маркетинге, интеграция технологии дополненной реальности в технологию электронных презентаций представляется перспективным и экономически целесообразным исследованием.

Самый популярный редактор электронных презентаций в России – продукт компании Microsoft – PowerPoint. Соответственно и большая доля потенциальных пользователей разрабатываемого модуля использует данный редактор электронных презентаций.

В данном докладе описывается способ интеграции технологии дополненной реальности в редактор электронных презентаций PowerPoint 2010. Данный редактор поддерживает систему расширений (плагинов), которые расширяют функциональные возможности приложения. Редактор PowerPoint позволяет использовать технологию объектной модели компонентов – Component Object Model (COM) в электронных презентациях. COM – это технологический стандарт от компании Microsoft, предназначенный для создания программного обеспечения на основе взаимодействующих компонентов, каждый из которых может использоваться во многих программах одновременно [2].

Основным понятием, которым оперирует стандарт COM, является COM-компонент. Программы, построенные на стандарте COM, фактически не являются автономными программами, а представляют собой набор взаимодействующих между собой COM-компонентов. Каждый компонент имеет уникальный идентификатор и может одновременно использоваться многими программами. Компонент взаимодействует с другими программами через COM-интерфейсы – наборы абстрактных функций и свойств. Каждый COM-компонент должен, как минимум, поддерживать стандартный интерфейс «IUnknown», который предоставляет базовые средства для работы с COM-компонентом. [3].

Для интеграции технологии дополненной реальности в редактор PowerPoint 2010 необходимо использовать оба подхода: создать COM-компонент для вывода графической информации на страницу презентации и создать плагин для управления электронными презентациями с дополненной реальностью. На рис. 1 представлена структура разработанного программного обеспечения, которое обеспечивает использование технологии дополненной реальности в редакторе PowerPoint 2010.

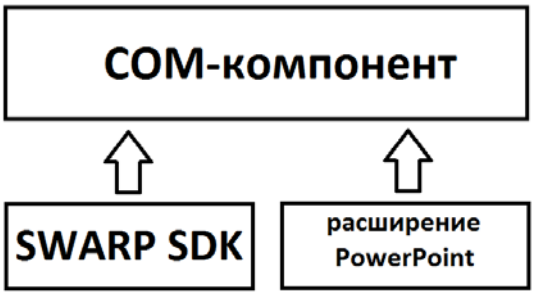


Рис. 1 – общая структура ПО.

При создании COM-компонента использовался набор средств разработчика для создания приложений с дополненной реальностью SWARP SDK. Этот продукт реализует обработку видеопотока с камеры и накладывает виртуальные объекты на изображение реального мира. Таким образом SWARP SDK инкапсулирует весь процесс обработки изображений.

Реализованный с помощью SWARP SDK COM-компонент представляет собой регистрируемую в операционной системе библиотеку, которая осуществляет процессы обработки изображений и их дополнения виртуальными объектами.

Для управления COM-компонентами, размещаемыми на страницах презентации служит расширение MS PowerPoint, реализованное с помощью технологии Visual Studio Tools for Office

(VSTO). VSTO представляет собой набор средств разработки, доступных в виде шаблонов проектов, что позволяет Microsoft Office 2003 и более поздним версии приложениям Office использовать функциональность программной платформы .NET Framework, на котором реализован SWARP SDK. С помощью технологии VSTO можно создавать области задач уровня документа и приложения [4].

Реализованное расширение MS PowerPoint позволяет получать доступ к размещенным на страницах презентации объектам, в том числе и к реализованным COM-компонентам. При обнаружении на отображаемой странице презентации реализованного COM-компонента, расширение дает команду COM-компоненту на получение, обработку и вывод видеопотока с камеры.

На рис. 2 представлена структурная схема реализованного приложения, где:

- ConfigFileManager представляет собой модуль работы с файлами параметров, реализующий загрузку данных из файла и сохранение данных в файл.
- AuraAddIn – надстройка MS PowerPoint, осуществляющая взаимодействие с пользователем, управление экземплярами визуальных элементов управления, размещенных на слайдах электронной презентации.
- IAuraControl – программный интерфейс, который предназначен для управления экземплярами визуального элемента управления, размещенных на слайдах электронной презентации, данный интерфейс реализует управление экземплярами COM-компонентов, размещенных на страницах электронной презентации.
- Shape – COM-компонент, реализующий вывод графической информации на слайд электронной презентации.
- PowerPoint – программный интерфейс редактора электронных презентаций MS PowerPoint.
- Swarp SDK – набор средств разработчика Swarp для создания приложений с использованием технологии дополненной реальности.
- Managed Ogre – подсистема визуализации трехмерной графики, используемая в SWARP SDK.
- Configurator – модуль в составе надстройки MS PowerPoint, содержащий графический интерфейс пользователя, служащий для задания настроек презентации.

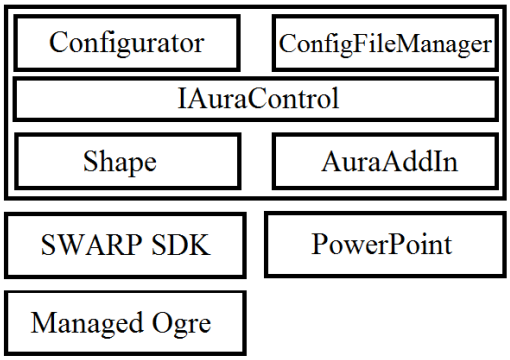


Рис. 2 – структурная схема ПО.

С помощью графического интерфейса, пользователь может задавать каждому экземпляру визуального элемента управления, размещенному в электронной презентации, следующие параметры:

- используемое маркерное изображение;
- используемая 3D-модель;
- используемая видеокамера;
- частота кадров видеопотока, получаемого с видеокамеры;
- разрешение видеопотока, получаемого с видеокамеры;
- автоматический запуск процесса дополненной реальности при появлении элемента управления на экране.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. РБК. Нишевой обзор рынка «Многослойное представление информации (дополненная реальность)» [Электронный ресурс]/РБК URL: http://www.rusventure.ru/ru/programm/analytics/docs / 201212_market_reality.pdf (дата обращения: 04.03.2013 г.)

2. Brian X. Chen, If You’re Not Seeing Data, You’re Not Seeing [Электронный ресурс] / Wired URL: http://www.wired.com/gadgetlab/2009/08/augmented-reality/ (дата обращения: 25.04.2013 г.)

3. COM: Component Object Model Microsoft [Электронный ресурс]/MSDN – URL: http://www.microsoft.com/com/default.mspx (дата обращения: 05.05.2013 г.)

4. Разработка решений на базе Office с использованием Visual Studio (VSTO) Microsoft [Электронный ресурс]/MSDN URL: http://msdn.microsoft.com/ru-ru/office/hh133430.aspx (дата обращения: 11.03.2013 г.)

РАЗРАБОТКА АВТОПИЛОТИРУЕМОЙ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Мороз Ю.С.
Научный руководитель: Журавлев Д.В., аспирант
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: moroz_yurii@sibmail.com

Введение

Современные достижения в науке и технике позволили поднять робототехнику на новый уровень развития. Одним из таких достижений является автопилот для транспортных средств многих видов. Актуальным ответвлением автопилотирования является автопилот для наземных транспортных средств, который представляет собой перспективное направление. Многие известные производители автомобилей уже ведут собственные разработки в этом направлении и имеют довольно успешные результаты в виде отдельных экспериментальных образцов. То, что автопилотирование для автомобилей находится на уровне исследований, делает рынок незанятым для этой области, и следовательно, открывает большие перспективы для лиц, занимающихся разработкой автопилотов для наземных транспортных средств.

Требуемые функции разрабатываемой автопилотируемой мобильной робототехнической системы

Исходя из того, что разрабатываемая робототехническая система экспериментальная, были определены следующие к ней требования.

Составляющие мобильной робототехнической системы должны обеспечить выполнение следующих функций:

- обрабатывать изображения и видео при помощи бортового вычислительного устройства;
- удалённо управляться с персонального компьютера, а также обмениваться с ним необходимыми данными для наблюдения за работой системы;
- быть совместимой с современными библиотеками, языками программирования, различной периферией;
- иметь небольшую стоимость;
- иметь модульную конструкцию с легко заменяемыми частями.

Алгоритм программы автопилотирования мобильной робототехнической системы должен выполнять следующие функции:

- распознавать размеченный дорожный путь, какие-либо специальные знаки, стоящие вдоль исходного пути, возможные препятствия на пути следования;
- вести мобильную робототехническую систему согласно распознанному пути;
- реагировать на специальные знаки, стоящие вдоль пути следования, заранее заданным образом (например, снижение скорости, остановка и т.д.).
- реагировать на препятствия, стоящие на пути следования, заранее заданным образом (объехать, остановиться, подать сигнал и т.д.)

Исходя из данных требований, для системы были подобраны компоненты, которые, в дальнейшем, будут приведены в статье.

Бортовое вычислительное устройство

В результате поиска, среди имеющихся на рынке портативных вычислительных устройств, было найдено решение представляющее собой миниатюрный компьютер «Raspberry PI Model B» (см. рис. 1).

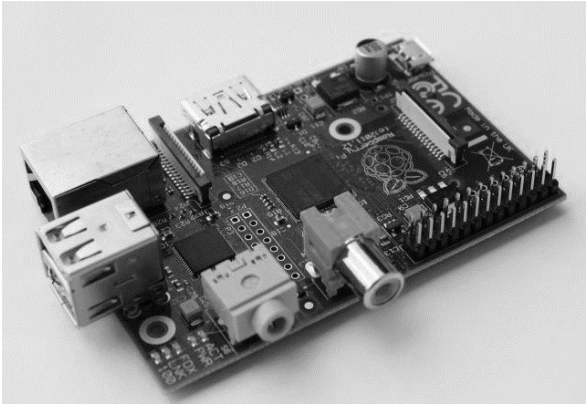


Рис. 1. Raspberry PI Model B

Данное устройство подходит по заявленным требованиями. Для питания «Raspberry PI» достаточно 6 аккумуляторов Ni-Mh AA 1.2В и понижающий стабилизатор с напряжением стабилизации 5В и пропускным током до 1А.

Шасси робота.

Исходя из поставленных требований и конструктивных особенностей бортового вычислительного устройства, его источника питания и экономии времени разработки, было выбрано готовое шасси, состоящее из двух мотор-редукторов, двух колёс, одного вспомогательного колеса, пластины из оргстекла.

Для управления двигателями был выбран драйвер L293DNE. Для питания драйвера и двигателей от общего источника питания был использован понижающий стабилизатор до 5В на 1А.

Робототехническая система в итоговом виде.

В конечном варианте робототехническая система приняла следующий состав (см. рис. 2):

- колёсное шасси;
- «Raspberry Pi» совместно с:
  - Веб-камерой;
  - Wi-fi USB модемом;
- драйвер L293DNE;
- источник питания из 6 аккумуляторов Ni-Mh AA 1.2B с двумя понижающими стабилизаторами до 5B на 1A;
- ультразвуковой дальномер.

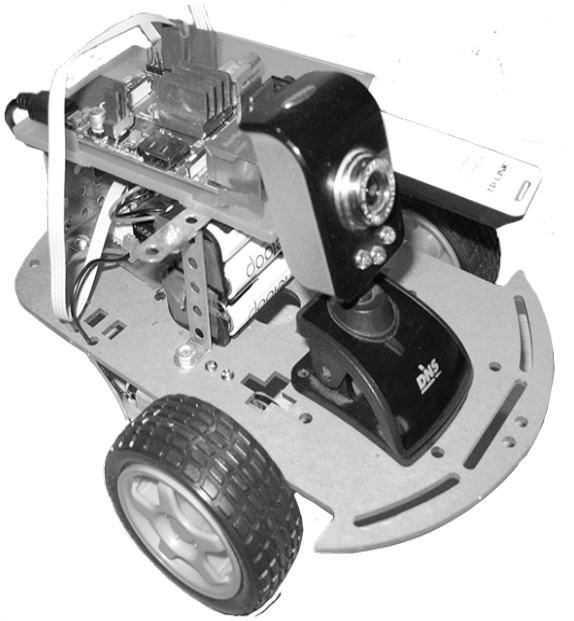


Рис. 2. Робототехническая система

Программное управление роботом.

Управление роботом производится при помощи программы распознавания объектов на видео, написанной на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenCV.

На данный момент в программе автопилотирования реализована только функция реагирования заранее определённым образом на специальные знаки.

Цель работы алгоритма программы – вести робота на расстоянии от определённого объекта, тем самым производя слежение за данным объектом.

Для управления углом поворота робота используются данные, полученные из обработки видеопотока с камеры, где распознаётся искомый объект по определённым признакам. В качестве признаков могут использоваться контуры, каскады Хаара, цветовая гамма.

После определения угла поворота робот начинает движение и производит остановку на определённом расстоянии от объекта, по данным с ультразвукового дальномера.

Вывод.

В результате проведённой работы были достигнуты поставленные задачи.

На данной робототехнической системе было успешно применено программное обеспечение для распознавания объектов на видеопотоке и ведении за ними робота.

Также данная платформа может использоваться для других целей. Например с подключением датчиков препятствий, можно будет проводить эксперименты в области проектирования автоматов, машинного обучения, нейронных сетей.

В дальнейшем планируется усовершенствование программного и аппаратного обеспечения робототехнической системы, путём разработки новых алгоритмов и более удобного интерфейса для программного обеспечения, а также изменения перечня периферии, подключаемой к аппаратной части.

Литература.

1. Gary Bradski, Adrian Kaehler «Learning OpenCV».
2. Noonv.Статьи по OpenCV[Электронный ресурс] URL: http://robocraft.ru
3. BigObfuscator. Статьи по OpenCV [Электронный ресурс] URL: http://habrahabr.ru
4. Статьи по Raspberry PI [Электронный ресурс] URL: http://raspberrypi.ru.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СТАТИСТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ ФОНДА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Моховикова А.Ю.
Научный руководитель: Попов В.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина,30
E-mail: tasia13@mail.ru

Введение

Образовательные программы вуза по различным направлениям и специальностям подготовки разрабатываются на основе государственных образовательных стандартов и включают в себя учебные дисциплины федерального компонента, дисциплины национально-регионального (вузовского) компонента, дисциплины по выбору студента, факультативные дисциплины, а также программы учебных, научных и производственных практик. В каждом цикле (общих социально – экономических и гуманитарных, общепрофессиональных, математических и естественнонаучных, специальных и факультативных) дисциплины вузовского компонента и по выбору студента должны дополнять содержание соответствующего федерального компонента. Реализация конкретной образовательной программы в вузе, помимо наличия квалифицированного профессорского-преподавательского состава, материально-технической базы оснащенности учебного процесса, обеспеченности учебными площадями, удовлетворяющих, санитарным и гигиеническим нормам и т.д. требует разработки и значительного числа документов, на основе которых осуществляется собственно планирование и организация учебного процесса [1].

1. Классификация документов образовательных программам

В настоящей работе описывается программная система, обеспечивающая информационную поддержку автоматического формирования и сбора рабочей документации по образовательным программам вуза с целью ее систематизации и централизованного хранения не только для процедуры аттестации образовательных программ вуза при комплексной оценке его деятельности, но и для внутреннего внутривузовского аудита учебно-методической оснащенности образовательных программ. По каждой образовательной программе система обеспечивает информационную поддержку формирования следующего каталога документов:

1. Нормативные документы.
2. Рекламно-информационные материалы.
3. Документы, характеризующие условия реализации образовательной программы.
4. Учебно-методические комплексы дисциплин образовательной программы и документы СМК.
5. Обще-методическое и материально-техническое обеспечение образовательной программы.
6. Документы итогового контроля и аттестации выпускников.
7. Информация о совместной реализации образовательной программы.

Таким образом, все учебно-методические документы образовательного процесса образуют по всем образовательным программам вуза базу данных рабочей документации и в соответствии с приведённой классификацией являются логически упорядоченными.

2. Функциональные возможности программной системы

Описанная выше классификация документов является основой для программного комплекса, реализующего их занесение в систему, хранение и удаление. Данное серверное приложение функционирует по «клиент-серверной» технологии с использованием web-сервисов. С выделены следующие

В системе с целью ограничения доступа к документам предусмотрены различные группы пользователей: администратор системы, представитель учебного управления, представитель кафедры, гость.

В режиме гостя пользователи имеют доступ только к информационным материалам для составления документов Фонда образовательных программ и помощи работы с комплексом.

В режиме представителя кафедры пользователи имеют возможность формирования документов Фонда образовательных программ по направлениям и специальностям подготовки выпускающей кафедры. Так же у пользователей в этом режиме имеются следующие возможности: добавление, просмотр, обновление и удаление документа, а так же редактирование комментария к документу. Дополнительной функцией является возможность копирования одного или группы документов из соответствующих рубрик Фонда образовательных программ по другим направлениям или специальностям подготовки.

В режиме представителя учебного управления пользователи могут просматривать динамику формирования рабочей документации Фонда образовательных программ по структурным подразделениям вуза, а также содержания документов по всем направлениям или специальностям подготовки вуза.

В режиме администратора системы доступны разнообразные функции по поддержанию Фонда образовательных программ в работоспособном состоянии и по его оперативному управлению.

Интерфейс Фонда образовательных программ обеспечивает возможность просмотра и доступа к документам с разных сторон:

- административно-организационной структуры университета (институт, факультет, кафедра);
- общей структуры каталога рабочей документации Фонда образовательных программ (рубрики и разделы каталога);
- кодов направлений и специальностей подготовки (шифры специальностей) [2].

Расширение функциональных возможностей Фонда образовательных программ вуза привело к необходимости разработки программных средств семантического анализа и статистики формирования документов Фонда.

Особенностью мониторинга рабочей документации является автоматическая проверка срока годности документов. Документы каждой рубрики имеют свой срок актуальности, в соответствии с которым происходит проверка. Если срок действия документа закончен, и его необходимо обновить, то при просмотре в режиме авторизованного пользователя этот документ визуализируется особым образом.

Еще одной особенностью является автоматический анализ текста документов на предмет соответствия их содержимого заявленной рубрике. В основу анализа текста положен семантический (латентно-семантический) анализ.

Латентно-семантический анализ можно рассматривать как:

- практический метод получение приблизительных оценок контекстной связи слов по смыслу в больших фрагментах текста, либо оценок корреляций по смыслу между набором слов и словом;
- вычислительную модель для получения и использования знаний человеком, читающим тот или иной текст.

В процессе исследования данного метода анализа возникли следующие проблемы:

- определение синтаксической роли слова с помощью морфологических признаков (окончание слова, склонение и спряжение, др.), знаков препинания или служебных слов;
- равнозначность смысла предложений;
- «неполнота» словарного набора [3].

Классификация содержимого документа, используя семантический анализ, производится с помощью словарей, содержащих обязательные слова для оформления рассматриваемых документов. В случае несоответствия содержимого документа заявленной рубрике этот документ визуализируется особым образом и не учитывается в статистике [4].

Для практической реализации Фонда в работе использовался следующий инструментарий: Web-сервер Apache 2 (создание web-узела и его администрирование), SQL-сервер Oracle 8i (хранение данных), СУБД MySQL 5 (автономное тестирование взаимодействия приложения с базой данных), язык серверных сценариев PHP 5 (взаимодействие пользователя с приложением, функционирование алгоритмов формирования статистики, реализация проверки срока годности документов, семантического анализа и административно-системных функций комплекса).

Заключение

В результате решения поставленной проблемы была реализована функция автоматической проверки срока годности документов, позволяющая следить за актуальностью документов, принадлежащих той или иной рубрике. А также в качестве автоматического анализа текста, с помощью которого определяется классификация содержимого документа, и впоследствии устанавливается, к какой рубрике принадлежит тот или иной документ, был выбран семантический анализ.

Список используемой литературы

1. Соболев В.С., Степанов С.А., Щербаков А.Ю., Азарьева В.В. Результаты пилотной апробации методики самооценки вуза на базе новой модели СМК // Качество и образование. 2014. URL: http://www.tqm.spb.ru/6_2004.shtml (дата обращения: 22.01.2014).

2. Ботыгин И.А., Попов В.Н. Автоматизированная система удалённого формирования документов фонда оценочных средств профессиональных образовательных программ // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 7 – С. 221-225.

3. Чапайкина Н. Е. Семантический анализ текстов. Основные положения // Молодой ученый. — 2012. — №5. — С. 112-115.

4. Автоматическая обработка текста // Первичный семантический анализ. 2014. URL: http://www.aot.ru (дата обращения: 27.01.2014).

КЛАССИФИКАТОР НА ОСНОВЕ БЫСТРОРАСТУЩЕГО НЕЙРОННОГО ГАЗА

Муравьев А.С.
Научный руководитель: Белоусов А.А., к. т. н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: an.muravyov@gmail.com

Задача классификации (определения принадлежности каждого объекта из некоторого набора к одному из заранее описанных классов) – одна из наиболее важных и распространенных задач в области машинного обучения. В данной работе предлагается классификатор, основанный на модифицированном алгоритме растущего нейронного газа.

При решении классификационной задачи используется т. н. *обучение с учителем*. Данная парадигма требует наличия некоторого обучающего множества, для которого информация о классовом разделении априорно известна. Таким образом функционируют нейронные сети, машины опорных векторов и другие алгоритмы. Иной подход – о*бучение без учителя*; он подразумевает отсутствие внешней информации о классах, широко используется в кластерном анализе, при визуализации и сжатии данных и пр. Однако в последнее время все большее распространение получают классификаторы, в основе которых лежат алгоритмы с обучением без учителя – самоорганизующиеся карты Кохонена, клеточные структуры, разновидности нейронного газа. На то есть ряд причин, включая легкость интерпретации результата пользователем, устойчивость к помехам, а также возможность реализации т. н. *обучения с частичным привлечением учителя* – решения классификационной задачи, когда для большей части данных из обучающего множества их классовая принадлежность неизвестна.

Растущий нейронный раз (growing neural gas, GNG) [1] – алгоритм, позволяющий для произвольного набора данных (без априорной информации об их структуре) получить граф, описывающий их пространственную конфигурацию (см. рис. 1). Данный алгоритм использует т. н. обучение без учителя, то есть не задействует априорную информацию о классах и не осуществляет интерпретацию выходных результатов, поэтому основной областью его применения является кластерный анализ.

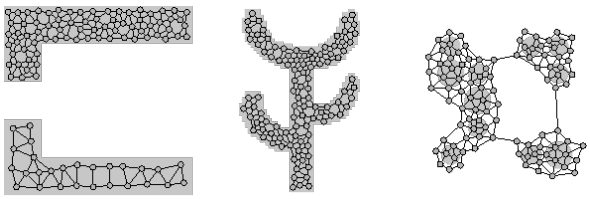


Рис. 1. Пример работы алгоритма GNG

В общем виде алгоритм растущего нейронного газа реализуется следующим образом.

1. Задать два начальных узла a и b в случайных точках w_a и w_b пространства входных данных $\mathbb{R}^n$.

2. Случайным образом выбрать один из наборов входных данных ξ.

3. Определить ближайший и второй по близости к ξ узел (s_1 и s_2 соответственно).

4. Увеличить на единицу возраст всех инцидентных s_1 ребер.

5. Увеличить значение ошибки в узле s_1 на величину квадрата расстояния до ξ :

$$\Delta(s_1) = \left\| w_{s_1} - \xi \right\|^2$$

6. Сместить s_1 и его топологических соседей (смежные узлы графа) по направлению к ξ на расстояния

$\Delta w_{s1} = \varepsilon_b(\xi - w_{s1})$ и

$\Delta w_n = \varepsilon_n(\xi - w_n)$ соответственно, где

$0 < \varepsilon_b \ll 1$ и $0 < \varepsilon_n \ll \varepsilon_b$.

7. Если s_1 и s_2 соединены ребром, установить его возраст равным нулю, в противном случае создать такое ребро.

8. Удалить все ребра в графе с возрастом более $a_{\max}$. В случае, если после этого некоторые узлы не имеют инцидентных ребер, удалить эти узлы.

9. Если номер текущей итерации кратен параметру λ, осуществить вставку нового узла $w_r = 0.5(w_q + w_f)$, где q – узел с наибольшей накопленной ошибкой, f – смежный q узел с наибольшей накопленной ошибкой. Удалить ребро между f и q, добавить ребра между f и r, а также между r и q. Уменьшить ошибку в узлах f и q умножением на константу α, затем инициализировать значение ошибки r значением ошибки q.

10. Уменьшить значения ошибки во всех узлах умножением на константу d.

11. Если условие остановки (например, достижение заданного числа узлов) не выполнено, перейти к шагу 2.

Легко заметить, что одним из главных недостатков GNG является механизм добавления новых узлов. Малое значение параметра λ

приводит к неустойчивости создаваемой структуры, а большое приводит к значительному увеличению временных затрат. В связи с этим было предложено несколько альтернативных механизмов выполнения 9 шага исходного алгоритма [2][3][4]. Рассматриваются также пути сокращения числа параметров, настраиваемых пользователем [4]. В данной работе предлагается новый механизм ускорения роста нейронного газа, основанный на предположении, что узел, находящийся достаточно близко к одной из точек данных, занимает выгодное положение и не должен быть смещен. Пусть узел может быть подвижным либо неподвижным, и все узлы в начале своего существования являются подвижными. Тогда в алгоритм могут быть внесены следующие изменения:

- исключаются шаги 5, 9 и 10, а также параметры α и d за ненадобностью учета величины ошибки;
- параметр λ получает значение порога близости узла и принимается малым;
- на шаге 6 алгоритма сдвиг узлов осуществляется только в том случае, когда они являются подвижными;
- в случае, если узел-победитель на шаге 6 является неподвижным и $\left\|w_{s_1} - \xi\right\| > \lambda$, добавляется новый узел с $w_r = \xi$ и соединяется ребром с узлом-победителем;
- если на шаге 6 был осуществлен сдвиг узла-победителя к ξ и после этого $\left\|w_{s_1} - \xi\right\| \le \lambda$, узел-победитель становится неподвижным.

Такой механизм добавления узлов приведет к заметному увеличению их общего количества, однако эта особенность является полезной для классификатора, требующего большей полноты описания данных. Плотность узлов также регулируется настройкой параметра λ. В данном случае скорости обучения ε_b и ε_n необходимо увеличивать в несколько раз по сравнению с исходным алгоритмом, в противном случае фиксирование узлов является долгим процессом, и достичь желаемого выигрыша во времени не удается.

Для решения с помощью GNG задачи классификации обычно осуществляются два дополнительных этапа – маркировка узлов графа метками классов и затем собственно классификация вновь поступающих точек на основе данных меток, причем оба этих этапа выполняются после окончания работы основного алгоритма [5]. В данной работе предлагается *строгая маркировка узлов*. Вместо одного графа используется *N* графов, где *N* – число классов данных. Каждая точка обучающего множества воздействует только на граф соответствующего класса, что позволит избежать спорных ситуаций, вызываемых вышеописанной апостериорной маркировкой. По окончании работы алгоритма каждый класс будет описан собственной структурой и может интерпретироваться по отдельности. Для применения полученного классификатора предлагается использовать *односвязный* механизм – вновь поступающая точка получает класс наиболее близкого к ней узла графа. Несмотря на простоту, такой подход оказывается наиболее эффективным [5]. Ввиду того, что описанный выше метод добавления новых узлов графа ориентирован на точное описание данных из обучающего множества, есть основания считать, что односвязная классификация окажется эффективной.

В свете данных модификаций имеет смысл также внести изменения в начальные и конечные условия исходного алгоритма. Предлагается в качестве начальных узлов использовать *N* точек – по одной каждого класса – и изначально пометить их как неподвижные. Условием остановки можно принять отсутствие добавления новых узлов в течение некоторого числа последовательных итераций – это будет означать, что все существующие узлы неподвижны и с точностью λ описывают данные обучающего множества.

Независимость описания различных классов приведет к большей устойчивости при их пересечениях и линейной неразделимости. Рассматривается также возможность реализации данного варианта растущего нейронного газа для случая обучения с частичным привлечением учителя. При этом неклассифицированные примеры будут выделяться в отдельный граф, который может быть маркирован как во время процесса обучения, так и апостериори одним из стандартных методов маркирования, описанных в [5].

Список использованной литературы

1. Fritzke B. et al. A growing neural gas network learns topologies //Advances in neural information processing systems. – 1995. – Т. 7. – С. 625-632.

2. Prudent Y., Ennaji A. An incremental growing neural gas learns topologies //Neural Networks, 2005. IJCNN'05. Proceedings. 2005 IEEE International Joint Conference on. – IEEE, 2005. – Т. 2. – С. 1211-1216.

3. Furao S., Ogura T., Hasegawa O. An enhanced self-organizing incremental neural network for online unsupervised learning //Neural Networks. – 2007. – Т. 20. – №. 8. – С. 893-903.

4. Bouguelia M. R. et al. An adaptive incremental clustering method based on the growing neural gas algorithm //ICPRAM. – 2013.

5. Beyer O., Cimiano P. Online semi-supervised growing neural gas //International journal of neural systems. – 2012. – Т. 22. – №. 05.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ПАССАЖИРСКИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ

Мустафина Д.Б., Мартынова Ю.А.
Научный руководитель: Мартынова Ю.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dana_3399@mail.ru

Введение

Уровень развития транспортной системы государства – один из главных признаков ее экономического процветания и стабильности. Городской пассажирский транспорт является неотъемлемой инфраструктурной частью современного города, позволяющий связать его территорию в единое жизненное пространство. Общественный транспорт является главным инструментом, позволяющим обеспечить транспортное обслуживание населения и найти компромисс между инфраструктурными ограничениями городской территории и потребностями жителей в транспортных корреспонденциях [1].

Актуальность исследования

Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками является приоритетным направлением развития городского транспорта Российской Федерации.

В последние несколько лет во многих городах стали развиваться программы по усовершенствованию существующих систем городского пассажирского транспорта. 8 ноября 2003 г. по итогам заседания Государственного совета Российской Федерации 29 октября 2003 г. были приняты основания для разработки Национальной программы модернизации и развития автомобильных дорог Российской Федерации до 2025 года. В городе Томске программа «Развитие городского пассажирского транспорта муниципального образования «Город Томск» на 2014-2016 годы» готовится специалистами департамента городского хозяйства, ГИБДД и представителями маршрутного бизнеса [2].

Имитационное моделирование как средство оптимизации управления городским пассажирским транспортом

Не всегда явно видно и понятно, что предлагаемые в программах изменения по оптимизации городских пассажирских перевозок позволяют улучшить обстановку в городах. Поэтому необходим инструмент, который позволил бы заранее оценить планируемые результаты. Таким инструментом является имитационное моделирование.

Имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация – это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте) [3].

Имитационное моделирование в среде AnyLogic

В настоящее время существует множество средств имитационного моделирования. Наиболее распространенными являются Arena, ExtendSim, AnyLogic, Automod, Promodel. Однако инструмент, сочетаемый в себе все известные подходы к моделированию, является AnyLogic. Он поддерживает процессно-ориентированный, системно-динамический и агентный подходы.

В среде AnyLogic присутствует библиотека дорожного движения, которая позволяет моделировать и визуализировать потоки машин. Дискретно-событийное моделирование описывает динамику транспортной системы как совокупность последовательных операций над объектами. Таким объектом может являться и пассажирский транспорт.

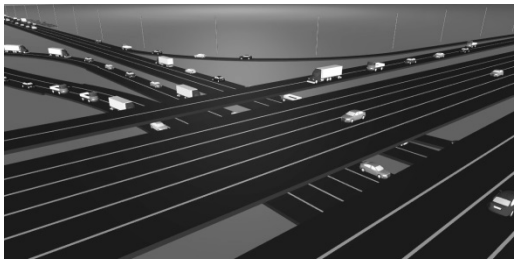


Рис.1. Пример моделирования транспортной дороги в среде AnyLogic

С помощью обычных геометрических фигур, линий и дуг, которые имеются в AnyLogic, можно задать топологию сети дорог. Количество полос на заданном участке дороги соответствует толщине линии в имитационной модели. Сеть дорог задается при помощи объекта RoadNetwork, который проверяет построенную сеть на правильность и отображает ее на анимацию во время выполнения модели. Транспорт задается с помощью объектов машин класса Car. Также присутствуют готовые экземпляры машин в 2D и 3D объектах.

Основные свойства и особенности моделирования маршрутной сети городского пассажирского транспорта

Разработку модели по оптимизации управления городскими пассажирскими перевозками можно разбить на несколько основных задач:

1 Сбор информации и данных о маршрутной сети пассажирского транспорта;

2 Разработка имитационных моделей участков маршрута пассажирского транспорта;

3 Выделение наиболее критических и перегруженных участков;

4 Тестирование модели на основе различных изменений, которые предлагаются в программах по оптимизации городского пассажирского транспорта, в различные промежутки времени;

5 Выявление наиболее конструктивных предложений и разработка рекомендаций по перераспределению или изменению маршрутной сети городского транспорта на основе построенных имитационных моделей.

Моделирование маршрутной сети на наиболее проблемных участках автомобильных дорог (на примере г. Томска)

В последнее десятилетие в несколько раз увеличился уровень автомобилизации населения и доля пассажирских перевозок на личном транспорте. Это повлекло за собой перегрузку транспортных магистралей и узлов, вследствие чего транспортная сеть перестала справляться с нагрузкой. В часы «пик» средняя скорость передвижения значительно упала, резко ухудшился уровень транспортного обслуживания.

Для работы были выбраны проблемные участки дорог города Томска. Одними из наиболее перегруженных участков являются переезды, перекрестки, а также кольцевые дороги.

На сегодняшний день одним из основных мест образования больших пробок является Мокрушинский переезд. Возникает задача оптимизации управления пассажирским транспортом на данном участке дороги.

В связи с этим была построена имитационная модель переезда в среде AnyLogic, позволяющая демонстрировать загруженность дороги. Результаты натурных наблюдений являются исходными данными для работы и создания модели.

Суть данного имитационного эксперимента на модели заключается в том, что транспортные средства, смоделированные в среде, движутся с различными скоростями в разные промежутки времени. Модель можно отрегулировать по времени для анализа перегруженного участка дороги в час пик. С помощью таких изменений, как удаление или добавление пешеходов, светофоров, полос можно изменять ход эксперимента.



Рис.2. Имитационная модель переезда в среде AnyLogic

При добавлении городского транспорта можно просмотреть различные варианты по оптимизации маршрута.

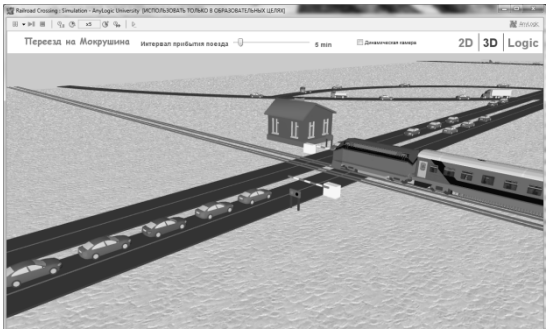


Рис.3. Экспериментальная часть имитационной модели переезда

Аналогичным образом смоделирована имитационная модель транспортного кольца.

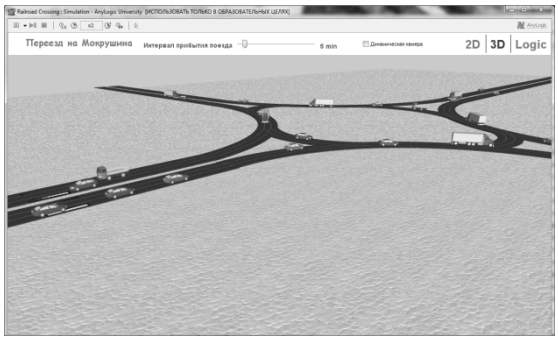


Рис.4. Экспериментальная часть имитационной модели кольцевой дороги

Заключение

Имитационное моделирование является современным и удобным средством, позволяющим оценивать планируемые результаты до внедрения предлагаемых решений.

Оптимизация управления городскими пассажирскими перевозками с помощью имитационного моделирования позволит улучшить уровень транспортного и пассажирского обслуживания, а также снизит напряженность на дорогах города.

Список использованных источников:

1 Концепция организации развития городского пассажирского транспорта [Электронный ресурс]. URL: http://stud24.ru/transport/koncepciya-organizacii-i-razvitiya-gorodskogo/447824-1689421-page1.html

2 Программа развития городского транспорта [Электронный ресурс]. URL: http://transportvtomske.ru/news/657/page1/

3 Определение имитационного моделирования [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОИСКА ОБРАЗУЮЩИХ ПОЛИНОМОВ

Мыцко Е.А., Мальчуков А.Н.
Научный руководитель: Мальчуков А.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: evgenrus70@mail.ru

В данной работе рассматривается применение технологий параллельных и распределённых вычислений OpenMP и MPI для поиска образующих полиномов, что является достаточно трудоёмкой задачей. В статье рассмотрен алгоритм поиска образующих полиномов и проанализирован с точки зрения возможности применения технологий параллельных и распределённых вычислений. Описана программная реализация алгоритма поиска образующих полиномов с применением технологии параллельных и распределённых вычислений OpenMP и MPI. Для сравнения быстродействия программных реализаций с применением и без применения приведённых технологий поставлен компьютерный эксперимент.

Введение

При построении блоковых помехоустойчивых кодов (Боуза-Чоудхори-Хоквингема (БЧХ-кодов), Рида-Соломона) используются полиномы Жегалкина. Полиномы, участвующие в построении кода, называются образующие полиномы. Отдельные коды, такие как коды БЧХ-коды [1], имеют чёткие рекомендации выбора образующего полинома, но такие коды ограничены фиксированной длиной кодового слова. Остальные длины кодовых слов получаются путём укорачивания более длинных кодовых слов за счёт уменьшения разрядности информационного блока при сохранении количества контрольных разрядов. Укорачивание БЧХ-кодов вводит лишнюю избыточность, которая не несёт в себе дополнительных корректирующих возможностей, а лишь уменьшает эффективность кода. Для поиска образующих полиномов, более эффективных, чем укороченные БЧХ-коды, необходимы большие вычислительные затраты. Это связано с тем, что мы знаем только необходимые начальные условия для поиска, такие как минимальные вес образующего полинома, минимальная длина кодового слова, а значит и минимальная длина образующего полинома. Для того, чтобы найти подходящий полином необходимо перебрать все полиномы, подходящие под выше озвученные необходимые условия и если среди них не найдётся полином, который пройдёт проверки на достаточные условия для образующего полинома, то поиск продолжится среди полиномов, длина которых на единицу больше, чем предыдущих [2]. Среди достаточных условий образующего полинома для заданных значений m и t – являются два основных: 1) строящийся на основе этого образующего полинома код должен иметь расстояние Хэмминга не меньшее, чем $d=2t+1$; 2) остатки от деления всех комбинаций ошибок на образующий полином в рамках заданной t должны быть уникальными.

Применений технологий MPI + OpenMP для задачи поиска образующего полинома

Для решения поставленной задачи были применены технологии параллельных и распределённых вычислений, такие как MPI и OpenMP. При использовании технологии MPI [3] осуществляется межпроцессорный обмен полиномами в распределённой системе (суперкомпьютерный кластер). Главный процессор с помощью команды MPI_Send пересылает наборы полиномов в определённом интервале другим процессорам, которые принимают данные с помощью команды MPI_Recv и осуществляют поиск образующего полинома среди принятого набора. На рис. 1 приведена схема применения технологий MPI + OpenMP для задачи поиска образующего полинома.

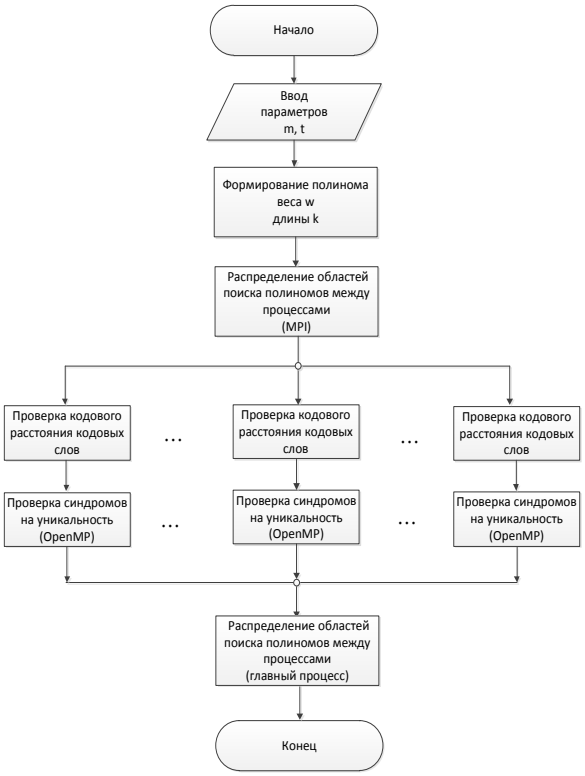


Рис.1. Схема применения MPI + OpenMP для поиска образующего полинома

Таким образом, разделяя диапазоны поиска полиномов между вычислительными узлами, сокращается общее время поиска. Также, для достижения наилучшего результата по быстродействию программы поиска образующего полинома для каждого процессора применяется технология OpenMP [4], позволяющая распараллелить самые трудоёмкие вычисления, необходимые для проверки полиномов на выполнение достаточных условий. В данном случае, наиболее трудоёмким является этап проверки синдромов ошибок на уникальность, где и была применена технология OpenMP.

Результаты применения технологий параллельных и распределённых вычислений

Для получения статистики по длительности поиска полиномов было произведено по 10 запусков программы поиска с входными параметрами m (8-24) и t = 4 на 10 процессорах Intel XEON 5150 2.66Ghz на суперкомпьютерном кластере «СКИФ-политех» [5]. Средние значения полученных результатов представлены в таблице.

Таблица. Средние значения времени поиска образующего полинома

m, t	Последовательный, с	MPI + OpenMP, с	Ускорение, %
8,4	1,656	0,278	495
9,4	3,741	0,405	823
10,4	5,661	0,424	1234
11,4	10,832	0,518	1990
12,4	35,808	1,307	2634
13,4	52,878	1,42	3622
14,4	132,757	5,968	2124
15,4	166,861	7,669	2076
16,4	301,419	18,498	1529
17,4	440,362	37,722	1067
18,4	493,577	47,791	933
19,4	569,603	64,781	780
20,4	659,76	97,582	576
21,4	739,98	166,606	344
22,4	12172,68	2176,21	459
23,4	37390,24	7367,014	407
24,4	38618,16	9907,568	290

Для наглядного представления результатов на рис.2 приведён график столбца «Ускорение» из таблицы.



Рис.2. Ускорение алгоритма с применением MPI + OpenMP относительно последовательного

Заключение

Алгоритм поиска образующих полиномов программно реализован с применением технологий параллельных вычислений MPI и OpenMP. Результаты поставленного компьютерного эксперимента по исследованию быстродействия последовательной и распараллеленной реализаций алгоритма поиска полиномов показали, что применение технологии MPI в совокупности с OpenMP значительно ускоряет поиск образующих полиномов. Так, на 10 процессорах при определенных входных параметрах (m=13, t = 4) ускорение достигает 3622 %, а в среднем ускорение для исследуемых входных параметров составляет 1258 %, т.е. применение MPI + OpenMP позволяет ускорить алгоритм поиска в среднем более, чем в 10 раз.

Литература

1. Боуз Р.К., Рой-Чоудхури Д.К. Об одном классе двоичных групповых кодов с исправлением ошибок. – В кн.: Кибернетика. М., 1964. – С.112-118.

2. Мальчуков А.Н. Алгоритм поиска образующих полиномов для системы проектирования кодеков помехоустойчивых кодов //Современные техника и технологии: Труды XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых - Томск, 24-28 марта 2008. - Томск: ТПУ, 2008. - с. 340-341 (12738229)

3. Г.И. Шпаковский, Н.В. Серикова Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI // Минск. БГУ, 2002. – 323 С.

4. Аксёнов С. В. , Мальчуков А. Н. , Мыцко Е. А. Применение технологии параллельных вычислений OpenMP для поиска образующих полиномов [Электронный ресурс] // Интернет журнал Науковедение. - 2013 - №. 6 (19). - С. 1-12. - Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/86TVN613.pdf

5. СКИФ -1. Center of supercomputing. 2013. URL: http://cluster.tpu.ru/?q=node/26 (дата обращения: 15.01.2013)

СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА

Нгуен Фу Туан
Научный руководитель: Соболев В.И., д.т.н, профессор
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет,
664074, г Иркутск, ул. Лермонтова, 83.
E-mail: bennaydaiduong@yahoo.com

При использовании конечномерных моделей, в которых инерционные и жесткостные параметры на основе некоторых аппроксимаций сосредоточены в точках - узлах расчетных схем, возникают задачи подавления собственных колебаний узлов по заданным направлениям возможных степеней свободы [1]. Если возможные перемещения узлов модели представлены некоторым вектором

$$\mathrm{X} = (x_1, x_2 \cdots x_n)^T,$$

где x_j $(j = 1 \div n)$ – перемещение узла модели по направлению j, то ставится задача минимизации перемещения x_j по заданному направлению с номером j при воздействии импульса по направлению с номером i. Очевидно, что при постановке задачи в минимаксном варианте подавление собственных колебаний при помощи повышения демпфирующих свойств системы малоэффективно. Поскольку проявление демпфирования требует некоторой продолжительности колебательного процесса, тогда как максимумы перемещений достигают своих значений на первых периодах колебательного процесса после воздействия импульса. Кроме этого, очевидный интерес представляет собой влияние жесткостных и геометрических свойств системы на формирование интенсивности колебательного процесса по некоторому заданному направлению при заданном направлении воздействия.

Пусть прямоугольный импульс воздействует в момент времени t =0 (рис. 1).

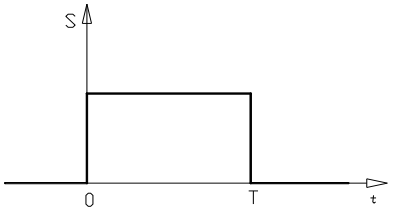


Рис. 1. График воздействия прямоугольного импульса

Если динамическая система до момента времени $t = 0$ находилась в состоянии покоя, а в момент времени $t = 0$ произошло перемещение основания на некоторую величину a, то рассматривая колебательный процесс в системе координат $z = x + a$, можно описать его уравнением

$$m \cdot \ddot{z} + rz = 0, \qquad (1)$$

с начальными условиями вида

$$\begin{cases} z(0) = -a \\ \dot{z}\Big|_{t=0} = 0 \end{cases}. \qquad (2)$$

Решение описывается колебания системы в интервале времени $0 < t < T$:

$$z(t) = -a\cos(\omega t)). \qquad (3)$$

При возвращении основания в положении $t = 0$ в некоторый момент времени $t = T$ целесообразно рассматривать колебательный процесс с использованием переменной x (3).

Начальные условия для определения решения уравнения (3) при $t > T$ определяются из условий замены переменной $x = z - a$ при $t = T$. Если возобновить отсчет времени, используя с момента времени $t = T$ переменную $\tau = t - T$, то уравнение колебаний с начальными условиями, определенными решением (2), имеет вид

$$m \cdot \frac{d^2 x}{d\tau} + r \cdot x = 0, \qquad (4)$$

$$\begin{cases} x(0) = -a - a\cos(\omega T), \\ \dot{x}\Big|_{t=0} = \omega a \sin(\omega T). \end{cases} \qquad (5)$$

Общее решение уравнения (4) с начальными условиями (5) имеет вид

$$x(\tau) = -a\left[\cos(\omega T + \omega\tau) + \cos(\omega\tau)\right], \qquad (6)$$

Пусть γ – период собственных колебаний динамической системы $\gamma = \frac{2\pi}{\omega}$.

Тогда $x(\tau) = -a\left[\cos(\frac{2\pi}{\gamma}(T + \tau)) + \cos(\frac{2\pi}{\gamma}\tau)\right]$.

Заметим, что $x(\tau)$ – линейно относительно a. Поэтому для определения характера этой функции можно положить $a = 1$.

Пусть $T < \frac{2\pi}{\omega}$. Очевидно, что свойства функции (6) обусловлены величинами, определяющими координаты экстремумов и характер изменения функции. Для определения этих свойств положим $\gamma = 1$, а $T = k\gamma$, где $0 < k < 1$, тогда

$$x(\tau) = -1\left[\cos(2\pi(\tau + k)) + \cos(2\pi\tau)\right]. \qquad (7)$$

Очевидно, что эти условия определяются из решения

$$\frac{\partial x(\tau, k)}{\partial \tau} = 2\pi\sin(2\pi(\tau + k)) + 2\pi\sin(2\pi\tau) = 0 \quad (8)$$

Преобразовав уравнение (8), имеем

$$2\sin(\pi(2\tau+k))\cos(\pi k)=0. \quad (9)$$

Анализ уравнения (9) показывает, что экстремальные значения функции (7) достигаются при значении $k=\frac{1}{2}$, а амплитудные значения функции (7) достигаются при значениях $\tau=\frac{k}{2}$.

Подставив $\tau=\frac{k}{2}$ в выражение (7), получим

$$x(\tau)=-2\left[\cos(\pi k)\right]. \quad (10)$$

Очевидно, что экстремум функции (10) достигается при $k=\frac{1}{2}$ и этот экстремум соответствует минимальному значению функции (7) $\min x(\tau,k)=0$ (рис. 2).

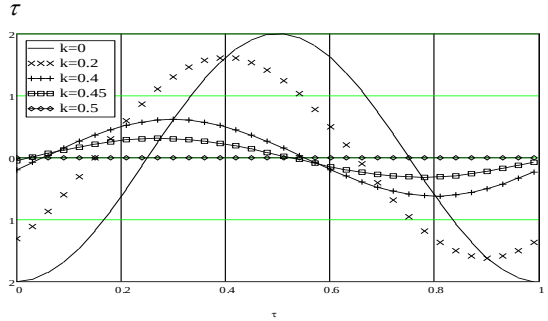


Рис. 2. График достижения амплитудных значений при различных значениях k

Рис.2 показывает, что минимальная амплитуда собственных колебаний упругой недиссипативной системы равна нулю и достижение этого значения, то есть гашение процесса собственных колебаний, зависит только от соотношения длины кинематического импульса T и периода собственных колебаний γ и эффект гашения достигается при значении $k=\frac{T}{\gamma}=\frac{1}{2}$.

В общем случае свободные колебания системы могут быть описаны системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{cases} r_{11}x_1(t)+r_{12}x_2(t)+\ldots+r_{1n}x_n(t)+m_1\ddot{x}_1(t)=0 \\ r_{21}x_1(t)+r_{22}x_2(t)+\ldots+r_{2n}x_n(t)+m_2\ddot{x}_2(t)=0 \\ \\ r_{n1}x_1(t)+r_{n2}x_2(t)+\ldots+r_{1n}x_n(t)+m_n\ddot{x}_n(t)=0 \end{cases} \quad (11)$$

где r_{ij} – элементы матрицы жесткостей линейно-упругой системы; m_j – инерционный параметр перемещения по направлению с номером j ; t – параметр времени.

Колебания конечномерной системы после воздействия прямоугольного импульса описываются системой уравнений (11). При воздействии прямоугольного импульса по некоторому направлению j начальные условия по этому направлению в момент времени $\tau=0$ являются начальными условиями (5), тогда как начальные перемещения и начальные скорости по другим направлениям − нулевые. Без ограничения общности можем считать, что воздействие импульса осуществляется по первому направлению. Тогда начальные условия для системы уравнений (11) имеют вид

$$\begin{cases} X(0)=(-a-a\cos(\omega T)\ ,\ 0,\ \ 0\ \ldots\ 0)^T, \\ \dot{X}\Big|_{t=0}=(\omega a\sin(\omega T)\ ,\ 0,\ \ 0\ \ldots\ 0)^T. \end{cases} \quad (11)$$

Если матрица Φ представлена элементами a_{ij} , а матрица Φ^{-1} представлена элементами b_{ij}, то начальные условия (12) запишутся в виде

$$\begin{cases} Y(0)=(-a-a\cos(\omega T)(b_{11},b_{21},\ b_{31}\ldots b_{n1})^T, \\ \dot{Y}\Big|_{t=0}=(\omega a\sin(\omega T)(b_{11},b_{21},b_{31}\ldots b_{n1})^T. \end{cases} \quad (12)$$

В силу того что система уравнений (11) состоит из раздельных уравнений, решения ее могут быть представлены в виде (7). Тогда

$$y_i(t)=-ab_{i1}\left[\cos(\omega_i T+\omega_i\tau)+\cos(\omega_i\tau)\right], \quad (13)$$

Решения системы исходных уравнений могут быть получены путем преобразования $X=\Phi\ Y$.

Функция перемещения некоторого узла модели по направлению j представлена в виде

$$x_j(t)=-2a\sum_{i=1}^{n}a_{ji}b_{i1}\left[\cos(\frac{\omega_i T+2\omega_i\tau}{2})\cos(\frac{\omega_i T}{2})\right]. \quad (14)$$

Очевидно, что при $j\neq 1$ величина x_j, определенная выражением (14), будет тождественна, равна нулю при всех t, если все ω_i равны друг другу, то есть кратность собственных значений матрицы D равна n или $\cos(\frac{\omega_i T}{2})=0$.

Минимальная амплитуды собственных колебаний упругой недиссипативной одномерной системы равна нулю и достижение этого значения, то есть гашение процесса собственных колебаний, зависит только лишь от соотношения длины кинематического импульса T и периода собственных колебаний γ и эффект гашения достигается при значении $k=\frac{T}{\gamma}=\frac{1}{2}$.

Список литературы

1. Вибрации в технике: Справочник/Челомей В. Н – М.: Машиностроение, 1981.– 456 с.

2. Порошкин А. Г. Теория рядов –М: Либроком, 2009.– 128 с.

3.Рабинович И.М. Расчет сооружений на импульсное воздействие– М: Стройиздат, 1970.– 303с.

ОПТИМИЗАЦИЯ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ РЕАКТОРОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПОДАЧЕЙ ИСХОДНОГО РЕАГЕНТА

Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Деветьяров А.Н.
Научный руководитель: Лабутин А.Н., д.т.н., профессор
Ивановский государственный химико-технологический университет,
153000, Россия, г. Иваново, Шереметевский проспект, 7
E-mail: nevinitsyn@gmail.com

Современным, научно обоснованным подходом к проектированию реакторных систем является интегрированный подход, предполагающий совместное проектирование непосредственно аппаратурно-технологического оформления реакторного узла и системы управления узлом. При решении задачи оптимального синтеза реакторной системы определяются аппаратурно-технологическое оформление процесса и оптимальные условия реализации реакции. Для этого исследуется влияние температуры, концентраций и соотношения реагентов, типа реактора, способа введения реагентов в зону реакции и степени конверсии ключевого реагента на селективность процесса по целевому продукту. При этом необходимо учитывать характерную особенность современной экономики – периодически изменяющийся спрос на те или иные продукты реакции, что обеспечивает необходимость создания гибких реакторных систем.

В настоящей работе решается задача оптимизации и синтеза системы управления концентрацией целевого компонента в каскаде реакторов идеального смешения с секционированной подачей общего реагента в аппараты. В реакторном модуле реализуется последовательно-параллельная реакция:

$$A + B \xrightarrow{k_1} P_1,\ A + P_1 \xrightarrow{k_2} P_2,\ \dots,$$

$$A + P_{n-1} \xrightarrow{k_n} P_n,$$

где A и B – исходные реагенты; P_1, P_2, ..., P_{n-1}, P_n – продукты реакции; k_1, k_2, ..., k_n – константы скоростей стадий. Целевым компонентом является вещество P_2. Принципиальная схема реакторного узла представлена на рис. 1.

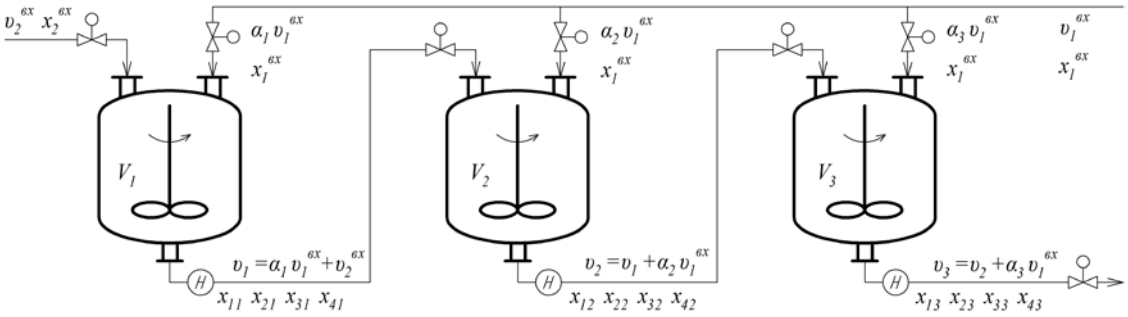


Рис. 1. Принципиальная схема реакторного узла

На рис. 1 введены следующие обозначения: $x_1^{вх}$, $x_2^{вх}$ – концентрации исходных реагентов A и B; $\upsilon_1^{вх}$, $\upsilon_2^{вх}$ – расходы исходных реагентов на входе в реакторную систему; α_i, $i = 1,...,3$ – доля потока исходного реагента A на входе в i-й реактор; $\alpha_i \upsilon_1^{вх}$, $i = 1,...,3$ – поток реагента A на входе в i-й реактор; υ_i, $i = 1,...,3$ – расход реакционной смеси на выходе из i-го аппарата; x_{1i}, x_{2i}, x_{3i}, x_{4i}, $i = 1,...,3$ – концентрации компонентов A, B, P_1, P_2 в i-м реакторе; V_i, $i = 1,...,3$ – объем смеси в i-м аппарате.

Для рассматриваемого аппаратурного оформления реакторного узла проведена режимно-технологическая оптимизация, в результате которой определены: среднее время пребывания реакционной смеси в аппаратах, температура проведения реакции, соотношение расходов исходных реагентов, доли потока исходного реагента на входе в аппараты, обеспечивающие максимальный выход целевого продукта на выходе реакторной системы.

В силу того, что химический реактор как объект управления является многомерным, многосвязным и нелинейным, синтез и использование линейных систем автоматического управления не позволяет обеспечить работоспособность комплекса «реактор – подсистема управления» при существенных возмущениях и отклонениях переменных состояния от номинальных значений. Эффективным и перспективным способом разработки алгоритмов управления объектами такого класса является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), базирующийся на синергетических принципах целевой самоорганизации нелинейных динамических систем [1].

Учитывая, что цель функционирования объекта – обеспечение на его выходе заданного оптимального значения концентрации целевого вещества (P_2), возможно сформулировать основную задачу системы управления: стабилизация концентрации целевого вещества в выходном потоке в условиях действия на объект внешних и внутренних возмущений.

Для успешного решения этой задачи прежде всего необходимо выбрать регулирующие воздействия (управления), наиболее существенно влияющие на значения регулируемых переменных. Для этого следует проанализировать структуру уравнений математической модели третьего аппарата каскада.

Математическая модель третьего реактора узла при постоянной температуре реакционной смеси и постоянном объеме имеет вид:

$$\begin{aligned}
\frac{dx_{13}}{d\tau} &= R_{13} + \frac{(x_{12}-x_{13})}{V_3}\upsilon_2 + \frac{(x_1^{вх}-x_{13})}{V_3}\alpha_3\upsilon_1^{вх},\\
\frac{dx_{23}}{d\tau} &= R_{23} + \frac{(x_{22}-x_{23})}{V_3}\upsilon_2 - \frac{x_{23}}{V_3}\alpha_3\upsilon_1^{вх},\\
\frac{dx_{33}}{d\tau} &= R_{33} + \frac{(x_{32}-x_{33})}{V_3}\upsilon_2 - \frac{x_{33}}{V_3}\alpha_3\upsilon_1^{вх},\\
\frac{dx_{43}}{d\tau} &= R_{43} + \frac{(x_{42}-x_{43})}{V_3}\upsilon_2 - \frac{x_{43}}{V_3}\alpha_3\upsilon_1^{вх},
\end{aligned} \qquad (1)$$

где $\upsilon_2 = \alpha_1\upsilon_1^{вх} + \alpha_2\upsilon_1^{вх} + \upsilon_2^{вх}$; $R_{23} = -k_1x_{13}x_{23}$, $R_{33} = k_1x_{13}x_{23} - k_2x_{13}x_{33}$, $R_{43} = k_2x_{13}x_{33} - k_3x_{13}x_{43}$, $R_{13} = -k_1x_{13}x_{23} - k_2x_{13}x_{33} - k_3x_{13}x_{43}$ – скорость реакции по компонентам.

Анализ структуры математической модели (1) показывает, что в качестве регулирующего воздействия для стабилизации концентрации целевого вещества на выходе реакторного узла может быть выбрана подача исходного реагента A на вход в третий аппарат каскада – поток $\alpha_3\upsilon_1^{вх}$. Канал управления с учетом кинетических закономерностей (вид R_{43}) и структуры правых частей системы (1) выглядит следующим образом:

$$u \to x_{13} \to x_{43},$$

где $u = \alpha_3\upsilon_1^{вх}$ – регулирующее воздействие.

Учитывая структуру канала управления, был использован метод АКАР на основе последовательной совокупности инвариантных многообразий – аттракторов [1]. Синтезированный закон управления имеет вид:

$$\begin{aligned}
u = \Bigg[&-\frac{1}{T_1}(x_{13}+\nu_1) - R_{13} - \frac{(x_{12}-x_{13})}{V_3}\upsilon_2 - \\
&\frac{\partial\nu_1}{\partial x_{43}}\cdot\left(R_{43} + \frac{(x_{42}-x_{43})}{V_3}\upsilon_2\right)\Bigg] \Bigg/ \Bigg[\frac{(x_1^{вх}-x_{13})}{V_3} - \\
&-\frac{\partial\nu_1}{\partial x_{43}}\cdot\frac{x_{43}}{V_3}\Bigg],
\end{aligned} \qquad (2)$$

где $\nu_1 = -\frac{(x_{43}-\bar{x}_{43})}{T_2(k_3x_{43}-k_2x_{33})} - \frac{(x_{42}-x_{43})\upsilon_2}{V_3(k_3x_{43}-k_2x_{33})} + \frac{x_{43}u}{V_3(k_3x_{43}-k_2x_{33})}$; $\bar{x}_{43}$ – заданное значение концентрации целевого компонента; T_1, T_2 – параметры настройки алгоритма.

Проведено исследование замкнутой системы «реакторный узел – нелинейная управляющая подсистема» методами имитационного моделирования с целью определения работоспособности предложенного алгоритма.

На рис. 2 приведен пример переходных процессов регулирования в замкнутой системе при начальном отклонении переменных состояния от статики и различных параметрах алгоритма управления (2).

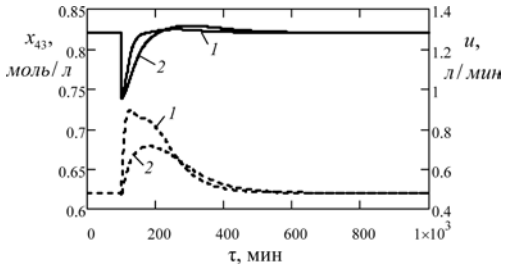


Рис. 2. Изменение регулируемой переменной x_{43} (сплошная линия) и управляющего воздействия u (пунктирная линия) при начальном отклонении переменных состояния от статики
$1 - T_1 = T_2 = 10$, $2 - T_1 = T_2 = 20$

Результаты имитационного моделирования замкнутой системы «реакторный узел – нелинейная управляющая подсистема» показали инвариантность системы к возмущениям, ковариантность с задающим воздействием, асимптотическую устойчивость в целом, грубость при условии полной наблюдаемости объекта.

Таким образом, методами синергетической теории управления решена в нелинейной постановке задача аналитического синтеза закона стабилизации концентрации целевого продукта в каскаде химических реакторов с распределенной подачей исходного общего реагента в аппараты при проведении последовательно-параллельной реакции. Метод АКАР позволяет решать задачу управления в нелинейной постановке с учетом индивидуальных особенностей химических реакторов. Это указывает на перспективность и эффективность синергетического подхода для конструирования новых классов замкнутых систем «реактор – нелинейная система управления».

Литература

1. Колесников А. А. Синергетическая теория управления. Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.

ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Неупокоева А.Е., Скороспешкин М.В.
Научный руководитель: Скороспешкин М.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: nastena-yurga@rambler.ru

В настоящее время ПИД регуляторы являются широко распространенными и применяются в системах автоматического регулирования (САР) для получения необходимого качества переходного процесса и точности. Данный регулятор хорошо справляется со своими функциями при статических параметрах объекта управления САР. Однако существуют объекты, параметры которых меняются с течением времени. Рассмотрим модель системы первого порядка, представленную на рисунке 1.

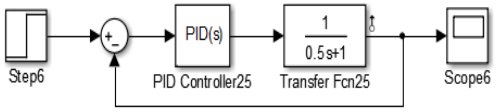


Рис. 1. Схема САР первого порядка

При постоянной времени объекта управления (ОУ) T=0.5, переходный процесс является апериодическим. Коэффициенты ПИД регулятора: K=1; T_i=1; T_d=0.01. Постоянная времени T изменяется в течение времени в диапазоне от 0.5 до 10. Графики переходных процессов представлены на рисунке 2.

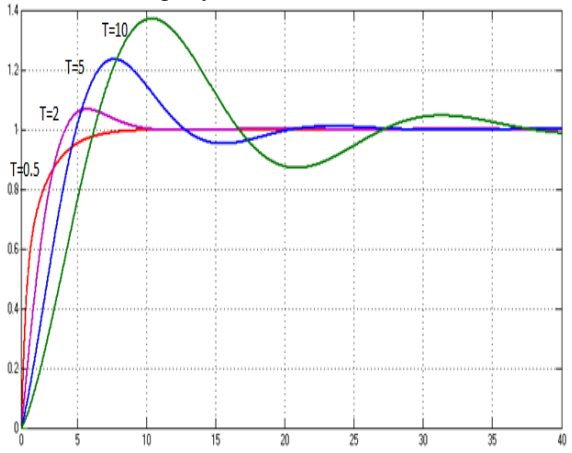


Рис. 2. Переходные процессы системы первого порядка для различного параметра T

Из рисунка 2 видно, что при изменении параметра T во времени и при неизменных параметрах ПИД регулятора невозможно получить оптимальный вид переходного процесса. Одним из решений данной проблемы является введение в систему псевдолинейного корректирующего устройства (КУ). Различают следующие типы данных устройств:

1. Корректирующее устройство с амплитудным подавлением (АП).
2. Корректирующее устройство с фазовым опережением (ФО).
3. Двухканальное корректирующее устройство с раздельными каналами для амплитуды и фазы.

Для того чтобы получить оптимальный вид переходного процесса необходимо в систему первого порядка ввести двухканальное корректирующее устройство после ПИД регулятора (Рис.3). Реализация двухканального корректирующего устройства в Matlab, и его настройки показаны на рисунке 4. На рисунке 5 представлены переходные процессы при различных значениях параметра T и введения в систему псевдолиненого двуканального корректирующего устройства. По виду данных переходных процессов видно, что качество процесса регулирование улучшилось, и метод введения псевдолиненого КУ решает проблему динамических параметров ОУ.

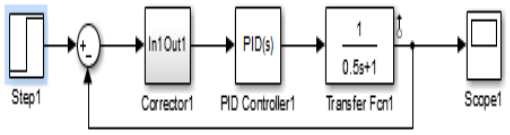


Рис. 3. Схема САР первого порядка с КУ

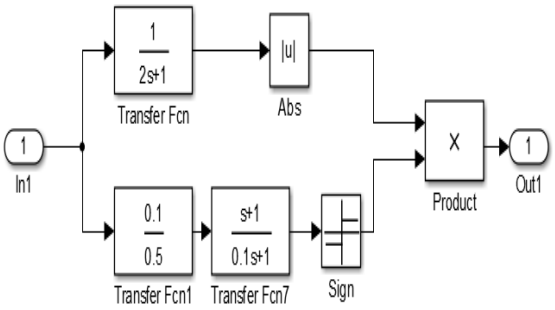


Рис. 4. Реализация КУ в пакете Simulink среды Matlab

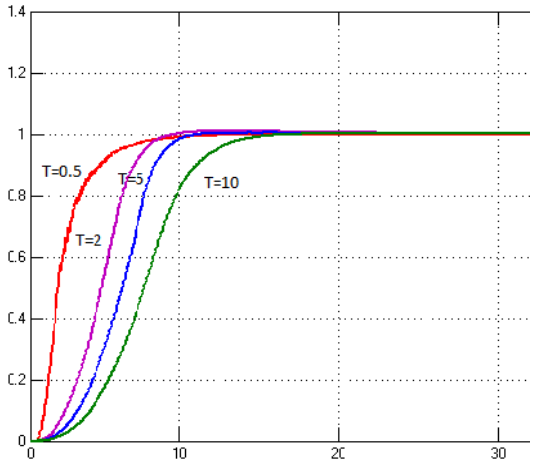


Рис. 5. Переходные характеристики системы первого порядка с КУ

В таблицах 1,2,3 представлены результаты исследования систем с динамическими параметрами ОУ первого, второго и третьего порядка соответственно. Объект управления имеет следующие передаточные функции $\frac{1}{Ts^2+2s+1}, \frac{1}{Ts^3+2s^2+s+1}$ для второго и третьего порядка. Диапазон изменения коэффициента Т представлен в таблицах 1,2,3. В каждой системе использованы три вида корректирующих устройств: с амплитудным подавлением, с фазовым опережением, с раздельными каналами для амплитуды и фазы.

Таблица 1. Результаты исследования системы первого порядка

Т ОУ	0,5	2	5	10
$T_{рег}$,с без КУ	6	9	19,3	34,7
σ,% без КУ	0	8	22	38
$T_{рег}$,с с АП	7	11,4	35	46
σ,% с АП	0	0	2	4,8
$T_{рег}$,с с ФО	5	6,4	15	31,2
σ,% с ФО	0	0	2,6	4
$T_{рег}$,с с ДКУ	6	7,3	9,5	11,2
σ,% с ДКУ	0	0	0	0

Таблица 2. Результаты исследования системы второго порядка.

Т ОУ	0,5	2	5	10
$T_{рег}$,с без КУ	15	20	28	-
σ,% без КУ	0	0	11	-
$T_{рег}$,с с АП	22	22	27,8	80
σ,% с АП	0	0	0	2,3
$T_{рег}$,с с ФО	30	30	42	68
σ,% с ФО	0	0	0	0
$T_{рег}$,с с ДКУ	12	15	23	67
σ,% с ДКУ	0	0	0	0

Таблица 3. Результаты исследования системы третьего порядка.

Т ОУ	0,5	2	5	7
$T_{рег}$,с без КУ	14,8	18,3	-	-
σ,% без КУ	0	0	-	-
$T_{рег}$,с с АП	12,5	15	58	93
σ,% с АП	0	0	0	0
$T_{рег}$,с с ФО	13,2	15	21,3	30
σ,% с ФО	0	0	0	0
$T_{рег}$,с с ДКУ	21,7	23,4	23	65
σ,% с ДКУ	0	0	0	0

Данные таблиц подтверждают эффективность использования метода псевдолинейной коррекции. Данные корректирующие устройства целесообразно применять в системах с изменяющимися с течением времени параметрами. Более эффективными КУ является устройство с раздельными каналами фазы и амплитуды.

Список литературы:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. – М: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1975– 768 с.

2. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления / под ред. Ю.И. Топчеева. – М.: Машиностроение, 1971. – 466 с.: ил.

3. Хлыпало Е.И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 272 с., ил.

ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ ДВУКАНАЛЬНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Никифоров Д.Г., Скороспешкин М.В.
Научный руководитель: Скороспешкин М.В., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: dmitryniki@sibmail.com

Среди нелинейных устройств, используемых для коррекции свойств систем автоматического управления, выделяют класс корректирующих устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые частотные характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала. Такие корректирующие устройства называют псевдолинейными [1].

Наиболее распространены следующие псевдолинейные корректирующие устройства (ПКУ) [2].

- Корректирующие устройства с амплитудным подавлением.
- Корректирующее устройство с фазовым опережением.
- Корректирующее устройство с раздельными каналами для амплитуды и фазы.

В настоящей работе проанализированы свойства корректирующего устройства с раздельными каналами для амплитуды и фазы на примере моделей систем автоматического управления (САУ) с объектами управления (ОУ) второго, третьего и четвертого порядков.

Исследование свойств ПКУ проводилось в среде MatLab. Модель САУ 2 порядка, состоящая из ПИД-регулятора, ОУ и единичной обратной связи, представлена на рисунке 1.



Рис.1. Система управления с ПИД-регулятором и ОУ 2 порядка

Настройки регулятора были найдены с помощью стандартной функции PID tuning tool и равны: K_p=1.82, K_i=6.48, K_d=0.06. Настройки найдены однажды и использованы в ПИД-регуляторах для всех исследованных САУ.

На рисунке 2 представлена реакция системы на единичное ступенчатое воздействие.

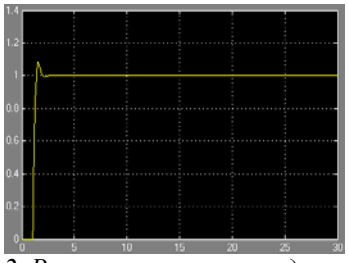


Рис.2. Реакция системы на единичное ступенчатое воздействие

Модель системы после изменения параметров ОУ представлена на рисунке 3.



Рис.3. Система управления после влияния нестационарности

Реакция САУ после изменения параметров ОУ показана на рисунке 4. Ранее настроенный ПИД-регулятор не справляется со своей задачей, выросли колебательность и время регулирования.

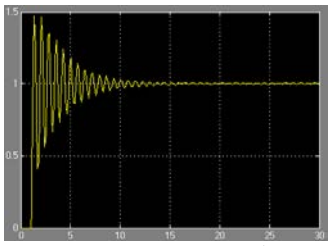


Рис.4. Реакция системы на единичное ступенчатое воздействие после изменения параметров ОУ

Для улучшения качества переходного процесса использовано ПКУ с раздельными каналами для амплитуды и фазы, настраиваемыми независимо друг от друга. ПКУ можно рассматривать как дополнительное средство, участвующее в формировании управляющего воздействия и повышающее качество управления. Структура псевдолинейного двухканального корректора показана на рисунке 5. Корректирующее устройство включается последовательно с регулятором и состоит из двух каналов: амплитудного (верхнего) и фазового (нижнего). Амплитудный канал состоит из апериодического звено и звена выделения модуля. Фазовый канал содержит интегродифференцирующее звено [3].

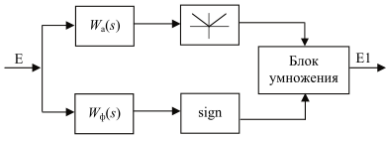


Рис.5. Структура ПКУ с раздельными каналами для амплитуды и фазы

Модель САУ с ПКУ с раздельными каналами для амплитуды и фазы представлена на рисунке 6.

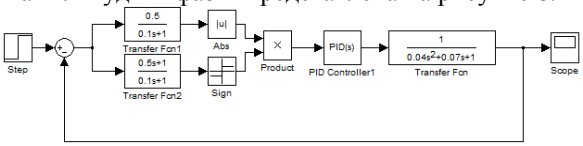


Рис.6. Модель САУ с ПКУ и ОУ 2 порядка

Передаточные функции (ПФ) амплитудного и фазового каналов в общем виде выглядят следующим образом [1]:

$$W_A = \frac{k}{T_1 s + 1}; \quad W_Ф = \frac{Ts + 1}{T_2 s + 1}$$

Полученные экспериментальным путем параметры ПКУ (k=0.5, T_1=0.1, T=0.5, T_2=0.1) позволили получить переходный процесс, представленный на рисунке 7. Использование ПКУ в САУ 2 порядка позволило получить апериодический переходный процесс вместо колебательного и уменьшить время регулирования в 4 раза.

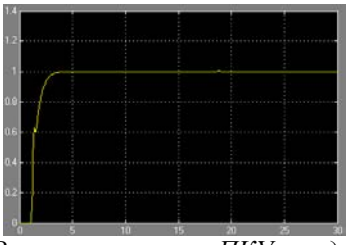


Рис.7. Реакция системы с ПКУ на единичное ступенчатое воздействие

Модели 3 и 4 порядков идентичны по структуре с моделями 2 порядка, меняется лишь ОУ. ПФ ОУ 3 и 4 порядка выглядят следующим образом:

$$W_3 = \frac{1}{0.04s^3 + 0.07s^2 + 11s + 1}$$

$$W_4 = \frac{1}{0.04s^4 + 5s^3 + s^2 + 10s + 1}$$

На рисунке 8 представлена реакция системы 3 порядка с ПИД-регулятором без ПКУ на единичное ступенчатое воздействие.

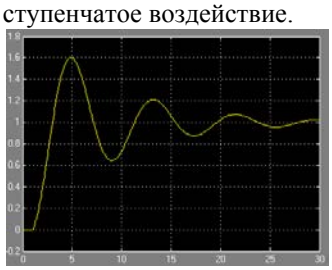


Рис.8. Реакция системы 3 порядка с ПИД-регулятором на единичное ступенчатое воздействие

На рисунке 9 представлена реакция системы 3 порядка с ПИД-регулятором и ПКУ (k=1, T_1=5, T=1, T_2=0.1) на единичное ступенчатое воздействие.

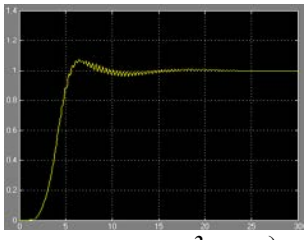


Рис.9. Реакция системы 3 порядка с ПИД-регулятором и ПКУ на единичное ступенчатое воздействие

Использование ПКУ в САУ 3 порядка позволило снизить время регулирования в 3 раза, а также уменьшить перерегулирование в 6 раз.

На рисунке 10 представлена реакция системы 4 порядка с ПИД-регулятором без ПКУ на единичное ступенчатое воздействие.



Рис.10. Реакция системы 4 порядка с ПИД-регулятором на единичное ступенчатое воздействие

На рисунке 11 представлена реакция системы 4 порядка с ПИД-регулятором и ПКУ (k=0.01, T_1=0.1, T=10, T_2=1) на единичное ступенчатое воздействие.

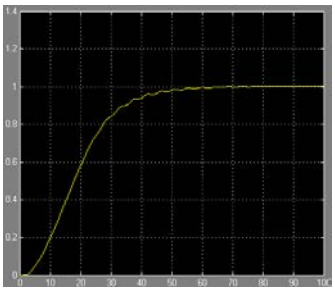


Рис.11. Реакция системы 4 порядка с ПИД-регулятором и ПКУ на единичное ступенчатое воздействие

Использование ПКУ в САУ 4 порядка позволило получить устойчивый апериодический переходный процесс, однако время регулирования получилось высоким.

Согласно результатам моделирования, ПКУ с раздельными каналами для амплитуды и фазы позволяет улучшить качество переходного процесса, снизить его длительность, уменьшить перерегулирование. Однако с ростом порядка системы эффективность ПКУ снижается.

Список литературы

1. Топчеев Ю. И. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. М.: Изд. Машиностроение, 1971.

2. Хлыпало Е. И. Расчет и проектирование нелинейных корректирующих устройств в автоматических системах. Л.: Энергоиздат, 1982. 272 с.

3. Зельченко В. Я., Шаров С. Н. Нелинейная коррекция автоматических систем. Л.: Судостроение, 1981. 167 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОПИСАНИЯ ТОУ МОДЕЛЯМИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА ПРИ СИНТЕЗЕ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ

Николаев А.В., Криницын Н.С., Савитский О.П.
Научный руководитель: Криницын Н.С., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: kns@tpu.ru

В настоящее время для управления большинством технологических процессов применяются одноконтурные САУ стабилизации, структурная схема которых изображена рисунке 1.

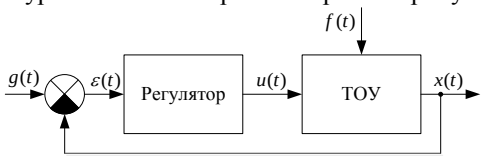


Рис. 1. Типовая структурная схема САУ

Представленная на рисунке 1 САУ обеспечивает стабилизацию управляемой координаты $x(t)$ на уровне задающего воздействия $g(t)$ посредствам расчета регулятором управляющего воздействия $u(t)$. Регулятор, как правило, реализует типовой закон регулирования (П, ПИ, ПИД, ПД), выбор которого основывается на структуре и параметрах эквивалентной модели объекта управления. В свою очередь технологические объекты управления являются многопараметрическими. Поэтому составляемые эквивалентные модели ТОУ зачастую описываются дифференциальными уравнениями высокого порядка. Это накладывает определённые сложности при дальнейшей настройке САУ, т.к. в литературе отсутствуют методы настройки регуляторов для данных объектов. Актуальной становится задача исследования влияние точности описания модели технологического процесса на качество управления ТОУ.

В качестве исследуемого ТОУ выбрана модель объекта 5-го порядка с разными постоянными времени следующего вида:

$$W(s)=\frac{1,2\cdot e^{-55\cdot s}}{(46\cdot s+1)\cdot(23\cdot s+1)\cdot(11\cdot s+1)\cdot(6\cdot s+1)\cdot(3\cdot s+1)}.$$

Параметрическая идентификация составленной модели проведена для следующих эквивалентных моделей [1]:

1-го порядка:

$$h(t)=K_o\cdot\left(1-e^{-\frac{t-\tau}{T}}\right),$$

2-го порядка:

$$h(t)=K_o\cdot\left(1-\frac{T_1}{T_1-T_2}\cdot e^{-\frac{t-\tau}{T_1}}+\frac{T_2}{T_1-T_2}\cdot e^{-\frac{t-\tau}{T_2}}\right).$$

5-го порядка:

$$h(t)=K_o\cdot\left(1-e^{-\frac{t-\tau}{T}}\cdot\left(1+\frac{(t-\tau)}{T}+\frac{(t-\tau)^2}{2\cdot T^2}+\frac{(t-\tau)^3}{6\cdot T^3}+\frac{(t-\tau)^4}{24\cdot T^4}\right)\right).$$

В среде Matlab посредством встроенных функций оптимизации определены параметры модели объекта и построены графики переходных процессов. Результаты идентификации объекта управления приведены в таблице 1. Графики переходных функций приведены на рисунке 2.

Таблица 1. Результаты идентификации

Параметры модели	Идентификация структурой, порядок		
	1-го	2-го	5-го
K_o	1,2	1,2	1,2
τ, с	89,09	71,04	33,76
T_1, с	58,44	36,95	21,78
T_2, с	-	36,95	21,78

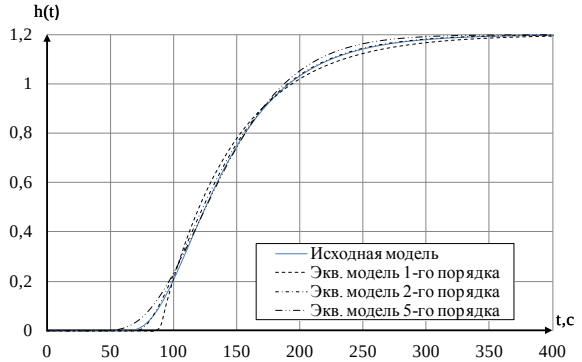


Рис. 2. Графики переходных процессов

Для настройки регулятора использован зарекомендовавший себя на практике метод оптимального модуля [2]. Рассчитанные параметры регулятора представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры настройки регулятора

Тип рег-ра	Порядок экв. модели	Параметры рег-ра		
		K_r	T_i	T_d
ПИ	1	0,35	67,80	—
	2	0,31	62,26	—
	5	0,29	58,99	—
ПИД	1	0,65	89,67	20,81
	2	0,64	87,66	11,63
	5	0,61	84,50	5,69

Результаты демонстрируют прямую закономерность увеличения значений параметров настройки регулятора при уменьшении порядка эквивалентной модели

Переходные процессы составленной САУ для ПИ и ПИД законов регулирования представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.

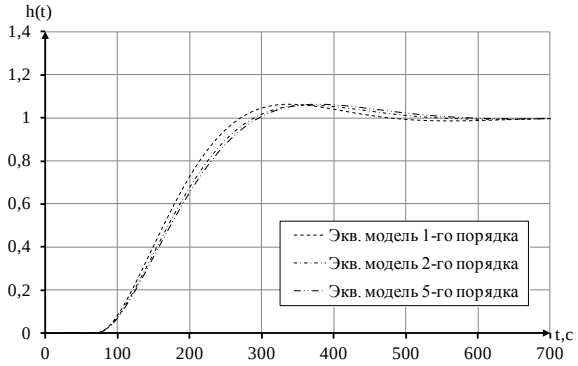


Рис. 3. График переходных процессов САУ с ПИ законом управления.

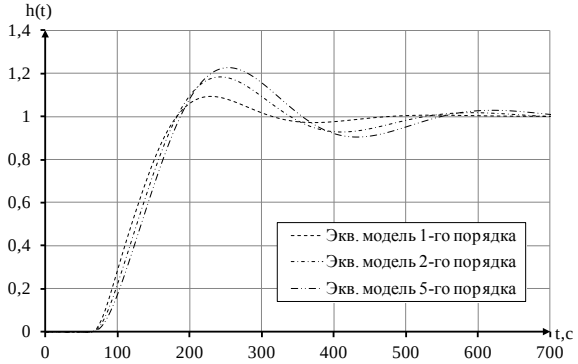


Рис. 4. График переходных процессов САУ с ПИД законом управления.

Переходные процессы САУ с ПИ законом управления незначительно изменяются при изменение порядка эквивалентной модели. В свою очередь в переходных процессах САУ с ПИД законом управления прослеживается прямая зависимость значения перерегулирования от порядка эквивалентной модели.

Для численной оценки качества управления исследуемых САУ проведена оценка показателей качества настройки САУ (перерегулирование (σ) и время регулирования (Tr)). В таблице 3 отображены полученные значения.

Таблица 3. Показатели качества САУ

Тип рег-ра	Порядок экв. модели	Показатели качества	
		σ, %	T_r, с
ПИ	1	6,0669	376,7
	2	5,6103	398,7
	5	5,9116	424,4
ПИД	1	7,9477	271,3
	2	17,4375	458,2
	5	21,8951	497,0

Наилучшие показатели качества соответствуют САУ с ПИД законом управления для эквивалентной модели 1-го порядка. У него наилучшее соотношение значений показателей качества. Показатели качества САУ с ПИД законом управления показывают ухудшение качества управления с увеличение порядка эквивалентной модели. В свою очередь САУ с ПИ законом управления отличаются стабильностью значений показателей качества.

Оценка грубости полученных САУ проведена путём варьирования параметров модели ТОУ в диапазоне +/- 20% от номинальных. Области разброса показателей качества САУ с ПИ и ПИД законом управления представлены на рисунках 5 и 6.

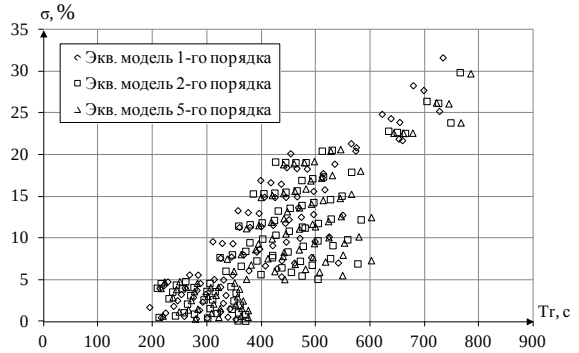


Рис. 5. Проверка на грубость САУ с ПИ законом управления.

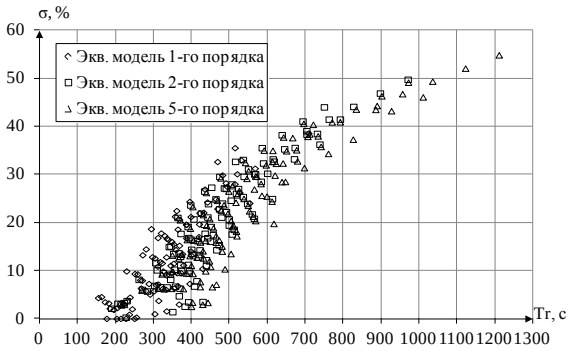


Рис. 6. Проверки на грубость САУ с ПИД законом управления.

Приведённые на рисунках 5-6 результаты доказывают, что при синтезе САУ многоемкостными ТОУ нет необходимости использовать эквивалентные модели высокого порядка с целью повышения точности описания ТОУ. Использование эквивалентной модели низкого порядка не снижает качество регулирования, грубость САУ и упрощает процесс настройки регулятора.

Параллельно были проведены аналогичные исследования для исходных моделей, описываемых звеньями 1-го порядка и 2-го порядка с одинаковыми постоянными времени. Результаты подтвердили сделанные ранее выводы об отсутствии необходимости в точном составлении моделей ТОУ при синтезе САУ по отклонению.

Список литературы

1. Топчеев Ю.И., Цыпляков А.П. Задачник по теории автоматического регулирования: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.

2. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием: Пер.с польского. – М.: Машиностроение, 1974. – 328 с.

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МИКРОМОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Окс А.Е.
Научный руководитель: Сыркин И.С., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: oksrails@gmail.com

Последние 40 лет активно развиваются интеллектуальные транспортные системы (ИТС), которые позволяют максимально эффективно использовать ресурс уже существующих дорог города. Все существующие ИТС принимают решения на основе заранее предопределенных шаблонов, выявленных в ходе имитационного моделирования транспортных потоков.

Выделяют три уровня математического моделирования транспортных потоков: макромоделирование, мезомоделирование, микромоделирование.

Существуют четыре основных микромодели: модель оптимальной скорости М. Бандо, модель Видемана, клеточные автоматы, модель умного водителя. Наиболее адекватной на сегодняшний день является модель умного водителя.

Модель умного водителя относится к типу моделей «следования за лидером». Движение описывается как сочетание стратегии ускорения и стратегии торможения.

Стратегия ускорения. Если расстояние до впередиидущего автомобиля достаточно велико, то влияние функции стратегии торможения незначительно.

Стратегия торможения. Для автомобиля, двигающегося в плотном потоке, функция стратегии торможения становится значимой. Она зависит от соотношения эффективной минимальной дистанцией и фактической дистанцией между автомобилями в данный момент времени.

В модели умного водителя также учитываются психофизические параметры водителей. Проведя ряд исследований Arne Kesting, Martin Treiber и Dirk Helbing пришли к следующей классификации стилей вождения: нормальный, робки, агрессивный и грузовик.

Таким образом, сочетая функции стратегий ускорения и торможения и психофизические параметры водителей параметры можно моделировать транспортные потоки, случайно выбирая параметры отдельных водителей.

Главной проблемой существующих микромоделей является небольшая степень учета параметров конкретного водителя. Только в модели умного водителя учитываются психофизические параметры водителя, разделяя всех водителей на четыре класса. На самом же деле различия автомобилистов куда более вариативно.

Транспортный поток состоит из отдельных автомобилей, управляемых людьми. Решение совершить тот или иной маневр или действие принимается водителем, т.е. человеком. Каждый человек по-разному реагирует на смену сигнала светофора, изменение дистанции между ним и впередиидущим автомобилем, состояние дорожного полотна, какие-либо неожиданно возникшие препятствия и т.д. Подавляющее число ДТП возникает вследствие принятия неправильного решения водителем: неправильный расчет скорости в соотношении с расстоянием до впередиидущей машины, непринятие во внимание дорожных и погодных условий и т.д.

Таким образом, каждый элемент потока, т.е. автомобиль, управляемый водителем обладает своим набором параметров, влияющих на логику его поведения и оказывающих влияние на логику поведения прочих участников дорожного движения, а значит и на транспортный поток в целом.

Если учитывать указанное выше влияние каждого отдельного водителя на поток в целом, то можно сделать вывод, что для построения наиболее адекватной модели транспортного потока необходимо смоделировать логику поведения отдельного водителя. Создание валидной модели логики поведения водителя позволит значительно повысить эффективность интеллектуальных систем управления дорожным движением.

Исходя из этого, целью работы является повышение точности моделирования транспортных потоков за счет использования интеллектуальной модели логики поведения водителя.

В соответствии с целью решаются следующие задачи:

1. Выявление факторов, влияющих на логику поведения водителя.
2. Разработка математического алгоритма расчета кинематики и динамики движения автомобиля.
3. Разработка методики расчета зависимости траектории и скорости движения автомобиля от различных внешних факторов.
4. Разработка программной среды моделирования.
5. Валидация модели.

Для расчета величины и направления ускорения решается следующая система уравнений:

$$\begin{cases} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} \end{cases}$$

Величина и вектор ускорения будет зависеть от определенных факторов. В зависимости от ситуации водитель будет ускоряться, замедляться, перестраиваться, причем при перестроении он также может ускоряться или замедляться.

Для решения задачи разработки методики расчета зависимости траектории и скорости движения автомобиля от различных внешних факторов были выявлены объекты окружающей среды, способные, так или иначе, оказывать влияние на действия водителя. Всего было выявлено более шестидесяти объектов.

Одновременно на водителя оказывает влияние множество факторов, причем степень этого влияния может колебаться. Также наличие одних факторов может исключать влияние других. Например, если расстояние до впередиидущего автомобиля велико, но по расположенному впереди пешеходному переходу идет пешеход, то водитель будет тормозить, а не ускоряться. Т.е. каждый фактор обладает своим весом.

Таким образом, величина и вектор ускорения будет зависеть от влияния каждого параметра:

$$a = \sum_{i=1}^{n} f(P_i)$$

где, Pi – фактор, влияющий на ускорение.

Для определения степени влияния различных факторов на поведение водителя была разработана семантическая сеть, отражающая различные факторы, их веса и связи.

Объект Obi семантической сети представляется как Obi = {N, S, UObi}, где N –имя объекта-фактора; S – множество решений связанных с объектом; UObi – множество отношений между понятиями P и названием объекта I.

Функция UObi представляет собой нечеткое множество, которое показывает степень зависимости между объектом и решением. Само решение также представляет собой функцию изменения ускорения.

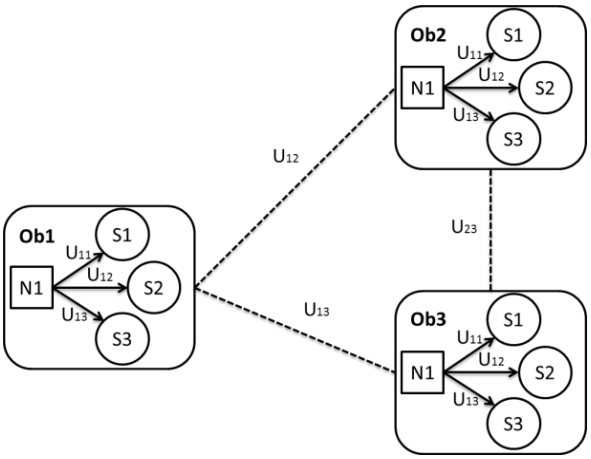


Рис.1-Пример семантической сети

Таким образом, величина и вектор ускорения будет зависеть от набора факторов – объектов семантической сети, оказывающих влияние на водителя в данный момент времени, степени их влияния и величины he. Набор влияющих факторов является одномерным массивом. Следовательно, формула расчета будет выглядеть следующим образом:

$$a = he * \sum_{i=1}^{n} U_i$$

Для разработки программных средств моделирования были выделены следующие требования:

1. Обеспечение имитации реагирования водителя на окружающую среду в реальном времени.
2. Обеспечение изменения параметров окружающей среды в реальном времени.
3. Обеспечение возможности конструирования различных участков дороги.
4. Обеспечение возможности обучения модели водителя.

Список литературы:

1. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. -496 с.: ил.
2. Яхъева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие / Г.Э.
3. Яхъева. – 2-е изд., испр. – М.: Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012.

ИНТЕГРАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА И ОПЕРАЦИОНОЙ СИСТЕМЫ ROS

Пантюхин А,Р., Александрова Т.В.
Научный руководитель: Александрова Т.В., ассистент
Томский политехнический университет, г. Томск, пр.Ленина, 30
sanyapantyukhin@gmail.com

Введение

В современном мире робототехника занимает очень выгодную позицию и считает приоритетным направлением развития. Выше сказанное подтверждается многими фактами: роботы в армии, роботы – помощники для людей с ограниченными возможностями, робот, ежедневно убирающий ваш дом или квартиру. Каждый разработчик пытается написать проприетарное программное обеспечение и достаточно хорошо на нем заработать. Встал вопрос, о том, что необходимо создать универсальную операционную систему для роботов, и компания WillowGarage представила рынку ROS (Robot Operating System). ROS обеспечивает стандартные службы операционной системы, такие как: аппаратную абстракцию, низкоуровневый контроль устройств, реализацию часто используемых функций, передачу сообщений между процессами, и управление пакетами. ROS основан на архитектуре графов, где обработка данных происходит в узлах, которые могут получать и передавать сообщения между собой. Библиотека ориентирована на Unix-подобные системы (Ubuntu Linux включен в список «поддерживаемых» в то время как другие варианты, такие как Fedora и Mac OS X считаются «экспериментальными»).

ROS и навигационный стек

Для решения навигационных задач ROS предоставляет навигационный стек. В качестве входных данных стек использует данные одометрии (пройденный колесами робота путь) и сенсоров, а на выходе передает роботу команды управления скоростью передвижения. Использование на роботе навигационного стека «из коробки» становится возможным при выполнении некоторых условий:

— Робот по форме должен быть круглым или прямоугольным, а его колеса должны быть неголономными, т.е. движение робота должно осуществляться только вдоль направления вращения колес. Например, колеса автомобиля или велосипеда — неголономные.

— Робот должен предоставить информацию о всех геометрических связях между кинематическими узлами и сенсорами робота. Эта информация задается в URDF модели, а сложные геометрические преобразования из одной системы координат в другую с использованием матриц поворотов, углов Эйлеров и кватернионов может осуществлять узел tf.

— Робот должен посылать сообщения для управления перемещением в формате линейной и угловой скорости.

— Для решения задач определения местоположения и построения карты должен использоваться лазерный дальномер или 3-D сканер. Однако, если несколько схитрить, то можно использовать вместо дорогостоящих сенсоров и другие более дешевые аналоги: сонары или инфракрасные дальномеры. В этом случае, главное соблюдать правильный формат сообщений, которые передаются исполняемому узлу.

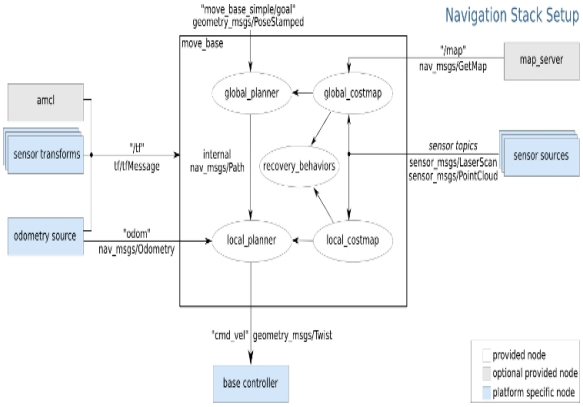


Рис.1 Общая схема навигационного стека

Основные понятия

Начнем с рассмотрения базовых концепций файловой системы (ФС) ROS.

Пакетом (package) называется наименьшая единица ФС. Представляет собой директорию, содержащую в себе какие-либо данные, библиотеки, исполняемые и конфигурационные файлы и т.д. и т.п., логически объединенные в какой-то полезный модуль. Цель такого структурирования совершенно прозрачна — повышение юзабилити и возможности повторного использования.

Структура пакета выглядит следующим образом:

bin/: скомпилированные бинарники

include/package_name: заголовочные файлы для C++ (обязательно должны описываться в manifest.xml!)

msg/: типы сообщений

src/package_name/: исходный код на C++ и скрипты на Python'e, экспортируемые в другие пакеты

srv/: типы сервисов, предоставляемых пакетом

scripts/: скрипты на Python'e

CMakeLists.txt: CMake файл для сборки пакета

manifest.xml: манифест пакета

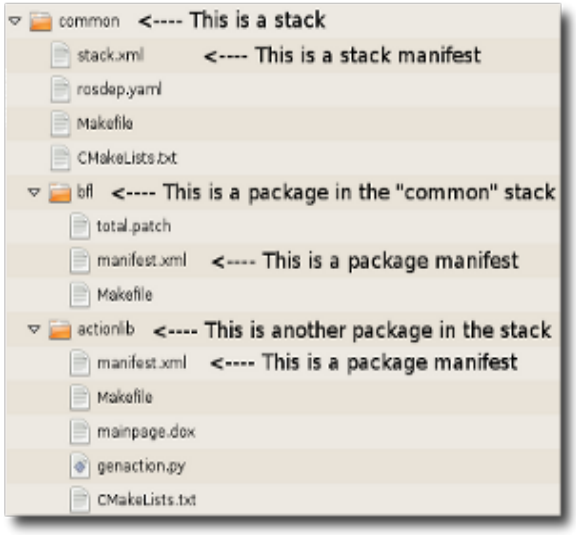


Рис.2 Структура пакета

Одометрия и генерация карты окружающей среды

Одометрия – самый распространенный метод счисления пути. Суть этого метода заключается в определении позиции робота на основании подсчета инкрементальных оборотов колес относительно любой фиксированной точки на карте. Обычно измерения одометрии производятся оптическими цифровыми энкодерами, закрепленными на колеса или непосредственно на двигатели робота. Робот оснащен цифровыми энкодерами с разрешением 64 импульса на каждый оборот вала двигателя, что соответствует 8384 импульсов на один оборот колеса.

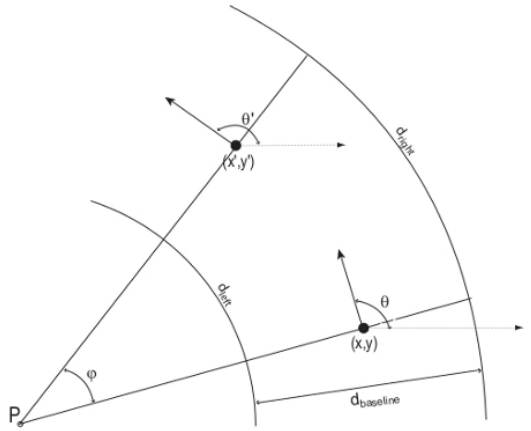


Рис.3 Геометрия одометрии

Робот использует сонары HC-SR04, поддерживающий диапазон измерения от 0.2 до 5 м с заявленной точностью 0.03 м. Угол обзора одного HC-SR04 составляет 30 градусов, и если разместить несколько сонаров рядом, то можно получить больший угол обзора. 3 сонара, размещенные на передней стороне робот обеспечивают угол обзора 90 градусов**.** Навигационный стек ROS может использовать данные различных видов сенсоров для получения одометрии, построения карты помещения или объезда препятствий. Теоретически есть возможность использовать сонары для построения карты помещения, ведь 12 или более сонаров дают угол обзора в 360 градусов и представляют более дешевую замену дорогостоящим лазерным дальномерам. Tod для построения карты использует Kinect, который по многим сенсорным характеристиками превосходит сонары. Однако, это не повод сбрасывать сонары со счета. Kinect закреплен на роботе достаточно высоко, что не позволяет видеть происходящего прямо под колесами. Сонары захватывают эту слепую зону, тем самым оказываясь полезными в решении задач планирования пути и объезда препятствий.

Как было сказано раннее, навигационный стек поддерживает работу только с лазерным сенсором и 3-D сканером. Это ограничение можно обойти, представив систему сонаров в виде фейкового 3-D сканера. 3-D сканер использует сообщение sensor_msgs/PointCloud, описывающее облако точек в трехмерном пространстве.

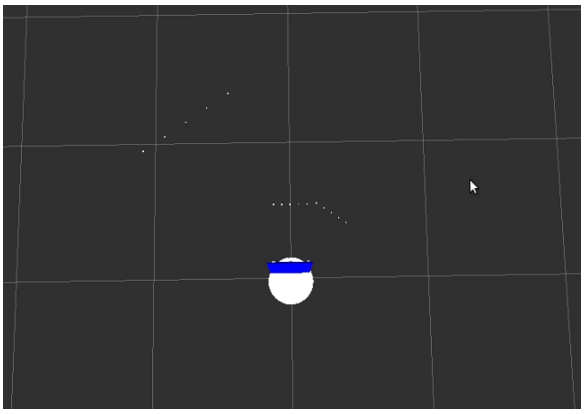


Рис.4 Результат генерации карты

Выводы:

ROS представляет очень большие возможности разработчикам, которые были использованы в данной работе. В ходе выполнения задачи был разработан стек для работы с мобильным роботом, он может в дальнейшем использоваться другими разработчика и возможна разработка новых узлов. Полученные данные планируется использовать в ВКР.

Литература:

1. Самаль Д.И., Старовойтов В.В. Выбор признаков для распознавания на основе статистических данных // Цифровая обработка изображений. - Минск:ИТК, 1999.-С.105-114.

2. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. - М:Мир, 1989. - 488 с.

3. ROS [Электронный ресурс]. М., 2009-2014. URL: http:// http://www.ros.org/

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГАЗА

Писарев М.О., Долганов И.М., Ивашкина Е.Н.
Научный руководитель: Ивашкина Е.Н., д.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: pisarevmo@tpu.ru

Роль информационных технологий в настоящее время все больше возрастает для объектов нефтегазовой отрасли, связанных с подготовкой и переработкой углеводородного сырья и отличающихся высокой степенью взрыво- и пожароопасности. Например, на производстве по подготовке газа методом низкотемпературной сепарации (НТС) присутствуют аппараты, работающие под высоким давлением, реализующие процессы разделения горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей, что делает данное производство опасным. Поэтому на таких объектах обязательно требуется высококвалифицированный инженерно-технический персонал, способный в критический момент стабилизировать технологический режим работы установки и предотвратить возникновение нештатных ситуаций. Однако знаний лишь норм технологического регламента зачастую не хватает для обеспечения требуемого уровня квалификации сотрудников. Это связано, в первую очередь, с отсутствием практических навыков и отсутствием возможности закрепить теоретический материал в реальных условиях на производстве. Данная проблема актуальна для всех промышленных предприятий.

Таким образом, применение компьютерных моделирующих систем (КМС) на основе математического описания физико-химической сущности процессов, протекающих в аппаратах технологической схемы подготовки газа методом низкотемпературной сепарации, позволит повысить уровень квалификации инженерно-технического персонала производства. При этом использование КМС в обучении сотрудников дает возможность безопасно приобрести навыки поведения при возникновении нештатных ситуаций.

На сегодняшний день существуют большое число компьютерных моделирующих систем, способных определить оптимальные технологические показатели работы установок промысловой подготовки газа и газового конденсата, в том числе в технологии низкотемпературной сепарации (НТС), с учетом предъявляемых требований к качеству целевого продукта [1, 2]. Однако ни одна из них не имеет возможности в режиме реального времени отображать переходные процессы в аппаратах при изменении управляющих параметров (положение задвижек, расход теплоносителя и т.д.). При этом необходимо, чтобы модели протекающих переходных процессов имели под собой физико-химическую основу, а поведение программы соответствовало поведению реальной установки.

Коллективом авторов создана компьютерная моделирующая система, в основе которой лежат нестационарные математические модели аппаратов, входящих в технологическую схему установки НТС, способные имитировать работу реального промышленного объекта и отображать переходные физико-химические процессы в зависимости от управляющих технологических параметров и времени. Технологическая схема НТС включает в себя три ступени сепарации, представленные тремя вертикальными газовыми сепараторами; теплообменники типа «газ-газ» и «жидкость-жидкость»; трехфазные сепараторы – разделители жидкости; газоперекачивающий аппарат – газовую турбину; воздушный холодильник и газовые эжекторы.

Программная реализация интерактивной моделирующей системы технологии низкотемпературной сепарации газа была осуществлена при помощи объектно-ориентированного языка программирования C# (рис. 1).

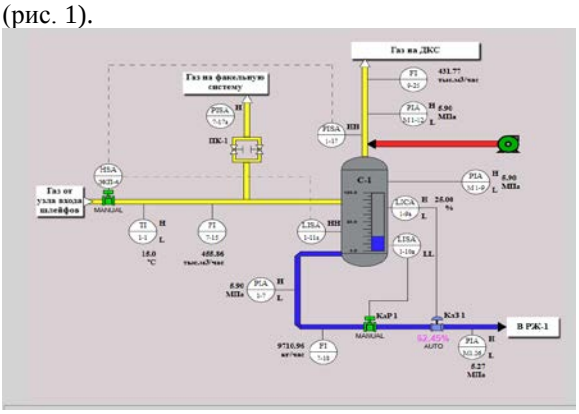


Рисунок 1. Главное диалоговое окно разработанной интерактивной моделирующей системы технологии низкотемпературной сепарации.

Важнейшими элементами рассматриваемой системы является сепарационное и дросселирующее оборудование. При разработке моделей сепараторов применялись законы фазового равновесия, использовались методы расчета (метод Шилова, Тека-Стила) и табличные значения констант фазового равновесия [3, 4]. Пропускная способность клапанов определялось уравнением зависимости расхода среды через него от перепада давления, плотности среды, расходного коэффициента и степени открытия. Математическая модель клапана также создана с

учетом процесса дросселирования (эффектом Джоуля-Томпсона) [5]. Также осуществлялся расчет гидродинамического сопротивления трубопроводов и аппаратов с использованием уравнения Бернулли, формулы Дарси-Вейсбаха и др. [6].

Модельный расчет, проведенный при следующих заданных параметрах: стационарный режим; постоянное давление, равное 7,082 МПа; температура 15 °С; расход газа на входе в аппарат 2070 т/сут.; степень открытия клапана по газу 28%; степень открытия клапана по жидкости 25%, позволил определить расход газа и жидкости из сепаратора, который составил 2004 т/сут. и 66 т/сут. соответственно.

Вместе с тем, было установлено, что при изменении степени открытия регулирующих клапанов (на газовом и жидкостном отводах) начинается процесс перехода с одного установившегося режима работы сепаратора на другой. Вид перехода соответствует описанному в литературе [7]. Например, при снижении степени открытия клапана по газу с 28% до 10 % за 40 секунд давление в системе увеличивается с 7,082 МПа до 7,633 МПа. За счет повышения давления в аппарате, через регулирующий клапан по жидкости увеличивается расход жидкости с 66 до 76 т/сут.

В то же время, при закрытии регулирующего клапана по жидкости (с 85 секунды с 25 % до 19 % за 60 секунд) расход жидкости уменьшился с 76 до 58 т/сут.

Стоит отметить, что изменение давления в аппарате влияет на фазовое равновесие в системе, что учтено в созданной модели процесса сепарации. Так, повышение давления ведет к увеличению количества отсепарированной жидкости, что приводит к нелинейному виду графика снижения уровня жидкости в аппарате (рис. 2). Затем при закрытии клапана по жидкости уменьшение уровня в аппарате замедляется.

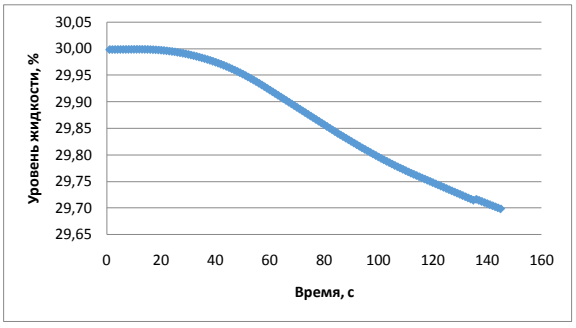


Рисунок 2. Зависимость уровня жидкости в сепараторе от времени

Таким образом, с использованием разработанной интерактивной моделирующей системы могут быть рассчитаны изменения технологических показателей работы газового сепаратора, а именно давления, расхода газа на входе и выходе, расхода жидкости на выходе, уровня жидкости.

При этом показатели работы сепаратора рассчитываются во времени, вследствие чего появляется возможность рассмотрения изменения параметров работы и анализа нестационарных (переходных) режимов.

Выводы

1. Разработана математическая модель комплекса процессов, протекающих в основных аппаратах установки подготовки газа в ходе низкотемпературной сепарации, основанная на физико-химических закономерностях протекания процессов разделения жидкой и паровой фаз, являющаяся основой для создания имитатора установки НТС.
2. Разработанная математическая модель позволяет определить влияние управляющих параметров на технологические показатели работы установки НТС в режиме реального времени, прогнозировать переходные процессы в аппаратах и минимизировать риски возникновения нештатных ситуаций.
3. На базе разработанной математической модели возможно создание тренажера для обучения инженерно-технического персонала установки НТС.

Литература

1. *Hamid K.* Aspen HYSYS: An Introduction to Chemical Engineering Simulation: For Chemical Engineering Undergraduate Students. - LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 176p.
2. *Imran U.K.* CHEMCAD as a tool when teaching Chemical Engineering. - Karlstads universitet: Faculty of Technology and Science, Department of Chemical Engineering, 2011. — 51 p.
3. *Кравцов А.В., Ушева Н.В., Бешагина Е.В., Мойзес О.Е., Кузьменко Е.А., Гавриков А.А.* Технологические основы и моделирование процессов промысловой подготовки нефти и газа. Учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 128 с.
4. *Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т.* Свойства газов и жидкостей. 3-е издание, переработанное и дополненное. Перевод с английского под редакцией Б. И. Соколова. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.
5. *Кафаров В.В.* Разделение многокомпонентных систем в химической технологии. Методы расчета. – М.: Московский химико-технологический институт, 1987. – 84 с.
6. *Чугаев Р.Р.* Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отдел, 1982. –627 с.
7. *Фёдоров А.Ф., Кузьменко Е.А.* Системы управления химико-*технологическими* процессами: учебное пособие. – Томск: изд-во ТПУ, 2009. – 224 с.

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТА TREEVIEWMANAGER ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРОТОКОЛИРОВАНИЯ СОБЫТИЙ

Плахин Д.В.
Научный руководитель: С.Г. Цапко
Томский политехнический университет, г.Томск, пр. Ленина, 30
pdv-mail@mail.ru

Введение

DataAnalyzer – проект, целью которого является упростить протоколирование событий. В программе Data Analyzer пользователь описывает для своего текущего проекта протоколы, содержащие события с определённым числом полей, после чего по запросу пользователя программа генерирует динамическую библиотеку logLibrary.dll для C# или C++, содержащую класс описываемого проекта. Класс предназначен для взаимодействия с удалённым сервисом Data Analyzer Service. Этот сервис взаимодействует с единой базой данных, сохраняя информацию о произошедших событиях и предоставляя эту информацию по запросу. Библиотека logLibrary.dll может быть разной для разных программ, однако суть её работы одна и та же, а структура схожа для всех таких библиотек. Благодаря этому свойству библиотеки база данных остаётся одной и той же для всех разрабатываемых приложений.

После создания библиотеки её можно подключить к создаваемому проекту, и после этого в код программы можно добавлять функции протоколирования событий, обращаясь к соответствующему классу. Все данные, полученные от программ, использующих библиотеку, будут поступать на сервер и впоследствии могут быть просмотрены. Функция просмотра на данный момент отсутствует в проекте и в будущем будет реализована автором данной статьи.

Разработка компонента

На данном этапе работы над проектом Data Analyzer основной задачей было переделать редактор классов. Класс проекта содержит протоколы. Каждый протокол содержит события, а каждое событие – поля. Ранее создание класса проекта предусматривало заполнение трёх форм соответственно – списка протоколов, списка событий (для каждого протокола вызывается и заполняется отдельно) и списка полей (также для каждого события вызывается и заполняется отдельно). При этом на первом уровне можно было редактировать только сам список - добавлять и удалять протоколы. На втором можно было редактировать информацию об этом протоколе (описание и другие поля), а также редактировать список событий. На третьем уровне можно было редактировать информацию о событии, список полей события и свойства полей.

Таким образом, на последнем уровне был список полей и связанный с ним компонент PropertyGrid [1], в котором отображались свойства каждого поля (имя, формат отображения и т.д.). Для упрощения работы с редактором нужно было сделать то же самое, только в одной форме для всех уровней. Это предполагало создание компонента, который способен заполнять стандартный компонент TreeView, представляющий собой дерево элементов. Верхний уровень дерева – протоколы, средний – события, нижний – поля событий. При щелчке на элемент дерева в зависимости от уровня меняется таблица свойств и свойства элемента (протокола, события или поля) отображаются в PropertyGrid. Результат разработки представлен на рисунке 1.

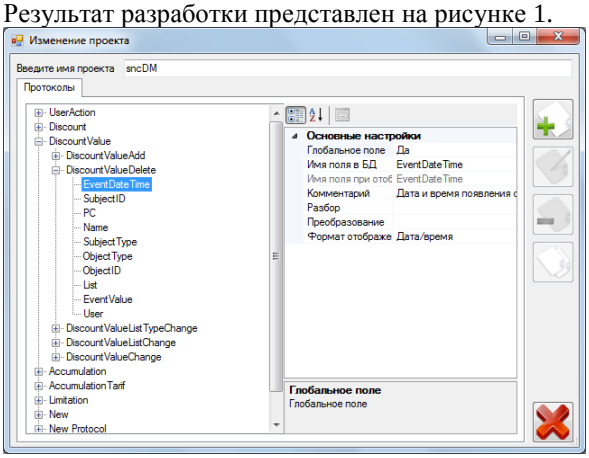


Рис. 1. Полученное окно Data Analyzer

Для заполнения PropertyGrid уже существует разработанный в организации компонент PropertyListViewManager. Компонент получает на вход таблицу полей для отображения. Каждая строка соответствует определённому свойству элемента. Свойства описываются такими параметрами (столбцы таблицы) как Name - отображаемое имя свойства, Value - значение свойства, Type - тип значения, Params - параметры отображения свойства, (например, свойство Type может иметь тип перечисления, и тогда отображаться будет выпадающий список, задаваемый полем Params), Visible - видимость, ReadOnly - можно ли изменять значение, и некоторые другие. Таким образом, для каждого уровня TreeView необходимо было создать только одну такую таблицу (так как свойства всех протоколов/событий/полей соответственно одинаковы, меняются лишь их значения) и правильно в нужный момент её изменять. Изменение предполагает редактирование полей Name, Value и, в некоторых случаях, Params (составлять значения для выпадающего списка, и иногда изменять, в зависимости от значения свойства «Глобальное поле» на уровне полей).

Описываемый в данной статье разработанный компонент TreeViewManager содержит такие таблицы для каждого уровня, а также таблицы со значениями свойств для каждого элемента уровня. Другими словами, столбцы таблицы уровня содержат такие поля как ID (идентификатор элемента), ParentID (идентификатор

родительского элемента), Name (отображаемое имя), а также столбцы, аналогичные строкам в таблицах уровней, для хранения значений свойств каждого элемента. Имена отображаемых в PropertyGrid свойств являются именами этих столбцов и указываются в таблице свойств в столбце StringKey.

В программе Data Analyzer, использующей разработанный компонент, данные загружаются из файла *.db SQL-запросами [2], и записываются по закрытию формы – изменённые поля обновляются, новые – вставляются, неизменные поля программа не трогает, удалённые – удаляются из базы, если они там были. Полученные данные отображаются в привязанном к компоненту TreeView. При выборе элемента происходит событие, передающее в обрабатывающую программу заполненную таблицу свойств. Это сделано, чтобы не связывать жёстко TreeViewManager и PropertyListViewManager. В программе событие ItemSelected обрабатывается и в PropertyListViewManager передаётся нужная таблица, отображающая свойства выбранного элемента.

Все изменения, сделанные в PropertyGrid через PropertyViewManager передаются при вызываемом событии изменения элемента в TreeViewManager. Таким образом, все данные своевременно изменяются, включая имя элемента (протокола, события или поля), которое также изменяется при отображении в TreeView.

Компонент позволяет не переключаться между формами, ведя всю разработку в одном окне. Для удобства работы также создан компонент MultiSelectTreeView, унаследованный от стандартного TreeView. Стандартный компонент не позволяет выбирать сразу несколько элементов, что не вполне удобно для поставленной задачи. Переработанный TreeView позволяет выбрать несколько элементов на одном уровне и переместить, скопировать или удалить сразу несколько объектов. Также компонент предоставляет удобное для выделения и перемещения по дереву управление с клавиатуры. Из-за описанных преимуществ TreeViewManager работает не со стандартным TreeView, а с разработанным MultiSelectTreeView.

Разработанный компонент предоставляет функции удаления, добавления или перемещения узла дерева для любого уровня, производя эти операции не только над построенным деревом, но и над таблицами уровней, содержащими его структуру. При добавлении или перемещении производится проверка соответствия уровня элемента новому месту его расположения. Благодаря этому, в приложении Data Analyzer реализована возможность перемещения и копирования узлов дерева при помощи мыши.

Стоит отметить, что в проекте DataAnalyzer компонент применяется также для редактирования представлений. Описание протокола содержит большой объём событий. С помощью создания представлений можно группировать нужные поля событий необходимым образом и выводить в удобном для пользователя виде при запросе из базы данных. Из пользовательской программы разработчик сможет вызывать генерацию отчёта для данного представления и посмотреть события, удовлетворяющие указанным условиям.

При редактировании представлений дерево содержит четыре уровня – уровень протоколов, уровень представлений, уровень событий и уровень полей. Форма редактирования аналогична представленной на рисунке 1, но она не позволяет редактировать протоколы и события. Существует возможность лишь указать формат отображения конкретного поля в представлении, а также редактировать свойства самих представлений. При удалении полей или событий они удаляются только из представления, но не из протокола. Добавить же поле или событие можно только из списка уже созданных полей и событий соответственно. Таким образом, форма не нуждается во всех возможностях разработанного компонента, однако способность отображать всю структуру протоколов, включая их представления, свойства и поля, является необходимой для удобного редактирования.

Для использования компонента следует перетащить его на форму разрабатываемого приложения. Далее следует передать компоненту нужные таблицы уровней и указать MultySelectTreeView, в котором будут отображаться данные. Затем следует указать столбцы ID и ParentID. Стоит отметить, что во всех таблицах они должны быть одинаковы.

После этого, если компонент используется в связке с PropertyListViewManager, следует указать PropertyGrid для отображения данных и задать таблицы свойств для каждого уровня. Когда завершены эти операции, нужно реализовать событие ItemSelected. Здесь нужно указать таблицу свойств для компонента PropertyListViewManager и вызвать операцию его обновления.

Заключение

Благодаря возможности отображать множество различных данных в одном окне разработанный компонент TreeViewManager позволяет значительно упростить и ускорить многие выполняемые задачи. В связке с компонентом MultiSelectTreeView, включённым в библиотеку TreeViewManager, он предоставляет гибкий инструмент по выполнению операций над несколькими элементами одновременно. Разработанный компонент будет применяться также в других проектах организации, дополняясь различными функциями и изменяясь в соответствии с нуждами разработчиков.

Список литературы

1. Liberty J. Программирование на C# - Символ-Плюс, 2003. - 690с.

2. Кузнецов М, Симдянов И. MySQL 5. – БХВПетербург, 2010. - 1007с.

УЛУЧШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ СЦЕН ВИДЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENCL

Потапьев И.А.
Научный руководитель: Аксенов С.В., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: ipotapev@gmail.com

Данная статья посвящена реализации алгоритма обработки видео на OpenCL. В статье описаны некоторые техники и методы, позволяющие получить прирост производительности разработанной системы.

1. Введение

Специфика задач компьютерного зрения предполагает использование вычислительно сложных операций. Многие из этих задачи включают в себя работу непосредственно с изображением, в частности матричные операции.

Так, алгоритм может содержать в себе большое количество последовательных операций, где результат выполнения предыдущих не влияет на вычисление последующих. Это значит, что данный тип алгоритмов может быть распараллелен. Выполнение же его в последовательном виде будет весьма медленным и неэффективным. Цель данной работы – реализовать параллельную версию алгоритма.

Изначальная система представляет собой библиотеку, определяющую границы сцен на данном видеоролике. Эта библиотека может быть использована в широком круге задач, таких как индексация, редактирование видео, а также видеоэффекты.

Таким образом, возникла задача выбора технологии параллельных вычислений, которые подходили бы как для серверных решений, так и для десктопов. Большинство из рассмотренных технологий является узкоспециализированными. Например, MPI ориентирована на кластерные вычисления, а OpenMP используется для создания параллельного кода для систем симметричного мультипроцессирования. В конце концов, была выбрана технология OpenCL. Это решение было обусловлено следующими причинами:

- Программа должна работать как на серверах, так и на десктопах
- OpenCL ориентирован на выполнение математических задач
- OpenCL поддерживается основными производителями (nVidia, ATI, Intel , и т.д.)

2. Архитектура

Архитектура системы была значительно пересмотрена и переписана в целях разработки чистого и поддерживаемого параллельного кода. Написание параллельного алгоритма с использованием любой технологии имеет немало сложностей и осуществляется гораздо медленнее, чем написание последовательного алгоритма. Описание оптимизируемой системы определения границ сцены можно найти в [1]. Так, изменение архитектуры привело к следующим свойствам системы.

Первое свойство – OpenCL и C++ версии взаимозаменяемы. Кроме того, обе версии содержатся в одном проекте в целях быстрой сборки и исполнения обоих решений. Библиотека может быть собрана с OpenCL или без нее, в зависимости от настроек.

Другое свойство – наличие в системе специальных программ (*.cl) для GPU, дублирующих функции на C++. Некоторые примеры функций перечислены ниже:

- генерация распределения Гаусса
- 2D свертка
- нормализация цветов изображения
- создание пирамид для изображения.

Прочие аспекты архитектуры:

- сниженное число взаимодействий между оперативной и видеопамятью. копирование изображения происходит дважды: отправка изображения в видеопамять и получение обратно в оперативную память. Все вычисления производятся на GPU
- модульность системы допускает использование кода на GPU фермах.

3. Оптимизация

После того, как разработка системы с описанной выше архитектурой была выполнена, были проведены тесты производительности.

Эти тесты показали большой прирост производительности на видео высокого разрешения, но на видео с низким разрешением прироста не наблюдалось.

В таблице 1 показаны результаты профилирования до оптимизации.

Таблица 1.
Результаты тестирования до оптимизации

Название ядра	***Полное время выполнения (мс)***
filter2D	1519.29566
buildGaussianPyramidSmooth	776.92347
upSize	575.47328
iterativeInteraction	488.98443
naiveSummation	331.11482

Данная таблица содержит наиболее затратные по времени операции. Как видно, большинство

операций было связано со сверткой. Применение фильтров является крайне затратной операцией из-за использования больших ядер (25x25, 21x21). Так, filter2D является наиболее значимым объектом оптимизации. Следующие разделы описывают приемы, увеличивающие скорость выполнения OpenCL кода

3.1 Дивергенция кода

Дивергенция означает, что все потоки имеют приблизительно схожее время выполнения. Если алгоритм программы содержит в себе множество условных ветвлений, то данный алгоритм будет медленней, чем при отсутствии этих ветвлений. В данном случае избавление от ветвлений дало значительный прирост в скорости.

3.2 Улучшенное использование памяти

Глобальная память OpenCL имеет большой объем, низкую скорость доступа. Единственный путь реализации эффективного решения – использовать локальные и константные зоны памяти. Больше информации о модели памяти доступно в [2] и [3].

Буферы памяти можно объявить __constant если буферы используются только для чтения. Так, все буферы фильтров были перенесены из глобальной памяти в константную.

Другой способ повысить скорость операции свертки – избегать чтения соседних пикселей из глобальной памяти [4]. Поэтому ядро filter2D было изменено для использования групп размером 16x16. Элементы одной группы загружают часть изображения в локальную память и затем используют эти данные для операции свертки.

Хорошей практикой является держать размер аргументов для ядра малым настолько, насколько это возможно. Как видно из таблицы 2, filter2D разделен на два компонента. Это позволило не передавать в качестве аргумента размер ядра, а определять его константой. Размер ядра используется в коде цикла, поэтому компилятор может однозначно развернуть цикл [5].

Таблица 2.
Результаты тестирования после оптимизации

Название ядра	***Полное время выполнения (мс)***
filter2DDog	768.55967
filter2DGabor	464.40411
buildGaussianPyramidSmooth	449.49778
upSize	318.26241
iterativeInteraction	312.22124

4. Тестирование

После реализации оптимизированной версии системы были проведены тесты производительности. В таблице 2 представлены результаты по работы ядер OpenCL. Графики времен обработки одного фрейма представлены на рисунке 2. Очевидно, что GPGPU реализация показала себя гораздо более эффективной, чем последовательная на CPU. Тесты проводились на ПК с процессором Intel i5-430m и видеокартой AMD Radeon HD 5850M.

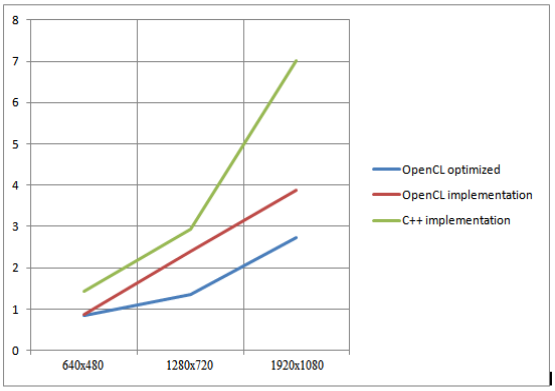


Рис. 1. Времена обработки одного кадра для разных реализаций системы.

5. Заключение

Статья описывает реализацию библиотеки, определяющей границы сцен на GPU, а также набор техник оптимизации, примененных на наиболее часто использующихся функциях приложения, и демонстрирует значительный прирост производительности оптимизированной версии.

Работа поддержана грантом российского фонда фундаментальных исследований №14-07-31090.

6. Список литературы

[1] I. Potapev, D. Kovalenko. Scene boundary localization based on contrast region analysis // Tomsk Polytechnic University, MSIT №10. 2012. – pp 60-62.

[2] O. Rosenberg OpenCL Overview AMD, 2011 // [электронный ресурс] http://www.khronos.org/assets/uploads/developers/library/overview/opencl-overview.pdf

[3] R. Farber Part 2: OpenCL – Memory Spaces // [электронный ресурс] http://www.codeproject.com/Articles/122405/Part-2-OpenCL-Memory-Spaces

[4] K. Reda A study of OpenCL image convolution optimization // [электронный ресурс] http://www.evl.uic.edu/kreda/gpu/image-convolution/

[5] H. Dong Cross-Platform OpenCL Code and Performance Portability for CPU and GPU Architectures investigated with a Climate and Weather Physics Model // Fifth International Workshop on Parallel Programming Models and Systems Software for High-End Computing, 2012. [электронный ресурс] http://www.mcs.anl.gov/events/workshops/p2s2/2012/slides/Han_Dong_p2s2_icpp_workshop.pdf

ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МИГРАЦИИ В ОБЛАКО

Разумников С.В.
Научный руководитель: Захарова А.А., к.т.н., доцент
Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652050, Россия, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: demolove7@inbox.ru

Введение. За последние несколько лет в отрасли информационных технологий (ИТ) получила развитие новая парадигма – облачные вычисления.

Облачные вычисления – это комплексное решение, предоставляющее ИТ-ресурсы в виде сервиса [4]. Они обещают несомненные преимущества для производственных приложений [1, 3].

Но как узнать, подходит ли корпоративное приложение для работы в облаке?

Существуют различные аспекты (с точки зрения бизнеса, технологии, рисков), которые могут сильно влиять на общий успех перехода к облачным вычислениям на предприятии; это означает, что не существует единого для всех ответа на вопрос, подходит ли приложение для работы в облаке. Каждое предприятие должно оценить свой набор используемых приложений, основываясь на своих собственных бизнес-требованиях, технологической стратегии и готовности рисковать.

Оценочный подход. На рис. 1. представлена функциональная модель принятия решения о переходе в облако.



Рис. 1. Функциональная модель оценки эффективности применения облачных ИТ-сервисов

Предлагается подход к оценке используемых корпоративных приложений для определения пригодности их для работы в облаке. Он основан на методике анализа иерархий (AHP) [2].

Предлагаемый подход представляет собой многомерную статистическую оценку. Корпоративные приложения оцениваются в трех измерениях:

- Бизнес-ценность. Какую бизнес-ценность может получить организация, переместив приложения в облако?
- Техническая возможность. Реально ли перенести приложения в облако?
- Степень риска. Каков риск переноса приложений в облако?

Каждое из этих измерений имеет решающее значение для принятия положительного или отрицательного решения относительно переноса приложений в облако. Оценка приложения в каждом из этих измерений представляет собой многофакторный анализ решений.

На рис. 2. продемонстрирован оценочный подход в виде блок-схемы.

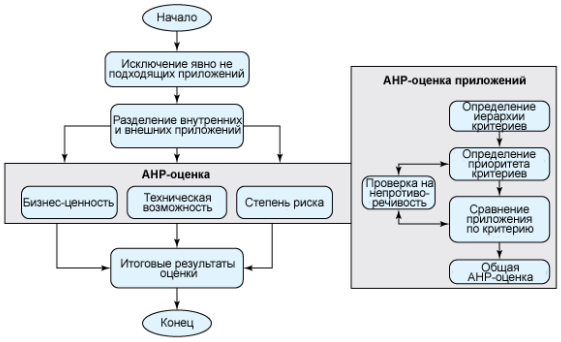


Рис. 2. Блок-схема оценки готовности набора используемых приложений к работе в облаке

Методы, используемые в AHP, определяют относительный приоритет для данного набора критериев по определенной шкале.

Оценка с использованием AHP. Каждое из представленных измерений (бизнес-ценность, техническая возможность и степень риска) имеет несколько критериев; они в свою очередь могут иметь несколько уровней модульных подкритериев. На данный момент разрабатывается иерархия критериев для всех трех измерений. На рис. 3 показано схематическое представление AHP для оценки технической возможности работы в облаке.

Критерии, принадлежащие различным измерениям, структурированы в иерархию уровней в соответствии с концепцией AHP. Критерии и подкритерии могут быть как количественными, так и качественными. Например, "Количество внешних систем" – это количественный критерий, а "Четко определенная точка интеграции" – качественный.

Различным критериям присваиваются относительные приоритеты от 1 до 9 в соответствии с AHP-шкалой.

Сначала определяются приоритеты для критериев, а затем для индивидуальных подкритериев каждого критерия. Сумма

приоритетов индивидуальных критериев в определенном уровне нормируется на единицу.

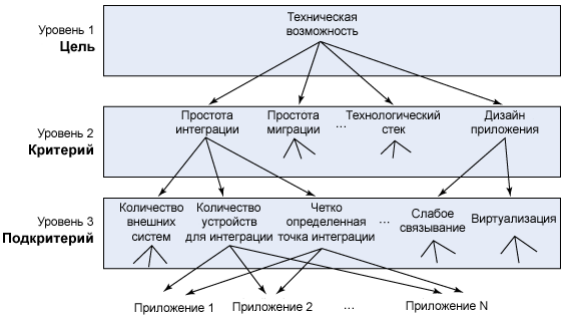


Рис. 3. Схематическое представление AHP для оценки технической возможности работы в облаке

В таблице 2 приведена оценка приоритета для примера технического критерия уровня 1.

Таблица 1

Оценка относительного приоритета

Техническая возможность	ПИ	ПМ	ТС	ДП	Приоритет
Простота интеграции (ПИ)	1	1	0,5	0,2	0,1075
Простота миграции (ПМ)	1	1	0,33	0,2	0,0989
Технологический стек (ТС)	2	3	1	0,33	0,2304
Дизайн приложения (ДП)	5	5	3	1	0,5633
Коэффициент непротиворечивости	0,0127				

Согласно методологии AHP рассчитывается список относительных приоритетов и коэффициент непротиворечивости (индекс согласованности). Коэффициент непротиворечивости помогает оценить непротиворечивость попарного сравнения. Для его определения необходимо найти наибольшее собственное значение матрицы λ_{max} (для каждого столбца сумма элементов умножается на соответствующую компоненту вектора приоритетов, затем полученные числа суммируются). Затем найти собственно индекс согласованности (ИС) по формуле [2]:

$$ИС = (\lambda_{max} - n)/(n-1) \quad (1)$$

Затем необходимо определить отношение согласованности: ОС = ИС/СС (СС – случайная согласованность). Если ОС ≤ 0,1, то матрица согласована.

Общий AHP-балл приложения для измерения рассчитывается как сумма произведения его относительного приоритета по каждому критерию и относительного приоритета соответствующего критерия:

$$S_x = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{N_j} (P_i) * (p_{ij}) * (s_{ijx}) \quad (2)$$

где: S_x – AHP-балл для *x*-го приложения;

M – число групп критериев;

N_i – число элементов в *i*-ой группе критериев;

P_i – значение приоритета *i*-ой группы критериев;

p_{ij} – значение приоритета *j*-го критерия, принадлежащего *i*-ой группе критериев;

s_{ijx} – балл сравнения *x*-го приложения по *j*-му критерию в *i*-ой группе критериев.

После выполнения AHP-оценки для всех трех измерений баллы приложений можно сопоставить в матрице решений. Группа в верхней части матрицы будет наиболее подходить для развертывания в облаке; каждая последующая группа будет менее пригодна для миграции в облако. Матрица даст целостное представление о результатах переноса в облако различных корпоративных приложений для разных измерений и поможет в принятии обоснованного решения.

Заключение. При использовании облачных систем всегда существует проблема безопасности данных, их доступности и злонамеренными действиями, затрудняющими вычислительные процессы. Однако при тщательном продумывании плана, методологии выбора поставщика сервиса и при трезвом подходе к общему управлению рисками большинство компаний может благополучно использовать преимущества данной технологии [4].

Поскольку облачные вычисления привносят определенные проблемы и риски, каждое предприятие, прежде чем отправляться в облака, должно оценить свой набор приложений, основываясь на своих бизнес-требованиях, технологической стратегии и готовности рисковать [5]. Рассмотрев процесс оценки, включающий много критериев с различной природой, эффектами и приоритетами, продемонстрировано применение многомерного статистического подхода с использованием Analytic Hierarchy Process (AHP) для поиска корпоративных приложений, которые можно перенести в облако.

Список использованной литературы:

1. V.D. Kalachanov, L.I. Kobko. Economic Efficiency of Introduction of Information Technologies. Moscow: MAI Publishing House, 2006. p. 177.

2. Силич В.А., Силич И.П. Теория систем и системный анализ: Учебное пособие. – Томск: Томский политехнический университет, 2010. – 281 с.

3. Razumnikov S.V. Assessing efficiency of cloud-based services by the method of linear programming // Applied Mechanics and Materials. - 2013 - Vol. 379. - p. 235-239.

4. Grace Walker Cloud computing fundamentals, 17/12/2010.

5. Mikko Kontio Architectural manifesto: An introduction to the possibilities (and risks) of cloud computing, 02/02/2009.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ CAD/CAM/CAE В ПРОЕКТИРОВАНИИ ШАГАЮЩЕЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Репин Д.Н.
Научный руководитель: И.А. Тутов
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: tyubis@mail.ru

В настоящее время новые информационные технологии являются главной движущей силой в дополнение к существующим силам мирового рынка. Всего несколько ключевых компонентов - микропроцессоры, локальные сети, робототехника, датчики, программируемые контроллеры - превратили в реальность концепцию автоматизированного производства. Ключевым изменением процесса производства новых изделий стало появление так называемых систем автоматизированного проектирования. Система автоматизированного проектирования – это система, реализующая информационную технологию выполнения функции проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности [1]. Также для обозначения подобных систем широко используют аббревиатуру САПР.

По целевому назначению различают САПР или подсистемы САПР, которые обеспечивают различные аспекты проектирования, иначе уровни проектирования. Обычно выделяют три уровня computer-aided design/drafting (CAD), computer-aided manufacturing (CAM), computer-aided engineering (CAE). CAD средства предназначены для автоматизации двумерного и/или трехмерного геометрического проектирования, создания конструкторской и/или технологической документации. CAM средства обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) или гибких автоматизированных производственных систем (ГАПС). CAE средства предназначены для автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий [2].

В работе на уровне CAD применёны графические пакеты компании Autodesk: Inventor и AutoCAD – в совокупности представляющие систему, предназначенную для создания цифровых прототипов промышленных изделий. Инструменты системы обеспечивают полный цикл проектирования и создания конструкторской документации В среде Inventor бала выполнена твердотельная модель конечностей робота, отражающая свойства используемого материала. Модель конечности робота представлена на рисунке 1.

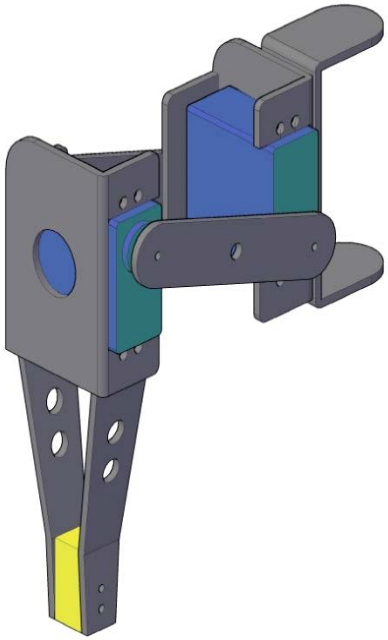


Рис.1 Модель конечности робота в Autodesk Inventor

Полученная модель позволила в автоматическом режиме рассчитать массу деталей конструкции робота, и произвести анимацию движения. По результатам моделирования в среде Autodesk AutoCAD была произведена развёртка, представленная на рисунке 2.

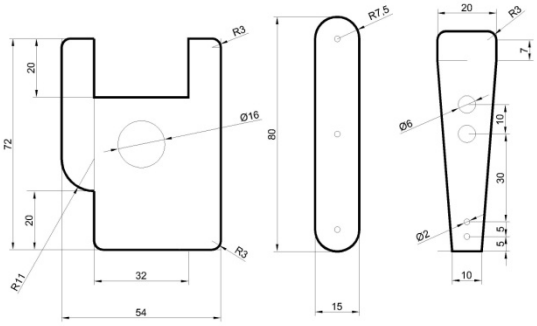


Рис. 2 Развёртка корпусных деталей.

Для изготовления деталей был использован фрезерный станок с ЧПУ BF20 Vario, представленный на рисунке 3.



Рис. 3 фрезерный станок с ЧПУ BF20 Vario

Данный станок имеет подвижный стол, с возможностью перемещаться в декартовых осях координат. В качестве управляющей программы станок использует пакет ADEM 9.0. CAM модуль системы ADEM позволяет программировать станки: фрезерные, токарные, лазерные, координатно-пробивные, электроэрозионные, гравировальные фрезерные и постоянно расширяет свою функциональность, направленную на поддержку каждого из направлений механообработки [3]. Программа CAM модуля представляет собой набор кадров, каждый из которых несёт операнд и параметр, задающий координаты на декартовы оси, с шагом 0.01 мм. Такая точность изготовления корпусных деталей позволила избавиться от трения в узлах конечностей робота, что привело к снижению требований предъявляемых к двигателям.

Для расчёта усилий двигателей, необходимых для обеспечения перемещения робота на уровне CAE был использован пакет прикладных программ Matlab 10, в частности подистема simmechanics пакета simulink. Блоки «body» - моделируют корпусные детали робота, блоки «Revolute» – моделируют движители, блоки «IC» - формируют возмущающее воздействие в виде задания угла поворота. Полученная модель является достаточным условием для установления действующих моментов инерции и моментов вращения, суммарно равных 4.2 кг/см. Модель представлена на рисунке 4.

В ходе проделанной работы была пройдена последовательность подготовки электронного пакета конструкторской документации для шагающего робота [5]; на уровне CAM – в среде ADEM написана программа для управления фрезерным станком с ЧПУ, изготовлены корпусные детали; на уровне CAE произведены расчёты требуемых усилий на основании которых выбраны двигатели Corona DS339HV, обеспечивающие усилие 5.4 кг/см, что является на 1.2 кг/см больше расчётных значений.

Современные средства автоматизированного проектирования действительно позволяют сократить трудоемкость подготовки конструкторско-проектной документации и значительно сократить сроки изготовления продукта (изделия).

Список литературы:

1. Малюх В. Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. — М.: ДМК Пресс, 2010.

2. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.

3. Быков А. В., Силин В. В., Семенников В. В., Феоктистов В. Ю. ADEM CAD/CAM/TDM. Черчение, моделирование, механообработка. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

4. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

5. Репин Д. Разработка X-walker quadruped robot платформы. – сборник трудов конференции Современные техника и технологии, Том 2 с. 335-336

6. Юревич Е.И.. Основы робототехники 2-ое издание // БХВ-Петербург, 2005г.

7. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. для втузов. - 4-е изд., перераб. и доп. //М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988г

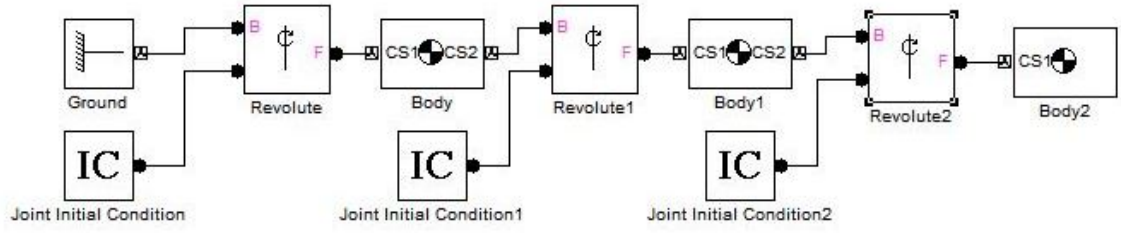


Рис. 4 Результат моделирования в пакете Simmechanics

ADVANCED CONTROL ДАВЛЕНИЕМ НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Рыбаков Е.А., Стариков Д.П., Громаков Е.И.
Научный руководитель: Громаков Е.И., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: EvgRybakov@gmail.com

Введение

Транспортирование и жидких нефтепродуктов представляет одну из важных операций нефтегазовой отрасли (НГО). Как правило, транспортирование от места добычи до нефтяного портала или до завода потребителя осуществляется путем наземной перекачки (при помощи магистральных насосов). Центральной проблемой такой транспортировки является поддержание давления, устанавливаемого нормативными требованиями. Исторически сложился подход, при котором регулирование давления и/или расхода в нефтепроводе осуществляется либо за счет скорости вращения насоса двигателя (НПС), либо за счет управления задвижкой.

Подобный подход имеет ряд недостатков:

1) В мощном насосном агрегате достаточно сложно управлять скоростью вращения из-за большой инерционности его подвижной части, а непрерывная перестройка регулирующего органа задвижки ведет к ее быстрому износу.

2) Возможно повышенное потребление мощности насосами в форсажных режимах изменения скорости вращения, а регулирование с помощью задвижки ведет к снижению производительности прокачки нефти. Энергия, расходуемая на дросселирование, безвозвратно теряется, что снижает общий коэффициент полезного действия насосной станции. В некоторых случаях потери могут достигать до 50%.

3) При низком качестве управления и в том, и других случаях возможны большие перерегулирования или колебания (в т.ч. появление волн давления).

Основными факторами, влияющие на режимы работы системы НПС-трубопровод являются:

- Переменная нагрузка нефтепровода.
- Технологические факторы – изменение параметров насосов, их включение и отключение; повышенные энергозатраты при регулировании.
- Изменение реологических параметров нефти вследствие сезонных изменений температуры окружающей среды.
- Аварийные или ремонтные ситуации.

Перечисленные факторы изменяются в процессе эксплуатации непрерывно, одни действуют систематически, другие периодически.

Типовая схема системы с регулируемой частотой (VFD) НПС- трубопровод [1] изображена на рисунке 1.

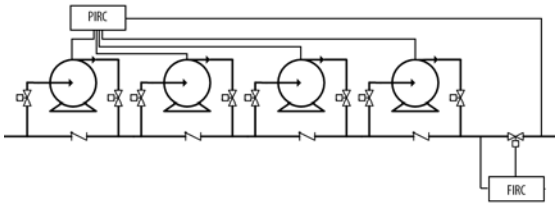


Рис 1. Типовая модель

Из рис. 1 видно, что схема предполагает наличие как минимум двух замкнутых контуров системы автоматического регулирования давления в нефтепроводе (САРД) (в том числе возможны другие вариации, например, контура дросселирования на входе). Для управления многоконтурными САР используют Advanced Control- алгоритмы [2].

Далее будут рассмотрены и исследованы следующие алгоритмы управления этого семйства:

1. Split range control
2. Параллельное управление

Главная цель – выбор алгоритма (схемы) управления согласно критерию оптимальности относительно функционала энергоемкости (т.е. выбор типа управления в зависимости от количества затрачиваемой энергии).

Модель

Для исследований разработаны модели клапана и насоса в MatLAB Simulink. Структурная схема клапана изображена на рисунке 2.

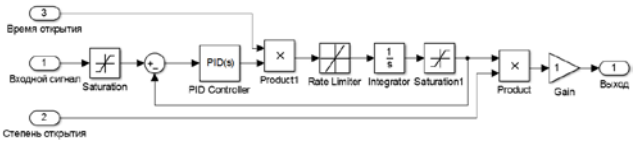


Рис. 2. Модель клапана

В свою очередь модель насоса предоставлена на рисунке 3.



Рис. 3. Модель насоса

Split range control.

Такой алгоритм подразумевает использование одного контроллера для регулирования величины выходной переменной за счет разных устройств (двух и более задвижек, совокупности задвижки и насоса и т.п.). Для этого применяется так

называемый «сплиттер», использующий данные ОС для управления тем или иным узлом САУ.

Применительно к схеме магистрального насосоа алгоритм работы «сплиттера» и системы в целом будет следующий: для регулирования давления в магистральном нефтепроводе насос выводится на некоторый удовлетворяющий и оптимальный с точки зрения энергозатрат режим. Более точная подстройка уставки давления осуществляется за счет положения задвижки, регулируемой пневно- или электроприводом. Вполне очевидно, что для управления задвижкой требуется меньше электрической мощности, по сравнению с насосным агрегатом.

Такой подход позволит сэкономить затраты на энергообеспечение (мощная нагрузка работает в относительно энергоэффективном режиме).А также сократить износ дорогого оборудования за счет снижения количества переключений режимов.

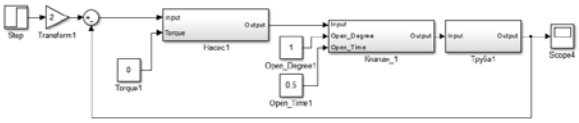


Рис. 4. Модель Split range

Параллельное регулирование.

Способ параллельного регулирования схож с методом Split range, однако здесь используется больше чем один входной параметр для единственной контролируемой переменной. Типичное требование – быстрое регулирование выходного параметра. Управление производится быстрым (менее инерционным) исполнительным механизмом, но в то же время медленным. Структурная схема такого алгоритма представлена на рисунке 5.

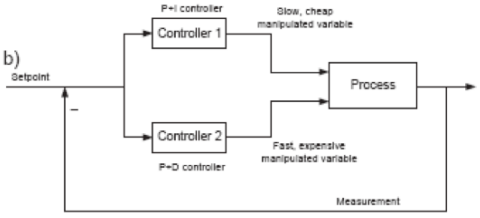


Рис. 5.

Таким образом скачок давления в трубопроводе, вызванный какой-либо причиной (будь то авария, скачок расхода и т.д.), сначала будет отрегулирован задвижкой, а потом- более инерционным органом управления (насосом).

Такой подход позволит быстро отрабатывать возникающие возмущения системы. В то же время позволит минимизировать энергозатраты на управление.

Для более наглядного сравнения описанных алгоритмов, проведены исследования указанных моделей в пакете Matlab.

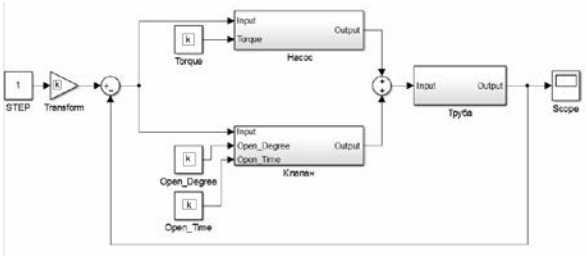


Рис. 6 Схема набора параллельного управления

Исследования

Графики моделирования переходных процессов в описанных выше моделях представлены соответственно на рисунках 7 и 8.

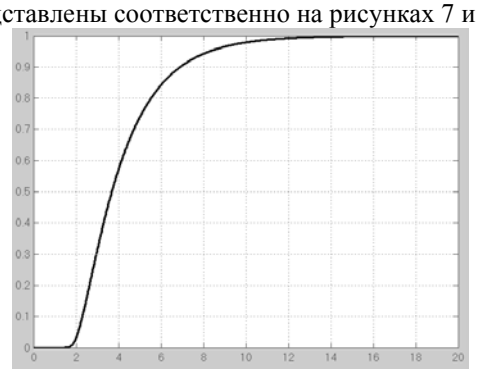


Рис. 7. Split control

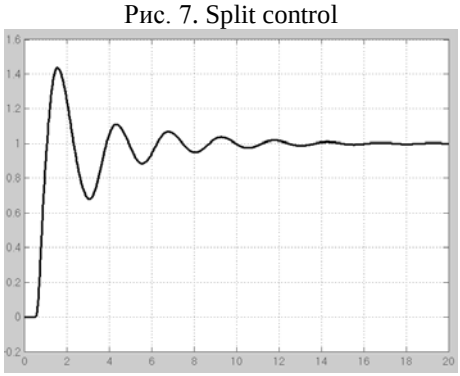


Рис. 8. Параллельное управление

Вывод

По полученным данным моделирования можно сделать выводы о перспективности и целесообразности применения решения Split Range. Так как отсутствует перерегулирования и присутствует довольно гладкая кривая, что может свидетельствовать об оптимальном режиме работы инерционного органа управления (насоса).

Список использованных источников

1. Thomas O. Miesner, William L. Leffler Oil & Gas Pipelines in Nontechnical Language PennWell Corp, 2006, 357 p.

2. Charles L. Phillips, John M. Parr Feedback Control Systems. 5th edition Prentice Hall PTR, 2011, 774 p

ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМОЙ

Сахопотинов Г.А.
Научный руководитель: Сыркин Илья Сергеевич, к.т.н., доцент
Кузбасский государственный университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: sogris@yandex.ru

На данный момент децентрализованное управление является актуальным направлением исследований в области разработки систем группового управления роботами. Основные причины перехода к нему – высокая гибкость и возможность управлять большим числом роботов в группе, повышенная живучесть группы. Были сделаны оценки зависимости времени принятия решения в различных концепциях в зависимости от числа роботов в группе, показывающие, что при такой концепции время принятия решения растет линейно [1].

Таким образом, для решения задачи группового управления, необходимо разработать несложный интеллектуальный алгоритм, обеспечивающий линейный рост времени принятия решения.

Работа алгоритма должна строиться на основе обмена данными между агентами, как это происходит в природных групповых образованиях (например, муравейники).

В общем случае, систему можно представить в виде графа, причем максимальная степень вершины будет ограничена технически.

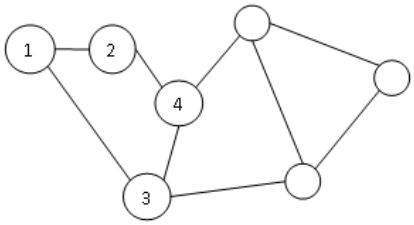


Рис. 1 Граф мультиагентной системы

Предположим, что агент «1» обладает некоей информацией, которая влияет на систему. Он отправляет сообщения своим «соседям» - агентам «2» и «3». Те, в свою очередь, также передают ее всем связанным с ними агентам, и так до тех пор, пока о событии не будут оповещены все роботы в группе. Чтобы избежать повторения рассылки, вводится правило, согласно которому, если агент уже «знает» о данном событии, он не пересылает его другим. В таком случае, сообщения будут распространяться лишь в той части системы, где о событии еще неизвестно, а в той части, где событие уже зарегистрировано, распространение сообщений остановится.

Определим время распространения информации в системе. Для расчета будем исходить из наихудшего случая, когда источником распространения стал только один агент. Пусть в группе будет N агентов, у каждого агента может быть до k подключений. Время передачи одного сообщения по связи – t.

Время t, необходимое для передачи данных между двумя роботами можно выразить как

$$t = t_п + t_т$$

Где $t_п$ – время передачи данных по каналу, $t_т$ – время затраченное на обработку сигнала сетевой картой и программным обеспечением. Очевидно, что $t_п << t_т$. Т.к. время обработки сигнала не зависит от расстояния между источником и приемником, можно считать что

$$t \approx t_т$$

и t, таким образом, является фактически постоянной величиной для заданного размера сообщения и типа аппаратной платформы. Если считать, что распространение события начинается с одного робота в группе, то через время t о событии узнает еще k роботов, где k – количество связей первого робота. Затем каждый из k роботов разошлет событие всем связанным с ним роботам и т.д. Т.к. время t всегда одинаковое, количество агентов, получивших информацию, растет во времени скачкообразно:

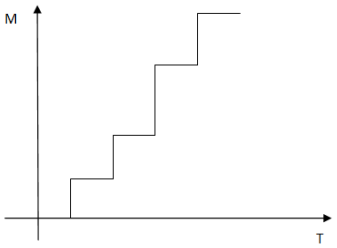


Рис. 2 График охвата системы информацией

Таким образом, процесс распространения информации происходит дискретно во времени, что позволяет рассматривать как переменную не собственно время, а номер дискретного интервала длиной t. Тогда, если для распространения информации по всей группе понадобилось τ интервалов, общее время будет

$$T = t * \tau$$

В дальнейшем будем оперировать именно величиной количества интервалов m, т.к. это позволит абстрагироваться от физических свойств реализации системы.

Т.к. при нормальной работе системы граф связей должен быть связным, можно считать, что в системе всегда можно выделить подграф,

являющийся деревом. Пусть агент, вначале генерирующий событие считается корнем дерева.

Очевидно, уровень узла равен количеству интервалов передачи данных, через которые узел получит информацию о событии. Тогда время распространения информации (в интервалах) будет равно высоте дерева. Наибольшая высота дерева, которое можно построить на N узлах равна N-1. Отсюда получаем время распространения информации

$$\tau \leq N - 1$$

Если же каждый узел в дереве имеет степень не менее 3, можно наложить более сильное ограничение. Пусть каждый узел имеет степень k. Тогда количество узлов, получивших информацию на i-м интервале, равно:

$$m_i = (k-1)m_{i-1}$$

Очевидно, это формула геометрической прогрессии, причем m_1=k. Тогда, используя формулу суммы прогрессии, получим следующую формулу для определения количества интервалов для распространения события:

$$\tau \leq \log_{k-1} \frac{N(k-2)+1}{k}$$

В результате, время распространения события будет увеличиваться пропорционально логарифму от N..

Рассмотрим реальный граф связей как дерево, к которому добавили новые дуги. Можно выделить два типа таких дуг:

1. Дуга, соединяющая два узла одинакового уровня
2. Дуга, соединяющая два узла разного уровня

В первом случае дуга никак не влияет на распространение сигнала.

Во втором случае также легко проверить факт, что замедлить распространение информации такая связь не может.

В общем случае, можно говорить о том, что время распространения информации изменяется не более чем линейно, что подтверждает выводы статьи [1].

Данное доказательство можно использовать для проверки простейшего децентрализованного алгоритма принятия решений.

Пусть перед группой стоит некоторая задача, содержащая нечеткую логику. Тогда каждый из агентов может сгенерировать предполагаемое решение на основе собственных значений переменных состояния. В то же время, среди этих решений необходимо отобрать оптимальное решение (или решения). Т.к. алгоритм децентрализованный, предлагается проводить оценку решений в процессе обмена значениями функции приспособленности между агентами.

Функция приспособленности решения рассчитывает численную оценку оптимальности решения, аналогично приспособленности хромосомы в генетическом алгоритме.

При получении значения приспособленности агент должен оценить, является ли данное решение достаточно хорошим. При такой оценке производится сравнение полученного значения и значений, накопленных агентом ранее (полученных им от других агентов или сгенерированных им самим). При этом составляется список обладателей лучших решений, размер которого задается при программировании системы. При этом, если новое решение не попадает в список или имя агента, обладающего решением, уже есть в списке, никаких действий не производится. Иначе, имя агента, сгенерировавшего решение, заносится в список (если нужно, вытесняя оттуда худшее решение). После этого, если решение вошло в список, агент передает значение функции приспособленности всем связанным с ним агентам для дальнейшей оценки. Таким образом, плохие решения прекращают распространяться в сети, а хорошие, наоборот, передаются дальше. При этом в общей сети передачи данных остаются лишь значения, соответствующие наиболее приспособленным решениям. В результате, каждый агент, обнаружив, что в сети циркулируют одни и те же решения, завершает процесс принятия решения. Особо отметим, что никакого центра принятия решений не требуется, т.к. в результате обмена данными каждый агент системы будет хранить в своей памяти одни и те же лучшие решения.

Пусть некоторый агент обладает оптимальным решением и начинает его распространение. Очевидно, для оценки времени распространения этого решения можно использовать выведенную ранее формулу для времени распространения информации. Отсюда можно сделать вывод, что время принятия решения даже в наихудшем случае будет изменяться линейно, что и требуется от децентрализованного алгоритма. Полученный алгоритм обладает следующими важными достоинствами:

1. Простота реализации
2. Масштабируемость
3. Не требует знания количества агентов в системе.

Список литературы

1. О проблеме группового управления роботами [Журнал] / авт. Юревич Е.И. // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2004.
2. Сб. научн.трудов Всероссийской научной школы [Конференция] / авт. В.Э. Карпов // Коллективное поведение роботов. Желаемое и действительное. - 2011.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Скотников Н.В., Белоножко А.В.
Научный руководитель: Смирнов С.В., д.т.н., профессор
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40
E-mail: nickky@sibmail.com

Проблема автоматизации измерений является актуальной уже на протяжении многих лет. Наиболее активный этап ее развития начался в 1970 годы и был связан с началом широкого использования микроэлектронных устройств, внедрением цифровой аппаратуры и средств измерений, микропроцессоров и микро-ЭВМ. В полупроводниковой промышленности автоматизация измерений является неотъемлемым звеном в процессе исследования, проектирования и изготовления приборов. Автоматизация измерений позволяет избавиться от рутинных однообразных действий и существенно уменьшить погрешность, вносимую человеческим фактором.

Для автоматизации любого вида измерений необходимо провести работы на двух уровнях:

·измерительные приборы, меры и измерительные комплексы;

·информационно-измерительные системы (ИИС).

На первом уровне были выполнены работы по автоматизации измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ), которое осуществлялось с помощью измерителя иммитанса Е7-20[1,2]. Е7-20 – прецизионный прибор класса точности 0,1 с широким диапазоном рабочих частот от 25 Гц до 1 МГц и скоростью измерений до 25 измерений/с позволяет:

- измерять индуктивность (L_S, L_P), емкость (C_S, C_P), сопротивление (R_S, R_P), проводимость (G_P), фактор потерь, добротность, модуль комплексного сопротивления (Z), реактивное сопротивление (X_S), угол фазового сдвига, ток утечки (I);

- осуществлять предварительную математическую обработку результатов (усреднять параметры по десяти или ста измерениям, выполнять допусковый контроль, определять процентное отклонение измеряемых параметров от заданной величины);

- устанавливать напряжение смещения на измеряемом объекте в диапазоне от 0 до 40 В с помощью внутреннего источника напряжения.

Для управления процессом измерений и регистрации полученных данных, Е7-20 подключается к компьютеру через интерфейс RS-232. На графическом языке программирования Labview [3] была разработана программа для автоматизации измерений ВАХ. На рисунке 1 представлен внешний вид программы в режиме измерений.

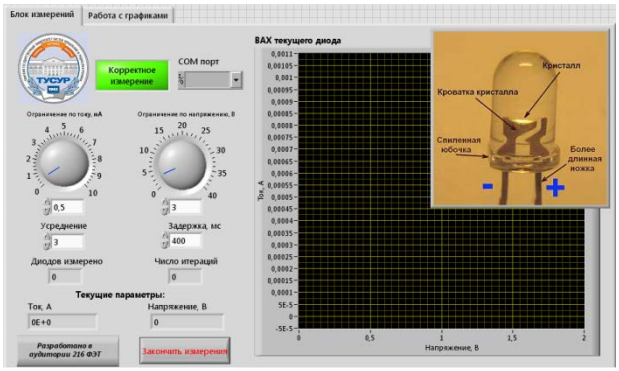


Рис. 1- Окно программы в режиме измерений.

Данная программа была оптимизирована для измерения ВАХ светодиодов. Вначале работы выбирается COM порт, к которому подключен прибор, и задаются ограничения по току и напряжению. Затем программа запускается и на графике в режиме реального времени строится вольтамперная характеристика. Если ток или напряжение превысит ограничения, то измерение прекращается и пользователю будет предложено заменить исследуемый прибор или перейти к работе с графиками. В любой момент времени пользователь может прервать работу программы с помощью кнопки «Закончить измерения».

Для наглядности полученных результатов после измерений программа автоматически переключается в режим «Работа с графиками» (рис.2).

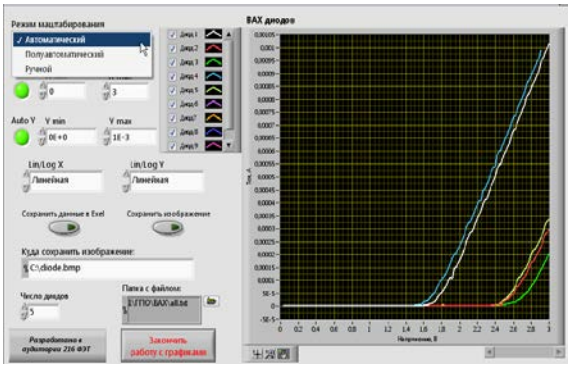


Рис. 2 - Окно программы в режиме «Работа с графиками».

В данном режиме реализован простой и интуитивно понятный интерфейс, позволяющий масштабировать результаты измерений, изменять режимы отображения осей (линейный или логарифмический), «скрывать» некоторые результаты, изменять название каждого графика, выбирать

цвет и толщину линий. Сохранить полученные результаты можно в табличном формате (Exel) или в виде картинки (bmp).

Перед началом измерений следует учесть, что последовательно с внутренним источником напряжения смещения включен ограничительный резистор с сопротивлением около 1 кОм. Для определения величины ограничительного резистора рекомендуется зарегистрировать вольтамперную характеристику любого внешнего резистора с сопротивлением от 100 до 200 Ом. В нашем приборе ограничительное сопротивление составило 1111 Ом. Для учета этого сопротивления при измерении вольт-амперных характеристик, программа автоматически вычитает падение напряжения на резисторе. На рисунке 3 представлены результаты измерений с учетом ограничительного резистора и без него.

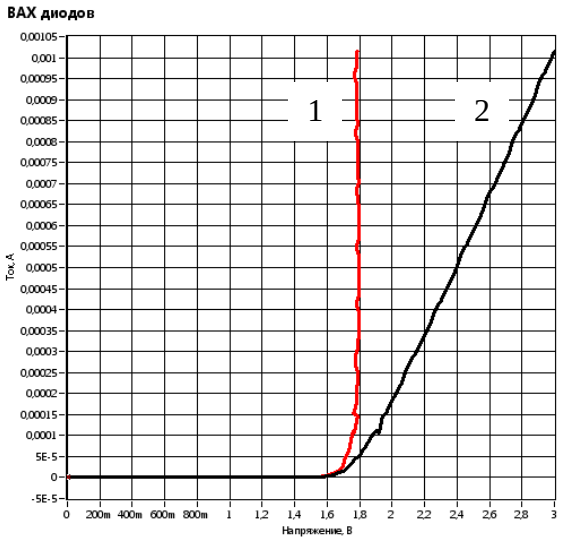


Рис. 3 – ВАХ диодов 1- с учетом ограничительного сопротивления; 2- без учета ограничительного сопротивления.

Последовательное сопротивление находится из наклона прямолинейного участка ВАХ диода. Пороговое напряжение находится из пересечения продолжения прямолинейного участка ВАХ с осью абсцисс. Если учесть, что $U_п \approx E_g$ (ширине запрещенной зоны), то по полученным результатам можно определить материал из которого изготовлен диод.

Дополнительно была написана программа для оценки величины последовательного сопротивления (R_s) и определения порогового напряжения полупроводникового диода ($U_п$) (рис.4).

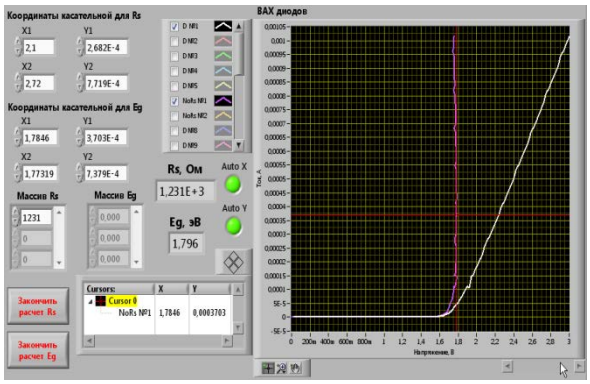


Рис. 4 - Окно программы для определения R_s.

Заключение

В результате работы была написана программа для автоматизации измерения вольт-амперных характеристик и графической обработки полученных результатов.

Список литературы

1. Измеритель иммитанса (RLC) Е7-20. – Режим доступа: http://www.mnipi.by/immitans11.html.

2. Измеритель иммитанса Е7-20. Руководство по эксплуатации 411218.012 РЭ.

3. Графический язык программирования Labview. – Режим доступа: http://russia.ni.com/labview.

РАСПОЗНАВАНИЕ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Станкевич Ф.В.
Научный руководитель: Белоусов А.А., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: f.stankevich@mail.ru

В данной работе рассматривается проблема распознавания тембра отдельного музыкального инструмента на основе его спектральных особенностей с применением нейронных сетей.

Человеческий мозг способен распознавать различные визуальные и звуковые образы, в том числе и отличать звучание одного музыкального инструмента от другого, даже на фоне звучания других инструментов. Звук представляет собой волну, распространяющуюся в среде и изменяющуюся во времени. Любая волна характеризуется спектром и амплитудой. Каждый музыкальный инструмент имеет свое неповторимое звучание, которое характеризуется набором обертонов содержащихся в звуке данного музыкального инструмента (рисунок 1).

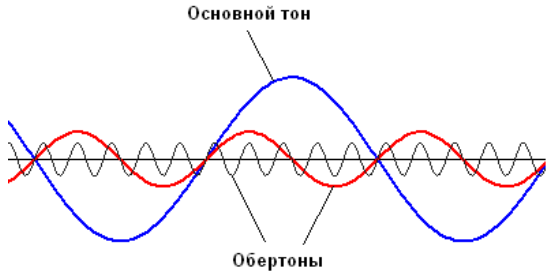


Рисунок 1. Частотный спектр звука музыкального инструмента [1]

В связи с этим для решения задачи распознавания тембра музыкального инструмента было предложено анализировать именно такие обертоны. Так как обертоны представляют собой дополнительные частоты, содержащиеся в звуке, то целесообразно извлекать информацию о таких обертонах из спектральной характеристики звукового сигнала с учетом амплитуды спектральных составляющих и использовать эту информацию для решения задачи распознавания. Однако спектр сигнала представляет собой большой набор данных, а именно все частоты, содержащиеся в сигнале, что является избыточным для поставленной задачи. В связи с этим видеться целесообразным снизить размерность входного пространства посредством нелинейного преобразования в пространство признаков меньшей размерности. Для этой цели было предложено использовать мел-кепстральные коэффициенты (mel-frequency cepstral coefficients, MFCC) – набор коэффициентов, характеризующих спектр сигнала. Данные коэффициенты успешно применяются в задачах распознавания речи.

На рисунке 2 изображен спектр звука трубы ноты *си* первой октавы.

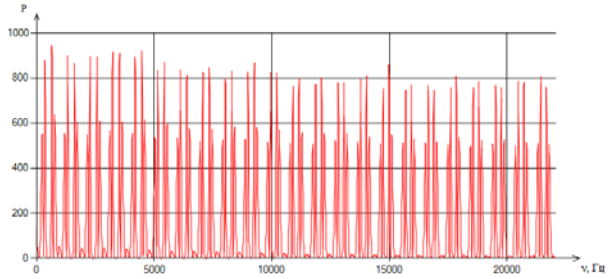


Рисунок 2. Спектр звука

На рисунке 3 представлены мел-кепстральные коэффициенты, полученные из спектра данного сигнала. Коэффициенты нормированы на 1.

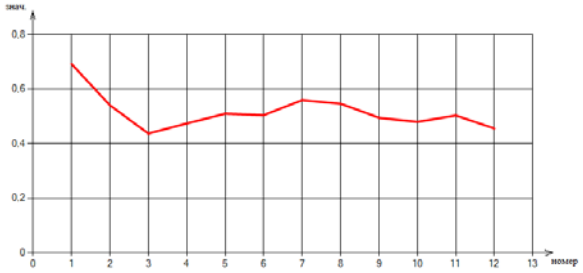


Рисунок 3. Мел-кеспральные коэффициенты

Для решения задачи распознавания тембра было предложено использовать нейронную сеть, так как нейронные сети способны к обобщению и показывают хорошие результаты на данных со сложными закономерностями, что для рассматриваемой задачи является несомненным преимуществом, в сравнении с другими классификаторами (например, с наивным байесовским классификатором).

Для построения нейронной сети была выбрана искусственная нейронная сеть прямого распространения. Иллюстрация такой сети приведена на рисунке 4. В данной задаче используется сеть с одним скрытым слоем, содержащим 12 нейронов.

В соответствие с выбранным подходом, алгоритм распознавания тембра музыкального инструмента можно описать следующий образом:

1. Разбиение входного сигнала на интервалы. Целесообразно разбивать сигнал на небольшие

промежутки от 20 до 100 мс, так как сигнал изменяется во времени и использование больших интервалов может привести к снижению качества распознавания. В данной работе был выбран сравнительно большой интервал ~100 мс (4096 отсчетов при частоте дискретизации 44 100 Гц), для ускорения скорости обработки и снижения числа входных данных, так как на текущем этапе данная работа носит исследовательский, нежели прикладной характер.

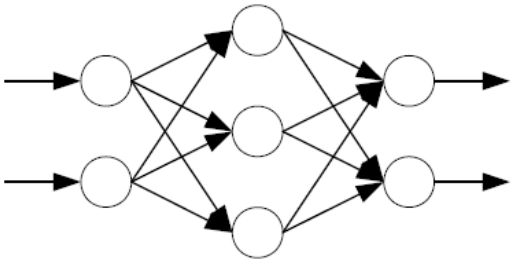


Рисунок 4. Искусственная нейронная сеть прямого распространения

2. Вычисление преобразования Фурье для каждого входного интервала. В данной работе было использовано быстрое преобразование Фурье с применением оконной функции Хэмминга.

3. Вычисление MFCC. Вычисление коэффициентов происходит на основе спектральной плотности мощности сигнала (power spectrum). При этом рассматривается тот интервал, где находится интересующие нас частоты. Для музыкальных инструментов целесообразно рассматривать интервал соответствующий частотному диапазону рояля, а именно от 27,5 Гц (нота *ля* субконтроктавы) до 4186 Гц (нота *до* пятой октавы), однако некоторые обертоны могут лежать за пределами данного интервала частот, поэтому необходимо добавить запас к указанным частотам. Рассматриваемый интервал разбивается на $n + 2$ частей, где n – число вычисляемых коэффициентов, причем интервалы имеет разный размер, то есть плотность выше там, где выше плотность данных. Затем на каждом интервале вычисляется суммарная мощность сигнала, попадающая в треугольную область, основание треугольника лежит в соседних точках разбиения на интервалы, например в точках, n и $n + 1$. Число коэффициентов n может варьироваться. Для рассматриваемой задачи было решено использовать 12 коэффициентов, именно это число применяется в задачах распознавания речи. Более подробное описание процедуры вычисления MFCC приведено в [2].

4. Обучение нейронной сети на основе полученных коэффициентов. Для обучения нейронной сети был использован метод градиентного спуска, а именно метод обратного распространения ошибки (backpropogation). Подробное описание метода может быть найдено в [3].

Для выполнения данной работы был использованы два набора инструментов. Первый набор состоял из трех инструментов — фортепиано, труба и скрипка. Во второй набор были дополнительно добавлены еще два инструмента — флейта и кларнет.

Для обучения нейронной сети для каждого инструмента были выбраны основные ноты (ноты гаммы *до*-мажор) из трех октав: малая, первая и вторая. В качестве критерия остановки обучения нейронной сети использовался набор дополнительных нот (диезы и бемоли) из указанных октав, которые не участвовали в процесс обучения, а именно ноты *ре* бемоль и *си* бемоль.

Для оценки сети после обучения использовались ноты ми бемоль, соль бемоль и ля бемоль, которые так же не принимали участие в процессе обучения. В результате удалось достичь точности около 90% для трех инструментов и около 80% для пяти инструментов.

В ходе исследования были решены следующие задачи: изучены характеристики звуков музыкальных инструментов, определен значимый набор признаков, выбран классификатор, подготовлены данные и произведено распознавание тембра музыкальных инструментов. Данное решения было реализовано в виде программного модуля на языке C#.

Список использованных источников

1. Ф.В. Станкевич Использование мел-кепстральных коэффициентов для нейросетового распознавания тембра музыкального инструмента. Материалы X международной научно-практической конференции «Ключевые аспекты научной деятельности - 2014». Наука и образование, Польша, 2014 г.

2. Mel Frequency Cepstral Coefficient (MFCC) tutorial. Practical Cryptography. URL: http://practicalcryptography.com/miscellaneous/machine-learning/guide-mel-frequency-cepstral-coefficients-mfccs Access Date: 01.01.2014 г.

3. В.Г. Спицын, Ю.Р. Цой. Интеллектуальные системы. Томский политехнический университет, 2012 г.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Сыркин И.С.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
e-mail: ilya.syrkin@mail.ru

Начиная с момента появления компьютеров в 40-х годах XX века все программы составлялись человеком. Развитие компьютерной науки привело к появлению большого количества разнообразных алгоритмов, большая часть которых собрана в трехтомнике Д. Кнута «Искусство программирования». Появление теорий искусственного интеллекта повляило на создание таких компьютеров и вычислительных систем, которые способны к самостоятельному принятию решений какого-либо класса задач. Например, нечеткие множества позволяют создавать интеллектуальные системы управления сложными техническими объектами, а нейронные сети позволяют решать задачи распознавания образов.

Развитие науки и техники привело к появлению ситуации, когда программная система в некоторых случаях сама должна вырабатывать решение изначально неизвестной задачи. В качестве примера можно рассмотреть самостоятельное поведение роботов при решении сложных задач, например, исследования удаленной от командного пункта местности (далекие планеты, подводный мир). В таких случаях программист, создатель робота, часто не может предугадать всех возможных вариантов функционирования своего детища. Требуется разработка такой системы, которая бы вырабатывала логику своего поведения в зависимости от изменяющихся окружающих условий, изменяющихся задач, которая должна в конце концов привести к выполнению поставленной цели. Таким образом, автоматическо генерирование алгоритмов можно считать актуальной задачей.

Решение задачи автоматической генерации алгоритмов разбивается на ряд подзадач

1. Выбор способа представления алгоритма для автоматизации его выполнения и оценки его решения;
2. обеспечение возможности автоматического изменения алгоритма;
3. оценка качества решения задачи данным алгоритмом
4. выбор лучшего решения поставленной задачи.

Как известно, алгоритм решения задачи можно записать несколькими способами, среди которых псевдокод на условном языке, блок-схема. Блок-схема представляет собой ориентированный граф, каждый из узлов которого описывает одно действие. Ребра графа описывают последовательность выполнения данных действий. Таким образом алгоритм можно задать в виде набора вершин, каждая из которых определяется набором параметров и набором дуг, описывающих связи этих вершин. Машинное представление подобной структуры можно выполнить в модифицированного виде полносвязного списка. Поскольку в алгоритме существую операторы ветвления, то необходимо предусмотреть возможность описания этих элементов. Исходя из этих предпосылок, была выбрана структура элемента полносвязного списка:

- Идентификатор элемента;
- идентификатор первого дочернего элемента;
- идентификатор второго дочернего элемента;
- идентификатор родительского элемента;
- указание того, первым или вторым дочерним элементом является текущий для своего родителя;
- набор параметров, определяющих логику выполнения действий для данного элемента.

Набор параметров, описывающих элемент, должен позволить этому блоку выполнить любое элементарное действие из заданного множества. В качестве основы описания действий выбрана программная модель и язык ассемблера микроконтроллеров серии PIC micro фирмы Microchip.

Программная модель PIC Micro описывает один рабочий регистр, непрерывную память, состоящую из двух банков. Набор команд состоит из 35 RISC команд. Ввод-вывод осуществляется через адресное пространство памяти, в которое «отражаются» регистры для работы с устройствами. (Для программы операция сохранения данных в ОЗУ и вывод в регистр устройства ввода-вывода ничем не отличается, разница лишь в адресе, куда происходит вывод).

Модификация этой модели выглядит следующим образом: у вычислительной системы, внутри которой функционирует алгоритм, есть поток ввода данных, поток вывода данных (это аналоги стандартных потоков ввода-вывода в ОС Linux, Windows); существует ОЗУ с линейной адресацией, рабочий регистр WREG. Типы операций, которые могут осуществляться, делятся на операции ввода-вывода, вычислительные и логические.

Набор параметров, описывающих элемент алгоритма, состоит из типа команды (ввод, вывод, разные математические действия, ветвление) и двух параметров, уникальных для каждого типа. К примеру, у команды ввода или вывода единственный параметр, указывающий на ячейку памяти, в которую данные читаются из потока ввода или выводятся в поток вывода.

Выше были описаны все необходимые данные, позволяющие закодировать любой алгоритм. Для упрощения анализа и синтеза алгоритмов они представлены в виде массива структур, описывающих каждый из элементов алгоритма.

Задачи автоматического синтеза алгоритмов можно решать различными способами. В рамках данного исследования выбран эволюционный алгоритм. Суть этого алгоритма сводится к моделированию эволюции живых организмов. Основа – понятие хромосомы, которая каким-либо образом кодирует решение задачи. Основные операции – «скрещивание» и «мутация», которые работают над хромосомами аналогично биологическим действиям. Таким образом, суть эволюционного алгоритма заключается в том, что случайным образом составляется множество хромосом, описывающих решение задачи (т.н. поколение), дальше идут операции оценки решений, выбора лучших и их «скрещивания» для получения возможно более приспособленных решений для текущей задачи. В данном исследовании выбран способ кодирования решения (алгоритма) как массив структур данных.

Важной частью эволюционного алгоритма является скрещивание хромосом. В классическом алгоритме длина каждой хромосомы одинакова и скрещивание выполняется в виде «разрезания» двух хромосом в одинаковом месте и перестановке получившихся кусочков между собой. Данное исследование подразумевает получение нового алгоритма, а он, естественно, может обладать произвольной длиной, возникла проблема скрещивания двух хромосом разной длины. Решение этой задачи выполняется в виде случайного выбора места сечения каждой из хромосом и перестановки кусочков между собой. Таким образом можно получить алгоритм произвольной длины.

Важным элементом любого эволюционного алгоритма является оценка решения. Для большинства случаев хромосома, представляющая собой решение задачи, используется для нахождения ответа. В данной работе хромосома описывает алгоритм, т.е необходимо оценить правильность его выполнения. В случае, если алгоритм должен выводить в поток вывода лишь определенное значение или набор значений (аналог классического примера из основ программирования «Hello, World!»), целевую функцию можно записать в виде

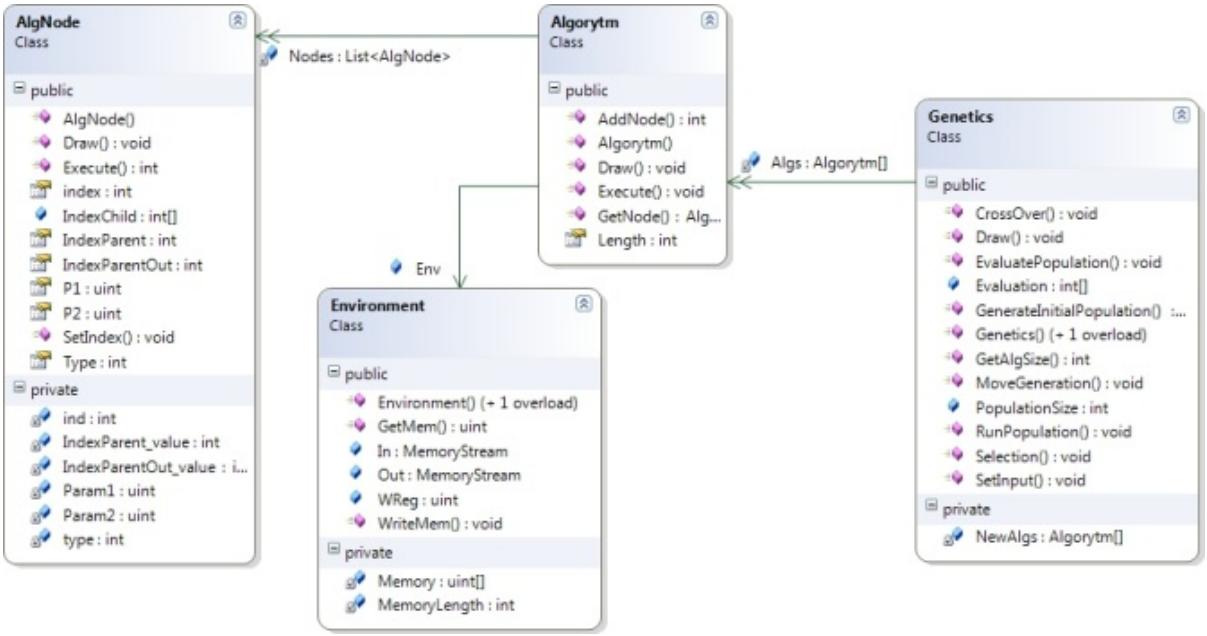


Рис. 1 Диаграмма классов

$$V(t) = \sum_{i=0}^{N} \left(A_i^{Д} - A_i^{Ж}\right)^2$$

Где N – длина строки, $A^{Д}, A^{Ж}$ – действительный вывод алгоритма и желаемое значение. Цель задачи оптимизации, решаемой эволюционным алгоритмом – минимизация данной функции. В задачах, требующих выполнения арифметических и других действий целевая функция будет иметь более сложный вид, определяемый, в том числе, данными, находящимися во входном потоке.

Для решения задачи генерации алгоритмов эволюционными методами была разработана программа, диаграмма классов которой представлена на рисунке 1.

В результате исследований эволюционный метод позволил создать алгоритм, выводящий в поток вывода заданный текст.

Литература

1. http://www.primaryobjects.com/CMS/Article149.aspx
2. www.microchip.cim

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ

Сю Шуайкай, Бордулев Ю.С.
Научный руководитель: Бордулев Ю.С., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: 1522773480@qq.com

В настоящее время системы термостатирования (СТ) находят широкое применение как в производственной, так и в научной сфере. Хорошо известно, что удельное сопротивление металла изменяется при изменении его температуры [1]. Таким образом, при проведении прецизионных измерений электросопротивления металлов, для получения стабильных результатов, необходимо поддерживать постоянную температуру образцов. Также, применение точной СТ позволяет проводить исследования температурного коэффициента сопротивления образцов.

Исходя из этого, целью данной работы является разработка СТ образцов для комплекса по измерению электросопротивления металлов и сплавов. Для достижения, поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

- сконструировать систему, обеспечивающую контроль и поддержание температуры;
- реализовать и настроить автоматический регулятор температуры.

Обобщенная структурная схема СТ показана на рис. 1 [2].

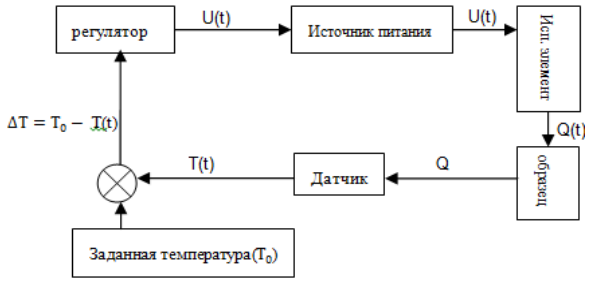


Рис. 1. Структурная схема СТ

В начале цикла регулирования, пользователь задает значение температуры статирования (T_0), после чего происходит процедура вычисления рассогласования между этим значением и значением реальной температуры образца:

$$\Delta T = T_0 - T(t)$$

Далее, при помощи автоматического регулятора вычисляется значение выходного напряжения, подаваемого через источник питания на исполнительный элемент. Исполнительный элемент, воздействуя на объект термостатирования, изменяет значение его температуры. После того, как датчик температуры измерит текущее значение T(t), цикл повторяется [2].

В данной работе применен источник питания, способный выдавать значение напряжения от 0 до 8 В. В качестве исполнительного элемента в данной работе был выбран элемент Пельтье из-за его небольших размеров, отсутствия каких-либо движущихся частей, а также газов и жидкостей. В качестве датчика температуры был использован термометр сопротивления PT100 в комплекте с универсальным вольтметром, позволяющий производить измерения температуры с погрешностью 0,1 °C.

Среди используемых автоматических регуляторов, наиболее популярными являются: двухпозиционные (2П), пропорциональные (П), пропорционально-интегральные (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы. В данной работе были разработаны все 4 типа регуляторов с целью сравнениях их рабочих характеристик, таких как: перерегулирование ($T_п$), ошибка регулирования (E), погрешность колебания (Δ) и время регулирования (t_p) (рис. 2) [3].

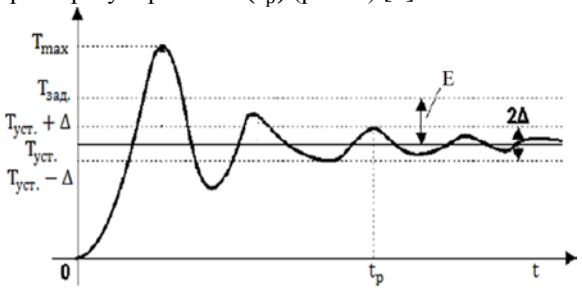


Рис. 2 Определение показателей качества по переходной характеристике.

Здесь $T_П = \frac{T_{max} - T_{уст.}}{T_{уст.}} 100\%$; $E = T_{зад.} - T_{уст.}$.

Принцип работы 2-позиционного регулятора заключен в его названии. Если разность температуры $\Delta T > 0$, на объект регулирования не подается никакого воздействия. В ситуации, если $\Delta T < 0$, то на объект подается воздействие U_0 [3]. В данной работе значение U_0, подаваемого на исполнительный элемент, составило 7 В.

Алгоритм расчета выходного значения напряжения П-, ПИ- и ПИД- регуляторами можно описать следующей формулой [3]:

$$u[n] = u[n-1] + a_0 e[n] - a_1 e[n-1] + a_2 e[n-2], \quad (1)$$

где u - выходная величина напряжения, выдаваемого регулятором; e - сигнал рассогласования реальной и заданной температуры. Для расчета выходного значения регулятора используются значения u и e из текущего (e[n]) и предыдущих циклов (n-1; n-2).

Коэффициенты a_0, a_1 и a_2 могут быть выражены следующими соотношениями:

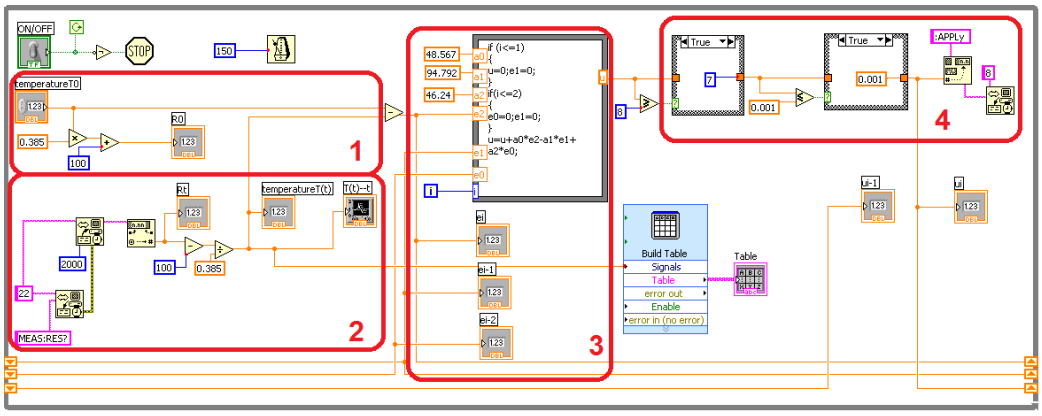


Рис. 3. Блок-диаграмма программы LabVIEW, реализующей работу автоматического регулятора.

$$a_0 = K_П(1 + \frac{T}{T_И} + \frac{T_Д}{T}); a_1 = K_П(1 + \frac{2T_Д}{T});$$
$$a_2 = K_П \frac{T_Д}{T},$$

где $K_П$ - коэффициент пропорциональной части регулятора, $T_И$ - постоянная времени интегрирования, $T_Д$ - постоянная времени дифференцирования. Значения $T_И$, $T_Д$ для П-регулятора, а также $T_Д$ для ПИ- регулятора равны 0.

Используя формулу (1) в данной работе были реализованы алгоритмы вышеописанных регуляторов с применением программного обеспечения LabVIEW. Настойка регуляторов (определение параметров a_0, a_1, a_2) осуществлялась методом, подробно описанным в [4].

С целью выбора оптимального регулятора был проведен анализ рабочих характеристик разработанных регуляторов при различных температурах регулирования. Средние значения параметров регуляторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения показателей регулирования для различных типов автоматических регуляторов

Регулятор	Δ, ℃	|E|, ℃	$T_п$, %	$t_р$, сек.
2П	±0.384	0.174	0.954	38.790
П	±0.235	0.245	1.086	49.50
ПИ	±0.003	0.003	0.015	89.76
ПИД	±0.002	0.001	0.028	139.59

Среди приведенных показателей регуляторов, наиболее важными в нашем случае являются ошибка регулирования E и погрешность колебания Δ. Из таблицы видно, что двухпозиционный регулятор и П-регулятор имеют наибольшую погрешность колебания Δ и ошибку регулирования по сравнению с ПИ- и ПИД-регуляторами. ПИД-регулятор имеет самую низкую погрешность колебания. Ошибка регулирования ПИ- и ПИД-регулятора сравнимы и близки к 0. Однако величина перерегулирования $T_П$ и время регулирования $t_р$ ПИ-регулятора несколько меньше значений для ПИД-регулятора. Это является следствием сложности алгоритма и настройки ПИД-регулятора по сравнению с ПИ-регулятором (необходимо настраивать три параметра регулирования, вместо двух). Из всего вышесказанного, было принято решение выбора ПИД-регулятора для создания СТ в данной работе.

С учетом собственной погрешности термометра, общую погрешность можно расчитать по формуле: $\Delta_{общ.} = \pm\sqrt{\Delta^2 + 0.1^2} = \pm\sqrt{(\pm 0.001681)^2 + 0.1^2} = \pm 0.100014℃$ [5].

Блок-диаграмма разработанного ПИД-регулятора состоит из нескольких функциональных модулей (Рис. 3): 1 – определение температуры регулирования; 2 – определение реальной температуры образца; 3 – реализация алгоритма ПИД-регулятора; 4- вывод значения напряжения на источник питания.

Основные выводы

В результате данной работы была разработана и реализована система прецизионного термостатирования образцов с применением автоматического ПИД-регулятора. Система позволяет регулировать постоянную температуру образца с погрешностью 0.100014℃. Диапазон регулируемой температуры составляет 20-80 ℃.

Список литературы

1. П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. Физика твердого тела : учебник . — 3-е изд., стереотип. — М. : Высшая школа, 2000. — 494 с.

2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. - М.: Наука, 1975.

3. Клиначев Н. В. Теория систем автоматического регулирования и управления: Учебно-методический комплекс. - Offline версия. - http://vissim.nm.ru/tau_lec.html, - Челябинск, 2003.

4. Настройка параметров ПИД-регулятора. [Электронный ресурс].– Режим доступа: http://www.contravt.ru/?id=345, свободный. – Загл. с экрана;

5. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений.– Л.: Энергоатомиздат, 1985.

АЛГОРИТМ ПОИСКА ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ

Тараканов В.С., Данченко А.М., Штерн В.В.
Научный руководитель: Гриценко Ю.Б., к.т.н, доцент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634055, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: danchenko_ann@mail.ru

Современные меры пожарной безопасности направлены на прогнозирование и сведение вероятности возникновения пожара к минимуму. В последние годы в государственных методиках и приказах для подсчета вероятности распространения пожара стали активно продвигаться научно обоснованные модели развития пожара и эвакуации людей.

В приказе МЧС России №382 указаны 3 математические модели для определения расчетного времени эвакуации людей из здания [1].

С точки зрения программной реализации наибольший интерес представляет индивидуально-поточная модель эвакуации. Данная модель позволяет учитывать индивидуальные особенности эвакуации человека, различные группы мобильности, реализовывать сложные сценарии организации эвакуации людей. Суть математической модели заключается в том, что скорость человека определяется с учетом значения локальной плотности потока, расчет проводится для каждого человека, пока все люди не покинут здание.

Основой для расчета времени эвакуации является поиск эвакуационных путей. На эвакуационные пути накладываются следующие ограничения: эвакуационным путем считается наикратчайший путь до эвакуационного выхода, для людей в помещении эвакуационный путь единственный и они не могут перейти к другому пути против движения потока.

Исходные данные: из поэтажных планов здания строится взвешенный неориентированный граф $G = (V, E)$, в котором вершинами $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ являются двери (проемы) между помещениями, а дугами $E = \{\{v_i, v_j\} \mid i, j \in [1, n]\}$ – связи между дверьми в помещениях, весами которых являются расстояния между дверьми, где n – количество вершин и множество $V_e = \{v_k \mid k \in [1, n]\}$ – множество эвакуационных выходов.

Задача: составить ориентированный граф, содержащий только те дуги, которые ведут по кратчайшему пути к эвакуационным выходам.

За основу решения задачи выбран алгоритм Дейкстры [2], выходом которого является множество $P = \{(v_i, v_j) \mid i, j \in [1, n]\}$ путей, где пара (v_i, v_j) обозначает, что путь проходит из вершины v_i в v_j. Для подведения алгоритма к специфике поиска эвакуационных путей, были заданы следующие условия:

1. Алгоритм выполняется последовательно для каждого элемента из множества эвакуационных выходов V_e;
2. Для второго и последующих выполнений алгоритма Дейкстры на графе не происходит установка для вершины расстояния, равного ∞;
3. При релаксации из вершины v_c в вершину v_k во множестве P находится пара с первой компонентой равной v_k, удаляется, а вместо нее добавляется пара (v_k, v_c);
4. Если на шаге алгоритма Дейкстры ни для одной соседней вершины не удается провести релаксацию, то прекращается выполнение алгоритма Дейкстры для данного эвакуационного выхода.

Таким образом, после выполнения этого алгоритма во множестве P содержатся кратчайшие пути от всех дверей до ближайших эвакуационных выходов. Результатом работы алгоритма является ориентированный граф $G' = (V, P)$.

Графическое представление. Из плана здания (рис. 1) составляется граф G, отображение которого показано на рис. 2, эвакуационными дверьми в котором являются вершины v_7 и v_9. После первой итерации для стартовой вершины v_7 вершинам присвоены соответствующие метки (рис. 3), а множество P принимает вид:

$$P = \{(v_3, v_7), (v_6, v_7), (v_2, v_7), (v_1, v_7), (v_4, v_7), (v_5, v_6), (v_8, v_5), (v_9, v_4)\}.$$

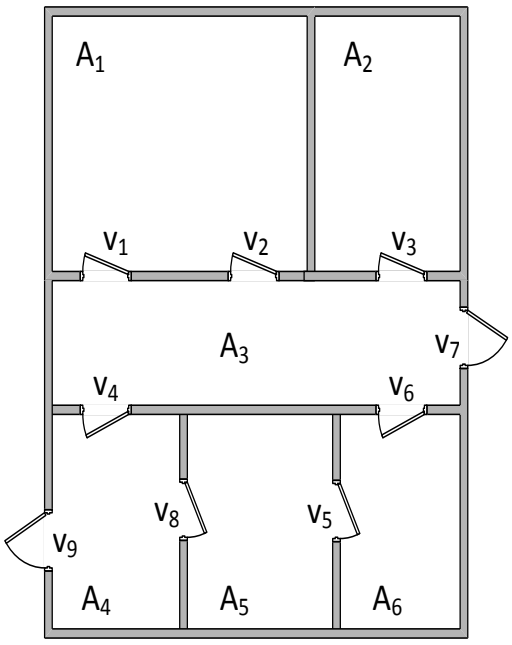


Рис.1. Схема помещений

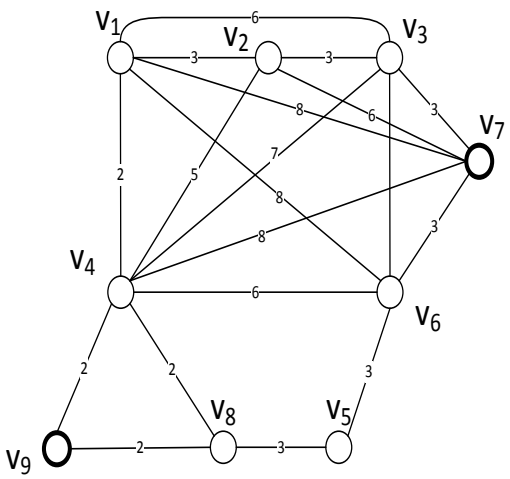


Рис.2. Соответствующий схеме граф

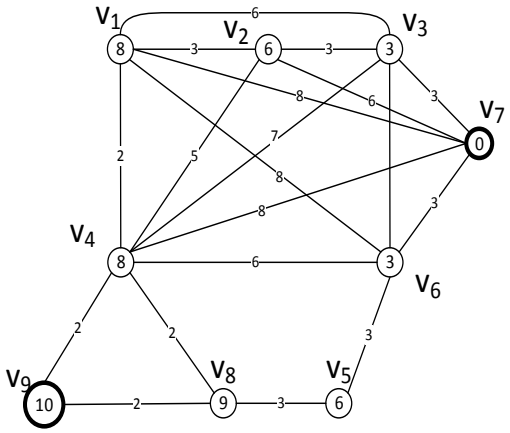


Рис.3. Результат работы первого шага алгоритма

После второй итерации для стартовой вершины v_9 вершинам присвоены соответствующие метки (рис. 4), множество P принимает значение:

$$P = \{(v_4, v_9), (v_8, v_9), (v_5, v_8), (v_1, v_4), (v_3, v_7), (v_6, v_7), (v_2, v_7)\}.$$

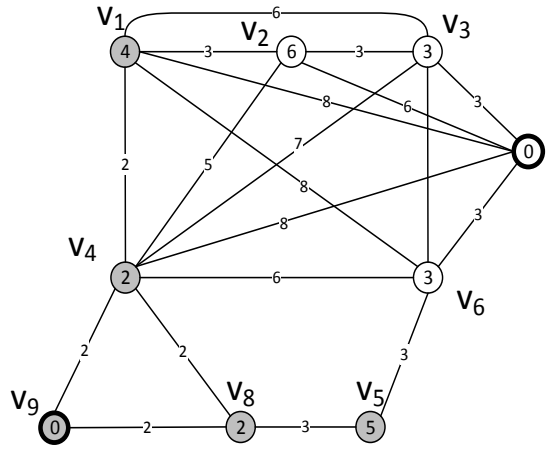


Рис.4. Результат работы второго шага алгоритма

Составим ориентированный граф $G' = (V, P)$, показанный на рисунке 5. Построенный граф G' дает информацию о последовательности прохождения дверей на пути к ближайшему эвакуационному выходу.

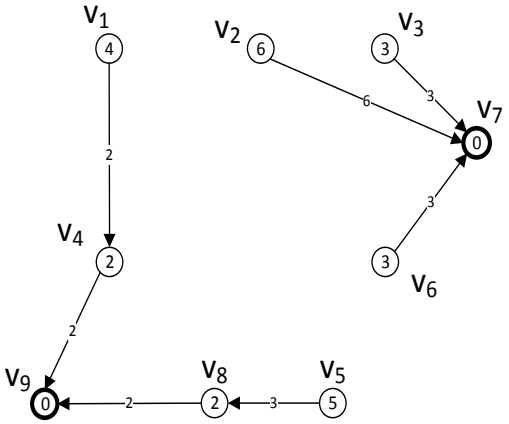


Рис.5. Результат работы алгоритма

Заключение. В данной работе представлено теоретическое и графическое описание определения эвакуационных путей. Так как эвакуационный путь представляет собой кратчайшее расстояние до эвакуационного выхода, наиболее удобным для программной реализации является использование алгоритма Дейкстры. Найденные по данному алгоритму последовательности дверей позволяют простроить эвакуационные пути людских потоков для выхода из здания.

Список литературы:

1. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 N 382 (ред. от 12.12.2011). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Dijkstra, E. W. A note on two problems in connexion with graphs./ E. W. Dijkstra// Numerische Mathematik. - 1959 - V. 1 – C . 269-271

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, С УЧЁТОМ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Трубин П.П., Епифанцева К.А.
Научный руководитель: Постников Д.В., к.ф-м.н., доцент
Омский государственный технический университет, 644050, Россия, г. Омск, пр. Мира, 11
E-mail: prizrak_0@mail.ru

Аннотация:
В данной статье рассмотрены автоматизация расчёта температуры материала при облучении пучками заряженных частиц, учёт зависимости термодинамических параметров материала от температуры. Предложено использование метода кусочно-линейных функций для решения проблемы недостатка справочной информации по материалу. В результате исследования написана программа, позволяющая автоматизировать рассмотренные процессы.

Актуальность изучения процессов, происходящих на поверхности металлических сплавов при облучении сильноточными пучками электронов и ионов, обусловлена тем, что такой метод обработки позволяет значительно повысить твердость, износостойкость, усталостную и коррозионную прочность конструкционных и инструментальных материалов. Это относится к имплантации ионов сверхмалых энергий, к имплантации больших доз, к легированию и к импульсной термообработке имплантационных слоев [1].

Сложности моделирования процессов в поверхностных слоях обрабатываемых материалов связаны, в том числе с тенденцией к изменению термодинамических параметров образцов с изменением их температуры. В данной работе раскрывается, как автоматизировать расчёт температуры в поверхностных слоях материалов при облучении их пучками заряженных частиц, используя для входных параметров метод кусочно-линейных функций.

Кусочно-линейная функция — функция, определённая на множестве вещественных чисел, линейная на каждом из интервалов, составляющих область определения.

Пусть заданы $x_1<x_2<...<x_n$ — точки смены формул.

Как и все кусочно-заданные функции, кусочно-линейную функцию обычно задают на каждом из интервалов $(-\infty;x_1),(x_1;x_2);...;(x_n;+\infty)$ отдельной формулой. Записывают это в виде: $f(x)=\{k_0x+b_0, x<x_1;k_1x+b_1,x_1<x<x_2;\ldots;k_nx+b_n, x_n<x\}$

Теплопередачу при облучении достаточно ёмко описывает следующая теория [2].

Передачу тепла к теплоносителю, охлаждающему оребренную поверхность мишени, противоположную облучаемой, можно описать как теплопередачу через плоскую стенку с оребрением [3]: $\Delta\theta = \frac{P}{F_1}(\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\propto_E})$ (1)

где $\Delta\theta$ - превышение температуры поверхности мишени 0 над температурой теплоносителя $\theta_ж$;

$P = \frac{I*E}{Z}$ мощность пучка заряженных частиц, кВт;

Z - заряд падающей частицы;

I - ток пучка заряженных частиц, мкА;

E - энергия падающих частиц, МэВ;

F_1 - площадь поверхности теплосъема, $м^2$;

δ, λ - коэффициент теплопроводности и толщина стенки мишени;

∝- коэффициент теплоотдачи оребренной стенки.

Соотношение (1) описывает случай, когда одна из поверхностей плоской стенки равномерно нагревается, а другая поверхность охлаждается теплоносителем, например, водой.

В действительности заряженные частицы, падающие на облучаемое вещество мишени, теряют энергию по длине пробега в зависимости от удельных потерь. Удельные потери зависят как от типа падающих частиц, так и от вещества, в котором они тормозятся. Кроме того, при облучении мишени выделение энергии происходит на сравнительно небольшой площади поверхности.

Для того чтобы учесть распределение удельных потерь энергии по пробегу, можно воспользоваться аналитическим представлением соотношения пробег - энергия [4]:

$R=aE^b$ (2)

где R- пробег заряженных частиц;

a,b - постоянные, зависящие от свойств вещества и типа частиц.

Из (2) следует, что

$\frac{dE}{dR} = \frac{1}{ab\left(\frac{R}{a}\right)^{\frac{b-1}{b}}}$ (3)

Полагая, что облучаемое вещество, в котором поглощается энергия заряженных частиц, состоит из ряда тонких слоев, в которых изменением энергии при их прохождении можно пренебречь по сравнении с текущей ($\Delta E<<E$), с учетом (1) можно написать:

$\Delta\theta_i = \frac{P}{F_1}(\frac{1-\frac{b-1}{b}}{R})(\frac{n}{i})^{\frac{b-1}{b}}(\frac{\delta-\frac{1}{n}R}{\lambda}+\frac{1}{\propto_E})$ (4)

Тогда имеем:

$$\Delta\theta = \frac{P}{F_1}\left(\frac{1-\frac{b-1}{b}}{R}\right)(n)^{\frac{b-1}{b}}\sum\left[\left(\frac{1}{i}\right)^{\frac{b-1}{b}}\left(\frac{\delta-\frac{1}{n}R}{\lambda}+\frac{1}{\propto_E}\right)\right] \quad (5)$$

Заменяя сумму интегралом и проведя интегрирование, получим:

$$\Delta\theta = \frac{P}{F_1}\left(\frac{\delta}{\lambda} - \frac{R}{\lambda}\frac{1}{(b+1)} + \frac{1}{\propto_E}\right) \qquad (6)$$

Соотношение (6) описывает повышение температуры поверхности мишени с учетом энерговыделения по длине пробега заряженных частиц. Коэффициент "b" с хорошим приближением можно принять равным 1,75 [4].

Описанная теория в сочетании с современными техническими возможностями позволили разработать и создать программный комплекс автоматизирующий анализ происходящих в материале процессов.

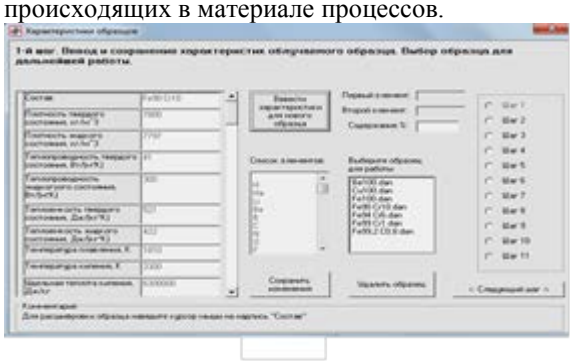


Рис.1 Интерфейс первого шага

На рис. 1 представлен вид интерфейса первого шага программы, на котором производится ввод процентного состава, физических характеристик образца и их сохранение. Этот шаг позволяет создавать базу данных образцов для дальнейшей работы.

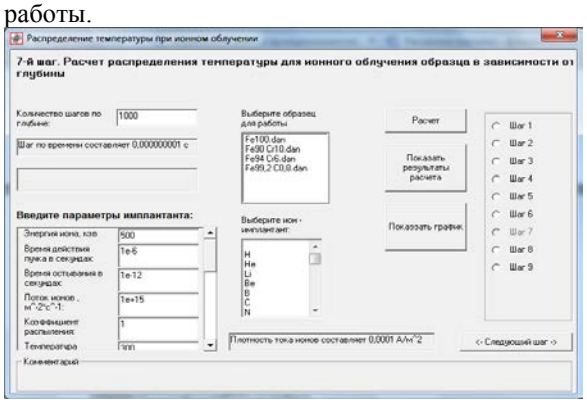


Рис.2 Стартовое окно

Одним из шагов этого комплекса является автоматизация расчёта температуры при облучении пучками заряженных частиц, с учётом зависимости термодинамических параметров материала от температуры. На рис. 2 представлен вид интерфейса этого шага, на котором расположены поля для ввода параметров облучаемого пучка (плотность тока, время действия и др.) и список исследуемых образцов, характеристики которых задаются в первом шаге программы.

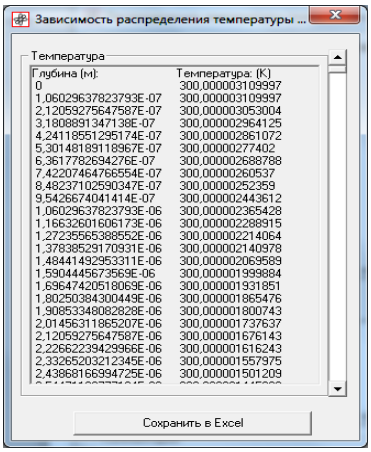


Рис.3

После проведения расчета, программа позволяет просмотреть численные значения полученной зависимости и график распределения температур по глубине с помощью кнопок, расположенных на панели интерфейса. Полученные результаты выводятся на экран монитора в форме дочерних окон, представленных на рис. 3 и рис. 4.

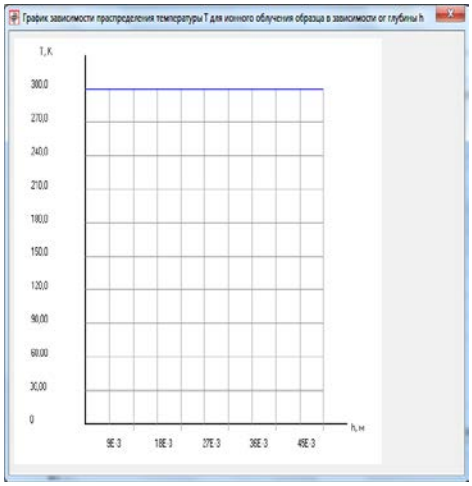


Рис.4

Аналогичные расчёты можно произвести и для бинарных сплавов.

Список литературы

1.Титов, В. В. Роль механических напряжений при легировании материалов с помощью ионных пучков. / В. В. Титов. – Москва, Институт атомной энергии им И. В. Курчатова, 1983. – 47 с. / Препринт ИАЭ-3774 /11.

2.Миронов В.Н., Краснов Н.Н., Коняхин Н.А, Дегтярева И.А.

3. Кутателадзе. Основы теории теплообмена. 2-ое изд. перераб. и д-.п. /М.-Л: Гос. науч.-техн. изд. машиностр. лит.1962г.

4. Миронов В.Н., Краснов Н.Н., Коняхин Н.А. Аналитическая зависимость пробег-энергия легких ионов с энергиями I-IC0 МэВ на нуклон/Препринт ФЭИ - 939. Обнинск,1979 г.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ЗАВОД ТЕХНОНИКОЛЬ-СИБИРЬ»

Туралина Н.В.
Научный руководитель: Е.В. Молнина, старший преподаватель
Юргинский технологический институт Томского политехнического университета
nina.turalina@yandex.ru

Экономия энергоресурсов объявлена приоритетной для России задачей, ключевое слово для модернизации - это энергоэффективность. Фактор высокой стоимости энергоресурсов обусловил в последние годы кардинальное изменение отношения к организации энергоучета в промышленности. Поэтому, для планирования и расчета затрат на электроэнергию предприятием ООО "Завод ТехноНИКОЛЬ-Сибирь" была разработана информационная система "Энергоучет", которая может быть использована как самостоятельный программный продукт или загружена в стандартную конфигурацию 1С, используемую на предприятии. Система разработана на платформе 1С: Предприятие 8.2, имеет два интерфейса: обычный и управляемый (управляемый интерфейс позволяет работать в веб-клиенте без необходимости ставить платформу 1С на компьютер). Актуальность работы обоснована отсутствием в стандартных конфигурациях инструментов для учета энергозатрат производственного предприятия.

Информационная система содержит следующие объекты:

1. Справочник «Подразделения» (предназначен для хранения информации о подразделениях предприятия);
2. Справочник «Пользователи» (предназначен для хранения информации о пользователях системы);
3. Документ «Энергоучет» (предназначен для хранения планируемых и фактических показаний энергозатрат на производство);
4. Документ «Разделение на месяц» (содержит записи о разделении затрат на электроэнергию по подразделениям);
5. Отчет «Почасовое потребление электроэнергии» (формирует и выводит на печать данные энергоучета за период);
6. Обработка «Загрузка показаний счетчиков» (предназначена для загрузки в систему показаний счетчиков потребления электроэнергии предприятием по подразделениям);
7. Обработка «Расчет затрат на электроэнергию и мощность» (предназначена для расчета суммы затрат на электроэнергию с учетом потребления мощности в рабочие часы);
8. Обработка «Данные счетчиков» (предназначена для получения показаний электросчетчиков на производственных линиях);
9. Регистр сведений «Настройки энергоучета» (предназначен для хранения ставок по оплате кв/ч и единиц мощности);
10. Регистр сведений «Разделение по месяцам» (предназначен для хранения записей о разделении затрат на электроэнергию по подразделениям);
11. Регистр накопления «Энергоучет» (предназначен для хранения данных документов энергоучета).

Интерфейс программного продукта представлен на рисунках 1 и 2:

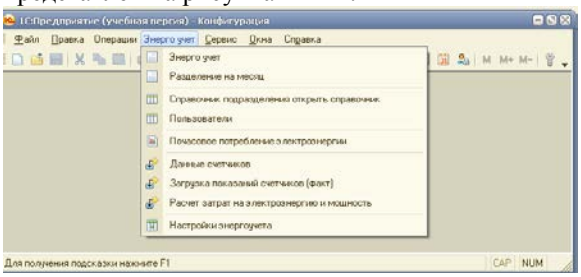


Рис.1. Обычный интерфейс информационной системы

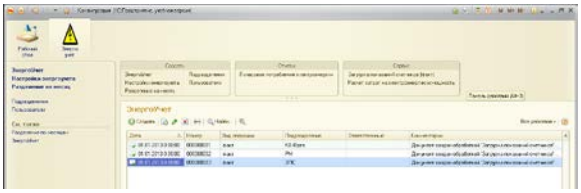


Рис.2. Управляемый интерфейс информационной системы

Для понимания основ работы системы рассмотрим ключевые сущности. Главным объектом ИС является документ «Энергоучет». Данный документ предназначен для учета планируемых и фактических расходов электроэнергии по подразделениям за месяц. Данные заносятся в таблицу, колонками которой являются дни месяца, а строками – часы суток. Красным цветом выделены выходные дни и праздники. В документе отражены планируемые показатели, которые заносятся вручную, и фактические, загружаемые обработкой «Загрузка показаний счетчиков». На командной панели расположена кнопка «Вид операции», позволяющая выбирать тип вносимых данных (план или факт). На форме документа «Энергоучет» есть кнопка «Печать», открывающая форму отчета «Почасовое потребление электроэнергии». Данный отчет позволяем выводить показатели потребления электроэнергии по подразделениям за

определенный период в печатной форме. Для «плана» и «факта» выводятся разные формы.

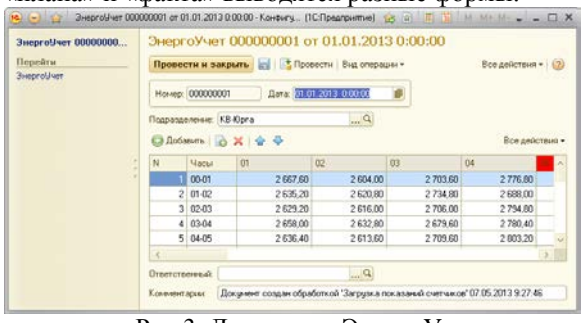


Рис.3. Документ «ЭнергоУчет»

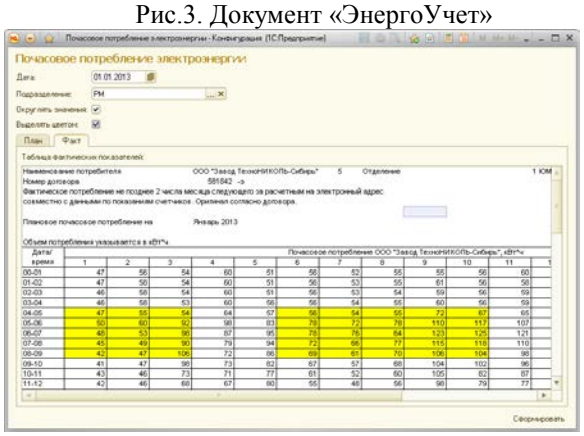


Рис.4. Отчет «Почасовое потребление электроэнергии»

Обработка «Расчет затрат на электроэнергию и мощность» позволяет автоматически рассчитывать затраты на электроэнергию по подразделениям на выбранный месяц. Настройки обработки позволяют показывать подразделы подразделений, а так же выделять цветом наиболее важные поля.

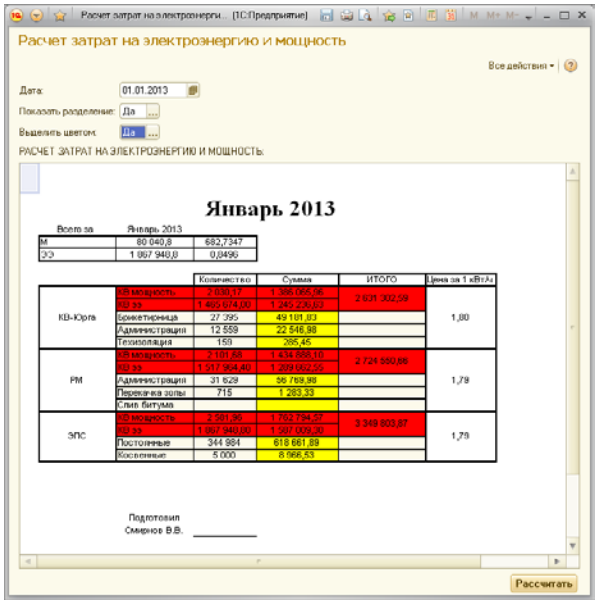


Рис.5. Обработка «Расчет затрат на электроэнергию и мощность»

Для загрузки необходимо открыть обработку «Загрузка показаний счетчиков», добавить файлы с показаниями счетчиков при помощи кнопки «Добавить файлы». При нажатии кнопки «Получить показания» обработка загрузит данные из файлов в табличную часть. Для сохранения показаний в документе необходимо нажать кнопку «Заполнить документы», после чего откроется новый документ с загруженными данными.

Если в торговых, снабженческо-сбытовых, консалтинговых организациях, в банках и инвестиционных компаниях состояние кризисности обычно длится сравнительно короткое время, то в промышленных фирмах оно может составить многие годы. Выход из такого состояния возможен по следующим направлениям, предприятие ООО "Завод ТехноНИКОЛЬ-Сибирь" выбрало способ сокращения расходов на ресурсы, в том числе энергетические. Автоматизация энергоучета успешно решает эту задачу. Созданная информационная система позволила автоматизировать энергоучет предприятия. ИС позволяет не только хранить показания счетчиков, но и анализировать данные, и на их основе планировать будущие показатели расхода электроэнергии. На данном этапе система внедрена на предприятии ООО "Завод ТехноНИКОЛЬ-Сибирь", где проходит тестирование. В будущем возможно добавление новых обработок и отчетов по требованию заказчика.

Список информационных источников:

1. В.А. Ажеронок, А. В. Островерх, М. Г. Радченко, Е. Ю. Хрусталева Разработка управляемого интерфейса - Издательство "1С-Паблишинг", ISBN 978-5-9677-1148-0, 723 стр., формат А5 (60х90 1/16).

2. Азоев Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика. - М.: «Центр экономики и маркетинга», 2004.

3. А.Н. Важдаев Методические указания по дисциплине «Технология разработки программного обеспечения» по выполнению курсового проекта для студентов специальности 610302 «Прикладная информатика (в экономике)». – Юрга: Изд. ЮТИ ТПУ, 2006. – 44 с.

4. А.Н. Важдаев Технология создания информационных систем в среде 1С:Предприятие: учебное пособие / А.Н. Важдаев. – Юрга: Издательство Юргинского технологического института (филиал) Томского политехнического университета, 2007. – 132 с.

5. М.Г. Радченко, Е.Ю. Хрусталева 1С:Предприятие 8.2. Практическое пособие разработчика. Примеры и типовые приемы - Издательство ООО "1С-Паблишинг", ISBN 978-5-9677-1147-3, 874 стр., формат А5 (60х90 1/16).

ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА МЫЛЬДЖИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Тутов И.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ivantutov@tpu.ru

В большинстве своём контуры управления автоматизированных систем в нефтегазовой отрасли настраиваются в ручном режиме. В случаях, когда ручная настройка не дает результата или объект достаточно сложный для передачи управления непосредственно оператору, в ситуации появления биений или неустойчивости параметров процесса используют предварительную настройку на математической модели технологического процесса.

В данной работе будет проанализирован технологический процесс (ТП), построена математическая модель ТП и проанализирована реакция математической модели с данными снятыми непосредственно на реальном объекте.

Сокращенная функциональная схема автоматизации котла представлена на рисунке 1.

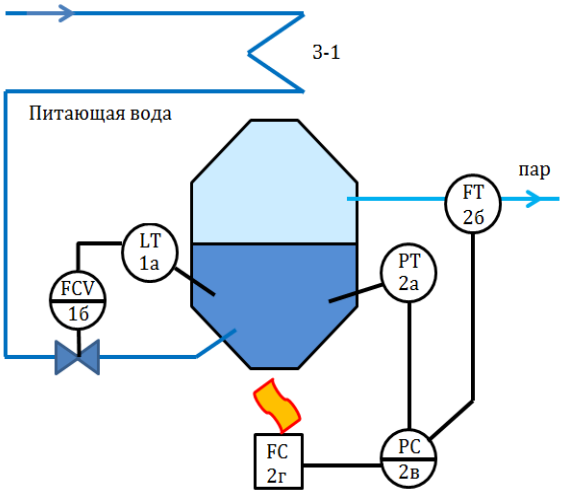


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации котла

Вода подпитки, прошедшая подготовку на натрий-катионитовом фильтре и деаэрацию методом выпаривания, через экономайзер *3-1* подогревается от выхлопных газов и продуктов горения горелки и подается в котёл парогенератора. В котле жидкость переходит в парообразное состояние. Пар потребляется на нужды производства. Следует отметить, что не вся жидкость переходит в пар. После выпаривания воды в котле остаются соли и щелочи, которые удаляются посредством непрерывной продувки котла. Уровень разделения фаз жидкость-газ контролируется отдельным контуром (*1*) управления. Время переходного процесса стабилизации уровня много меньше времени протекания процессов парогенерации. Этот контур в последующем рассматриваться не будет. Горелка имеет встроенный контроллер пламени. На контроллер пламени подается сигнал мощности пламени в процентах. Контроллер автономно регулирует подачу топливного газа, контролирует наличие и поддержание пламени. Кроме того в целях увеличения ресурса исполнительного механизма используют квантование по мощности. Экспериментальные данные с выхода контроллера горелки представлены на рисунке 2.

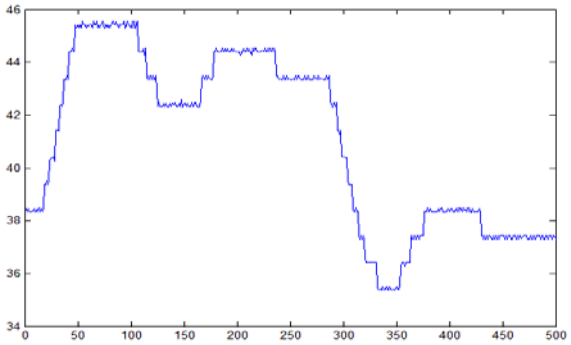


Рис. 2. Экспериментально снятые показания сигнала мощности на выходе контроллера горелки

Этот факт для получения корректных результатов моделирования является весьма важным.

Контур стабилизации давления производимого пара (*2*) представляет собой структуру, изображенную на рисунке 3.

Основным возмущающим воздействием для контура стабилизации давления является расход пара, потребляемого производством. В связи с этим в основной контур управления оправданно введена прямая связь (выделено синим цветом), для компенсации возмущающего воздействия. Данный подход в зарубежной литературе получил название FF/FB (Feed Forward/ Feed Beak). Сигнал после регуляторов, включенных каскадом, подается на контроллер горелки. Тепло с пламени горелки, главным образом, расходуется на преобразование воды в пар, подогрев питающей воды, уносится с уходящими газами и продуктами горения, и так же уносится солевыми растворами и щелочами. Функцией MATLAB представлена зависимость коэффициента удельной теплоты парообразования от давления. Обычно для настройки ПИД-регуляторов в математической модели данный параметр берётся как константа. Тепловые потери в рамках данной работы считаются постоянными. Величина *K* (Gain1),

является обратно пропорциональной к удельной теплоёмкости воды. Затем, функция *Fcn* реализует собой P-V диаграмму [1], представленную на рисунке 4.

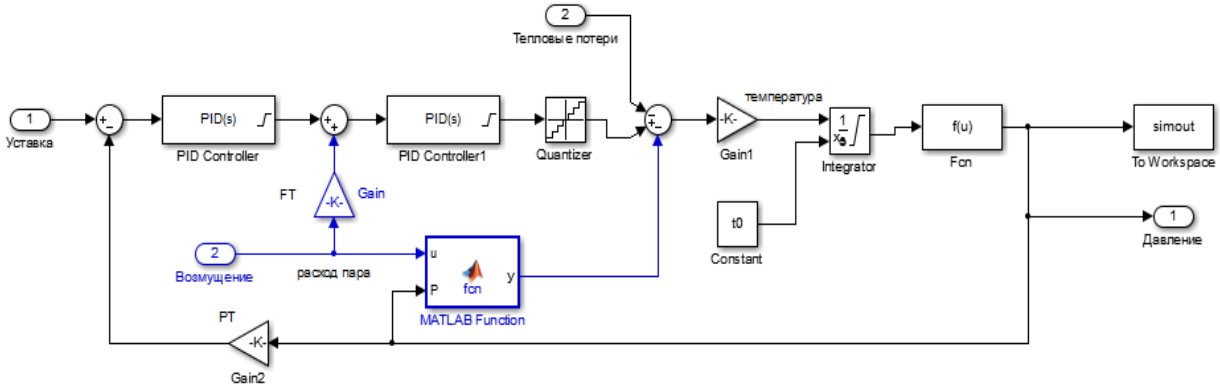


Рис. 3. Структурная схема контура стабилизации давления парогенерирующего котла

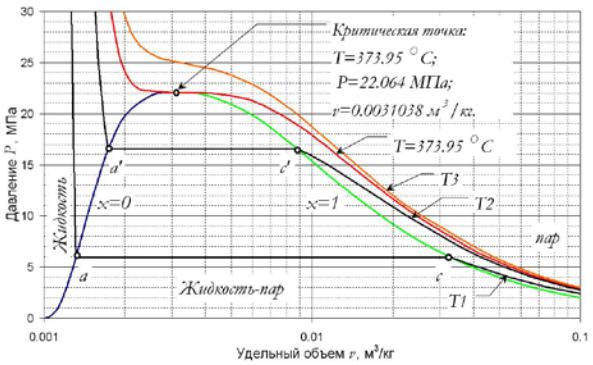


Рис. 4. Диаграмма кипения воды

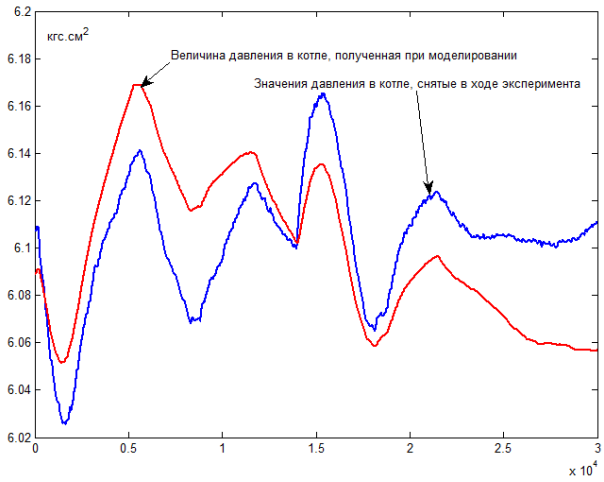


Рис. 5. Тренды значений величины давления в котле.

И уже величина давления по обратной связи основного контура управления поступает на датчик давления и с него на сумматор регулятора.

Таким образом, была построена математическая модель парогенерирующего котла. Задача верификации сводится к сопоставлению данных, полученных во время выполнения пусконаладочных работ на месторождении и результатов моделируемых величин под действием одинаковых возмущающих воздействий. Величины возмущений во время работ были зафиксированы в базе данных автоматизированной системы DeltaV, используемой на предприятии. Результат моделирования и экспериментальные данные представлены на рисунке 5.

Как видно из рисунка тренды имеют некоторые различия. В частности давление модели убывает в сравнении с экспериментальными данными. Вероятнее всего дело в том, что величина тепловых потерь в действительности несколько меньше, чем было задано при моделировании. В целом динамика работы системы выглядит весьма правдоподобно. Если принять во внимание тот факт, что система является довольно сложной, имеет каскадное регулирование в сочетании с прямым управлением по возмущающему воздействию, то модель можно считать пригодной для отработки других методов управления.

Данную модель планируется использовать для наладки работы алгоритма адаптивного регулятора, предложенного в [2,3] с последующим внедрением на производстве.

Литература

1. Кипение. Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 – свободный;

2. Тутов И.А. Система автоматического регулирования давления внутрипромысловой газораспределительной сети. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Москва. – 2013. - №11. – Ч.1 – С.118 – 121.;

3. Михайлов В.В., Тутов И.А. Метод регулирования давления в газопроводной сети. // Вестник науки Сибири : электрон. науч. журн. – 2012. - №4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/438 - свободный.

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ НЕИЗВЕСТНОЙ ФОРМЫ

Фаерман В.А., Аврамчук В.С.
Научный руководитель: Аврамчук В.С., к.т.н, доцент
Томский Политехнический Университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
faermanvlad@mail.ru

Несмотря на то, что к настоящему моменту времени разработано большое количество методов и подходов обнаружения полезного сигнала на фоне интенсивных шумов, все они имеют существенные ограничения в применении и ни один из них не является универсальным.

Очевидно, что обязательными условиями задачи обнаружения сигнала являются наличие некоторых предварительных (априорных) сведений о сигнале, подлежащем приему, и, одновременно, неопределенность некоторых его параметров [1]. В противном случае, при полном отсутствии априорных сведений о сигнале, не будет никакой возможности извлечь из него какую-либо информацию, так как на принимающей стороне он будет не отличим от помехи.

Примером простой задачи обнаружения сигнала является рассматриваемая в радиолокации задача корреляционного приема сигнала $s(t,\lambda)$, имеющего один неизвестный параметр λ. Методика решения данной задачи сводится к получению и анализу корреляционной функции [1]

$$q(\lambda) = \int_0^T \xi(t)s(t,\lambda)dt, \qquad (1)$$

где $\xi(t)$ представляет собой смесь обнаруживаемого сигнала $s(t,\lambda)$ и аддитивного случайного шума $n(t)$; T – время наблюдения. Анализ корреляционной функции, сводится к обнаружению ее максимума, который, в простых случаях, соответствует наиболее вероятному значению искомого параметра λ.

Несмотря на то, что формула (1) может быть легко обобщенна для случая обнаружения сигнала $s(t,\lambda_1,\dots,\lambda_n)$ зависящего от многих неизвестных параметров $\lambda_1,\lambda_2,\dots,\lambda_n$

$$q(\lambda_1,\dots,\lambda_n) = \int_0^T \xi(t)s(t,\lambda_1,\dots,\lambda_n)\,dt,$$

сложность производимых операций многократно возрастает, что практически приводит не только к увеличению числа вычислительных устройств (корреляторов), но и к усложнению приемника [1]. В частности, для обнаружения сигнала неизвестной формы (то есть сигнала имеющего не определенный спектральный состав) с измерением частоты f_0 и запаздывания τ_0 используется $N = 4F_0T_0FT$ корреляторов [2], где F – базовая ширина полосы частот; T – длительность используемых сложных сигналов; F_0 – ширина полосы частот, на которой ожидается появление отраженного сигнала; T_0 – предельное время задержки поступления отраженного сигнала. При этом, выходной сигнал каждого из корреляторов используется для определения одной точки поверхности $q(\lambda,f)$ [2].

Задача обнаружения сигналов неизвестной формы характерна не только для радиолокации, но и для неразрушающего контроля [3]. Примером может служить корреляционный метод поиска утечек в трубопроводах.

Основной отличительной особенностью корреляционного подхода, является одновременное использование пары датчиков. Пусть датчики в течение интервала T фиксируют поступающие сигналы в равноотстоящие на Δ моменты времени. Тогда в любой дискретный момент времени t_i ($i = 0,1,\dots N-1$, где N – общее количество отсчетов) сигнал, поступающий от первого датчика, может быть представлен как

$$\xi_1(i) = s_0(i-j_1) + n_1(i), \qquad (4)$$

где $n_1(i)$ - шумовая составляющая сигнала первого датчика; $j_1 = \tau_1/\Delta$ - запаздывание сигнала первого датчика. Аналогично, для второго датчика

$$\xi_2(i) = s_0(i-j_2) + n_2(i). \qquad (5)$$

Корреляционная функция может быть вычислена, как [3]

$$q_{12}(j) = F^{-1}(F[\xi_1(i)]F^*[\xi_2(i)]), \qquad (6)$$

где F – прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ); F^{-1} – обратное ДПФ; F^*– комплексно-сопряженное представление результатов прямого ДПФ. Полагая шумовые составляющие сигналов датчиков n_1 и n_2 не коррелированными, можно представить (6) в виде суммы

$$q_{12}(j) = q_{s_0s_0}(j) + q_{n_1s_0}(j) + q_{n_2s_0}(j) + q_{n_1n_2}(j).$$

Известно [3, 4], что $\max(q_{s_0s_0}(j))$ соответствует $j = j_2 - j_1$, то есть разнице во времени поступления сигнала на датчики. Однако, для того, чтобы он мог быть обнаружен должно выполняться условие

$$q_{s_0s_0}(j_2 - j_1) \gg \sqrt{D\left[q_{n_1s_0}(j) + q_{n_2s_0}(j) + q_{n_1n_2}(j)\right]},$$

где $D[\cdot]$ – дисперсия случайной величины.

Наиболее простым и эффективным способом уменьшения среднеквадратического значения случайных составляющих сигнала на выходе корреляторa является цифровая фильтрация сигнала на входе коррелятора. Однако применение данного способа на практике затруднительно, так как спектр полезного сигнала, как правило, не известен [5].

Наиболее простым способом определения области локализации полезного сигнала является построение функции взаимного амплитудного спектра [6]. Эта функция является модулем Фурье-образа корреляционной функции (6) и, следовательно, может быть получена по формуле

$$S'_{12}(k) = |F[\xi_1(i)]F^*[\xi_2(i)]|,$$

где k – номер спектрального отсчета ($k = 0,1,\dots,N/2+1$). Заметные пики на функции взаимного амплитудного спектра являются признаками присутствия полезного сигнала. Недостатком данного способа является его чувствительность к спектру шумовой составляющей на входе коррелятора.

Другим распространенным способом выделения частотной полосы, содержащей полезный сигнал, является привлечение функции когерентности. В ряде источников [6,7], функция когерентности представлена формулой

$$\gamma(f) = \frac{\left|S_{xy}(f)\right|}{\sqrt{S_{xx}(f)S_{yy}(f)}}, \qquad (7)$$

где $S_{xy}(f)$ - взаимная спектральная плотность сигналов $x(t)$ и $y(t)$; $S_{xx}(f)$, $S_{yy}(f)$ - спектральные плотности сигналов. Однако (7) не является полной, так как расчет функции когерентности предполагает многократное повторение измерений сигналов и последующее усреднение по ансамблю реализаций [8]:

$$\gamma(f) = \frac{\left|E[S_{xy}(f)]\right|}{\sqrt{E[S_{xx}(f)]E[S_{yy}(f)]}}, \qquad (8)$$

где $E[\cdot]$ – оператор усреднения. Значения $\gamma(f)$, полученной с помощью (8), зависят от стабильности амплитуд и фаз исследуемых сигналов. Причем в том случае, если отношения между сигналами ограничиваются линейной зависимостью $x(t) = k \cdot y(t)$, где k - константа, то $\gamma(f) \to 1$ при всех допустимых значениях аргумента. Напротив, если $x(t)$ и $y(t)$ не связаны, то $\gamma(f) \to 0$ при любых f. Таким образом, функция когерентности является аналогом функции корреляции, показывая взаимосвязь процессов в частотной области [7].

Недостатками метода являются необходимость накопления дополнительных данных и работы с ними, а также возможное появление ложных областей высоких значений функции в ряде задач, обусловленных существованием нескольких мод колебаний [9].

Для устранения влияния последнего недостатка, в [9] предлагается привлекать для обнаружения частотной области локализации сигнала не только функцию когерентности, но и фазочастотную функцию взаимного спектра

$$\varphi_{12}(k) = Im(F[\xi_1(i)]F^*[\xi_2(i)]). \qquad (9)$$

Используя функцию (9), можно выделить ту полосу частот, в которой сигнал распространяется преимущественно по одному тракту.

Еще одним способом извлечения и визуализации информации о спектральной композиции сигнала при корреляционном анализе – является использование частотно-временных корреляционных функций [5]. В отличии от традиционных функций, частотно-временные функции имеют дополнительный аргумент – частоту. Таким образом, частотно-временные корреляционные функции показывают корреляцию на каждом из исследуемых частотных диапазонов, что позволяет по расположению пиков на поверхности частотно-временной корреляционной функции делать предположения о спектральном составе полезного сигнала [5].

Кроме того, пики частотно-временной корреляционной функции, соответствующие полезному сигналу становятся значительно заметнее. Это может быть объяснено тем, что алгоритм получения частотно-временной корреляционной функции, описанный в [5] эквивалентен одновременному использованию множества корреляторов, на входе каждого из которых установлен полосовой фильтр с собственной уставочной частотой. При этом, в общем случае (полезный сигнал локализован в узкой полосе частот, в то время как шум является широкополосным), отношение сигнал/шум на входе каждого из корреляторов больше исходного [10].

В связи с тем, что основным ограничением корреляционного метода обнаружения сигналов неизвестной формы является высокая интенсивность шумов на входе коррелятора, важнейшим этапом решения данной задачи является фильтрация получаемого сигнала. Однако, для выбора фильтра, необходима информация о спектре полезного сигнала, которая может быть получена с применением перечисленных методов.

Список литературы

1. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

2. Тузов Г. И. Статистическая теория приема сложных сигналов. - М. : «Советское радио», 1977. – 400 с.

3. Айфичер Э. С., Джервис Б. У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.

4. Цифровая обработка сигналов / под ред. А. Б. Сергиенко. – СПб. : Питер, 2002. – 608 с.

5. Аврамчук В.С., Чан Вьет Тьяу. Частотно-временной корреляционный анализ цифровых сигналов // Известия Томского политехнического университета. – 2009. –Т. 315. – № 5. – С. 112–115.

6. Смирнов В.А. Корреляционный метод поиска утечек жидкостей из трубопровода под давлением // Вибродиагностика для начинающих и специалистов. 2005. URL: http://www.vibration.ru/tech/tech.shtml, (дата обращения 25.09.2012).

7. Р. Отнес, Л. Эноксон. Прикладной анализ временных рядов: основные методы. : Пер. с англ. – М.: Изд-во «Мир», 1982. – 429 с.

8. Кулаичев А.П. Об информативности когерентного анализа // Журнал высшей нервной деятельности. – 2009. – Т. 59 - № 6, С. 766-775.

9. Овчинников А.Л., Лапшин Б.М., Чекалин А.С., Евсиков А.С. Опыт применения течеискателя ТАК-2005 в городском трубопроводном хозяйстве // Известия Томского политехнического университета, 2008. -т. 312 -№ 2 - с. 196-202.

10. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2-х томах. Пер. с франц. – М.: Мир, 1983 г. – Т. 1 - 312 с.

НЕЧЕТКОЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Фам Ван Дай, Скороспешкин В.Н.
Научный руководитель: Скороспешкин В.Н., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: phamvandaibk@gmail.com

Среди нелинейных корректирующих устройств для систем автоматического регулирования, выделяют класс устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые частотные характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала. Такие корректирующие устройства называются псевдолинейными [1]. Наиболее широкое распространение нашли следующие псевдолинейные корректирующие устройства (ПКУ) [1]: корректирующие устройства с амплитудным подавлением, корректирующее устройство с фазовым опережением и корректирующее устройство с раздельными каналами для амплитуды и фазы.

В настоящей работе проведено исследование свойств системы автоматического регулирования с нечетким псевдолинейным корректирующим устройством с фазовым опережением.

Структура нечеткого псевдолинейного корректирующего устройства представлена на рисунке 1 [2]

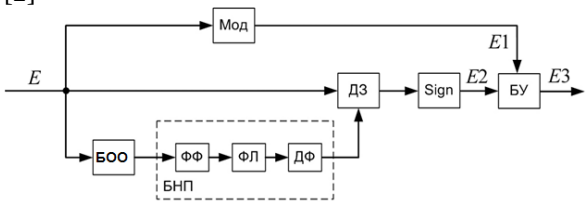


Рис. 1. Структура нечеткого корректирующего устройства

В этой схеме использованы следующие обозначения: Sign – блок определения знака; ДЗ – динамическое звено; МОД – блок выделения модуля; БУ – блок умножения; БОО – блок определения интегральной квадратичной ошибки САР; БНП – блок нечетких преобразований; ФФ – блок фаззификации; ФЛ – блок фаззи-логики; ДФ – блок дефаззификации; E – ошибка регулирования; $E3$ – выходной сигнал корректирующего устройства; $E1$ –выходной сигнал блока определения модуля; $E2$ – выходной сигнал блока определения знака.

Корректор выполнен на базе интегро-дифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W(p)=\frac{T_1 p+1}{T_2 p+1}$$

Корректор осуществляет фазовый сдвиг, величина которого зависит от значения постоянных времени T_1 и T_2. Выходной сигнал корректора формируется в результате перемножения входного сигнала, прошедшего через блок определения модуля, и сигнала, прошедшего через интегро-дифференцирующее звено и блок определения знака. Изменение фазового сдвига в данной схеме осуществляется блоком нечетких преобразований. При появлении в САР колебаний регулируемой величины, а следовательно и ошибки, в корректоре автоматически происходит увеличение постоянной времени дифференцирования, и в результате этого происходит подавление колебаний регулируемой величины путем изменения фазовой частотной характеристики САР. [2] Параметры настройки ПИД-регулятора не меняются в процессе работы САР.

Блок нечетких преобразований состоит из трех блоков: ФФ – блока фаззификации, ФЛ – блока фаззи-логики и ДФ – блока дефаззификации. В блоке фаззификации формируются функции принадлежности входной переменной, в нашем случае переменной является интегральная квадратичная ошибка на определенном интервале времени. Переменная носит имя «I». Для данной переменной задаются две функции принадлежности типа «трапеция» с названиями – «small» и «big» и одна функция принадлежности типа «треугольник» – «avg». После задания функций принадлежности входной переменной задаются функции принадлежности выходной переменной, которые используются в блоке дефаззификации. Выходной переменной является значение постоянной времени дифференцирования T_1 интегро-дифференцирующего звена (для простоты реализации САР, постоянная времени T_2 фиксирована). Переменная носит имя «T». Для этой переменной задаются также две функции принадлежности типа «трапеция» с названиями – «small» и «big» и одна функция принадлежности типа «треугольник» – «avg». Вид диалоговых окон задания функций принадлежности входной и выходной переменных изображены соответственно на рисунках 2 и 3.

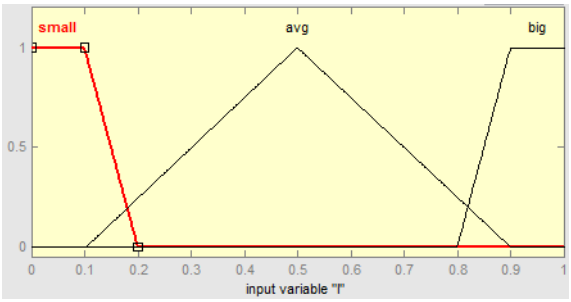


Рис. 2. Функции принадлежности входной переменной

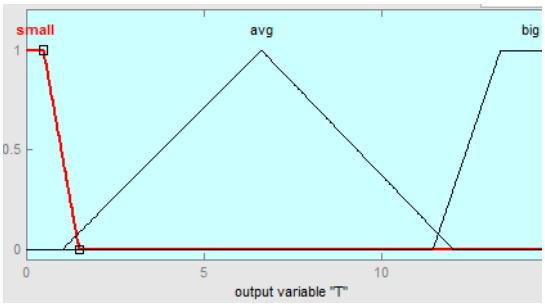


Рис. 3. Функции принадлежности выходной переменной.

После задания функций принадлежности входной и выходной переменных создаётся база правил, по которым будет осуществляться принятие решения о значении выходной переменной. В данной работе использована следующая база правил:

- Если ошибка I малая, то постоянная времени T_1 малая.
- Если ошибка I средняя, то постоянная времени T_1 средняя.
- Если ошибка I большая, то постоянная времени T_1 большая.

Для дефаззификации использован метод центра тяжести.

Проверка работоспособности нечеткого корректирующего устройства проводилась в среде Simulink на примере САР с объектом второго порядка. Использованная для проверки работоспособности схема САР представлена на рисунке 4.

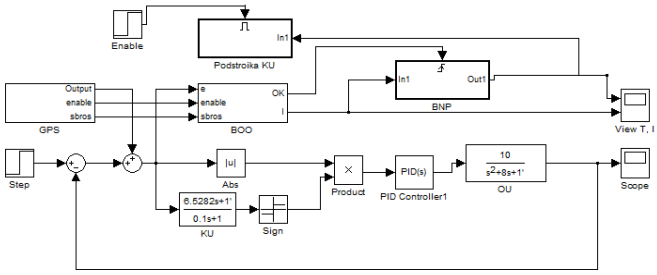


Рис. 4. Схема САР в среде Simulink

Передаточная функция объекта управления, используемая при моделировании работы САР, имеет вид:

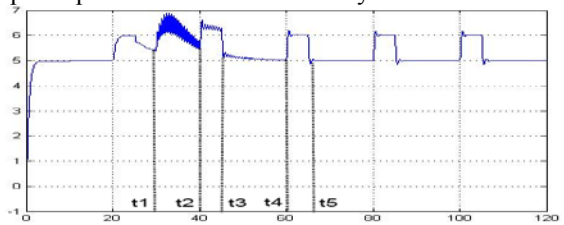
$$W_{OY}(s) = \frac{K}{T_1 s^2 + T_2 s + 1}$$

В процессе моделирования, постоянная времени T_1 объекта управления менялась в диапазоне от 0.1 до 1 сек, постоянная времени T_2 менялась в диапазоне от 5 до 8 сек, а статический коэффициент передачи K менялся в диапазоне от 1 до 10. Изменение параметров объекта управление приводило к уменьшению запаса устойчивости и ухудшению качества САР.

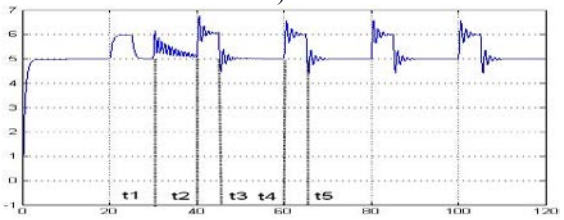
Определение значения интегральной квадратичной ошибки проводилось после подачи на вход системы прямоугольного импульса длительностью, равной 5 сек.

На рисунке 5-а представлена кривая переходного процесса в САР, в состав которой входит нечеткое псевдолинейное корректирующее устройство. В момент времени t_1 происходило изменение параметров ОУ, и как следствие этого появилось колебание регулируемой величины. В момент времени t_2 на вход САР был подан пробный импульс. После окончания импульса в момент времени t_3 происходила подстройка параметра нечеткого ПКУ. На рисунке видно, что со следующих импульсов качество регулирования улучшилось.

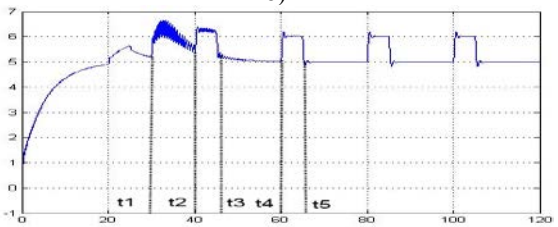
На рисунке 5-б представлена кривая переходного процесса в САР, в состав которой входит только обычное псевдолинейное корректирующее устройство при параметрах настройки корректора T_1=0.5 сек, T_2=0.1 сек, а на рисунке 5-в при T_1=5 сек, T_2=0.1сек. Из рисунков видно, что качество регулирования хуже чем в САР с нечетким корректирующим устройством. В то же время в САР без корректирующих устройств после изменения параметров ОУ система стала неустойчивой.



а)



б)



в)

Рис. 5. Кривые переходного процесса САР

Таким образом, результаты моделирования САР, с предложенным нечетким корректирующим устройством, показали, что корректирующее устройство обеспечивает устойчивости и хорошее качество регулирования при изменении параметров объекта управления в широких пределах.

Список литературы

1. Топчеев Ю.И. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. М.: Изд. Машиностроение, 1971. 462с

2. Скороспешкин М.В. Адаптивные псевдолинейные корректоры динамических систем автоматического регулирования. //Известия Томского политехнического университета. – 2006. –Т309. – №7. –С 172 -176.

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ УЗЛА СЕПАРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР КОМПАНИИ BENTLEY SYSTEMS

Фоменко А.С.
Научный руководитель: Каранкевич А.Г., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: officialmail25@gmail.com

Автоматизация технологического процесса является важным аспектом функционирования и ведет к повышению производительности труда, устранению человека из производственного процесса и к повышению качества процесса.

Отличительной особенностью этапа проектирования автоматизации какого-либо технологического процесса является разработка сопроводительной документации с использованием САПР компании Bentley Systems, таких программных продуктов как Microstation и Promis-e.

В качестве технологического процесса в этой статье рассматривается схема автоматизации нефтегазосепараторов (НГС), как часть установки предварительного сброса воды, применяемого для отделения от нефти пластовой воды и попутного газа.

Из скважин нефтегазоводосодержащая жидкость поступает на первую ступень сепарации в нефтегазосепаратор НГС. В НГС осуществляется разделение нефти и газа, а также раздельный их вывод. Отсепарированный газ с НГС поступает в газосепаратор ГС, а нефтесодержащая жидкость поступает на вторую ступень сепарации - установку сепарационную трубную наклонную УСТН для окончательного разгазирования [1].

Чтобы сократить время создания типовых и повторяющихся элементов в САПР компании Bentley Systems необходимо создать библиотеку фрагментов. Каждый фрагмент имеет свою базовую точку, определяемую при создании фрагмента. Когда определяется информационная точка, чтобы разместить фрагмент, базовая точка размещается именно в этой точке.

Чтобы создать новый фрагмент, необходимо [2]:

1. Нарисовать объект, будущий фрагмент (рис. 1).

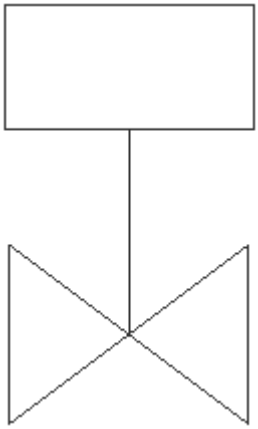


Рис. 1. Типовой элемент.

2. Выбрать объект выделенной областью.
3. Установить базовую точку в меню *Drawing* (рис. 2). Обычно в качестве базовой точки используют левую нижнюю точку элемента или его характерную точку.

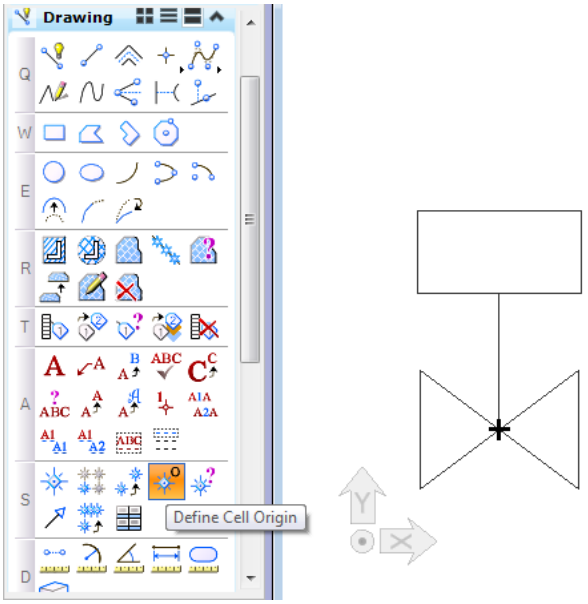


Рис. 2. Определение базовой точки

4. При верном выполнении последовательности действий, в окне библиотека фрагментов (рис. 3) должно загореться окно *Create* (Создать).

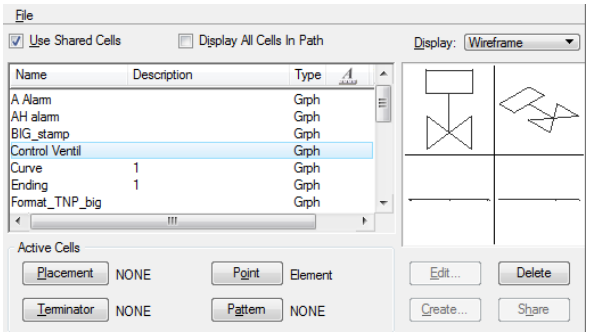


Рис. 3. Окно создания фрагментов

5. Нажав пиктограмму «Создать», появится диалоговое окно в котором требуется ввести имя фрагмента, а также его описание. После этого в окне библиотека фрагментов появится новая запись, за которой стоит графическое изображение фрагмента.

Такая последовательность действий необходима при добавлении каждого типового элемента в базу данных.

Наиболее распространены на нефтяных месторождениях горизонтальные сепараторы,

характеризующиеся повышенной пропускной способностью при одном и том же объеме аппарата, лучшим качеством сепарации, простотой обслуживания и осмотра по сравнению с вертикальными [3].

Такого типа сепаратор изображен на рис. 4. Жидкость поступающая в НГС через задвижку 11 проходит процесс отделения нефти от пластовой воды и попутного газа. При этом в процессе сепарации необходимо измерять и регистрировать такие параметры как давление, уровень и температуру жидкости во избежание возникновения аварийной ситуации. Для этого используются датчики устанавливаемые по месту и передающие информацию на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

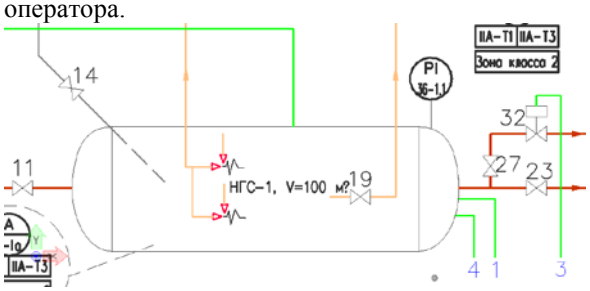


Рис. 4. Функциональная схема автоматизации НГС

Для удобства конец зеленой линии указывает объект к которому относится датчик. Порядковый номер на другом конце линии указывает соответствующий датчик (рис. 5). Номера 1,2,4 означают измерение давления, уровня жидкости и температуру жидкости в НГС соответственно.

Номер 3 означает управление и сигнализацию состояния задвижки 32 на АРМ оператора.

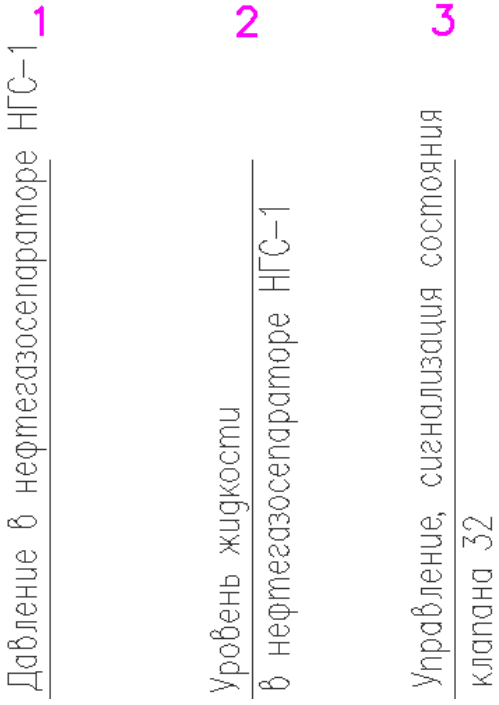


Рис. 5. Порядковые номера датчиков

Отделенная от нефти пластовая вода попадает в дренажную емкость через клапан 14. Серым цветом показан канал движения воды. Полученный газ далее поступает в газовый сепаратор через клапан 19. При превышении допустимого значения давления срабатывает предохранительный клапан сепаратора (рис. 6), который отправляет необходимое количество газа в факельный коллектор.

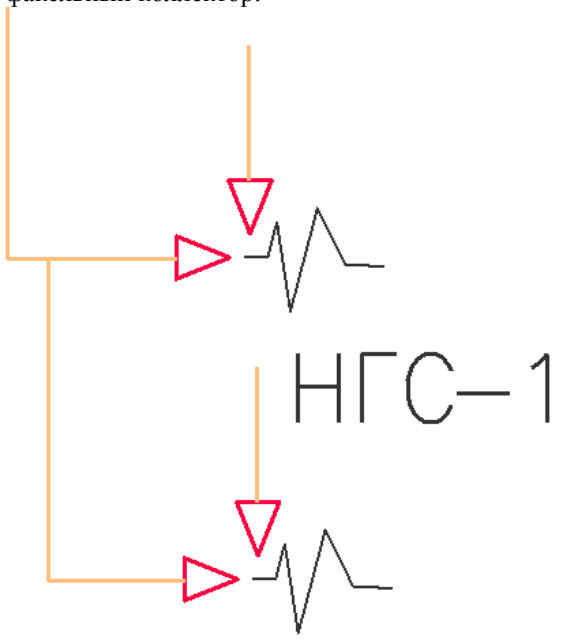


Рис. 6. Предохранительный клапан НГС

Нефть на выходе сепаратора через трубопровод (показан коричневым цветом) поступает на вторую ступень сепарации.

Использование пакета программных решений компании Bentley Systems, специализированных для промышленного вида деятельности, позволяет решать задачу проектирования схем автоматизации нефтегазосепараторов, гарантирует корректное управление данными на всех стадиях рабочего процесса, исключается повторный ввод информации и неправильное ее использование, а также улучшается ее качество. Новый подход к управлению и проверке этой информации позволяет исключить ненужную документацию, уменьшить сроки выполнения проекта, ускорить передачу данных эксплуатирующей организации и улучшить техническую эксплуатацию и обслуживание объекта.

Список литературы

1. А.Р. Хафизов, Н.В. Пестрецов, В.В. Чеботарев. Сбор и подготовка нефти и газа. Технология и оборудование.. — 2002. — 475 с.

2. А.Н. Божко, Д.М. Жук, В.Б. Маничев. Основы проектирования в САПР Microstation V8i. — Bentley Institute Press. — 848 с.

3. Справочник по оборудованию для комплексной подготовки нефти. — Премиум Инжиниринг, 2011. — С. 776.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИИ

Хлебникова Е.С., Беккер А.В.
Научный руководитель: Ивашкина Е.Н., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
e-mail: elena.khle@gmail.com

Одной из основных целей математического моделирования технологических систем является прогнозирование как на этапе их проектирования, так и эксплуатации основных характеристик и особенностей функционирования в реальных условиях промышленного производства.

Ранее на кафедре химической технологии топлива и химической кибернетики на основании данных, полученных на российском нефтехимическом предприятии, была разработана математическая модель процесса алкилирования бензола этиленом в присутствии катализаторного комплекса $AlCl_3$. В результате данная модель позволяет проводить численные исследования промышленной технологии [1].

Изучение гидродинамики таких процессов, а именно стадии смешения реагентов, невозможно без применения современных методов вычислительной гидродинамики.

Целью данной работы являлось численное исследование процесса алкилирования бензола этиленом и оценка целесообразности реконструкции смесительного оборудования реакторного блока установки получения этилбензола с использованием методов вычислительной гидродинамики.

Для оценки эффективности работы новой камеры смешения было выполнено моделирование данного смесителя с использованием программных комплексов *Abaqus* и *Flow Vision*.

С помощью программного продукта *Abaqus 6.6* была создана геометрическая модель смесительных элементов (рис. 1).

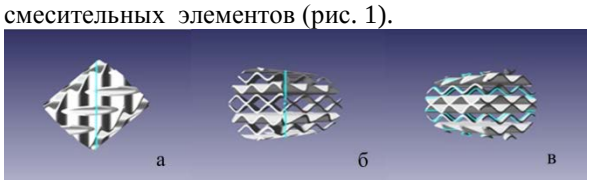


Рис. 1. Геометрические модели смесительных элементов

В дальнейшем была создана модель смесительного устройства, в которую монтируются данные элементы (рис. 2).

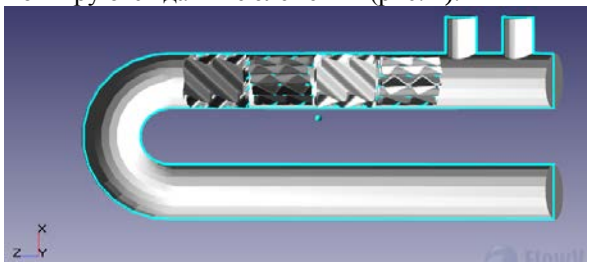


Рис. 2. Модель смесителя в продольном сечении

С использованием выбранного программного обеспечения применение методов вычислительной гидродинамики к исследованию процесса смешения реагентов подразумевало последовательное выполнение следующих этапов:

1. Формирование геометрической модели, которая в дальнейшем дискретизировалась, задание необходимых физических условий, начальных и граничных условия решения дифференциальных уравнений.
2. С использованием программного продукта *Flow Vision* выполнения численных расчетов основных уравнений динамики жидкости и газа, с точки зрения определения базовых физических параметров (скорость, давление, плотность, температура, энтальпия и т. д.), запись результатов решения в память.
3. Анализ результатов решения в виде графиков, таблиц, а также контурных/векторных схем, привязанных к исходной геометрии.

Задание физической модели начиналось с задания физико-химических свойств смешиваемых веществ, в частности этилена, бензола и катализаторного комплекса (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства сырьевых потоков

Свойство	Бензол	Каткомплекс	Этилен
Молярная масса, кг/моль	0,0781	0,4095	0,024
Плотность, кг/м^3	878	1050	1,178
Вязкость, кг/(м·сек)	0,0006	0,001	$1{,}04\cdot10^{-5}$
Массовый расход, кг/сек	3,61	2,23	0,36
Массовая скорость, кг/(м^2·сек)	766,87	444,4	21,09

Модель движения жидкость/газ выбиралась на основе допущения о том, что жидкости и газы подчиняются закону трения Ньютона [2]:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial n}, \qquad (1)$$

где μ – динамическая вязкость, Па·с; v – скорость жидкости, м/с; n – направление, перпендикулярное границе частицы жидкости, в точке которой определяется касательное напряжение.

В выборе модели массопереноса учитывались химические реакции, сопровождающие процесс перемешивания (модель «Перемешивание + Химия»).

Дифференциальные уравнения аппроксимировались на расчётной сетке в предположении, что каждая ячейка представляет собой конечный объём, в котором скорости изменения физических величин сбалансированы потоками этих величин через грани ячейки [3].

В результате во *Flow Vision* была сгенерирована расчетная сетка из 117616 ячеек (рис. 3).

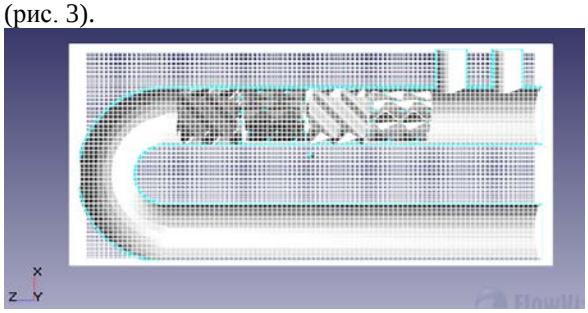


Рис. 3. Генерация расчетной сетки

Сходимость по сетке является оценкой точности получаемого решения, когда экспериментальные данные получить невозможно или они недостоверны. Решение основано на проведении серии расчетов одной и той же задачи с различными расчетными сетками.

В качестве исследуемых параметров были выбраны массовые доли поступающих в смеситель веществ на выходе из него.

Для трех различных сеток были получены результаты изменения массовых долей катализатора, бензола и этилена на выходе из смесителя по шагам.

В начальных условиях массовая доля катализатора в смесителе была принята равной 1, т.е. катализатор заполнял все внутреннее пространство смесителя перед началом расчета. По этой причине массовая доля катализатора на выходе оказалась максимальна на протяжении первых шести шагов, затем, в течение трех шагов резкое уменьшение концентрации и выход на стационарный режим.

При проведении расчетов возникла необходимость определения целесообразности использования одного из патрубков для ввода бензола, а второго – для ввода катализаторного комплекса. Поэтому расчет проводился для двух вариантов:

1. Ввод катализатора в первый патрубок, бензола – во второй.
2. Ввод бензола в первый патрубок (левый), катализатора – во второй (правый);

Результаты решения представлены в форме цветовых схем, цветовая шкала на рисунке отражает численное значение массовой/мольной доли и соответствующий цвет.

Как видно из рис. 4, эффективное перемешивание потоков наблюдается уже после второго смесительного элемента, мольная доля бензола на выходе из смесительного устройства находится на уровне 0,7–0,8.

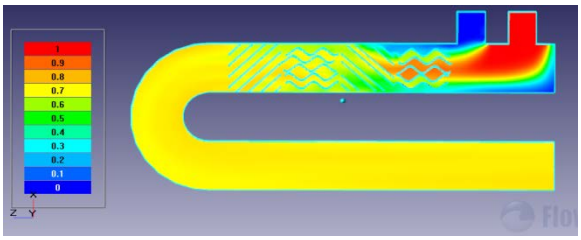


Рис. 4. Мольная доля бензола в продольном сечении устройства (первый вариант ввода)

Изменение мольных долей бензола в продольном сечении устройства для второго варианта ввода представлено на рис.5.

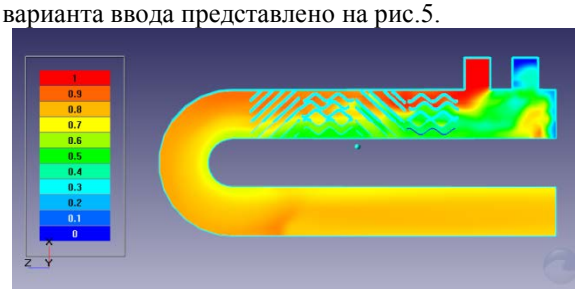


Рис. 5. Мольная доля бензола в продольном сечении устройства (второй вариант ввода)

Мольная доля катализатора в сечении смесителя составила 0,06–0,08, что оказалась ниже, чем в первом варианте ввода.

Выполненные численные исследования показали, что мольная доля катализатора в области смесительных элементов камеры при этом составит 0,06–0,08 (в случае ввода катализатора в первый патрубок, бензола – во второй – 0,1–0,15). Такой результат обуславливается физическими свойствами жидкостей, а также большим массовым расходом бензола относительно расхода катализаторного комплекса.

Проведение дальнейших численных исследований позволит определить оптимальные технологические параметры работы смесительного и реакторного оборудования (расход бензола, этилена и катализаторного комплекса), обеспечивающие эффективное протекание процесса алкилирования при требуемом выходе целевого продукта.

Список литературы:

1. Долганова И.О., Белинская Н.С., Ивашкина Е.Н., Мартемьянова Е.В., Ткачев В.В. Повышение эффективности технологии получения этилбензола с использованием метода математического моделирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (часть 3). – С. 595-600.
2. Чижиумов С. Д. Основы гидродинамики: Учебное пособие / С. Д. Чижиумов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2007.
3. Моделирование трехмерных стационарных и нестационарных течений жидкости и газа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.flowvision.ru/

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНОВАНИЯ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК КАЛИБРОВОЧНОГО ШАБЛОНА

Чемезов В.О.
Научный руководитель: Панин С.В. д.т.н., доцент.
Институт физики прочности и материаловедения (ТНЦ СО РАН),
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 4
E-mail: vpointc@rambler.ru

Введение.

Множество задач машинного зрения зависит от точности обнаружения пересечений клеток шахматной доски (узловых точек), так как данные пересечения обычно применяются для калибровки камер, используемых в качестве основного источника информации. Известные на данный момент методы либо требуют вмешательства оператора, либо имеют недостаточную точность определения узловых точек. Вмешательство оператора неприемлемо для автоматизированных систем ввиду низкой скорости его действий, а неверно определенные точки могут привести к некорректной обработке полученной информации.

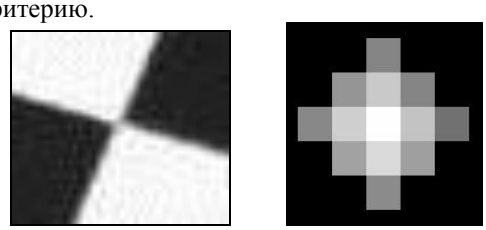
Применение узловых точек шахматной доски в качестве реперных точек в задачах трехмерной реконструкции требует достоверной информации об их расположении. Для таких задач процесс извлечения харакктеристических точек должен иметь высокие скорость и степень автоматизации.

В работе представлен устойчивый метод фильтрации, на примере дополнения ChESS (Chess-board Extraction by Subtraction and Summation) алгоритма [1]. Данный метод фильтрации повышает помехоустойчивость основного алгоритма и не влияет на его производительность.

Алгоритм фильтрации.

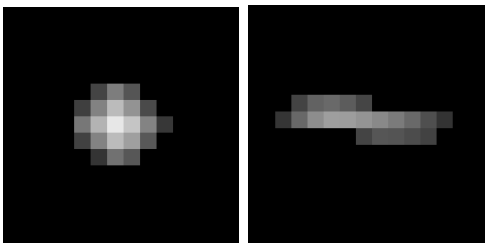
Существует множество алгоритмов предназначенных для фильтрации результатов имеющих явно выраженные особенности. Но они оценивают только поверхностные свойства представленной информации, например фильтры, отсеивающие значения по заданному порогу: выделение максимумов или минимумов, принадлежность интервалу значений.

Предлагаемый алгоритм основан на визуальном и математическом анализе результатов работы ChESS алгоритма (рис 1). Из рисунка можно увидеть, что все узловые точки имеют определенную структуру и четко локализованы, но простые алгоритмы фильтрации с высокой вероятностью захватывают также точки принадлежащие объединениям, отличающимся по своей структуре от необходимых точек. Так происходит ввиду погрешностей самого алгоритма выделения особенностей. При более глубоком изучении локально выделенных особенностей, невозможно не заметить их повторяющуюся структуру. С одной стороны все области, содержащие узловые точки, имеют выраженный максимум и, отдаляясь от центра масс, имеют значения отклика (результат работы ChESS алгоритма) убывающие по нормальному закону распределения с близкими по значению коэффициентами во всех направлениях, назовем это круговым нормальным распределением (рис 2.a). С другой стороны области, не содержащие таких точек, могут иметь распределение по другим законам или нормальное распределение, но с различными коэффициентами в разных направлениях, назовем это эллиптическим нормальным распределением (рис 2.b). Таким образом, задача сводится к расчету данных коэффициентов и отсеиванию их по подходящему критерию.



a b

Рис. 1. Вид локальной области вблизи узловой точки: a) на исходном изображении; b) после применения ChESS



a b

Рис. 2. Распределение в локальной области: a) содержащей узел ШД; b) не содержащей узел ШД

Применение статистических показателей.

Для определения вида распределения необходимо знать его следующие статистические показатели: математическое ожидание, дисперсию и симметричность относительно математического ожидания.

Идея расчета статистических показателей для распределения основана на переходе от области координат с соответствующими им значениями к случайным величинам, где координата выступает в роли значения случайной величины, а значение по этой координате является вероятностью его появления. После такого перехода коэффициенты

распределения легко считаются с помощь вычисления моментов случайных величин.

Для расчета потребуются 3 первых начальных момента и 3 первых центральных момента полученной случайной величины X, определенной в области рассматриваемой узловой точки:

k-м начальным моментом случайной величины X, где $k \in [1;3]$, называется величина $v_k = \mathrm{E}[x^k]$, где $\mathrm{E}[x] = \sum_x x\, p(x)$ – математическое ожидание дискретной случайной величины;

k-м центральным моментом называется величина $v_k = \mathrm{E}[|x - \mathrm{E}[x]|^k]$ [2].

Таким образом, рассчитав 2-ой центральный момент, получим дисперсию требуемого распределения, и, рассчитав 3-ий центральный момент, получим коэффициент асимметрии требуемого распределения.

Так как результатом работы ChESS алгоритма является область изображения (выделенная как содержащая узловую точку), то расчет усложняется присутствием двумерной случайной величины (координаты по x и y). То для упрощения расчетов рассмотрим отдельно предложенное преобразование в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Результат расчета представлен на рисунке 3.

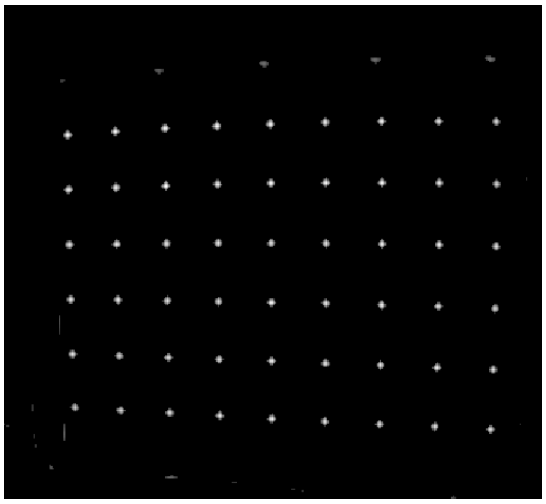


Рис. 3. Рассчитанные коэффициенты, представленные в виде яркостей пикселов

Критерий отсеивания.

Для получения конечного результата (выделения узловых точек на всем изображении) осталось только выбрать точки, имеющие подходящие коэффициенты. Таким образом, необходимо в окрестности предполагаемой точки выбрать такую точку, которая имеет ближайшие к нулю горизонтальный и вертикальный коэффициенты асимметрии, а отношение вертикальной и горизонтальной дисперсий близко к единице. В результате получим отобранные точки с минимальной вероятностью появления точек, не принадлежащих шахматной доске (рис 4).

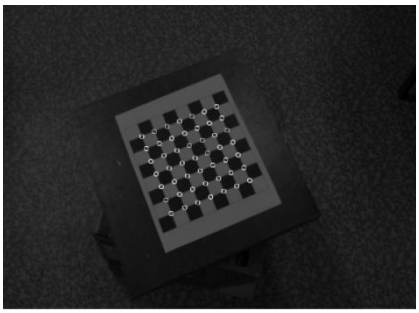


Рис. 4. Отобранные точки

Заключение.

Предложенный алгоритм фильтрации может быть применен не только для обработки результатов работы алгоритмов аналогичных ChESS, но и для решения множества других задач связанных с автоматической обработкой изображений, например поиск углов или оценка цветовых переходов.

Список литературы

1. Пер. ст. S. Bennett, J. Lasenby, ChESS – Quick and Robust Detection of Chess-board Features // Cornell University Library http://arxiv.org/abs/1301.5491.

2. Г. Крамер Математические методы статистики, изд. «МИР» - 1975. С. 648

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ БПФ НА МНОГОЯДЕРНОМ ПРОЦЕССОРЕ

Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.
Научный руководитель: Аврамчук В.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: 8xandr@gmail.ru

Спектральный анализ сигналов находит широкое применение в различных отраслях науки и техники: экономике, геологии, биологии, акустике, физике и многих других. При необходимости обработки больших массивов данных или работе в режиме, близком к режиму реального времени, как правило, используются алгоритмы быстрого преобразования Фурье (БПФ)[1].

В настоящее время существует множество вариантов реализации алгоритмов БПФ. Среди них можно выделить алгоритм Кули-Тьюки, который является наиболее простым в реализации способом вычисления БПФ [2]. В этом алгоритме минимизация вычислительных операций достигается с помощью разбиения исходной анализируемой последовательности на две более коротких (рис. 1), что сокращает количество операций в два раза [3]. Разбиение необходимо продолжать до тех пор, пока количество отчётов не станет равным 2.

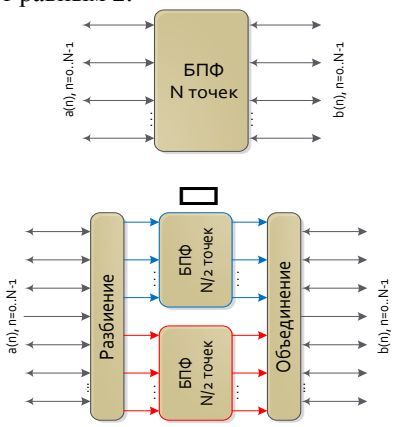


Рис. 1. Замена N-точного БПФ двумя N/2-точными БПФ

Первоначального повышения эффективности при использовании алгоритма с прореживанием по времени и бит-реверсивным порядком входной последовательности можно добиться оптимизацией операции «Бабочка» в операциях разбиения и объединения последовательностей как показано на рисунке 2[4]. В настоящей работе представлены результаты вычислений БПФ с использованием алгоритмических оптимизаций.

В качестве среды разработки программного обеспечения использована Microsoft Visual Studio 2012 Proffessional и кроссплатформенная библиотека Intel TBB.

Для реализации параллельного вычисления БПФ использован метод обхода рекурсии в ширину. Основное преимущество такого подхода перед предыдущими реализациями БПФ [5,6] очевидно и заключается в отсутствии необходимости проводить предварительный тест с целью определения оптимальных значений степеней детализации (grainsize) для различных выборок перед массивными математическими вычислениями. Вычисление БПФ представлено в шаблоне библиотеки Intel TBB как логическая задача класса tbb::task, которая в свою очередь порождает другие вычислительные логические задачи в момент разбиения исходной анализируемой последовательности. После объединения последовательностей, соответственно созданные задачи уничтожаются.

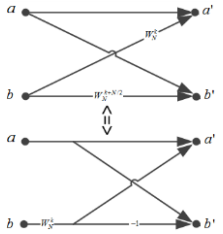


Рис. 2. Оптимизация вычисления операции «Бабочка»

Экспериментальные исследования проведены на модельных примерах с размером выборки 8–131072 отсчётов. Массив входных данных состоял преимущественно из комплексных чисел. Экспериментальные исследования проведены на трех процессорах фирмы Intel: Core 2 Quad 6700, Xeon® 5160, Core i5-750 и на двух процессорах фирмы AMD: A10-4600M и FX-9590.

В таблице 1, в качестве примера, приведены временные результаты вычисления БПФ на ЦП Core i5-750.

Сравнение реализаций БПФ с адаптивным вычислением grainsize и обходом рекурсии в ширину на указанных выше процессорах проведено по следующим параметрам [7] $S_p = \frac{T_p}{T_1}$, $E_p = \frac{S_p}{p} \cdot 100\%$, где S_p – ускорение, E_p – эффективность, T_p и T_1 – время выполнения параллельного и последовательных кодов, p – количество вычислительных ядер.

Зависимости ускорений от размера выборки для двух алгоритмов приведены на рисунках 3 и 4.

БПФ1 – вычисление БПФ с адаптивным подсчётом степени детализации; БПФ2 – вычисление БПФ с использованием рекурсивного

алгоритма.

Таблица 1. Результаты вычисления частотно-временной корреляционной функции (1000 преобразований Фурье).

Размер выборки	Время выполнения последовательного алгоритма t_1, мс	Время выполнения параллельного алгоритма t_2, мс	t_1/t_2
8	0,455±0,006	0,453±0,015	1,00
16	1,307±0,018	1,109±0,034	1,18
32	3,365±0,035	2,980±0,135	1,13
64	8,224±0,006	7,580±0,194	1,08
128	18,803±0,174	17,111±0,254	1,10
256	42,233±0,413	40,813±0, 245	1,03
512	93,623±0,699	90,671±0, 729	1,03
1024	207,559±1,198	131,602±0, 429	1,58
2048	450,336±1,409	192,143±1,697	2,34
4096	976,521±1,117	430,608±2,947	2,27
8192	2123,618±1,360	934,029±8,210	2,27
16384	4604,632±2,459	1881,861±11,159	2,45
32768	9909,280±3,261	4070,209±17,380	2,43
65536	21211,475±0,597	8586,603± 224,858	2,47
131072	45517,848±1,110	17588,818±404,469	2,59

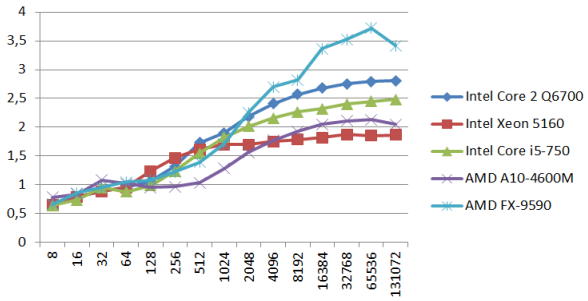


Рис. 3. Ускорение БПФ1

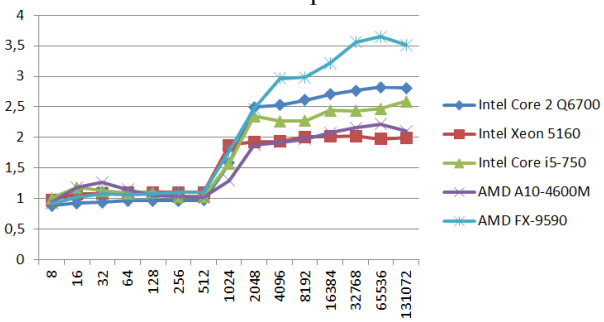


Рис. 4. Ускорение БПФ2

Из рисунков 3 и 4 видно, что в целом второй алгоритм обладает большим ускорением.

Зависимости эффективности использования процессора в процентах от размера выборки для БПФ1 и БПФ2 приведены на рисунках 5 и 6.

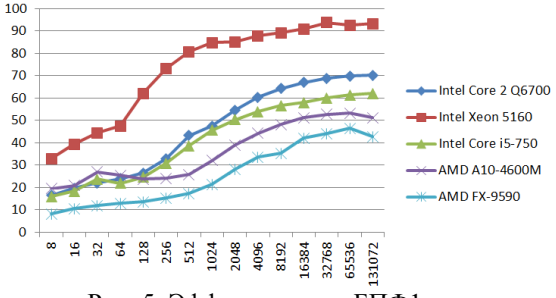


Рис. 5. Эффективность БПФ1

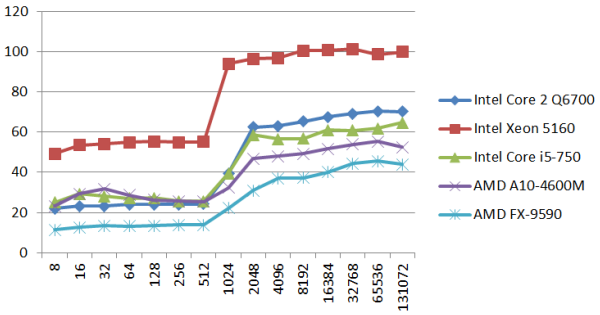


Рис. 6. Эффективность БПФ2

Исходя из полученных результатов (рис. 3-5) рекурсивная реализация в целом обладает более хорошими параметрами качества (ускорение и эффективность). Также отметим, что для этого алгоритма не нужно проводить предварительного теста для определения оптимальных параметров степени детализации. Алгоритм может работать сразу без предварительной подстройки под используемую архитектуру.

Список литературы

1. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2008. – 992 с.

2. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. — М.: Мир, 1989. — 448 с.

3. Теория и практика цифровой обработки сигналов. URL: http://www.dsplib.ru/index.html (Дата обращения: 12.02.2014).

4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигнала. 2-е изд. – М.: Бином-Пресс, 2011. – 656 с.

5. Черемнов А.Г. Вычисление БПФ на параллельной архитектуре с распараллеливанием операции «Бабочка» с использованием адаптивного расчёта степени детализации // «Молодёжь и современные информационные технологии»: Труды XI Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск, 2013. – С. 52-53.

6. Аврамчук В.С., Лунева Е.Е., Черемнов А.Г. Способы повышения эффективности вычисления быстрого преобразования Фурье//Интернет-журнал «Науковедение». 2013 №3 [Электронный ресурс].-М. 2013. – Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/16tvn313.pdf, свободный – Загл. с экрана.

7. Герпель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем. Учебное пособие. – М.: Издательство ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010. – 421 с.

АРХИТЕКТУРНАЯ И КОМПИЛЯТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ БПФ НА МНОГОЯДЕРНОМ ПРОЦЕССОРЕ

Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.
Научный руководитель: Аврамчук В.С., к.т.н., доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
Email: 8xandr@gmail.ru

Эффективность вычисления БПФ зависит не только от мощностей используемого оборудования, но и от качества программного кода.

Хороший прирост производительности можно получить, используя компилятор от компании Intel, а также при помощи низкоуровневого взаимодействия с процессором ЭВМ на уровне инструкций (язык ассемблер).

К скалярным оптимизациям относят свертку констант, протяжку констант и протяжку копий [1].

Под сверткой констант понимается процесс вычисления констант при непосредственно самой компиляции приложения, под протяжкой констант – подстановка величин известных констант в выражение, а под протяжкой копий – процесс замены переменных их значениями [2]. Пример исходного кода протяжки констант и протяжки копий на языке C++ приведён ниже:

```
int x = 14;
int y = 7 - x / 2;
=> ПРОТЯЖКА КОНСТАНТ=>
int x = 14;
int y = 7 – 14 / 2;
y = x;
z = 3 + y
=> ПРОТЯЖКА КОПИИ =>
z = 3 + x
```

Удаление повторных вычислений также является скалярной оптимизацией.

Большинство скалярных, межпроцедурных локальных и глобальных оптимизаций компилятор Intel способен проводить самостоятельно, если, например, использовать при сборке специальный ключ /O3 [3]. Большинство оптимизаций циклических конструкций с целью уменьшения времени выполнения кода компилятор также проводит самостоятельно.

В данной работе использована среда программирования Microsoft Visual Studio 2012 Proffessional и кроссплатформенная библиотека Intel TBB в качестве инструмента параллельной разработки.

Для реализации параллельного вычисления БПФ использован алгоритм Кули-Тьюки [4], который обладает явным рекурсивным свойством. Пример вычисления БПФ для последовательности из 8-ми элементов приведён на рисунке 1[5].

Первая архитектурная оптимизация используемая в этой работе заключается в упаковке входных значений в векторные регистры xmm0-xmm15 при вычислении БПФ двух точек.

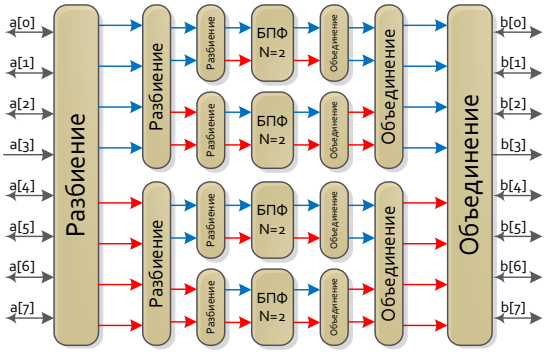


Рис. 1, Разбиение и объединение последовательности при N=8.

БПФ для двух точек вычисляется в соответствии с формулой для ДПФ [6]:

$$b_k = \sum_{i=0}^{N-1}\left(a_i \cdot e^{-j\cdot\frac{2\pi}{N}\cdot i\cdot k}\right),\ k = 0,\ldots,N-1,$$

где N=2 – размер выборки сигнала, a_i - мгновенные значения сигнала, b_k – значения коэффициентов ряда Фурье. Применяя формулу Эйлера [7], можно свести экспоненциальный вид к вычислению значений синуса и косинуса, разбивая комплексное представление на действительные и мнимые части.

Тригонометрические операции над векторными регистрами проводить нельзя, допустимы только операции сложения, вычитания, умножения и деления [1], поэтому далее раскладываем гармонические функции в ряд Тейлора, для того, чтобы можно было со всеми входными значениями оперировать как с одним вектором.

Для проведения упаковки данных в векторные массивы существует две ассемблерные инструкции [1]:

- MOVDQA—Move Aligned Double Quadword;
- MOVDQU—Move Unaligned Double Quadword.

Первая инструкция позволяет упаковать данные за 1 такт процессорного времени, вторая занимает значительно больше времени. Поэтому если заранее выровнять данные в оперативной памяти ЭВМ на 16 бит, то возможно получить дополнительный прирост за счет быстрой упаковки значений в вектора, а затем после вычислительной операции – быстрой распаковкой вектора.

Пример упаковки данных на языке ассемблер выглядит следующим образом:

```
movdqa  XMMWORD PTR [edx+ecx*4], xmm1
```

edx – указатель на начало части массива, ecx – индекс текущего копируемого элемента.

Распаковка производится аналогичным

способом.

Второй архитектурной оптимизацией является ручная загрузка данных из относительно медленной оперативной памяти в кэш до того, как эта память непосредственно потребуется процессору.

Функция предвыборки определена в xmmintrin.h и имеет форму[1]:

```
#include <xmmintrin.h>
enum _mm_hint { _MM_HINT_T0 = 3,    (L1)
                _MM_HINT_T1 = 2,    (L2)
                _MM_HINT_T2 = 1,    (L3)
                _MM_HINT_NTA = 0 };
void _mm_prefetch(void *p, enum _mm_hint h);
```

Эта функция подгружает в кэш кэш-линию, начиная с указанного адреса (размер кэш линии 64 байта). Загрузка последующих 4-х значений в кеш 1-го уровня позволяет повысить производительность.

Третьей проведённой архитектурной оптимизацией является уменьшение числа ветвлений, преимущественно в больших циклах, так как большинство современных ЦП пытаются предсказать результат условия (branch prediction). Однако, в общем случае, предсказание ветвления будет ошибочно в 50% случаев. Такие ошибки предсказания приводят к замедлению выполнения алгоритма [5].

Также отметим, что уменьшение количества локальных переменных позволяет компилятору хранить их в регистрах, а не в стеке. Таким образом, объявление переменных непосредственно в процедуре перед использованием позволяет минимизировать количество переменных [2].

Для определения прироста производительности вычислений БПФ с использованием приведенных выше оптимизации был проведён расчёт частотно-временной корреляционной функции [8] для ряда тестовых примеров. Размер выборки варьировался в пределах 8–131072 отсчётов. Входной массив данных представлен комплексными числами. Экспериментальные исследования проведены на трех процессорах фирмы Intel: Core 2 Quad 6700, Xeon® 5160, Core i5-750 и на двух процессорах фирмы AMD: A10-4600M и FX-9590.

В качестве примера, в таблице, приведены временные результаты вычисления БПФ на ЦП AMD FX-9590.

На рисунке 2 представлено отношение времени выполнения реализации алгоритма БПФ без использования оптимизации (t_1) ко времени выполнения реализации алгоритма БПФ с использованием оптимизаций (t_2).

Из рисунка 2 видно, что наибольший прирост производительности имеют процессоры фирмы Intel.

Таблица. Результаты вычисления частотно-временной корреляционной функции (1000 БПФ).

Размер выборки	Время выполнения без оптимизации t1, с	Время выполнения с оптимизациями t2, с
8	0,0005478±0,0000019	0,0003898±0,0000134
16	0,0014117±0,0000068	0,0009326±0,0000286
32	0,0035165±0,0000056	0,0022450±0,0000640
64	0,0086691±0,0000149	0,0054124±0,0001435
128	0,0204394±0,0000245	0,0122061±0,0003222
256	0,0463984±0,0000893	0,0276179±0,0007573
512	0,1051737±0,0000932	0,0630359±0,0019294
1024	0,1484914±0,0001789	0,0978883±0,0033885
2048	0,2379425±0,0003088	0,1471969±0,0072787
4096	0,4388310±0,0012881	0,3039140±0,0103739
8192	0,9493237±0,0012458	0,6133272±0,0184973
16384	1,9102854±0,0024361	1,2074764±0,0431499
32768	3,7159933±0,0068308	2,4440258±0,0567452
65536	7,7787342±0,0134074	5,0421034±0,1267075
131072	17,7679176±0,087885	10,1004592±0,2078006

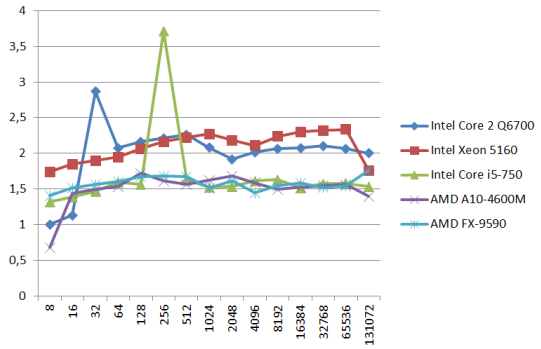


Рис. 2. Зависимость отношения t_1/t_2 от размера выборки

Список литературы

1. Intel® 64 and IA-32 Intel Architecture Software Developer's Manual. URL: http://www.intel.com/content/www/us/en/processors/architectures-software-developer-manuals.html (Дата обращения: 17.02.2014)
2. Agner Fog. An optimization guide for Windows, Linux and Mac platforms. - Copenhagen University College of Engineering - 2012 - 168 p.
3. Intel® 64 and IA-32 Architectures Optimization Reference Manual. URL: http://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/64-ia-32-architectures-optimization-manual.html (Дата обращения: 17.02.2014)
4. Cooley, James W.; Tukey, John W. "An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series". *Math. Comput.* **19**: 297–301
5. Теория и практика цифровой обработки сигналов. URL: http://www.dsplib.ru/index.html (Дата обращения: 17.02.2013)
6. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1989. – 448 с.
7. М. Я. Выгодский. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1977. – 870 с.
8. Лунева Е.Е., Аврамчук В.С. Анализ путей повышения эффективности расчетов частотно-временной корреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322 – № 5. – С. 33–36.

ФАЗОВЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Черных А.А.
Научный руководитель: Тутов И.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: russk1j@mail.ru

Введение

В системах автоматизированного управления, в быту зачастую необходимо использовать регулировку мощности, подаваемую на нагрузку.

Так как в основном нагрузка в виде бытовых приборов и различных автоматизированных систем работает от сети переменного тока, задача несколько усложняется, в сравнении с регулировкой мощности нагрузки, работающей на постоянном напряжении. В случае работы нагрузки на постоянном напряжении применяют широтноимпульсную модуляцию (ШИМ), и изменяя скважность соответственно изменяется и мощность, подаваемая на нагрузку. Если использовать управление с помощью ШИМ для регулировки мощности в сети переменного тока, ключ через который регулируем сигнал (например симистор) будет открываться и пропускать в нагрузку куски синусоиды, имеющие разную мощность. В итоге плавного регулирования не получится, а будет безупорядоченный сигнал на выходе.

В данной работе рассмотрим особенности и способы регулировки фазным методом, а также реализацию одного метода.

Виды фазовых регуляторов мощности и способы

Выделяют два основных вида регуляторов мощности в сети переменного тока, каждый из которых имеет свои плюсы и недостатки.

Многие тиристорные регуляторы мощности используют принцип фазового управления. Принцип работы таких регуляторов основан на изменении момента включения тиристора относительно перехода сетевого напряжения через ноль. На рисунке 1 на верхнем графике показано сетевое напряжение, а на среднем - напряжение на нагрузке, подключенной к регулятору с фазовым управлением.

Из графика видно, что коммутация тиристора происходит при ненулевом значении сетевого напряжения, что вызывает резкое изменение тока в нагрузке, и, как следствие, высокий уровень радиопомех. Такие регуляторы должны иметь в своём составе LC-фильтры.

Существует другой метод регулировки мощности, основанный на принципе подачи на нагрузку нескольких полупериодов сетевого напряжения с последующей паузой (нижний график на рисунке 1). Преимуществом таких регуляторов является то, что моменты коммутации тиристора совпадают с моментами перехода сетевого напряжения через ноль, поэтому уровень радиопомех резко снижен. Применение микроконтроллера позволило использовать для равномерного распределения импульсов алгоритм Брезенхема. Однако у таких регуляторов есть недостаток – пониженная частота коммутации тока в нагрузке в сравнении с фазовым управлением. Как следствие такие регуляторы непригодны для управления лампами накаливания, так как у них относительно низкая частота коммутации нагрузки, что приведет к значительному мерцанию.

Поэтому регулятор мощности, основанный на пропускании части полупериода предпочтительнее, так как будет плавнее изменять мощность, и соответственно его использование более широкое (универсален). Для защиты сети от помех будет использован сетевой LC–фильтр.

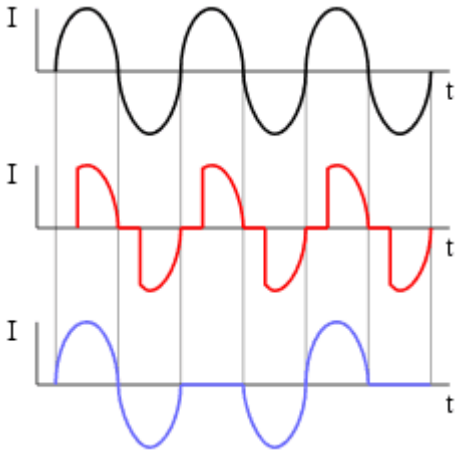


Рис.1. Графики напряжения

Принцип работы устройства

Регулятор предназначен для работы с активной нагрузкой, подключаемой к сети напряжением 220 В.

Для определения начало каждой полуволны (и отрицательной и положительной) подключаем оптопару через диодный мост. Таким образом, на выходе детектора нуля получаем короткие положительные импульсы в момент, когда напряжение в сети проходит через 0.

Сигнал с детектора нуля можно подключаем на вход внешнего прерывания, чтобы определять начало новой полуволны, а дальше открывать симистор на необходимое время. Изменяя

значение задержки таймера двумя кнопками, подключенные к входам микроконтроллера, соответственно изменяем задержку открытия симистора после начала полуволны. Чем больше задержка, тем меньшая часть полуволны будет пропущена на нагрузку и соответственно получаем меньшую мощность.

Зная частоту тактирования микроконтроллера, можем и подсчитать задержку. При частоте сетевого напряжения 50 Гц время полупериода составит 0,01 сек. То есть, если мы откроем симистор на 0,005 сек, мы пропустим половину полуволны и мощность составит 50%. Если откроем симистор без задержки, то пропустим всю полуволну, и выходная мощность составит 100%. Для отпирания симистора на его управляющий электрод подаётся напряжение через оптосимистор относительно условного катода на время, не превышающее остаток времени завершения периода сетевого напряжения, для того, чтобы симистор успел закрыться до перехода через ноль полуволны. На рисунке 4 приведена электрическая принципиальная схема регулятора.

Таймер будет работать (тактироваться) от внутреннего генератора импульсов.

Элементная база и сборка регулятора

Для реализации данного проекта были использованы:

1. Микроконтроллер ATmega8 (Рис.2);
2. Симистор BTA12-600BRG 12A (Рис.3);
3. Диодный мост DF005M 50V 1A;
4. Оптосимистор MOC3022;
5. Оптопара;
6. Сопротивления 220 Ом – 10 кОм;
7. Две кнопки.



Рис.2. AVR микроконтроллер ATmega8



Рис.3. Симистор BTA12-600BRG

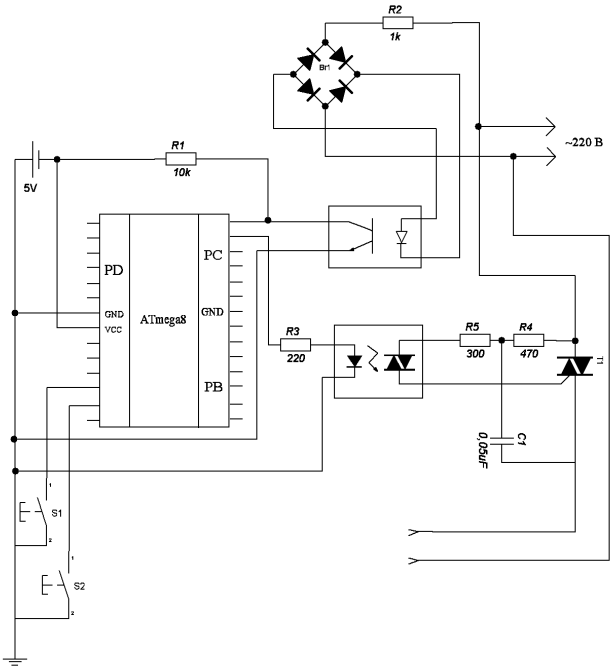


Рис.4. Электрическая принципиальная схема регулятора

Заключение

Регулятор универсален, что дает возможность применить его как в быту, так и в промышленности. Наличие микроконтроллерного управления позволяет быстро перенастроить систему, что обуславливает гибкость устройства. Данный регулятор планируется использовать для поддержания заданной температуры. Будет подключен дисплей, датчик температуры и реализован ПИД регулятор.

Литература

1. Лебедев М.Б. CodeVisionAVR пособие для начинающих. – Москва, издательский дом “Додэка – XXI”, 2008. – 594с.

2. Электронная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org Режим доступа: свободный (дата обращения: 28.01.2014).

3. Сайт: Радиоэлектроника. Микроконтроллеры. Программирование. [Электронный ресурс]. URL: http://mega-avr.ucoz.ru Режим доступа: свободный (дата обращения: 25.01.2014)

4. Datasheet на микроконтроллер ATmega8.

БЛОК КЛИМАТ КОНТРОЛЯ ПОМЕЩЕНИЯ

Черных А.А.
Научный руководитель: Тутов И.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: russk1j@mail.ru

Введение

Для контроля используется микроконтроллер, который собирает данные с датчиков и управляет работой всех агрегатов. Городские квартиры проектировались как инерционная система, где тяга воздуха происходит по законам физики и не требует дополнительных систем вентиляции. Но в жаркую погоду из окна тянет не запахами цветов, а угарными газами и испарениями асфальтового покрытия дорог. Для очистки воздуха кондиционер не подходит, можно для начала использовать канальный вентилятор и пылевой фильтр от мелких частиц, этого вполне хватит для очистки воздуха. А с более качественной очистки необходим блок приточно-вытяжной системы.

Для комфортной температуры при небольших экономических затратах возможна установка основных компонентов по упрощенной схеме: охлаждающее устройство, отопитель (нагревательный элемент) и управляющее устройство. Этого будет достаточно для комфортной работы или отдыха и довольно бюджетный вариант, который могут позволить себе простые семьи. Это важный фактор при выборе системы климат контроля. Варианты, описанные выше очень дорогостоящие. И установка не оправдана, например, в Сибири, когда жаркое время года июнь-июль не большое. Поэтому ставить дорогое оборудование на 2 месяца в год не рационально.

Также, используя данную систему, можно легко установить дополнительную периферию в зависимости от помещения и целей. Получаем гибкость в настройке устройства.

Реализация климат контроля помещения

Для реализации данного проекта была использована упрощенная схема для возможности показать проект на реальном устройстве, при этом, чтобы решение было экономически выгодно.

Использована следующая элементная база:

1. Вольфрамовая нить 1кВт;
2. Вентилятор на ДПТ 2,5Вт;
3. Микроконтроллер AVR Atmega 8515;
4. Потенциометр b5k (5кОм);
5. LCD 1602ZFC (Рис.1);
6. Транзистор КТ817Г;
7. Резистор 5,1 кОм;
8. Релейный модуль 10А (Рис.2);
9. Датчик температуры DS18b20 (Рис.3).

Источник питания 5В. Отдельно для питания нагревательного элемента используем напряжение с сети ~220В.



Рис.1. LCD 1602ZFC

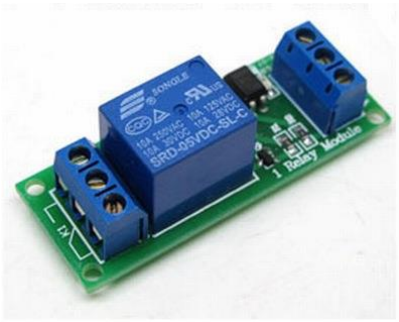


Рис.2. Релейный модуль 10А

Сборка и отладка устройства

Основным элементом устройства, кроме микроконтроллера, является термодатчик (Рис.3).



Рис.3. Датчик температуры DS18b20

DS18B20 – это цифровой термометр с программируемым разрешением, от 9 до 12–bit, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора. DS18B20 обменивается данными по 1-Wire шине и при этом может быть как единственным устройством на линии, так и работать в группе. Все процессы на шине управляются центральным микропроцессором.

DS18B20 состоит из ПЗУ содержащее 64-битный последовательный код, который позволяет общаться с множеством датчиков DS18B20, установленных на одной шине, контроллера MicroLAN, температурного датчика, двух регистров для хранения верхнего и нижнего порогов температуры и регистра конфигурации.

Термометр не содержит внутреннего источника, а использует "паразитное" питание от однопроводной шины. Однако при измерении температуры и записи данных в ЭППЗУ ток потребления микросхемы превышает 1 мА, в то время как максимальный ток, который может обеспечить ведущий шины с помощью нагрузочного резистора 1,5…5 кОм, составляет 3,3…1 мА. Применение внешнего источника питания ускоряет преобразование температуры, поскольку от ведущего шины не требуется ожидания в течение максимально возможного времени преобразования. В этом случае все приборы DS18B20, расположенные на шине, могут выполнять преобразование температуры одновременно и во время обмена данными шины MicroLAN.

После завершения преобразования полученное значение сравнивается с величинами, хранящимися в регистрах TH и TL. Если измеренная температура выходит за установленные пределы, устанавливается сигнальный "флаг" (впрочем, его установка производится после каждого измерения). Выходные температурные данные DS18B20 калиброваны в градусах Цельсия.

Схема подключения датчика к микроконтроллеру показана на рисунке 4.

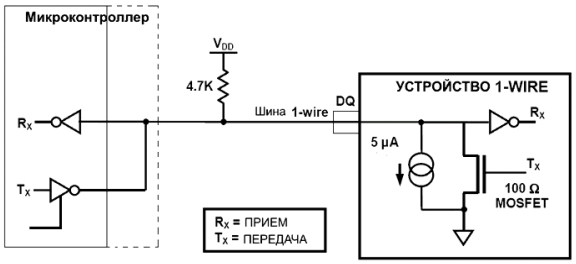


Рис.4. Конфигурация шины

Описание работы устройства

При включении устройства на дисплей выводится информация о подключенных датчиках. В нашем случае один датчик измерения температуры. Показано, что датчик подключен. Затем снимаются с него данные и выводятся на дисплей. После этого происходит сравнение температуры окружающей среды с температурой, которую нужно поддерживать. При необходимости включается либо кондиционер (в виде вентилятора), либо нагревательный элемент (вольфрамовая нить). Соответственно при превышении поддерживаемой температуры включается кондиционер, и наоборот, в случае перехода нижнего температурного порога включается нагревательный элемент. Температуру поддержания задаем программно. При модернизации устройства можно ввести потенциометр и им регулировать температуру, которую нужно поддерживать. Например крайние положения потенциометра задать как 18°C и 30°C, а весь диапазон вращения потенциометра будет соответствовать промежуточным значениям температуры 18-30 градусов.

Принципиальная электрическая схема показана на рисунке 5.

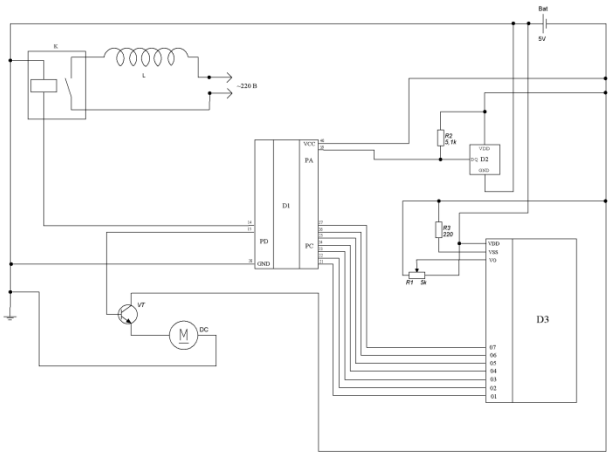


Рис.5. Принципиальная электрическая схема устройства

Заключение

В данной системе в перспективе планируется установить регулятор мощности, основанный на алгоритме Брезенхема для управления нагревательным элементом. Также реализация ПИД регулятора для управления вентилятором и нагревательным элементом для ускорения переходного процесса по регулированию температуры в помещении.

Литература

1. Сайт: CHIPINFO - электронные компоненты и радиодетали для радиолюбителей [Электронный ресурс]. URL: http://www.chipinfo.ru/dsheets/transistors/1817.html Режим доступа: свободный (дата обращения: 10.01.2014)
2. Лебедев М.Б. CodeVisionAVR пособие для начинающих. – Москва, издательский дом “Додэка – XXI”, 2008. – 594с.
3. Электронная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org Режим доступа: свободный (дата обращения: 15.01.2014).
4. Datasheet на микроконтроллер Atmega 8515.
5. Datasheet на термодатчик DS18B20.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Шевнин В.А.
Научные руководители: Гудов А.М., Завозкин С.Ю.
Кемеровский государственный университет, 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6
E-mail:vaaaasyaaaa@gmail.com

Ежедневно в научно-образовательном процессе любого учебного учреждения используются тысячи слабоструктурированных документов – решения, рефераты, отчеты, статьи, тезисы, курсовые и дипломные работы, электронные письма, рабочие и учебные планы и т.д. Электронная обработка таких документов вызывает ряд сложностей, связанных с необходимостью использования уникального подхода извлечения данных для каждого типа документов.

Одним из решений описанной проблемы является обработка метаданных документа и, основываясь на ее результатах, осуществление основных действий с данными. Однако эффективность такого подхода в случае большого числа слабоструктурированных документов может быть достигнута лишь при наличии механизма автоматического извлечения метаданных из содержимого документа, который позволяет снизить затраты на регистрацию в системе новых документов. В случае необходимости определения дополнительных метаданных, механизм автоматического извлечения метаданных и их значений составит значительную конкуренцию ручному или полуавтоматическому способам выделения метаданных.

В частности, для учреждений высшего образования механизм автоматического извлечения метаданных позволит ускорить процессы регистрации и обработки документов:

- в системе, обеспечивающей информационную поддержку проведения приемной компании в ВУЗе (паспортные данные, заявление и т.д.);
- в системе электронного документооборота (письмо, приказ и т.д.);
- в системе информационной поддержки научной деятельности (публикации, грамота за победу в конференции и т.д.);
- в системе информационной поддержки образовательной деятельности (лабораторная работа, сочинение и т.д.);
- в системе информационной поддержки библиотеки (новые литературные поступления и т.д.).

Еще одно преимущество применения механизма автоматического извлечения метаданных – возможность компьютеризированного анализа текста, в том числе и интеллектуального. Рассмотрим типовую ситуацию, когда на электронный почтовый ящик кафедры отправлено письмо, содержащее документы с результатами выполнения самостоятельной работы студента очной или очно-заочной формы обучения. После автоматического извлечение метаданных становится возможной регистрация и обработка каждого документа в соответствующей информационной системе с заданными для данного класса документов регламентом.

Проведенный анализ предметной области показал, что задача автоматического извлечения метаданных из слабоструктурированных документов весьма нетривиальна и для ее решения пока не существует универсального метода хотя бы для большинства известных классов документов. Поэтому чрезвычайно актуальным является разработка общих научно-методологических подходов к решению поставленной проблемы.

Таким образом, основной целью исследования является развитие научно-методологических основ автоматического извлечения метаданных из слабоструктурированных документов, участвующих в научно-образовательном процессе учебного учреждения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ методов классификации слабоструктурированных документов, выбрать наиболее эффективные;
- модифицировать выбранные методы с целью классификации слабоструктурированных документов с учетом их структуры;
- разработать алгоритмы и методики автоматического извлечения метаданных и их значений, соответствующих определенным критериям скорости и точности.
- разработать и исследовать модели информационной системы автоматического извлечения метаданных из слабоструктурированных документов в соответствии с разработанными требованиями;
- реализовать информационную систему автоматического извлечения метаданных из слабоструктурированных документов, провести ее верификацию, тестирование и внедрение в учебно-научный процесс КемГУ.

В рамках данной работы решается первая из поставленных задач – проводится сравнительный обзор методов для классификации слабоструктурированных документов.

Для определения наиболее эффективного метода автоматической классификации слабоструктурированных документов был произведен сравнительный обзор существующих методов:

а) опорные вектора,
б) «наивный» алгоритм Байеса,
в) метод Роккио,
г) алгоритм k-ближайших соседей,
д) модифицированный метод k-ближайших соседей [1],
е) обобщенный метод k-ближайших соседей,
ж) многослойные нейронные сети.

Для измерения эффективности методов использовались характеристики, позволяющие определить наиболее оптимальные методы классификации при решении задачи извлечения метаданных:

1. скорость обучения,
2. возможность классификации на уровне словосочетаний,
3. алгоритмическая сложность,
4. возможность модификации для учета структуры документа,
5. независимость скорости от числа классифицируемых документов,
6. возможность оценки степени близости к классу,
7. скорость классификации,
8. точность классификации.

Представленные характеристики разработаны на основе работы [2]. Для каждой из характеристик определен способ измерения и шкала принимаемых ею значений. При этом учитывался коэффициент значимости: чем важнее характеристика, тем большие величины принимает шкала. Анализ литературы позволил для каждого из рассматриваемых методов оценить характеристики эффективности 1-6 [3]. По результатам оценки сделаны выводы о том, что методы в-ж наиболее подходят для решения задачи.

Оценка методов в-ж по критериям 7-8 потребовала реализации данных методов с дальнейшим обучением и тестированием на соответствующей выборке документов.

Программная реализация методов имеет двухзвенную клиент-серверную архитектуру. Клиентская часть разработана на языке JAVA, в качестве сервера базы данных выступает СУБД Oracle, логика программы реализована в виде хранимых процедур на языке PL/SQL. Обучение и тестирование проводилось на выборке из 300 документов следующих типов: дипломные работы, заявления, курсовые работы, объяснительные, отзывы рецензентов о выпускной квалификационной работе, отзывы на авторефераты диссертаций, отчеты по лабораторным работам, приказы, рабочие программы курсов, распоряжения, рефераты, служебные записки. При этом классификация документов проводилась по ключевым словам – для каждого слова документа находилось значение частотной характеристики TFIDF[2] . В процессе классификации документов необходимо находить расстояния между ними, поэтому была протестирована точность следующих метрик: евклидово расстояние, косинусная мера сходства, хеммингово расстояние.

Результаты тестирования точности показали, что ни один из методов не оказался достаточно эффективным для решения данной задачи. Точность методов можно повысить, если при классификации документов использовать не только ключевые слова, но и структуру документа. Поэтому в настоящее время разрабатываются соответствующие модификации рассмотренных методов.

Реализация метода классификации, обладающего высокой точностью, является основой для достижения основной цели – создания механизма автоматического извлечения метаданных из слабоструктурированных документов. Наличие такого механизма позволит решить такие важные задачи, как автоматическая регистрации документов в режиме реального времени и возможность компьютеризированного анализа текста, в том числе и интеллектуального.

Литература

1. Толчеев В.О. Модифицированный и обобщенный метод ближайшего соседа для классификации библиографически текстовых документов./В.О. Толчеев// Заводская лаборатория, Диагностика материалов. – 2009.- Т.75;№ 7. – С. 63-70.
2. Пескова О.В. Методы автоматической классификации текстовых электронных документов./О.В. Пескова// НТИ. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2006. - № 3. – С. 13-20.
3. Гудов А.М. Автоматическое извлечение метаданных из слабоструктурированных документов, участвующих в научно-образовательном процессе/А.М. Гудов, С.Ю. Завозкин, В.А. Шевнин// Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ-2013): Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (им. А.Ф. Терпугова), 29-30 ноября 2013 г., часть I

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА НА СХОДИМОСТЬ

Шутова Ю.О., Мартынова Ю.А.
Научный руководитель: Мартынова Ю.А.
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: jshutova91@gmail.com

Введение

Алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии, иначе Муравьиный алгоритм применяется для решения задач поиска оптимальных маршрутов на графах. Преимущество алгоритма заключается в его масштабируемости, а также гарантированной сходимости, что позволяет получить оптимальное решение независимо от размерности графа. Единственный минус заключается в том, что скорость сходимости неизвестна.

Отправной точкой в изучении алгоритма послужили эксперименты по изучению поведения реальных муравьев, проводимые Госсом (1989 год) и Денеборгом (1990 год). Однако первым, кто формализовал поведение муравьев и выработал стратегию решения для задачи о кратчайших путях, стал Марко Дориго (Университет Брюсселя, Бельгия). Ему же приписывается авторство алгоритма.

Принципы алгоритма

Алгоритм моделирует поведение муравьиной колонии. Одной из причин, по которой выбор пал именно на этих насекомых, является их способность образовывать коллективы. Именно коллективная система позволяет эффективно решать задачи динамического характера, которые не могли бы быть выполнены отдельными элементами системы без наличия соответствующей координации со стороны. Муравьи же обладают способностью самоорганизации, позволяющей быстро адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и находить оптимальный путь от муравейника до места, где находится еда.

Обмен информацией происходит посредством феромонов, которыми отдельные особи помечают пройденный ими путь. Чем больше феромонов, тем чаще используется тропа, что указывает на оптимальность маршрута с точки зрения его длины.

Если попытаться рассмотреть проблему поиска оптимального маршрута с экономической точки зрения, то феромон можно рассматривать как получаемую прибыль, зависящую от количества потребителей-муравьев, пользующихся предоставляемой услугой. Чем больше потребителей имеет услуга, тем больше прибыль, что указывает на степень налаженности процесса продажи и обслуживания.

Рассмотрим поведение муравьев на конкретном примере (рисунок 1). Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный путь до цели, обойдя препятствие с минимальными потерями. Логично предположить, что изначально муравьи будут обходить препятствие как слева, так и справа с одинаковой вероятностью, однако те представители колонии, которые выберут кратчайший путь преодолеют расстояние от начальной точки до цели и обратно в кратчайшие сроки, а значит, разница по времени между откладкой феромона вернувшимся муравьем и началом движения следующего будет меньше, а концентрация феромона наоборот выше. А поскольку ориентиром при движении для муравьев служит именно феромон, то логично предположить, что именно путь с большей концентрацией феромонов будет выбран остальными членами колонии.

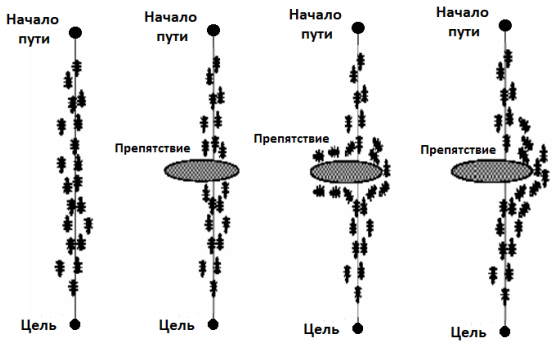


Рис. 1. Поведение муравьев

Любой муравьиный алгоритм можно описать следующей последовательностью действий, выполняющихся пока условия выхода не выполнены:

1. Создание муравьёв. При инициализации алгоритма следует обратить внимание на следующую особенность: муравьи должны помещаться либо все в одну точку, либо все в разные. В момент создания колонии задаётся начальный уровень феромона, характеризующийся неким небольшим положительным числом. Это необходимо для обеспечения ненулевой вероятности перехода в следующую точку на начальном шаге.
2. Поиск решения. Маршрут представляет собой совокупность вершин графа. Вероятность перехода из вершины i в вершину j определяется по следующей формуле:

$$p_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\tau_{ij}^{\alpha} * \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{h \notin tabu_k} \tau_{ij}^{\alpha} * \eta_{ij}^{\beta}} & if\ j \notin tabu_k \\ 0 \end{cases} \qquad (1)$$

τ_{ij} – уровень феромона;
α,β – константные параметры:

$0 \le \alpha \le 5$; $1 \le \beta \le 5$;

$tabu_k$ – означает, что точки, уже посещенные муравьями в расчетах не участвуют;

η_{ij} – величина обратная длине пути между точками i – j.

$$\eta_{ij} = \frac{1}{L_{ij}} \qquad (2)$$

При $\alpha = 0$ имеем жадный алгоритм, т.к. выбор ближайшего города становится наиболее вероятным. Т.е. феромоны не берутся в расчет.

При $\beta = 0$ выбор основан только на величине феромона, длина пути не учитывается.

Ниже представлены оптимальные комбинации параметров:

3. Обновление феромонов. Уровень феромона обновляется в соответствии с приведённой формулой:

$$\tau_{ij}^{new} = p * \tau_{ij}^{old} + \Delta\tau \qquad (3)$$

τ_{ij}^{new} – обновленное значение феромона;

τ_{ij}^{old} – значение феромона, которое необходимо обновить;

p – константа, контролирует скорость испарения феромона: $0.1 \le p \le 0.99$;

$$\Delta\tau = \frac{Q}{L_0} \qquad (4)$$

Q – константа, которая характеризует искусственно добавляемую величину феромона, значение Q зависит от длины пути до точки назначения: чем короче путь, тем больше должно быть значение Q: $10 \le Q \le 10000$;

L_0 – общая длина пройденного пути.

Параметры алгоритма

В таблице 1 представлены оптимальные комбинации параметров, использующихся в алгоритме.

Таблица 1. Оптимальный набор параметров

α parameter	β parameter
0.5	5.0
1.0	1.0
1.0	2.0
1.0	5.0

При плохом подборе параметров возможно возникновение следующих ситуаций (рисунок 2):

1. Большие значения параметра α, при которых муравь заходят в тупик, не находя решений.
2. При малых значениях α-параметра муравьи в состоянии найти путь из начальной точки в конечную, однако такой путь не является оптимальным.
3. В третьем случае возможен поиск оптимального решения.

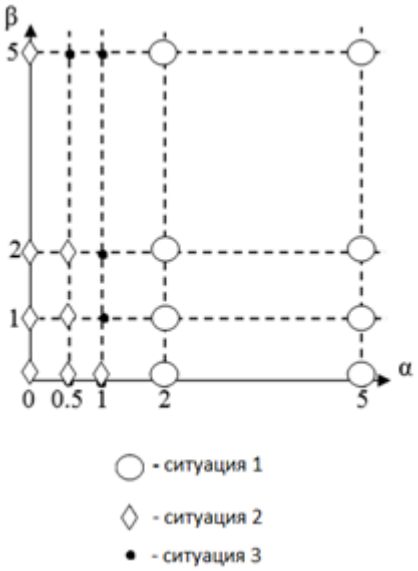


Рис. 2. Комбинации значений параметров

Заключение

Полученные в ходе исследования результаты можно объяснить следующим образом: параметр α позволяет учитывать опыт предыдущих поколений муравьев, в то время как β ориентирован лишь на длину пути. Лишь при должной комбинации значений параметров возможно нахождение оптимального маршрута.

Список литературы

1. M. Dorigo, V. Maniezzo “Ant Colony optimization”. [Online service]. Access mode: http://informatics.indiana.edu/jbollen/I501F13/readings/dorigo99ant.pdf.

2. S. C. Zhan, J. Xu, J. Wu, “The optimal selection of the parameters of the ant colony algorithm”, bulletin of Science and Technology, 19(5): pp.381-386, 2003.

3. H. B. Duan, X. F. Yu, “A novel improved ant colony algorithm with fast global optimization and its simulation”, Information and Control, 33(2): pp. 241-244, 2004.

4. M. Dorigo, M. Birattari, T.Stutzle, “Ant colony optimization – Artificial ants as a computational intelligence Technique”, IEEE Computational intelligence magazine, 2006.

5. M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni “The Ant system: Optimization by a Colony of Cooperating Agents”, IEEE Transactions on systems, Man and Cybernetic-Part B, 26(1): pp. 1-13, 1996.

6. A.Colorni, M.Dorigo, V.Maniezzo, M.Trubian, "Ant system for Job–Shop Scheduling," JORBEL - Belgian Journal of Operations Research, Statistics and Computer Science, 34, 1, 39–53.

ВОССТАНОВЛЕНИЕ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ФИЛЬТРОМ

Янковский И.Г
Научный руководитель: Тутов И.А., ассистент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: igy@tpu.com

В данной статье рассматриваются способы решения задачи восстановления сигнала, получаемого с аналоговых датчиков, через аналогово-цифровой преобразователь, при помощи внедрения в систему цифрового фильтра помех.

Вид квантованного сигнала с датчика, после АЦП имеет резкий фронт нарастания и спада и ярко выраженный скачкообразный характер (см. рисунок 1).

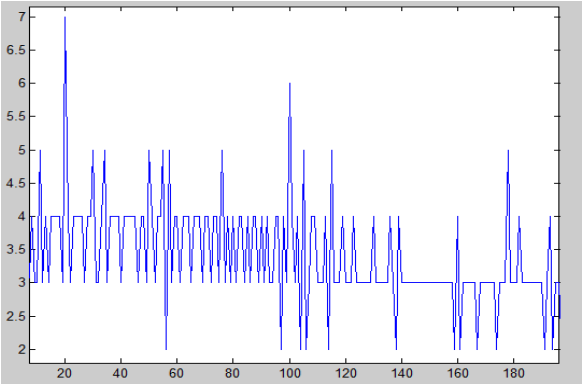


Рис. 1. Квантованный сигнал

При ПИД-регулировании такой сигнал оказывает негативное влияние на характер переходного процесса. Это влияние особенно ухудшает сигнал дифференциальной составляющей регулятора и вызывает столь же скачкообразное воздействие на объект управления, дополнительно уменьшая ресурс исполнительного механизма.

В качестве примера рассматривается установка для получения пластиковой нити. Температура пластика стабилизируется при помощи ПИД регулятора и должна поддерживаться с высокой точностью. Превышение температуры плавления на один градус (при температуре плавления 230°C) приводит к разложению пластика и делает его непригодным. Аналоговый сигнал с датчика температуры преобразовывается в цифровой. АЦП имеет недостаточную разрядность, вдобавок в цепь измерения наводятся промышленные помехи, в результате цифровой сигнал на входе регулятора имеет форму изображенную на рис 1, которые отрицательно влияют на качества регулирования.

Таким образом, сигнал управления, приходящий на исполнительный механизм, имеет скачкообразный нестабильный характер. Такой режим работы приводит к износу оборудования и к сокращению времени его эксплуатации.

Данную проблему зашумленного сигнала можно решить фильтрацией сигнала. Использование аналоговых фильтров несёт конструктивные изменения, поэтому использование (программной) алгоритмической фильтрации для модернизации регулятора более целесообразно.

Наиболее популярными алгоритмами цифровой фильтрации являются алгоритмы скользящего среднего (Simple Moving Average)[1] и фильтр Калмана. С точки зрения снижения вычислительной нагрузки на процессор регулятора оправданно использование упрощённого алгоритма фильтрации Калмана[2].

Для решения задачи восстановления сигнала решено применить алгоритм фильтрации сигнала с датчика, реализуемый микроконтроллером Atmega 16.

Алгоритм скользящего среднего (Simple Moving Average)

Рассмотрим алгоритм скользящего среднего. Идея заключается в том, каждому элементу массива ставится в соответствие усреднённое значение суммы элементов в количестве *(размер массива-1)/2* справа и слева от рассматриваемого элемента включая сам элемент. Более наглядна идея алгоритма отражена на рисунке 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Шаг	Размер окна	Формлуа подсчёта	Результат
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	1	1	(12)/1	12,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	2	3	(12+5+4)/3	7,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	3	5	(12+5+4+9+7)/5	7,4
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	4	5	(5+4+9+7+13)/5	7,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	5	5	(4+9+7+13+5)/5	7,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	6	5	(9+7+13+5+6)/5	8,0
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	7	5	(7+13+5+6+11)/5	8,4
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	8	5	(13+5+6+11+8)/5	8,6
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	9	3	(6+11+8)/3	8,3
12	5	4	9	7	13	5	6	11	8	10	1	(8)/1	8,0

Рис. 3. Идея алгоритма скользящего среднего на примере массива из десяти значений и размером окна усреднения 5.

Пример работы алгоритма скользящего среднего отражён на рисунке 4, где синяя кривая – зашумлённый сигнал, красный – действительный сигнал, зелёный – зашумлённый сигнал после аналогово-цифрового преобразования, розовый – восстановленный сигнал при помощи алгоритма скользящего среднего с размером окна усреднения 200.

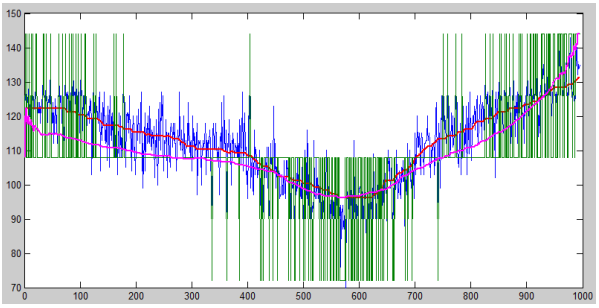


Рис. 4. Результат работы алгоритма скользящего среднего при размере окна усреднения 200

При увеличении размера окна усреднения качество восстановления сигнала повышается.

Алгоритм упрощённого фильтра Калмана

За основу взята идея упрощённого фильтра Калмана, расчётная формула приведена ниже

$$x_{k+1}^{opt} = (1-K)\cdot x_k^{opt} + K\cdot z_{k+1} \qquad (1)$$

где,

x_k^{opt} – *отфильтрованное значение датчика на предыдущем шаге;*

z_{k+1} – *текущее показание датчика;*

K – *весовой коэффициент Калмана;*

x_{k+1}^{opt} – *текущее значение параметра;*

Предполагается, что на k-ом шаге имеется значение x_k^{opt}, которое наилучшим образом приближает истинное значение параметра, а так же показания датчика. В зависимости от точности датчика, ему придаётся вес K, тогда на показания с предыдущих итераций приходится вес $(1-K)$. Таким образом, чтобы найти наилучшее приближение к истинному значению параметра приходящего с датчика, необходимо подобрать коэффициент K. На рисунке 5 представлены сигналы: красный – сигнал без шума, синий с шумами, зелёный – сигнал с шумом после аналогово-цифрового преобразования, розовый – сигнал восстановленный по алгоритму упрощённого фильтра Калмана с весовым коэффициентом *0,05*.

Стоит отметить, что при уменьшении коэффициента Калмана, точность восстановления сигнала повышается, однако, вместе с этим увеличивается задержка реакции восстановленного сигнала по отношению к оригинальному. Поскольку, приоритет критерия точности восстановления формы выше, чем отставание восстановленного сигнала от оригинала, то для определения критерия использовались графики производных восстановленных сигналов. Восстановленный сигнал, чей график производной имеет наименьшую амплитуду скачков, выбирается наиболее подходящим.

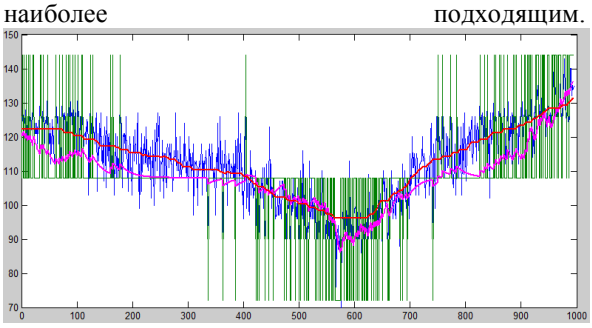


Рис. 5. Результат работы алгоритма упрощённого фильтра Калмана с весовым коэффициентом *0,05*

Сравнение алгоритмов восстановления сигналов

На рисунке 6 представлен сравнительный график рассмотренных в данной статье алгоритмов восстановление сигналов с датчика. Красный – исходный аналоговый сигнал с датчика, розовый – сигнал, восстановленный с применением алгоритма упрощённого фильтра Калмана с коэффициентом *K=0,05* , чёрный - алгоритм скользящего среднего с окном усреднения *200*.

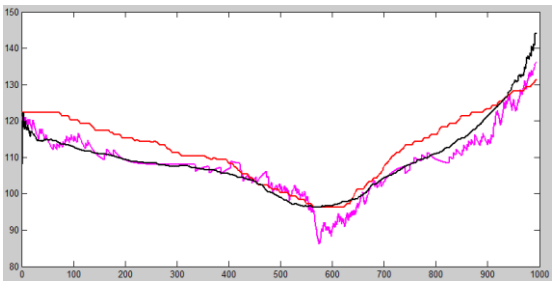


Рис. 6. Сравнительный график работы алгоритмов скользящего среднего и упрощённого фильтра Калмана, при восстановлении зашумлённого сигнала, прошедшего аналогово-цифровое преобразование

Как видно из графиков рисунка 6, алгоритм скользящего среднего более точно восстанавливает исходный сигнал, в отличие от алгоритма упрощённого фильтра Калмана, следовательно он предпочтительнее для решения поставленной задачи восстановления. Анализ был проведён без учёта вычислительной нагрузки.

Список литературы

1. Грешилов А. А., Стакун В. А., Стакун А. А. Математические методы построения прогнозов. — М.: Радио и связь, 1997.- 112 с. — ISBN 5-256-01352-1.

2.Браммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси/ Пер. с нем. – М.:Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1982. -200 с.

NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR THE CASE OF THE LEXICAL TEXT ADAPTATION AND GENERATING GRAMMAR EXERCISES

Baglaeva E.A.
Scientific supervisor: Tsapko S.G., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Language advisor: Shepetovsky D.V., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, Russia, 634050
E-mail: eab14@tpu.ru

Natural language processing (NLP) is a field of computer science, artificial intelligence, and linguistics concerned with the interactions between computers and human (natural) languages.

As such, NLP is related to the area of human–computer interaction. Many challenges in NLP involve natural language understanding, that is, enabling computers to derive meaning from human or natural language input, and others involve natural language generation. [1]

Lexical adaptation of news articles and automated generation of grammar exercises, based on these and other texts, will give us possibility to create an unlimited number of new individual tasks and tests for second language learners.

While bringing forth this problem, we construct a model of the solution.

During the course of construction of the model we divide knowledge about language into

1) General (basic rules of grammar) ;
2) Individual (some exceptions to the rule of lexemes).

Basic grammar rules allow us to formulate a parsing algorithm, applicable to a particular grammar (for example, English).

According to the Chomsky hierarchy of formal grammars [2], English language has a lot in common with context-free grammars, which simplifies its handling by a particular linear algorithm. However, the question whether the English is context-free grammar is still not resolved.

While constructing the model a question arises whether the interpretation obtained by the system conveys the whole morphological, syntactic and semantic meaning, and whether such interpretation is necessary.

In most cases such detailed interpretation of words is not necessary.

Interpretation is necessary in specific cases:

1) to distinguish the word A from word B;
2) to implement implicative and synonymous substitution;
3) to generate abstracts;
4) to search for knowledge in a semantic network;
5) to provide question-answer communication with the system.

Requirements for word interpretation:

1) Determine the lexical meaning through simple values;
2) Lexical meanings B and C should be sufficient to determine the word A;
3) Uniform interpretation of A and B, despite the difference in the external forms of A and B. [3]

In the interpretation, first, typical situation with a particular word is analyzed, and then a deeper analysis starts with the words associated with the particular word lexically, semantically or morphologically.

For the case of the text adaptation in question, implementation and use of a slightly modified dictionary of synonyms and synonymous expressions is sufficient for interpretation words.

Construction of the model requires classification of the knowledge on the basis of other criteria:

1) Active (the system uses in its work);
2) Passive (information stored in the system but not used by it, including the self-referential information that the system gives to its user).

We define meta-knowledge as information and method of its organization.

Static meta-knowledge is used by the system, but never modified.

Dynamic meta-knowledge may be changed while the system is functioning.

A linguistic processor converts data from one logical level to another.

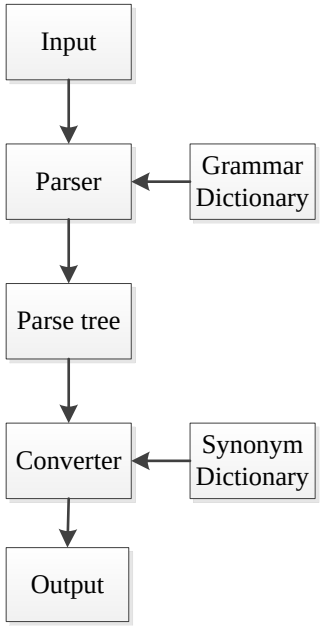


Fig. 1. Structure of the linguistic processor

When constructing linguistic processor it is necessary to determine:

1) Formal languages employed to represent linguistic levels;
2) The formal concept of sentence structure for these levels;
3) The rules for cross-converting arrays of structures;
4) Morphological, collocational and semantic dictionaries.

The linguistic processor can solve the problem of automatic database replenishment directly from the texts.

Principles of the linguistic processor construction:

1) Linguistic knowledge is independent from the language;
2) Grammar dictionaries are independent of algorithms;
3) Linguistic knowledge is independent from a subject area;
4) Linguistic knowledge is independent from the nature of the problem being solved. [4]

Parsing or **syntactic analysis** is the process of analyzing a string of symbols, either in natural language or in computer languages, according to the rules of a formal grammar.

A **parser** is a software component that takes input data (frequently text) and builds a data structure – often some kind of parse tree, abstract syntax tree or other hierarchical structure – giving a structural representation of the input, checking for correct syntax in the process. [5]

There are two parsing strategies:

1) To identify the appropriate case frame and activate its case-markers and filter-patterns to deal with the rest of the input utterance (case-oriented strategy);

2) To recognize individual constituent case filter and markers, including the verb, noun phrases in the role of case filters, and prepositions in the role of case markers (linear pattern-matching strategy). [6]

Translation from one language to another requires the use of transfer rules, which are easy to establish and quite satisfactory if a literal translation between two languages (usually closely-related ones) is feasible. An adaptation of the English text to a given learner's level is similar to such task, technically it is translation between different forms of English.

Summing up these ideas is an **algorithm of text adaptation** given below.

Input: Article in English.
Output: Article adapted at a certain learner's skill level in English.

Step 1. Read the sentence, split into words and parse.

Step 2. Using the parse tree, look up for meaningful parts in the dictionary.

Step 3. Replace all the words and expression above the given skill level with synonyms words or expressions belonging to the required skill level.

Step 4. Repeat from **Step 1**, until the end of the text is reached, then stop.

Basic data for generating grammar exercises should include the following components:

1) A lexicon that describes the vocabulary to be used in the generated texts;

2) A discursive component which indicates what information should appear in the text and its order of appearance;

3) A syntax which allows texts to be created from the lexicon and the discursive component. [7]

Algorithm for generating grammar tasks is almost the same as text adaptation.

Input: Sentence in English.
Output: Several variants of the original sentence.

Step 1. Read the sentence, build a parse tree.

Step 2. Find the semantic part, which exists in the lexicon.

Step 3. Pick up several similar, but incorrect expressions from a specific lexicon of grammatically incorrect units.

Step 4. Make sentences with the chosen words.

Step 5. Make incorrect sentences by swapping some parts of the parse tree (for example, subject and predicate in the interrogative sentence).

References

1. Natural language processing. // Wikipedia [Online service] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Natural_language_processing (Retrieved 09.02.14)
2. Chomsky hierarchy. // Wikipedia [Online service] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Chomsky_hierarchy (Retrieved 09.02.14)
3. Popov E.V. Communication with the computer in natural language. – M.: Chief Editorial Board of physical and mathematical literature, 1982. – 360 p.
4. Linguistic processor for complex information systems / Y.D. Apresian, I.M. Boguslavskiy, L.L. Iomdin, etc. – M.: Science, 1992. - 256 p.
5. Parsing // Wikipedia [Online service] URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Parsing (Retrieved 09.02.14)
6. Bolc L. Natural language parsing systems. – Springer-Verlag, Berlin, 1987. – 367 p.
7. Patten, Terry. Systemic text generation as problem solving – Cambridge University Press, 1988. – 214 p

RUBY PROGRAMMING LANGUAGE. RUBY ON RAILS FRAMEWORK

Bylina H.N.
Scientific advisor: Malchukov A. N., Associate professor
Language advisor: Sidorenko T. V., Associate professor
National Research Tomsk Polytechnic University
634050, Lenin av. 30, Tomsk, Russia
E-mail: selena_lluna@mail.ru

Introduction

Ruby is one of young programming languages. Its author, Yukihiro Matsumoto, is a professional Japanese programmer. He started to develop Ruby on February 24, 1993. The first Ruby 'Hello World' program ran in summer, same year, and alpha-version was ready by December, 1994. The language name derives from the name of a gem ruby (similar to another widely spread language Perl - from pearl) [1].

Ruby programming language features

One of the major aims of development was to free programmers from routine work that can be performed faster and better by a computer. Special attention was paid to everyday activities, such as word processing, administration, and for them the language is especially suitable.

In comparison to machine-oriented languages, which work faster, the aim of this development was the language, closer to human. Any computer work is done by people and for people, and human efforts should be considered above all. The language allows to perform a task extremely fast and easy for human, although it might take some additional computer time.

Ruby is a completely object-oriented language. All data is represented in objects, as opposed to many other languages, where there are primitive types. Every function is a method.

Ruby variables are passed through references. For a programmer, who is used to widely spread hybrid programming languages, some effects of this solution may seem surprising. E.g. the assignment mechanism works universally for every object, as opposed to such languages as C, Object Pascal, where assignment can mean either copying the value or copying the reference to the value. Ruby doesn't support multiple inheritance, instead there is a powerful mixin mechanism. All classes (directly or through other classes) are derived from the Object class, therefore any object can use methods, defined in it. Procedural style is also supported, but all global procedures are implicitly closed methods of the Object class. Ruby is a multiparadigm language: it supports procedural approach, object-oriented and functional. It also supports reflection, metaprogramming, information about types of variables on the execution stage.

- No primitive types, all types are objects
- Powerful realization of object-oriented programming
- Very flexible iterator system
- Regular expression support, methods are similar to Perl
- Automatically expandable numbers
- Parts of code are objects
- Closure support
- Full-fledged threads realization
- Any operator returns a value, including control structures (if, case etc.)
- Low syntax strictness [2]

Ruby on Rails framework

Ruby on Rails is a framework, written on the Ruby programming language. Since its debut in 2004, Ruby on Rails has quickly become one of the most powerful and popular frameworks for building dynamic web-applications. Rails users can cover a wide range of tasks, from start-ups to huge companies.

What makes Rails so good? First of all, Ruby on Rails is completely open, available thanks to MIT License and as a result can be downloaded and used for free. Rails owes its success its smart and compact design; using the flexibility of underlying Ruby, Rails in fact creates domain-specific language for web-development. As a result a lot of common web-programming tasks, such as HTML generation, data model creation and URL routing are easy with Rails, and the resulting code is short and easy to read. Rails also adapts fast to new web-technology trends [3].

Ruby on Rails provides the architectural pattern Model-View-Controller for web-applications and their integration with the web-server and database server.

Basic application components of Ruby on Rails are Model, View, Controller.

1. Model. The model provides object-oriented data mapping (such as product catalogue or order list) to the rest of the application's components. Objects of the model can download and save data in relational database and realize business-logic.
2. View. The view creates user interface using the data from the controller. The view also transmit user's requests to manipulate data to the controller (as a rule, the view doesn't change the model itself).

Capabilities of Ruby:

3. Controller. The controller on Rails is a set of logic launched after the server receives an HTTP-request [4].



Fig. 1. The layout view of MVC structure

Installing Ruby on Rails on Windows 7

Rails can be used almost on any operating system. Since Ruby is simply an add-on for Ruby, it's necessary to install the language interpreter, all libraries and other files. At the moment an integrated installer for Windows already exists containing all necessary files. Though there are several limits for Windows concerning file system and processes. Moreover, not all Ruby libraries (gems) works fine with the operating system, for example, one of the most popular servers for Rails – Unicorn – is adjusted to Linux and doesn't work with Windows at all.

Rails installation is very easy, so is the installation of any other gem. We just need to run the next command in the command line:

gem install rails

After the Rails framework is installed, we can create our own application, using the command:

rails new hello

After the Rails creates the structure of directories and files of our application, the dependence manager, Bundler, will be launched and will install al necessary gems. We run our application with the command:

rails server

We can find our application at http://localhost:3000.

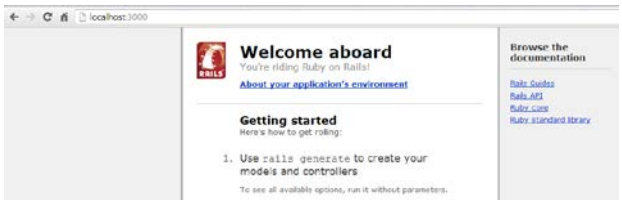


Fig. 2. Running application

The 'Welcome aboard' page is a kind of test for a new Rails application: it shows, that the software is adjusted correctly to display the page.

Conclusion

Ruby on Rails is a promising new framework. It can't replace time-tested and conventional components from Java, necessary for enterprise web-application development. But, thanks to ample opportunities and the simplicity of Ruby programming language, along with multifunctional Ruby on Rails framework, it does have a chance to compete with such popular tools as Perl and PHP that allow to create small and medium web-application.

References

1. Ruby [Electronic resource]. – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Ruby (data accessed: 03.02.2014).

2. Introduction in the Ruby [Electronic resource]. – URL: http://mit.spbau.ru/files/%20%D0%B2%20Ruby.pdf (data accessed: 03.02.2014).

3. Ruby on Rails Tutorial [Electronic resource]. – URL: http://railstutorial.ru/ chapters/4_0/beginning (data accessed: 05.02.2014).

4. Ruby on rails [Electronic resource]. – URL: http://ru.wikipedia.org/ wiki/Ruby_on_Rails (data accessed: 05.02.2014).

JUMP POINT SEARCH ALGORITHM PERFORMANCE ANALYSIS

Дусеев В.Р., Рудь М.Н., Мальчуков А.Н.
Научный руководитель: Мальчуков А.Н., к.т.н. доцент
Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: vagiz.d@gmail.com

Jump Point Search (JPS) [1] is a unique online symmetry-breaking algorithm, which speeds up path finding on uniform-cost grid maps by "jumping over" many locations that would otherwise need to be explicitly considered. JPS is faster and more powerful than RSR: it can consistently speed up A* search by over an order of magnitude and more. Unlike other similar algorithms JPS requires no preprocessing and has no memory overheads. Further, it is easily combined with most existing speedup techniques — including abstraction and memory heuristics.

The Algorithm

This section and the next describe the mechanical details and algorithmic properties of Jump Point Search. A set of figures is provided in order to explain the algorithm`s behavior.

JPS [1] can be described in terms of two simple pruning rules which are applied recursively during search: one rule is specific to straight steps, the other for diagonal steps. The key intuition in both cases is to prune the set of immediate neighbours around a node by trying to prove that an optimal path (symmetric or otherwise) exists from the parent of the current node to each neighbour and that path does not involve visiting the current node. Figure 1 outlines the basic idea.

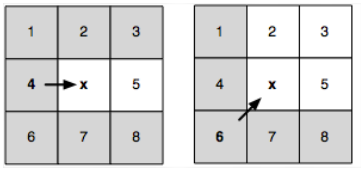


Figure 1. Neighbour Pruning

Node x is currently being expanded. The arrow indicates the direction of travel from its parent, either straight or diagonal. In both cases we can immediately prune all grey neighbours as these can be reached optimally from the parent of x without ever going through node x.

We will refer to the set of nodes that remain after pruning as the natural neighbours of the current node. These are marked white in Figure 1. Ideally, we only ever want to consider the set of natural neighbours during expansion. However, in some cases, the presence of obstacles may mean that we need to also consider a small set of up to k additional nodes ($0 \leq k \leq 2$). We say that these nodes are forced neighbours of the current node. Figure 2 gives an overview of this idea.

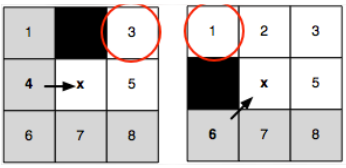


Figure 2. Forced Neighbours

Node x is currently being expanded. The arrow indicates the direction of travel from its parent, either straight or diagonal. Notice that when x is adjacent to an obstacle the highlighted neighbours cannot be pruned; any alternative optimal path, from the parent of x to each of these nodes, is blocked [2].

We apply these pruning rules during search as follows: instead of generating each natural and forced neighbour we instead recursively prune the set of neighbours around each such node. Intuitively, the objective is to eliminate symmetries by recursively "jumping over" all nodes which can be reached optimally by a path that does not visit the current node. We stop the recursion when we hit an obstacle or when we find a so-called jump point successor. Jump points are interesting because they have neighbours that cannot be reached by an alternative symmetric path: the optimal path must go through the current node.

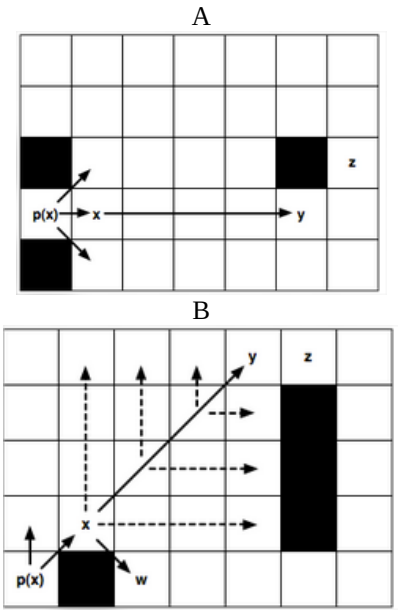


Figure 3. (A) jumping straight; (B) jumping diagonally

The details of the recursive pruning algorithm are reasonably straightforward: to ensure optimality we need only assign an ordering to how we process natural neighbours (straight steps before diagonal). I will not attempt to outline it further here; the full details are in the paper and my aim is only to provide

a flavour for the work. Figures 3 gives two examples of the pruning algorithm in action. In the first case we identify a jump point by recursing straight; in the second case we identify a jump point by recursing diagonally.

Node x is currently being expanded. p(x) is its parent.

(A) We recursively apply the straight pruning rule and identify y as a jump point successor of x. This node is interesting because it has a neighbour z that cannot be reached optimally except by a path that visits x then y. The intermediate nodes are never explicitly generated or even evaluated.

(B) We recursively apply the diagonal pruning rule and identify y as a jump point successor of x. Notice that before each diagonal step we first recurse straight (dashed lines). Only if both straight recursions fail to identify a jump point do we step diagonally again. Node w, which is simply a forced neighbour of x, is generated as normal.

Properties and Performance

Jump Point Search is nice for a number of reasons:

- It is optimal.
- It involves no pre-processing.
- It requires no extra-memory overheads.
- It can consistently speed up A* search by over 10 times; making it not only competitive with, but often better than, approximate techniques such as HPA* [3].

Properties 1-3 are interesting theoretical results, and rather surprising, but I will not address them further here. My main objective in this article is simply provide a flavour for the work; for a full discussion, including proofs, please see the original paper [1]. Property 4 is perhaps of broadest practical interest so I will give a short summary of our findings below.

We evaluated JPS on four map sets taken from Nathan Sturtevant's freely available pathfinding library, Hierarchical Open Graph. Two of the benchmarks are realistic, originating from popular BioWare video games Baldur's Gate II: Shadows of Amn and Dragon Age: Origins. The other two Adaptive Depth and Rooms are synthetic though the former could be described as semi-realistic. In each case we measured the relative speedup of A* + JPS vs. A* alone.

Briefly: JPS can speed up A* by a factor of between 3-15 times (Adaptive Depth), 2-30 times (Baldur's Gate), 3-26 times (Dragon Age) and 3-16 times (Rooms). In each case the lower figure represents average performance for short pathfinding problems and the higher figure for long pathfinding problems (i.e. the longer the optimal path to be found, the more benefit is derived from applying JPS).

What makes these results even more compelling is that in 3 of the 4 benchmarks A* + JPS was able to consistently outperform the well known HPA* algorithm [3]. This is remarkable as A* + JPS is always performing optimal search while HPA* is only performing approximate search. On the remaining benchmark, Dragon Age, we found there was very little to differentiate the performance of the two algorithms.

Caveat emptor: It is important to highlight at this stage that A* + JPS only achieves these kids of speedups because each benchmark problem set contains a large number of symmetric path segments (usually manifested in the form of large open areas on the map). In such cases JPS can exploit the symmetry and ignore large parts of the search space. This means A* both generates and expands a much smaller number of nodes and consequently reaches the goal much sooner. When there is very little symmetry to exploit however we expect that our gains will be more modest.

Final Thoughts

The explicit identification and elimination of symmetries in pathfinding domains is an idea that until now has received little attention in the academic literature. Approaches for dealing with symmetry, such as Jump Point Search, provide us with powerful new tools for reducing the size of explicit regular search spaces. By eliminating symmetry we speed up not just A* but entire classes of similar pathfinding algorithms. Also, consider: JPS is entirely orthogonal to almost every other speedup technique applicable to grid maps. Thus, there is no reason why we couldn't combine it, or other similar methods, with hierarchical pathfinding approaches, memory heuristics or even other optimality-preserving state-space reduction techniques. That means the results presented thus far are only the tip of the iceberg in terms of performant grid-based pathfinding methods.

Another exciting aspect of this work is the possibilities it opens for further research. For example: could we pre-process the map and go even faster? Or: are there analogous jumping rules that one could develop for weighted grids? What about other domains? Could we apply the lessons learned thus far to help solve other interesting search problems? The answers to the first two questions already appear to be positive; the third is something we want to explore in the near future.

References

1. D. Harabor and A. Grastien. Online Graph Pruning for Pathfinding on Grid Maps. In National Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 2011.
2. D. Harabor, A. Botea, and P. Kilby. Path Symmetries in Uniform-cost Grid Maps. In Symposium on Abstraction Reformulation and Approximation (SARA), 2011.
3. A. Botea, M. Müller, and J. Schaeffer. Near Optimal Hierarchical Path-finding. In Journal of Game Development (Issue 1, Volume 1), 2004.

INTELLIGENT VIDEO SURVEILLANCE SYTEM FOR PEDESTRIAN CROSSINGS

Kolosovskiy M.A.
Supervisor: Kryuchkova E.N., PhD, professor
Altai State Technical University, 656038, Russia, Altai Region, Barnaul, Lenin av., 46
E-mail: maxim.astu@gmail.com

The intelligent video surveillance systems are becoming more and more popular because they have many applications. They can control security, reveal traffic congestions, control access and search stolen cars. In this paper we consider the system for video surveillance for pedestrian crossings. The goal of the system is to detect violations of the rules of the road. Despite extensive research, pedestrian tracking is still challenging task because of many full and partial occlusions, illumination and weather condition variations, real-time processing requirements, object appearance changes.

There are a lot of algorithms for object detection and tracking, but there is no a single algorithm that can reliably work in all tasks and situations. Therefore, we should select the most suitable algorithm and adapt it to our task. We have explored peculiarities of the task and took them into account to adapt our system:

- The trajectories of pedestrians are very similar and simple;
- The camera don't move, the background is stable;
- Constant small velocity of pedestrians;
- Sizes of pedestrians on video don't differ much, so there is no need to use pyramids;
- Low shape variation;
- Pedestrians don't rotate and don't lean.

There are two kinds of structures of object detection and tracking systems. The first kind of systems detects active areas by comparing background model and current frame. Then, the areas on different frames are assigned to form the objects' trajectories. Finally, the areas are recognized. The second kind of systems uses an object detector to find objects. Then, the tracker traces the detected objects [1]. Our system belongs to the second group, because the camera noise distorts the active areas so that it is too hard to recognize them.

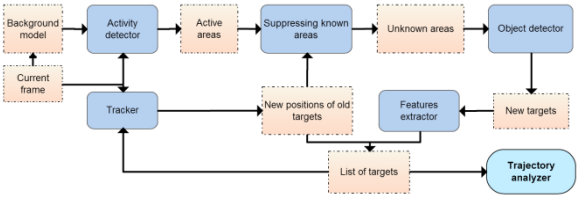
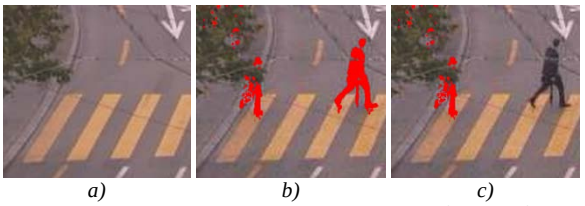


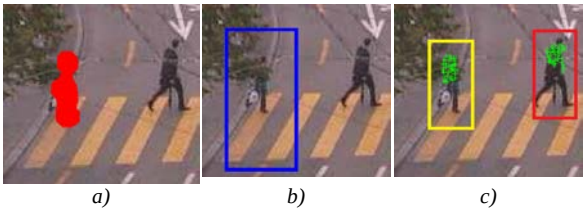
Figure 1. The structure of our video surveillance system

The structure of our system is presented on picture 1. The background model forms the image of static background. We use median values of some last frames (Fig. 2a). The activity detector compares current frame and the background model and finds active areas, i.e. foreground pixels (Fig 2b). Active areas under known targets (detected objects) are suppressed (Fig 2c). Morphological opening and closing are applied to unknown active areas to remove noise and merge areas that belong to the same object (Fig 3a). The object detector processes the rectangle areas around the unknown active areas (Fig 3b) and detects objects (new targets) [2]. Tracker updates positions of old targets, and then the lists of old and new targets are merged (Fig 3c).



a) *b)* *c)*

Figure 2. *a)* Background model; *b)* Active pixels of current frame; *c)* Unknown active pixels.



a) *b)* *c)*

Figure 3. *a)* Unknown active pixels after morphological operations; *b)* The object detector processes only area in blue rectangle; *c)* Extracted features (green crosses) of new target (yellow rectangle) and old target (red rectangle) will be processed by the tracker on the next frame.

We apply the detector based on histograms of oriented gradients [3]. The dataset from [4] was used for testing. In the dataset, every forth frame has a marking of present pedestrians. We extended this data by marking intermediate frames. It has significantly increased the recall of object detection (table 1). For learning the detector, we also tried the technique of mining hard negative examples described in [5] to reduce the number of false detections. The technique indeed increases the precision of the detector, but significantly decreases the recall. Thus, we don't use extracted hard negatives for learning the detector.

Table 1. Comparing various markings for learning

	Precision	Recall	F-score
Original marking	1.0000	0.7007	0.8240
Extended marking	0.9954	0.8571	0.9211
Marking with hard negatives	0.9973	0.7551	0.8587

An object detector is usually too computationally expensive to run it on every frame. It is why an easier algorithm is applied to trace detected objects. This algorithm is called tracker. There are many approaches to object tracking. We analyzed their applicability to our surveillance task and concluded that the algorithms based on feature tracking are the best choice [6]. We chose one of fundamental feature tracking algorithms – Kanade-Lucas-Tomasi tracker [7]. We evaluated performance of some its

implementations (table 2). The implementation from OpenCV is used in our system.

Table 2. Comparing implementations of KLT tracker

Implementations	Language	Time, sec	Frames/s
LK_Tracker [8]	Matlab	0.1 - 0.15	7 - 10
stb [9]	C	0.03 - 0.04	25 - 33
OpenCV [10]	C/C++	0.01 - 0.02	50 - 100

One of challenges in tracking is changing object appearance. We have modified the tracking algorithm and make it able to adapt to appearance changes. The results of experiments are presented in table 3. If crowd of pedestrians is sparse, adaptation doesn't affect on the precision (P), recall (R) and F-score. But if crown is dense, the adaptation collects the errors of the model and it decreases precision and recall.

Table 3 Comparing original, semi-adaptive and adaptive tracking algorithms

	Original			Semi-adaptive			Adaptive		
	P	R	F	P	R	F	P	R	F
Sparse crowd	0.91	0.96	0.93	0.91	0.96	0.94	0.92	0.95	0.93
Dense crowd	0.93	0.74	0.82	0.83	0.73	0.78	0.84	0.73	0.78

We have tested the robustness of our system to uneven illumination, fog and rain (figure 4). The experiments show that these conditions can stop detecting and tracking pedestrians, but applying corresponding filters could fix it. Thus, the system needs the some mechanism that can determine such unfavorable conditions and apply suitable filters.



a) *b)* *c)*

Figure 4. Examples for testing the system in uneven illumination *(a)*, rain *(b)* and fog *(c)*

The performance evaluation of our system is presented in table 4. Dilatation unknown areas and forming rectangles around them take a lot of time (20-50%), but more specific implementations could speed up these steps. Another time consuming step is the object detection. It is hard to speed up the detector's implementation, but it is possible to reduce the number of its calls. We can recover tracking after occlusions without calling the detector, if we can predict the future position of an occluded object. Such mechanism is one of goals of the future work.

Table 4. Measuring performance of the algorithm and its steps

Step of the algorithm	Sparse crowd		Dense crowd	
	sec	%	sec	%
Getting active areas	2,191	11	1,236	6
Suppressing known active areas	0,106	1	0,114	1
Dilatation unknown areas	6,778	33	3,703	17
Forming rectangles around unknown areas	4,559	22	4,898	22
Detecting objects in the rectangles	5,032	25	9,590	43
Tracking objects	1,162	6	2,412	11
Other operations	0,543	3	0,267	01
Total	20,371	100	22,22	100

In this paper, we presented an intelligent video surveillance system for pedestrian crossing. We considered its structure and described the key principles of its work. Particular object detector and tracker were chosen according to the system's needs. We have evaluated the system's performance and quality. These experiments have showed bottlenecks and opportunities for optimization. The goals of the future work are the algorithm for automatic recovery after occlusions and the algorithms for automatic filtering in unfavorable conditions (illumination, weather, glare, etc.).

The research was partially supported by The Fund for Assistance to Small Innovative Enterprises (Russia). Contract № 0068 ГУ/2013.

References

[1] Kolosovskiy M., Kryuchkova E. The architecture of the video surveillance system for pedestrian crossings // The 2nd International scientific-practical conference "Information and Communication Technologies – realities, opportunities and prospects". Nizhny Novgorod, Russia. 20 February 2014.

[2] Kolosovskiy M. Object detection system for video surveillance for pedestrian crossings Journal «Polzunovskii vestnik». Barnaul, Russia. 2014, vol. 2.

[3] Dalal N., Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // 2005 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2005). June 2005, San Diego, CA, USA. Vol. 2, pp. 886-893.

[4] Leibe B., Schindler K., Van Gool L. Coupled Detection and Trajectory Estimation for Multi-Object Tracking // 2007 IEEE 11th International Conference on Computer Vision, Rio de Janeiro, Brazil, October 14-20, 2007. pp. 1–8.

[5] Felzenszwalb P., Girshick R., McAllester D., Ramanan D. Object Detection with Discriminatively Trained Part Based Models // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Sep. 2010. Vol. 32, No. 9, pp. 1627 - 1645.

[6] Kolosovskiy M. Selecting features tracking for video surveillance system for pedestrians crossings // 13th Scientific-practical Conference "Informatics and information technologies in education, science and industry." Volzhsky, Russia. 24-25 January 2014.

[7] Shi J., Tomasi C. Good Features to Track // 1994 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94). Seatle, USA. June 1994. pp. 593-600.

[8] Edward Wiggin (2011). Lucas-Kanade Tracker with pyramid and iteration. MATLAB Central File Exchange. Retrived: 5 October 2013.

[9] Stan Birchfield. KLT: An Implementation of the Kanade-Lucas-Tomasi Feature Tracker (http://www.ces.clemson.edu/~stb/klt/)

[10] OpenCV library; http://opencv.org

TEXT RECOGNITION

Kazylina Y.I.
Scientific supervisor: lepustin a.v., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: kyai@tpu.ru

Optical character recognition, or OCR, is a mechanical or electronic process of a handwritten, typewritten or printed text conversion into text data, i.e. code sequence representing computer symbols, for example, in a word processor. OCR is widely used for converting books and documents into an electronic format, business accounting system computerization and text publication in the Web.

Text recognition on the PC

The process of digitization and OCR includes five steps.

- Page data input. On this stage scanned or photographed document is transferred into a computer image.
- Layout analysis. OCR application detects the arrangement of text, pictures, tables etc. on the page and divide it into blocks. The software sequentially splits the page into smaller blocks: the text into paragraphs, then into sentences, separate words and symbols. At the end layout analysis the page is represented by a set of separate symbols. The application remembers the location of every one of them on the page.
- Character recognition is the most important step of the OCR process, because the software must correctly identify all found symbols. Is it a letter 'B' used in the text (and which one of them – Cyrillic or Latin) or is it a figure '8'? If the application fails, the result will turn to nonsense. For more accurate text recognition the software combines different methods, that can conventionally be divided into two categories: pattern-comparison methods and feature-comparison methods.

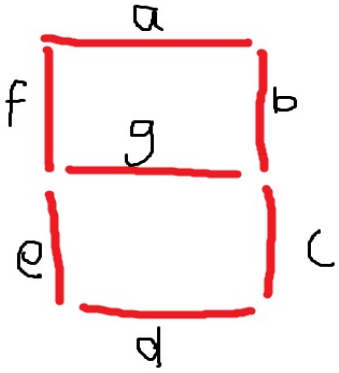


Fig1. Method of recognition

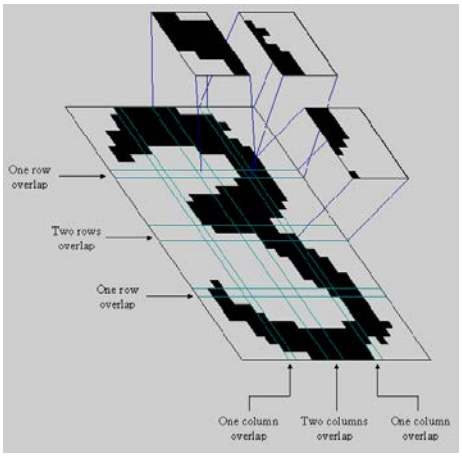


Fig 2. Method of recognition

- Document reconstruction. After the recognition process is complete the software starts to recreate pages, combining separate symbols into words, words into sentences, sentences into paragraphs etc., using the embedded vocabulary. To quicken the process the results of layout analysis (step 2) are used. Moreover, using special methods applications try to take into account grammatical features of the text so the result would represent grammatically correct sentences.

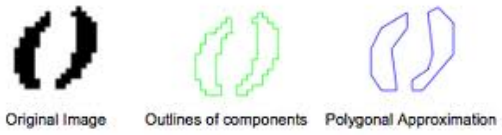


Fig 3. Method of recognition

- Document saving. OCR application saves the recognized text in the user defined format (text only - TXT; page layout – Microsoft Word files of PDF

Text recognition software

The most widely known text recognition software are ABBYY FineReader, CuneiForm, OmniPage и Readiris. They are available in different versions, for home and professional use.

ABBYY Finereader 10.0.102.95 is a popular text recognition application by the Russian company ABBYY. Finereader provides high-quality recognition and document format keeping. There are three versions of this package: Home Edition, Professional Edition and Corporate Edition. The software recognizes text in more than 180 languages, with the built-in spell checking for 38 of them.

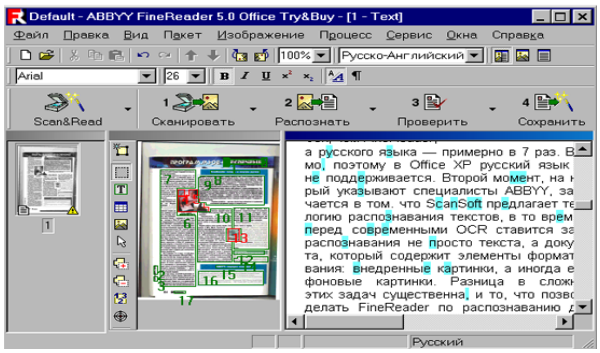


Fig 4. Main window programm

OCR CuneiForm is a free software for scanning and text recognition by the Russian developer Cognitive Technologies. Initially OCRCuneiForm was being developed as a commercial product, but in the December 2007 the developer company started to distribute the software for free, and in the April 2008 opened the source code. The future development of the text recognition system is planned – OpenOcr.Org project, supported by the CognitiveTechnologies company and OpenSource developers community. OCRCuneiForm provides fast, easy and high-quality text recognition with document format keeping. The number of supported for recognition languages is more than 20, among them are Russian, Ukrainian, English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese, Swedish, Finnish, Serbian, Croatian, Polish; and also there is a recognition of mixed English-Russian text.

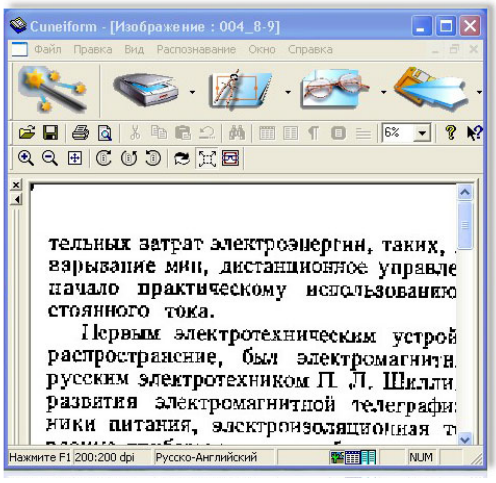


Fig 5. Main window programm

OmniPage software features a high speed and accuracy of the recognition. There are over 120 languages for recognition with different alphabets: Latin, Greek, Cyrillic, Chinese, Japanese and Korean languages. As well as FineReader, OmniPage recognizes documents, made with digital cameras, with the help of the image correction technology 3DCorrection. As well as other OCR applications, Readiris convert scanned document images in an editable format. Readiris recognizes documents with a complex layout, tables and pictures. There are Pro and Corporate versions and additional modules for Middle Eastern and Eastern languages recognition. The number of supported for recognition languages is more than 120, including Russian and Middle Eastern languages.

SimpleOCR is a free OCR system for recognition of texts from scanners and pictures. The result quality is comparable with many commercial analogs. The recognition accuracy can reach 99% - a very high performance for such systems. This version of SimpleOCR works with documents in English and French only, but vocabularies for other languages will appear in the future.

Text recognition libraries

Today there are a lot of text recognition libraries, but most of them are commercial, and we will need free ones, so the list of libraries is significantly reduced. The list of libraries we've examined: Tesseract, Pumanet, AForge, OpenCV.

- **Tesseract-Ocr in Visual Studio** is a free text recognition library. To include it, all necessary components have to be downloaded.
- **AForge.NET Framework** is a base of C# and is oriented for researchers and developers in computer vision and artificial intelligence – image processing, neural networks, genetic algorithms, machine learning, robotics etc.
- **Puma.NET** is a shell for Cognitive Technologies CuneiFrom recognition library which allows to add recognition functions in any .NET Framework 2.0 (or higher) application. API is provided in a set of simple classes. High performance and recognition results accuracy can be reached with just a few lines of code.
- **OpenCV** (Open Computer Vision) is an open-source computer vision library, providing a set of data types and numerical algorithms for image processing with computer vision algorithms. Implemented is C/C++.

References:

1. **http://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/47668-optical-character-recognition-for-seven-segment-display-digit-matlab**
2. **http://pumanet.codeplex.com/**
3. **http://www.abbyy.ru/finereader**

FRONT-END DEVELOPMENT OF THE APPLICATION "LEARN LANGUAGE BY SONGS"

Leontev P.N., Sannikov M.A.
Scientific supervisor: Zvigintsev I.L., teaching assistant
Language supervisor: Pichugova I.L., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
E-mail: leontev.petr@gmail.com

The knowledge of foreign languages is very popular today. People want to learn languages faster, but it is too hard to find the most convenient and simple method for that. The article is focused on the development of the application Learn Language By Songs (LLBS) which allows studying foreign languages by using songs in a particular language. Users can choose any composition, which is available on their devices, or simply enter the desired name, and then the application will load both lyrics and audio-file via the Internet.

In the launch window, which is represented in Figure 1, user can select one of the available songs.

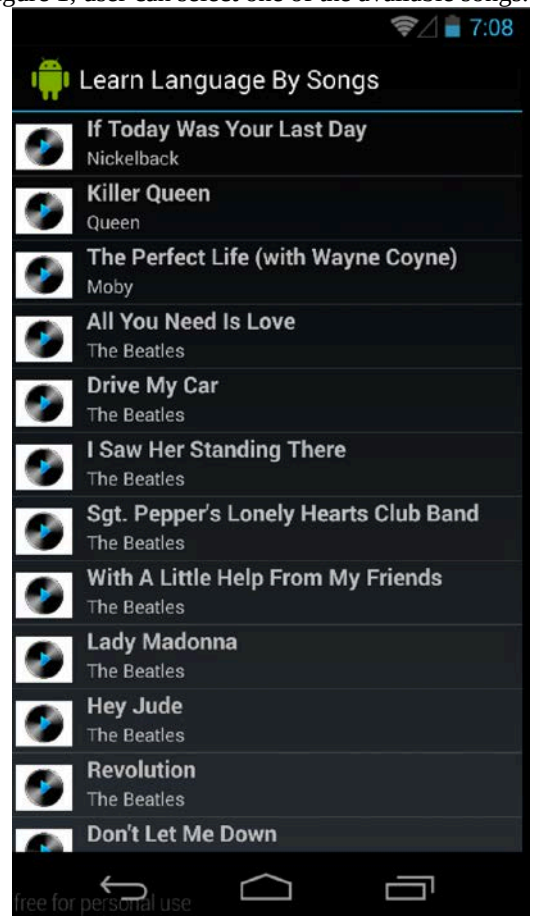


Fig. 1. Application launch window

After that the main window (Figure 2) appears. It contains song title at the top, song lyrics in the middle of the window and playback control panel and input field at the bottom. All characters of the song text are replaced with asterisks (*). Then we can start to listen to the song and enter words.

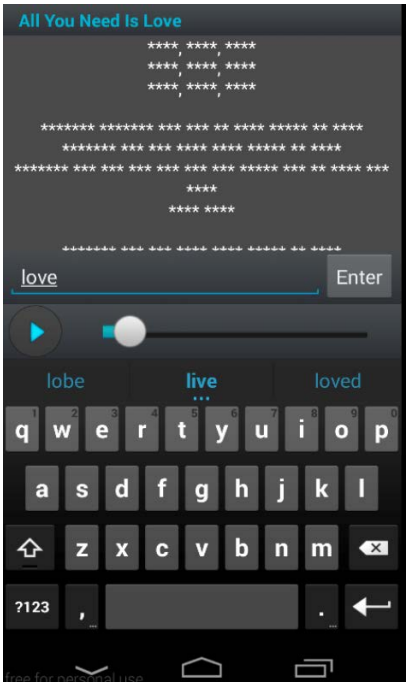


Fig. 2. Application main window

If the user enters the word contained in the song lyrics, all its occurrences will be instantly displayed (Figure 3).

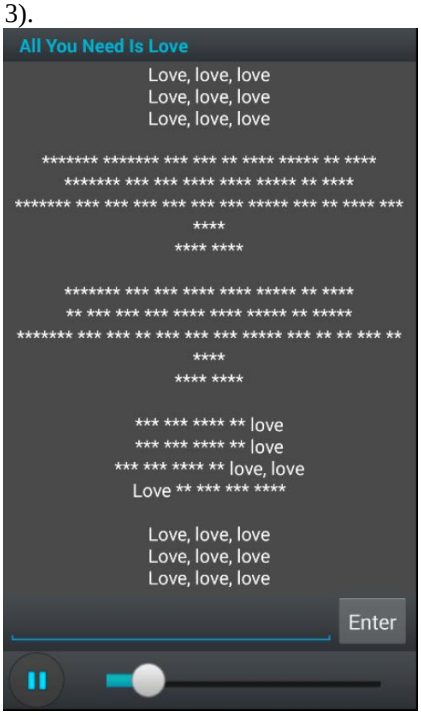


Fig. 3. Application main windows after entering the word «love»

The application is designed as client-server which interacts by using HTTP. It is represented in Figure 4.



Fig. 4. Client-server model

It usually means a distributed application that partitions tasks between providers of a resource or service, called servers, and service requesters, called clients [2]. In our case, client or front-end is the application that works under popular mobile platforms, such as Android and iOS. The application is written in Java and ObjectiveC languages. Server or back-end has API written with PHP-framework Symphony. It is selected with the purpose to speed up the creation and maintenance of server and to replace repetitive coding tasks [3]. It is much easier to write the API-server once, and use it from different platforms, than implement similar functionality every time. The MySQL databases are used to cache song lyrics and for user authorization/registration.

This architecture is convenient and practical in the view of the fact that it is possible not only to reduce the size of the client, but also to use it only as a view showing the data which is necessary for user at a given moment. Furthermore, the size of the client and functions performed by it can be critical factors while installing it on a device with low-powered hardware.

To use all the possibilities provided by the server, client can make use of Application Programming Interface (API) which usually comes in the form of a library that includes specifications for routines, data structures, object classes, and variables and allows performing the required action quickly [4]. In more detail, to call any API method it is necessary to set not only its name but also mandatory parameters characterizing the object about which the client wants to get information from the server.

Server uses the caching technology which allows fast processing of incoming user requests in the case if they were received previously and so it seriously reduces the runtime of such operations. For example, taking into consideration compositions rating it is always possible to make the cache of song's lyrics which are the most requested by the clients.

Given the fact that almost all people have account in a social network, for instance, Vkontakte, Facebook, Twitter, etc., the application provides the possibility to interact with it. In particular, there are popular actions «tell friends» and «share results». Nowadays, it is relatively straightforward to implement such support since every known service whether it is social network or team blog has its own API whereby developers can extend the functionality of their own applications as necessary.

More generally, LLBS application is a kind of integration platform for the services and no matter what exactly the size of each platform is because the final result for user is always represented as a whole.

Currently, the application development for mobile operating systems such as Android and iOS is one of the most accessible directions due to the fact that there are a lot of devices on the market operating under the control of these systems [5]..

In the future we plan to develop our application in the following directions:

- personalized search – selection of the compositions based on user requirement (duration, language, music genre, etc.)
- learning to rank algorithms – songs sorted by sound complexity (i.e. susceptibility of the words by the person for whom the language used in the composition is not native);
- audio-files recognition – finding all available information about the composition based on special analysis of recorded part (use of time-frequency analysis techniques);
- free- and premium- versions of the application - providing different functionality depending on user requirements.

References

1. Android for developers [Electronic resource], Access mode: https://developer.android.com – free.
2. Client-server model [Electronic resource]. Access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/Client-server_model – free.
3. High Performance PHP framework for web-development – Symphony [Electronic resource]. Access mode: http://symfony.com/ – free.
4. Application Programming Interface [Electronic resource]. Access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/Application_programming_interface – free.
5. Mobile Development overview [Electronic resource]. Access mode: http://www.clarity-ventures.com/articles/article/676/mobile-development-overview-statistics-on-mobile-development-mobile-development – free.

HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI). USAGE OF CLOUD HMI AND ITS COMPARISON WITH OTHER HMI SYSTEMS.

Makarov E. Dmitry, Alekseev S. Igor
Scientific advisor: Gromakov I. Evgeny, Linguistic advisor: Kuznetsova N. Irina
Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenina St., 30
E-mail: makarovd13@mail.ru

Introduction

An HMI is the acronym for Human Machine Interface and in common it can be interpreted as an interface between the user and the machine. But such a term can include cell phones, personal and industrial computers, all household appliances, office equipment, etc. However, an HMI is much more specific to manufacturing and process control systems, where it's become widespread because of possibility to provide a visual representation of a control system and information about industrial process in a "real time" mode. These features lead to the productivity increasing of the controlled processes.[1]

General aspects of HMI.

According to all information, which was described before, HMI is a set of technical tools for providing direct interaction of user and technical equipment, which allows user have a constant monitoring equipment operation and condition.

An HMI is the centralized control unit for manufacturing lines, equipped with Data Recipes, event logging, video feed, and event triggering, so that one may access the system at any moment for any purpose. For a manufacturing line to be integrated with an HMI (it is shown in figure 1), it must first be working with a Programmable Logic Controller (PLC). It is the PLC that takes the information from the sensors, and transforms it to Boolean algebra, so the HMI can decipher and make decisions.

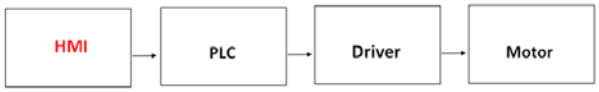


Figure 1. Manufacturing line integrated with an HMI

There are two basic levels of HMI: supervisory level and machine one. Supervisory level HMI is designed for control room environments and used for system control and data acquisition (SCADA), a process control application which collects data from sensors on the shop floor and sends the information to a central computer for processing. Machine level HMI uses embedded, machine-level devices within the production facility itself.[2]

In general HMI has two parts, which are control device and driving system. Control device is a part of the system, which receives human's impact and starting actions. As for driving system, it is a set of interconnected devices used for an exact purpose by performing their own functions.

The main rules and principles of HMI constructing

1. Control devices must be directly identified in all exact conditions and their replacement must permit safe and fast execution of all operations.
2. Control device must perform only tasks according to the goals of usage of this device.
3. The system must be constructed and adjusted so that user's actions will not lead to indefinite and dangerous condition of the parts of system.
4. Dialog of HMI and a user must be based on aspects of ergonomics, appropriate specific problem.
5. It is recommended for excluding the dangerous consequences because of operator's errors to do the next:

- Exact priority of commands (for example, the command "STOP" has a higher priority than the command "START»);
- Possibility to lock the control by the system;
- Operation in jog mode.

6. Groups of control devices must be situated according to the priority, their functions and interconnections, the sequence and frequency of devices usage, the cases of work, such as normal, critical, etc.[3]

Cloud Human Machine Interface

Cloud HMI is an innovative HMI architecture. It has many prospects in the future and its full potential is yet to be revealed.[4]

Normally a cloud based HMI consists of a server and a visualization device.

The server device connects with controller and proceeds protocol conversion, data logging, event logging, recipe, database maintenance, macro commands execution, etc. Usually plants install the HMI software itself on secure servers, or even virtual servers, and using web browsers or special applications access the control screens.

Many electronic devices with screens can be used as the visualization device. That is why the visualization function can be perfectly integrated into, for example, iPad with the powerful Cloud HMI software.

Advantages and disadvantages of a cloud based system

A cloud based system has the following advantages:[6]

1. The cloud model itself.

The very reason that cloud based applications are gaining traction is that there is no need to deal with all of the problems associated with owning software. The cloud gives you functionality of the software without the aggravation of installing and maintaining the program itself.

2. Cost

The way companies make money offering a cloud version of their application is to charge consumers for its use. This is the SAS model, and the per-month cost can be very attractive, especially if you have a lot of workstations that you need to deploy. You also don't need to have the 'hosting' hardware (a server, or two) and don't have to pay for operators to backup the software or, more importantly, keep it current.

3. No obsolesce

The hosting company is going to make sure that you are always running the latest version of the product. This also ensures that all of the instances of your system will be running the exact same version of the application.

4. See your screens from anywhere

It is very easy to set up access to your control screens from any Internet connection.

However, there are also some problems with a cloud based system:[6]

1. Security problem

It is very easy to set up access to control screens from any Internet connection. This means that there is a possibility to have someone exploits your information. If one of any number of hackers discovers your interface there can be a potential problem.

2. The network connection

When a cloud based HMI is used you have the internal network to. Putting all data in the cloud adds one more point of failure.

3. Loss of data

All the company hosting your application cares about is their monthly fee. That is why if your company can't afford to pay the fee in the end there will be absolutely no HMI/SCADA software left.

Comparison of cloud HMI architecture with traditional HMI architecture

When a traditional HMI architecture is used (Figure 2), each workstation is equipped with one HMI. If any of the HMIs stops working, the machine is out of service.[5]

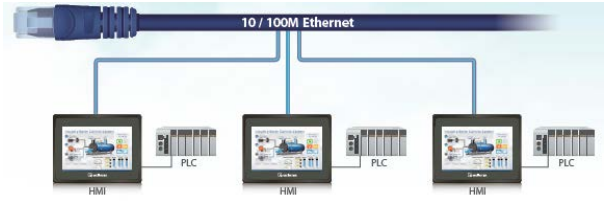


Figure 2. A traditional HMI architecture

When a cloud based HMI architecture is used (Figure 3), servers are situated in the cloud and they are connected to PLCs. The visualization device can be a wireless iPad or wired screen. Each visualization device can access any server with hot-standby mechanism. If any visualization device is out of service, another visualization device can take over operation without interruption.



Figure 3. cloud based HMI architecture

Let's take two widely spread companies on the markets of cloud based HMIs and traditional HMIs and compare their products (Table 1).

	cMT-SVR-100 (WEINTEK) – cloud based HMI	EA7-T6C (C-more) – traditional HMI
Display	1024x748	5.7"
CPU Type	ARM Cortex A8 600MHz	32-Bit RISC CPU 333 MHz
Memory	256Mbytes	32 Mbytes
I/O Ports	COM1 RS-232, COM2 RS-485, COM3 RS-485 USB 2.0 x 1 SD/SDHC card slot Ethernet10/100/1G x 2	Serial PLC Port: RS-232/422/485 USB Ports Ethernet 10/100 Base-T
Supply Power	24 VDC	24 VDC

Table 1. Comparison of cMT-SVR-100 and EA7-T6C

It can be seen that most features of the cloud based HMI are more advanced, that is why using of this architecture is more beneficial.

The idea of cloud based HMI is gaining in popularity. It can be predicted that over time more and more of technical processes will be moving into the cloud, and this will bring many benefits and possibilities.

References

1. http://studopedia.ru/view_mashinostroenie.php?id=1
2. https://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php#sthash.z7aHBne0.0PEjKex5.dpbs
3. http://www.globalspec.com/learnmore/industrial_engineering_software/industrial_controls_software/human_machine_interface_software_hmi
4. http://plcsystems.ru/catalog/Monitors/doc/c_more_panels_spec_rus.pdf
5. http://www.plcsystems.ru/catalog/weintek/doc/cMT-SVR-100_spec_rus.pdf
6. http://www.hmihelp.com/cloud-based-hmi/

OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ESTIMATION OF THE MAIN SOIL CORROSION FACTORS

Nebaba S.G.
Scientific advisor: V.V. Korobochkin, Doctor of Science, professor
Language supervisor: T.S. Mylnikova, senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin St., 634050, Tomsk, Russia
E-mail: stepan-lfx@mail.ru

1. Introduction

The total length of oil pipelines in Russia is about 200 thousand kilometers, and the entire pipeline Park currently exceeds thirty years of operation. In conditions when more than one third of failures in pipelines are caused by corrosion, the problem of anticorrosive protection has become crucial and is considered not only by researchers, but by the exploiters as well. One of the main ways to extend the service life is electrochemical protection (EP) [1]. Since new EP efficiency control means have been developed, the problem of collected data systematization and developing methods and algorithms of EP optimization is becoming essential.

To estimate the main soil corrosion factors and EP effectiveness the hardware-software complex «KORTES» was developed in the Electroanalysis and corrosion monitoring research laboratory in Tomsk Polytechnic University. This complex allows measuring EP parameters, such as cathodic protection current, polarization potential and the total potential, as well as the parameters of the soil corrosion activity, such as soil resistivity (SR) and the hydrogen index value of the soil (pH) on the basis of the potential fall curve processing using the potentiometric analysis method.

Potentiometric analysis methods have been known since the end of the last century. Intensive development of potentiometry in recent years is caused predominately by emergence of various types of ion-selective electrodes allowing conducting direct determination of the concentrations of many ions in solution, and by success achieved in design and mass production of devices for potentiometry measurements [2].

Potentiometric analysis methods are sub-divided into direct potentiometry (ionometry) and potentiometric titration. Methods of direct potentiometry are based on direct application of the Nernst equation to figure out the activity or concentration of the electrode reaction participant by experimentally measured electromotive force (EMF) of the circuit or by the related electrode potential.

2. Application of the Nernst equation for dry mixtures

In other words, the Nernst equation is used to calculate the parameters of the soil corrosion activity. This equation relates thermodynamics with electrochemical theory and it is used to solve the problems concerning diluted solutions only [3]. In a general form this equation can be written as

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{Ox}}{a_{Red}},$$

where

- E is an electrode potential;
- E^0 is a standard electrode potential measured in volts;
- R is a universal gas constant;
- T is absolute temperature;
- F is the Faraday constant;
- n is the number of moles of electrons involved in the process;
- a_{Ox} and a_{Red} are the activities of the oxidized and reduced forms of the substance involved in semi-reaction, respectively.

If simplify the Nernst equation substituting R and F constants numerical values and translating from the natural logarithm to the decimal one, at T = 298 K it will be written as

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{a_{Ox}}{a_{Red}}.$$

This equation is conventionally considered to be applicable to solutions, but in case of using comparison electrodes without-electrolyte and the sensor based on porous steel the Nernst method of solution activity determination can be applied to dry mixtures [4].

Thus, it becomes possible to define the soil chemical activity without complex procedures including sampling and subsequent analysis in laboratory conditions. To evaluate the soil chemical activity only one device is required. This device allows regulating the redox processes and recording changes of the electrode potential.

3. Implementation of the Nernst equation in the hardware-software complex «KORTES»

This method is implemented with the following algorithm:

1. Current is supplied to the sensor; it activates the process of hydrogen ions accumulation in porous steel.
2. When the current supply is interrupted, the number of hydrogen ions starts to decrease gradually to the normal level.
3. The device measures the decline of the electrode potential to the normal level.
4. The set of data is processed by the program.
5. The curve of the potential fall is smoothed by method of moving average to obtain a smooth

curve. The most sustainable part of the averaged curve is an inflection point (Fig. 1).

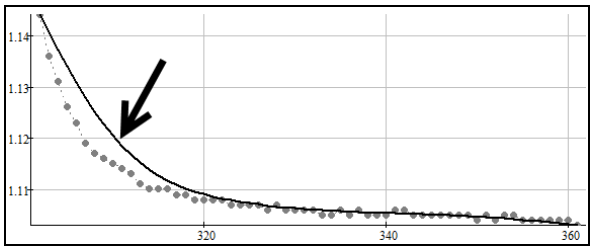


Fig. 1. Curve of the potential fall, the inflection point is shown with the arrow

6. The inflection point is determined by the search for the global maximum of the second derivative. The maximum is of a peak shape, since the potential fall is of an exponential shape (Fig. 2).

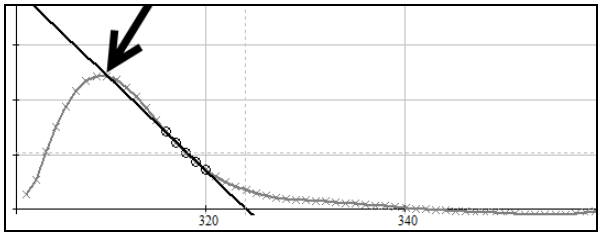


Fig. 2. The second derivative of the inflection point curve

7. At half of the peak curve the tangent is plotted. This tangent defines the tendency of peak to fall.
8. The intersection of the tangent with a zero is calculated. This point can be considered as the beginning of the quasilinear curve part.
9. A linear trend is plotted along the curve part from the point found to the quasilinear part.
10. The trend value at the measurement starting point will be the desired value of potential (Fig. 3).

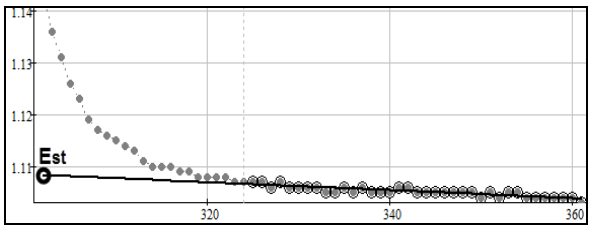


Fig. 3. Trend plotted along the quasilinear curve part, **Est** is desired value of the potential

11. The hydrogen index value of the soil can be calculated with this value obtained by the Nernst equation.

In this algorithm, the definition of the hydrogen ions saturation moment of the porous steel is problematical since it depends on many properties of the investigated soil.

4. Optimization algorithm for evaluation of the hydrogen index value of the soil

To determine the hydrogen ions saturation level of the porous steel the following algorithm was applied:

1. The device sets the current which is obviously more than the working current for a short period of time.
2. When the current decreases to the working level, the device records the curve of the electrode potential for the analysis.
3. The stationarity of the potential curve is checked by estimating standard deviation.
4. If the estimate meets the criteria for stationarity with the specified accuracy, the device stops the process of hydrogen ions accumulation and switches to measurement. Otherwise, the process repeats the cycle of item 1.

This algorithm is more effective than the process stationarity assessment, since the excess current at the beginning of each of the iterations reduces the time of porous steel saturation by hydrogen ions several times as much.

5. Conclusion

The algorithm of determination the hydrogen ions saturation level makes possible to standardize the assessment methods of the soil pH level and soil resistivity, to simplify and speed up the preparation of the device to measurement, and to reduce the subjective factors influence on the measurement conducted.

Wide application of these methods in the devices for estimation of the soil corrosion activity and the effectiveness of the cathodic protection equipment will reduce labour and material costs on the diagnosis and maintenance of the pipelines, identify areas of the corrosion risk and develop recommendations for additional preventive measures to protect the pipelines.

References

1. V.I. Xizhnyakov. Corrosion protection of oil and gas pipeline transportation / V.I. Xizhnyakov – Manual. – Tomsk: Publ. House. TPU, 2005. – 151 p (rus).

2. V.P. Vasil'ev. Analytical chemistry. 2 Volums. V. 2. Physical and chemical methods of the analysis / V.P. Vasil'ev – Manual for students of higher education in chemical engineering. – 2 Ed., revised and enlarged edition. - M.:Drofa, 2002. – 384 p.

3. B.B. Damaskin. Electrochemistry / B.B. Damaskin, O.A. Petrij, G.A. Cirlia.— 2 Ed., corrected and revised. — M.: Chemistry, KolosS, 2006. — 672 p (rus).

4. Yu.A. Ivanov. Issues of development and application of electroanalytical systems // Prossidings of the Symposium wit international participation “Theory and practice of Electroanalytical Chemistry” (Tomsk, 13-17 September 2010). — Tomsk, 2010. — 185 p (rus).

ANALYSIS OF RHYTHMS OF NIGHT BREATHING OF PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA BY METHOD OF LYAPUNOV

Prisakar A.V.
Scientific supervisor: Berestneva O.G., professor
Language supervisor: Pichugova I.L., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
E-mail: nastyaprisakar@mail.ru

Bronchial asthma is an acute or chronic disorder characterized by widespread and largely reversible reduction in the caliber of bronchi and bronchioles, due in varying degrees to smooth muscle spasm, mucosal edema, and excessive mucus in the lumens of airways. Cardinal symptoms are dyspnea, wheezing, and cough. Attacks or exacerbations may be induced by airborne allergens (molds, pollens, animal dander, dust mite and cockroach antigens), inhaled irritants (cold air, cigarette smoke, ozone), physical exercise, respiratory infection, psychological stress, or other factors [1]. Bronchial asthma is a serious global health problem. From 5% to 10% of persons of all ages suffer from this chronic airway disorder [2].

Types of bronchial asthma:

1. Bronchial asthma psychogenic-induced (BAPI). Asthmatic attacks are developed after emotional stress, mental shock or a stressful vital event.
2. Bronchial asthma non-psychogenic (BANP). Asthmatic attacks are often preceded by allergic rhinitis, urticaria, eczema and physical factors (cold and temperature difference). Psychological factors were not noticed to influence.
3. Bronchial asthma somato-psychogenic (BASP). The standard disease progress of patients falling under this category was altered by stress, after which the psychoemotional triggers (exogenous irritants) caused asthma attacks.

Exogenous irritants:

- respiratory infection particularly by viruses;
- chemical irritants;
- drugs (most commonly aspirin);
- occupational asthma such as animal handlers, bakers, workers with wood and vegetable dusts [3].

4. Psychogenic dyspnea (PD). Asthmatic attacks and dyspnea are connected with stressful vital events. The bronchial obstruction and other signs of asthma and organic pathology were ruled out there.

Nowadays we have different methods that allow defining features of patients with different forms of bronchial asthma. For example there is the Lyapunov exponent (λ) - entropic index that characterizes the rate of separation of infinitesimally close trajectories. It is a measure of "irregularity", smaller values indicate a greater chance that a set of data will be followed by similar data (regularity), and a greater value for the Lyapunov exponent signifies a lesser chance of similar data being repeated (irregularity) (Table 1) [4].

Table 1. Lyapunov exponent

$\lambda < 0$	Negative Lyapunov exponents are characteristics of dissipative or non-conservative systems. Such systems exhibit asymptotic stability; the more negative the exponent, the greater the stability.
$\lambda = 0$	A Lyapunov exponent of zero indicates that the system is in some sort of steady state mode. A physical system with this exponent is conservative. Such systems exhibit Lyapunov stability [5].
$\lambda > 0$	A positive largest Lyapunov exponent indicates chaos.

Research materials

30 people are investigated: 10 healthy (5 men and 5 women), 20 people with bronchial asthma who are divided into 2 groups. The first group includes 12 patients with BAPI (onset and progression of disease associated with psychological stress, psychotraumatic situation), there are 7 men and 5 women. The second group includes BANP, there are 8 people: 4 men and 4 women. While all examinees were sleeping, continuous monitoring of airflow at the nose and mouth was conducted by a cardiorespiratory monitor.

Method

There are two general methods of calculating the Lyapunov exponents: the first is for the data generated by the known system of differential or difference equations, the second is for the data from experimental time series [6].

We have the data of people's airflow in the form of experimental time series and we do not know its differential equations.

We define the spectrum of Lyapunov exponents in the manner most relevant to spectral calculations. Taking into account a continuous dynamical system in an *n*-dimensional phase space, we monitor the long-term evolution of an infinitesimal n-sphere of initial conditions; the sphere will become an *n*-ellipsoid because the flow has the locally deforming nature.

The *i*th one-dimensional Lyapunov exponent is then defined in terms of the length of the ellipsoidal principal axis $p_i(t)$: $\lambda_i = \lim_{t\to\infty} \frac{1}{t} \log_2 \frac{p_i(t)}{p_i(0)}$,

where the λ_i are ordered from largest to smallest.

In this way the Lyapunov exponents are related to the expanding or contracting nature of different directions in phase space. Since the orientation of the ellipsoid changes continuously as it evolves, the directions

associated with the given exponent vary in a complicated way through the attractor [7]. The attractor is a set of states - points in the phase space, invariant under the dynamics, towards which neighboring states in the given basin of attraction asymptotically approach in the course of dynamic evolution [8]. One cannot, therefore, speak of a well-defined direction associated with the given exponent.

Notice that the linear extent of the ellipsoid grows as $2^{\lambda_1(t)}$, the area defined by the first two principal axes grows as $2^{(\lambda_1+\lambda_2)t}$, the volume defined by the first three principal axes grows as $2^{(\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3)t}$, and so on. This property yields another definition of the spectrum of exponents: the sum of the first *j* exponents is defined by the long term exponential growth rate of a *j*-volume element. This alternate definition will provide the basis of our spectral technique for experimental data.

The sum of the Lyapunov exponents is the time-averaged divergence of the phase space velocity; hence any dissipative dynamical system will have at least one negative exponent, the sum of all of the exponents is negative, and the post-transient motion of trajectories will occur on a zero volume limit set, an attractor [7].

Results

The table 2 shows the Lyapunov exponents according to the sex of healthy people and patients with BAPI and BANP. The results are presented within the accuracy of up to 4 signs.

Table 2. Lyapunov exponents of healthy people and people with BA

Sex	Lyapunov exponents	Healthy people	BANP	BAPI
Women	λ	0,2687	0,2138	0,2477
Men		0,2592	0,2563	0,2468

Let us represent the chart of our Lyapunov exponents to make the data more visible (Fig.1).

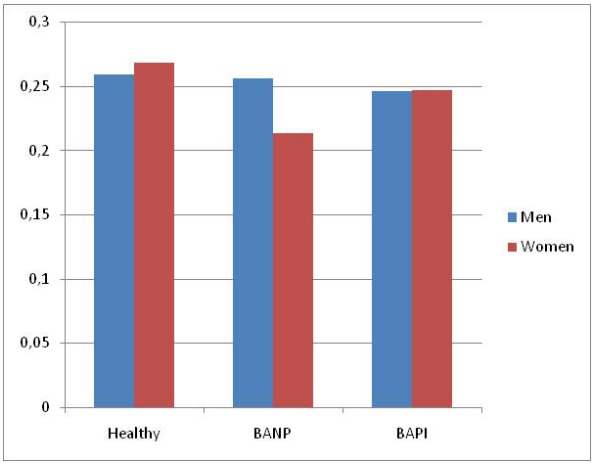


Fig.1. Chart of Lyapunov exponents

Conclusion

Lyapunov's method is applied to study the stability of various differential equations and systems. It effectively identifies differences between healthy people and patients with BA (BAPI and BANP). Looking at the table 2, we can make the following conclusions:

1. Women's Lyapunov exponents are higher than men's, it means that healthy men have more rhythmic breathing.
2. Men with BANP have higher Lyapunov exponents than women's therefore women have more rhythmic breathing.
3. Men and women with BAPI have approximately equal Lyapunov exponents.

Research of nonlinear parameters allows us to reveal different features (in our case features of healthy people and patients with BA). Thus the next step of this research will be to identify nonlinear parameter as correlation dimension to distinguish a "random" system and a system controlled by a small number of parameters, and to assess their complexity.

References

1. Medical dictionaries, drugs & medical searches [Electronic resource]. Access mode: http://www.medilexicon.com/, free (access date: 6.02.2014).

2. Ukena D., Fishman L., Niebling W.B. Bronchial asthma: diagnosis and long-term treatment in adults [Electronic resource]. Access mode: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2696883/pdf/Dtsch_Arztebl_Int-105-0385.pdf, free (access date: 7.02.2014).

3. Basic pathology. LUNGS – Bronchial Asthma [Electronic resource]. Access mode: http://basicpathology-histopathology.blogspot.ru/2009/03/lungs-bronchial-asthma.html, free (access date: 8.02.2014).

4. Seely A., Macklem P. Complex systems and the technology of variability analysis [Electronic resource]. Access mode: http://ccforum.com/content/8/6/R367, free (access date: 7.02.2014).

5. The Chaos Hypertextbook [Electronic resource]. Access mode: http://hypertextbook.com/chaos/43.shtml, free (access date: 7.02.2014).

6. Moon F.C. Chaotic Vibrations: An Introductions for Applied Scientists and Engineers. – New York: Wiley, 1987. – 312 p.

7. Determining Lyapunov exponents from a time series/ A.Wolf, J.Swift, H.Swinney, J.Vastano// University of Texas, Austin.–1984.–P.285–317.

8. MathWorld – A Wolfram Web Resource [Electronic resource]. Access mode: http://mathworld.wolfram.com/Attractor.html, free (access date: 13.02.2014).

SIMULATION AND VISUALIZATION OF WATER FLOW USING GRAPHICAL PROCESSING UNITS (GPUs)

Rud M.N., Duseev V.R.
Scientific supervisor: Malchukov A.N., Ph.D.
Language supervisor: Butakova T.I.
Tomsk polytechnic university, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: rudmax13@gmail.com

Introduction

One of the most complicated and challenging problems for rendering realistically looking terrain is water simulation. Below are some popular methods to perform this task:

1) Procedural water. It simulates the visual effects of water surface, but not the water physics. This approach is suitable for large unbounded surfaces simulation, such as oceans. The most realistic results were obtained by J. Tessendorf in 2004.

2) Smooth particle hydrodynamics. In this method water is represented by set of particles; the approach perfectly fits for simulating spray, splashing, and runnels. It is computationally expensive and not suitable for simulating rivers, lakes and oceans.

3) Height fields. The method represents water surface as a 2D-function $z = f(x, y)$. The advantage of this approach is transition from 3D-volume to 2D-surface, and, as a consequence, reduction of computational complexity. However, there is no possibility to simulate breaking waves, because at each point of surface there is only one height value.

The above methods have some advantages and disadvantages; it is necessary for a researcher to make the appropriate choice of the method according to the task, programming, mathematics skills and hardware resources.

Task

Our task is to develop a water model to be used on Interactive Sandbox, an installation for real-time terrain generating [4]. A good-looking and physically correct liquid model will add realism and functionality to the installation.

For our purpose, we need the water model, which satisfies the conditions below:

1) it provides realistic appearance of water;
2) water interacts with terrain and adapts to its changes in real time; *во время?*
3) it is computationally as inexpensive as possible.
4) it allows simulating other liquids, for example, volcanic lava.

Shallow water equations

Shallow water equations (also called Saint Venant equations) are a set of hyperbolic partial differential equations describing the dynamics of a thin fluid surface in terms of its height and flow.

$$\begin{bmatrix} h \\ hu \\ hv \end{bmatrix}_t + \begin{bmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{bmatrix}_x + \begin{bmatrix} hv \\ huv \\ hv^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{bmatrix}_y = \begin{bmatrix} 0 \\ -ghB_x - \kappa(h)u \\ -ghB_y - \kappa(h)v \end{bmatrix}$$

Figure 1. Shallow water equations

Here h is the water depth, hu is the discharge along the x-axis, hv is the discharge along the y-axis, g is the gravitational constant, and B is the bathymetry (see Figure 1).

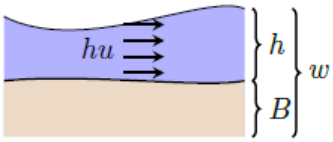


Figure 2. Variables for shallow water equations in 1D

The usage of shallow water equations has some limitations. As mentioned above we cannot simulate breaking waves and splashing particles, however, this method is perfect for modelling water domains whose surface area is much greater than its height. With the help of shallow water equations we can simulate not only small lakes, rivers, puddles, pools and ponds but also large surfaces of water.

Numerical scheme

We are interested in a simple, accurate, and robust numerical method for the Saint-Venant system. A good numerical method for the system should accurately capture both the steady states and their small perturbations (quasi-steady flows). From practical point of view, one of the most important steady-state solutions is a stationary one (lake at rest):

$$u=0,\ h+B=Const.$$

Methods having this property are called well balanced.

In addition, the method should handle dry ($h = 0$) or near dry zones (positivity preserving property). In these cases, due to numerical oscillations, h can become negative and all computations can simply break down.

Such a method which is both well-balanced and positivity preserving was suggested by A. Kurganov and G. Petrova in 2007 [2]. The system of differential equations is discretized on a regular Cartesian grid using the so-called central upwind scheme (Figure 3):

$$\frac{d}{dt}\overline{\mathbf{U}}_j(t) = -\frac{\mathbf{H}_{j+\frac{1}{2}}(t) - \mathbf{H}_{j-\frac{1}{2}}(t)}{\Delta x} + \overline{\mathbf{S}}_j(t),$$

Figure 3. Central upwind scheme of discretization

Here $\mathbf{U}_j(t)$ is a two-component vector of conserved quantities *w* and *hu* (three-component vector in case of 2D), where *w* is a sum of water height and bathymetry height at the point, and *hu* is the discharge along the *x*-axis. $\mathbf{S}_j(t)$ is an appropriate discretization of the cell averages of the source term, and $\mathbf{H}_{j+1/2}(t)$ is a central-upwind numerical flux along the *x*-axis.

After obtaining all necessary values, this system can be solved using a second order stability preserving Runge-Kutta method.

$$U_j^* = U_j^n + \Delta t(R(U_j^n);$$
$$U_j^{n+1} = \frac{U_j^n}{2} + \frac{1}{2}\cdot(U_j^* + \Delta t(R(U_j^*));$$

where $R(U_j)$ is the right part of equation in Figure 3.

Implementation using GPU

Unfortunately, implementation of Kurganov-Petrova scheme on CPU does not give us satisfactory results. Intel Core i5 processor can calculate only 50 vertices in each direction with acceptable frame rate (30 frames per second). This is not enough for two reasons: firstly, the surface is not smooth and does not look good enough, and, secondly, Kinect sensor that is used in Interactive sandbox produces the height map with resolution at least 320 x 240 points, so we need to obtain the appropriate resolution in water calculations.

GPUs have in recent years developed from being hardware accelerators of computer graphics into high-performance computational engines.

In our case we can use computations on GPU to implement Kurganov-Petrova scheme in parallel. We divide the entire algorithm into four stages. At each stage we perform calculations for each vertex independently from others. That is exactly how GPU can be used in non-graphic computations.

To implement the algorithm we use graphics API OpenGL and its feature called Frame buffer object. We use the first program to perform the first stage of algorithm in parallel for each vertex (the program performed on GPU is called *shader*). Then this data is used to fill the texture which can be used at the second stage. After all four stages proceed, we obtain the solution, which includes water height at this point, and use this value to render water surface.

Visualization

To visualize the liquid surface we use some well-known and not very computationally expensive techniques, which, nevertheless, give very good results.

1. To compute lighting we use standard ADS-model (which divides the light into three components – ambient, diffuse and specular);
2. We use skybox texture to simulate the effect of real environment around the scene.
3. For water to look realistically we use reflections of skybox and of terrain part which is above the water surface. To perform this we render the scene with terrain into the texture and then apply this texture to the water to obtain reflection.
4. As in real life, in our implementation water transparency depends on its height.

Blending liquids

Algorithm allows simulating two or more liquids on terrain simultaneously. Computations for them are performed in parallel, so there is no reduction of a frame rate. We cannot simulate physical interaction of fluids without particle system, but usage of specially computed color blending factor gives good visual results.

Results

The result of rendering can be seen in Figure 4.

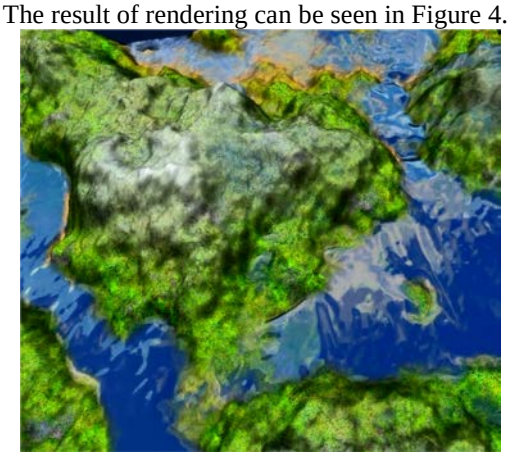


Figure 4. Final result of rendering

The water surface has resolution 320 x 240, obtained frame rate was 40 frames per second. The program was tested on the notebook with Intel Core i5 processor and NVIDIA GeForce 640M video card. The developed user interface allows user to add water in certain points with a mouse, change terrain, move lighting source, and tune water visualization to make it more transparent, and etc.

References

1. A. Kurganov and G. Petrova, “A second-order well-balanced positivity preserving central-upwind scheme for the Saint-Venant system,” Communications in Mathematical Sciences, vol. 5, pp. 133–160, 2007.

2. A. R. Brodtkorb, M. L. Sжtra, and M. Altinakar, “Efficient shallow water simulations on GPUs: Implementation, visualization, verification, and validation” 2010.

3. D. Shreiner, M. Woo, J. Neider, and T. Davis, OpenGL Programming Guide: The Official Guide to Learning OpenGL, 6th ed. Addison-Wesley, 2007.

4. Rud M., Duseev V., “Creating interactive visualization system”, TPU, 2013.

AIR-OIL FLOW SIMULATION IN A POROUS COLUMN

Ryabikina A.S.
Scientific advisor: Ogorodnikov A.S., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor
Linguistic advisor: Marugina N.I., Candidate of Philological Sciences, Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Russian Federation, 634050, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: ryabikina11@mail.ru

In general, porous medium stands for a solid object that contains pores or voids. Studies of flows in porous media form the basis in soil mechanics, industrial filtration, groundwater hydrology, water treatment and others. In oil extraction, flow modeling is used to model processes when water or gases are entered to the oil-saturated medium in order to displace and collect oil [1].

Phase is one of the substance states which could be liquid, solid or gaseous. Multiphase flow is a simultaneous flow of a few liquid-and-gas mixture phases [2].

The whole experiment is divided into 2 parts: the first one employs water and air while the second one includes air and oil. As two substances take part in this experiment one of them is referred to as 'wetting fluid' (water or oil) while another one is referred to as 'nonwetting fluid' (air). To study processes that occur in multiphase flows peculiar experimental setups are constructed the way as it is shown in Fig.1.

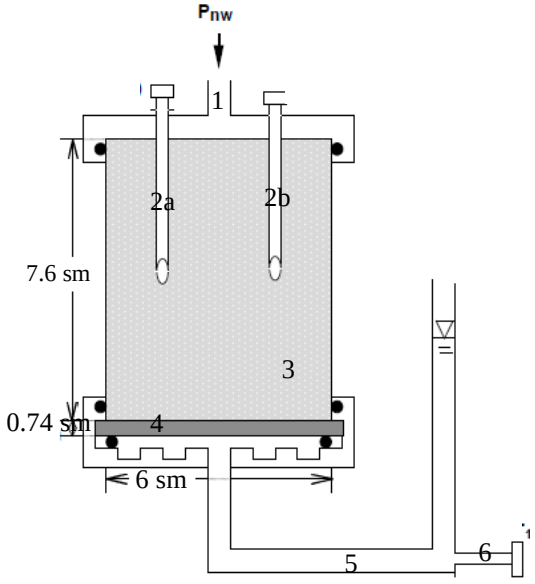


Fig.1. Experimental Setup

The experimental setup consists of: 1 – inlet; 2a, 2b – pressure sensors; 3 – soil column; 4 – ceramic disk; 5 – buret; 6 – wetting phase pressure sensor.

Initial time, the soil column posed on a ceramic disk 4 is saturated with the wetting fluid located in the receiving buret 5. Then, air is injected over the surface of the laboratory column 3 through the inlet 1 from 0.2 meters height under pressure of $p_{nw}(t)$. Air pressure is increased in time in order to observe the wetting fluid pressure behavior. The two-phase flow experiment covers 170 hours [3].

The following equations describe two-phase flows in porous media for the wetting fluid and the nonwetting fluid respectively [3]:

$$C_{p,w}\frac{\partial}{\partial t}(p_{nw}-p_w)+\nabla\cdot\left[-\frac{\kappa_{int}k_{r,w}}{\eta_w}(\nabla p_w+\rho_w g\nabla D)\right]=0,$$

$$-C_{p,w}\frac{\partial}{\partial t}(p_{nw}-p_w)+\nabla\cdot\left[-\frac{\kappa_{int}k_{r,nw}}{\eta_{nw}}(\nabla p_{nw}+\rho_{nw}g\nabla D)\right]=0,$$

where $C_{p,w}$ ($C_{p,nw}$) – wetting (nonwetting) fluid specific capacity (1/Pa); t – time (hrs); κ_{int} – intrinsic permeability of the porous medium (m^2); $k_{r,w}$ ($k_{r,nw}$) – relative permeability function for the wetting (nonwetting) fluid; η_w (η_{nw}) – dynamic viscosity for the wetting (nonwetting) fluid (kg/m*s); p_w (p_{nw}) – wetting (nonwetting) fluid pressure (Pa); ρ_w (ρ_{nw}) – wetting (nonwetting) fluid density (kg/m^3); g – acceleration of gravity (m/s^2); D – the coordinate (for example, x, y, or z) of vertical elevation (m).

The boundary conditions allow the water to exit only from the base of the soil column. For the wetting phase, the boundary conditions are [3]:

- for the inlet and sides

$$\mathbf{n}\cdot\left[-\frac{\kappa}{\eta}(\nabla p_w+\rho_w g\nabla D)\right]=0,$$

- for the base

$$p_w=0.1*\rho_w g,$$

where **n** is the unit vector normal to the boundary.

Because air enters at the column top but never exits, the boundary conditions for the nonwetting phase are [3]:

- for the inlet

$$p_{nw}=\rho_{nw}gh(t),$$

- for the base and sides

$$\mathbf{n}\cdot\left[-\frac{\kappa}{\eta}(\nabla p_{nw}+\rho_{nw}g\nabla D)\right]=0,$$

where $h(t)$ - pressure head (m water).

Initial time, wetting fluid pressure is [3]:

$$p_w^{init}=-\rho_w gD.$$

Initial condition for air pressure is [3]:

$$p_{nw}^{init}=0.2\rho_w g+(8.34-D)\rho_{nw}g,$$

where 0.2 – the first air pressure head (m water);
8.34 – soil column length (m).

When switching between air/water and air/oil experiments, the authors used clever scaling with interfacial tensions according to Leverett. The Leverett scaling adjusts the nonwetting phase pressure at the column top to produce the same volume of wetting fluid outflow at the column bottom regardless of the fluid pair [4]:

$$\sigma_{ao}p_{c,aw}=\sigma_{aw}p_{c,ao},$$

where σ_{ao} – interfacial tension between air and oil ;
$p_{c,aw}$ – capillary pressure for air/water system;
σ_{aw} – interfacial tension between air and water ;
$p_{c,ao}$ – capillary pressure for air/oil system.

Considering aforementioned assumptions, boundary conditions for the nonwetting phase in the air/oil system will take the form:

$$p_{nw}=\frac{\sigma_{ao}}{\sigma_{aw}}\rho_{nw}gh(t).$$

Meantime, air initial conditions for air/oil system will be:

$$p_{nw}^{init}=\frac{\sigma_{ao}}{\sigma_{aw}}0.2\rho_w g+(8.34-D)\rho_{nw}g.$$

Such equations are difficult to solve because of its nonlinearity, however computers allow to find a solution via approximate numerical methods. Finite element method (FEM) built-in Comsol Multiphysics is one of them.

To prove model robustness via comparison with other authors experimental observations were made for air/water system. The experiment showed that results corresponded to the outputs obtained by other researchers thus the created model can be used for further observations and substances may be varied.

After that the model was modified so that the wetting fluid would be represented with oil instead of water. At the very beginning of the experiment, oil concentration was higher at the bottom of the laboratory column as it goes to the column from below.

The study output is oil pressure in the laboratory column at 170 hours (Fig.2).

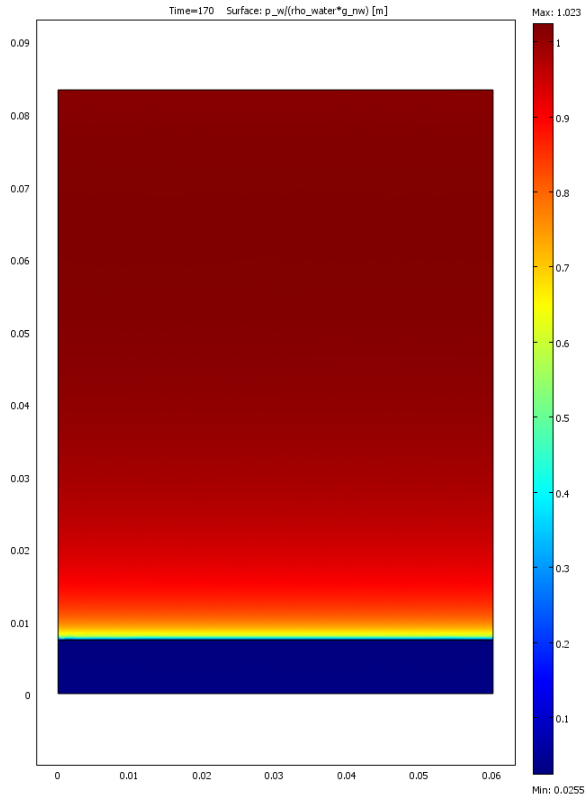


Fig.2. Oil pressure distribution ($t=170$ hrs)

Conclusively, the experiment showed that despite air injection through the column's inlet, oil concentration is higher on top of the column thus the model can be used to study problems which require oil or any other substance extraction.

References

1. Scheidegger, A. The physics of flow through porous media.- Moscow: State Scientific and Technical Publisher of Petroleum and Technical Bibliography, 1960.
2. Kluev, N. & Solovieva, E. Mathematical models of two-phase flows.- Samara: Samara university, 2009.
3. Hopmans, J. Parameter estimation of two-fluid capillary pressure saturation and permeability functions.- Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory, 1998.
4. Leverett, M. Capillary behavior in porous solids. Transactions of the AIME. [Online]. p.152-169. Available from: https://www.archive.org. [Accessed: February 2014]

BACK-END DEVELOPMENT OF THE APPLICATION "LEARN LANGUAGE BY SONGS"

Sannikov M.A., Leontev P.N.
Scientific supervisor: Zvigintsev I.L., teaching assistant
Language supervisor: Pichugova I.L., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
E-mail: max777alex@gmail.com

Mobile application development is very popular today. There are a lot of different mobile devices around the world, which work on various operating systems. Therefore, problems arise when you are trying to design an application under many platforms. The one is the application overloading causing some bad influence on performance and response time. The second problem is that there is some functionality, which is completely the same on different platforms, and it is really difficult to maintain such code. One way to solve these problems is to choose the other application architecture, for example, client-server. Such architecture has been chosen for our application Learn Language By Songs (LLBS), which is designed for two most popular platforms: Android and iOS.

The application installed on a user mobile device is called front-end. It contains the main functionality which allows interacting with the user. The server application (back-end) is responsible for the most "heavy" functions and provides simultaneous high-performance processing of the client devices requests. In the application LLBS the backend is developed using PHP-framework Symfony 2 and MySQL relational database management system. It provides the Application Programming Interface (API), which consists of the following functions:

- song lyrics search by its attributes (name, artist);
- user authorization and registration;
- getting the scores about listened songs.

Symfony PHP Web Development Framework is chosen for backend API because it is one of the most developing frameworks and it helps to think about the functionality of application instead of details of implementation. The main structure of request handling is shown in Fig. 1. Symphony aims to speed up the creation and maintenance of web applications and to replace repetitive coding tasks. It has the following structure: incoming requests are interpreted by the routing and passed to controller functions that return Response objects. Each "page" of the site is defined in a routing configuration file that maps different URLs to different PHP functions. The job of each PHP function, called a controller, is to use information from the request along with many other tools Symfony makes available – to create and return a Response object. In other words, the controller contains the code that turns HTTP request into HTTP response.

There are two server-side MySQL databases. The first database is responsible for storing information about user registrations. The second is a caching storage for song lyrics. The song lyric is the result of parsing the pages on popular sites with such information, for instance, azlyrics.com. Moreover, exceptional cases handling is designed for artist or song name in order to get rid of some errors. For example, if we take the string "The Beatles" and the application tries to get the song lyrics, it will fail because many sites use the pattern "artist/song_name" where the first one often does not contain the prefix "the".

The server-side caching is necessary for reducing the load on the network and the sites with the required information about the song. The handling of incoming request begins with cache scanning. If the cache does not contain any corresponding information, then the song lyrics search will run. However, the server

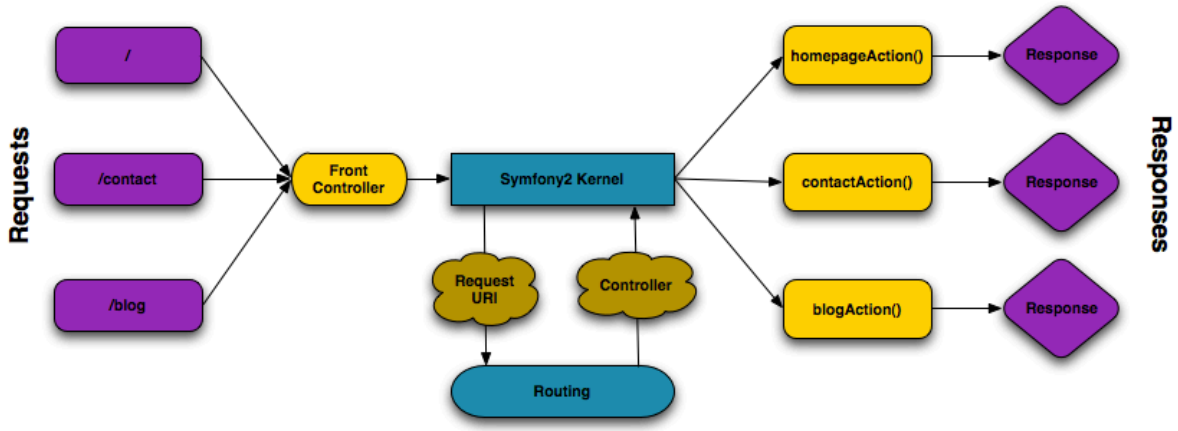


Fig. 1. Symfony 2 application structure

performance will decrease when the cache size is about a hundred of gigabytes. But the effective maximum table size for MySQL databases is usually determined by operating system constraints on file sizes, not by MySQL internal limits [1]. To solve this problem we are storing request counters for every song in the second MySQL database. It is always used in the server procedure of reducing the data which are not relevant at the given moment (shrinking). Shrinking can be performed both manually and automatically (for instance, if the cache size is more than predefined constant). In addition, front-end app also uses caching. The main reason is to decrease response time for all actions performed by the user. Client has SQLite database which stores only song's lyrics which are on user device. When user launches the application, background scanning of the file system will be run to update the list of available songs. If one of the songs is not found, all the information about it will be deleted from the cache. The full scheme of such interaction is shown in Fig. 2.

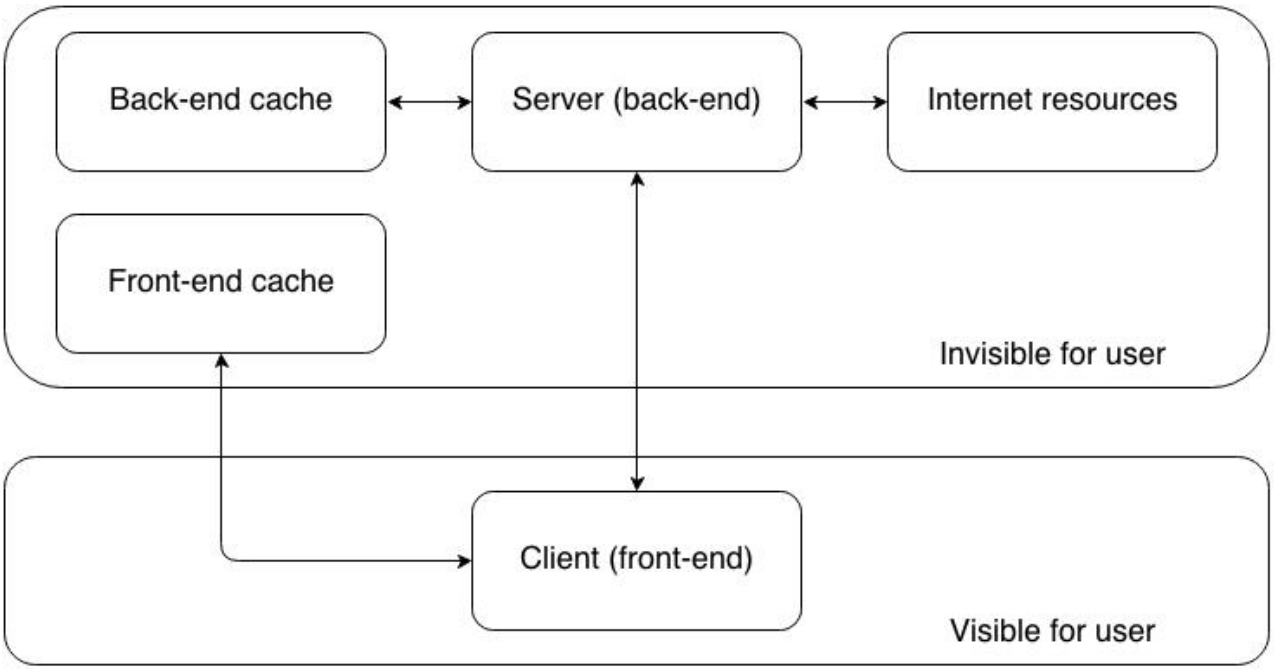


Fig. 2. Application sheme

As a conclusion we can say that back-end development is more complex task than front-end because of many server implementation features and advanced tasks such as caching, HTTP-requests processing or server protection from the overloading.

References

1. MySQL Documentation [Electronic resource] Access mode: http://dev.mysql.com/doc/refman/5.0/en/table-size-limit.html
2. Android for developers [Electronic resource], Access mode: https://developer.android.com - free.
3. Client-server model [Electronic resource]. Access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/Client%E2%80%93server_model – free.
4. High Performance PHP framework for web-development – Symphony [Electronic resource]. Access mode: http://symfony.com/ - free
5. Application Programming Interface [Electronic resource]. Access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/Application_programming_interface - free.
6. Mobile Development overview [Electronic resource]. Access mode: http://www.clarity-ventures.com/articles/article/676/mobile-development-overview-statistics-on-mobile-development-mobile-development - free.

DESIGNING A HEATING APPLIANCE MODEL TO PRACTICE DIGITAL CONTROLLERS SYNTHESIZING

Solovyev P.A.
Scientific supervisor: I. A. Tutov, teaching assistant
Language supervisor: I. L. Pichugova, senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia
z1reael.work@gmail.com

Introduction

Heating appliance is designed to improve skills of synthesizing and tuning digital controllers. Nowadays various digital controllers are necessary elements of any control system, which are used in manufacturing and scientific spheres, as well for private needs. Problem of any control is a primary engineering challenge, so practical ABCs of control are important researching course for young specialists. For these reasons, we design the heating appliance.

Design of heating appliance

The heating appliance consists of a heating spiral, a control driver, a resistance temperature detector, a microcontroller and a water container. Using microcontroller, we plan to program different control algorithms (e.g. for programming of PID controllers). The heating spiral has 0.5 kW power.

The control driver circuit diagram is shown in Figure 1. [1]

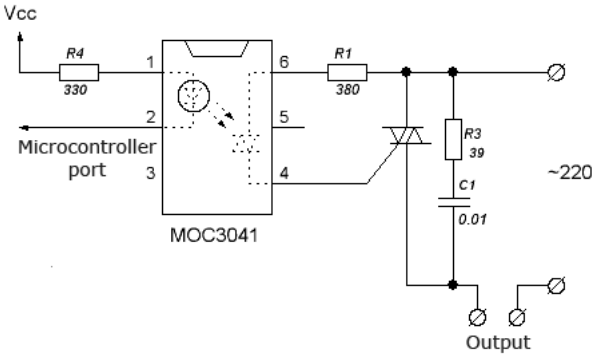


Figure 1. Circuit diagram of control driver

This driver is designed to switch power supply of the heating appliance. The microcontroller generates control signal. BT137-600 TRIAC and MOC3041 TRIAC-based opto-isolator are used for commutation of power circuit [2]. MOC3041 provides galvanic isolation of logical and power signals between themselves. The main disadvantage of any triode for alternating current is ability to conduct current even after removing the control voltage. However, applying TRIAC in this control driver greatly reduces the price of the designed board on a whole. In contrast, using insolated-gate bipolar transistors, which are also able to switch alternating-current electric power supply (220 V, 50 Hz), considerably increases costs of the designed board.

When current direction is changed, TRIAC automatically ceases to conduct current, it means that if we use AC electric power supply, we will ignore the above-mentioned disadvantage.

There are two ways to control power. It is pulse-phase modulation (PPM) method and method of voltage half-cycles skipping [4].

Closing of TRIAC occurs only when current changes its direction, so we are able to realize classical PWM to control only with frequency less than 100 Hz. It is a working principle of voltage half-cycles skipping method. This method suffers from considerable disadvantage, e.g. using this method, low frequency blinking of an incandescent lamp with small inertia will be visible to human eyes. However, the heating spiral has large inertia and it means that the above-mentioned disadvantage does not affect our experiment.

PPM is able to fix the problem of output signal blinking. PPM principle is shown in Figure 2.

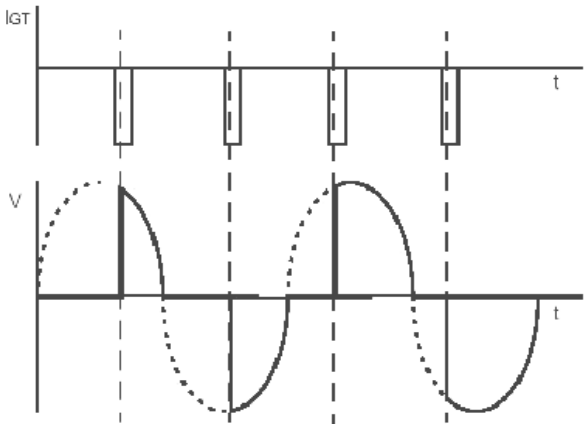


Figure 2.Time graph of PPM.

PPM control is realized as follows: when the trigger pulse turns on the TRIAC, it conducts current until the actual voltage half-cycle of electric power supply current/voltage ends. The next trigger pulse must be supplied within the following voltage half-cycle. Delay between voltage half-cycle beginning and trigger pulse time moment sets actual root mean square value (RMS) and power of output signal (temperature in this case).

Detection of half-cycle changing time is a priority task, so it is implemented in the MOC3041 through application of zero cross technology. Figure 3 shows our oscillogram, which explains control driver working principle. The signal at the top of the oscillogram is the zero cross, input trigger pulses are

shown at the bottom. Figure 4 illustrates output signal that is converted to measurements.

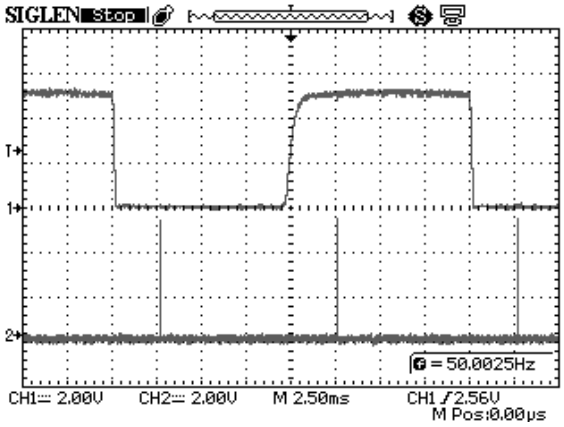


Figure 3. Oscillogram of zero cross signal and trigger pulses

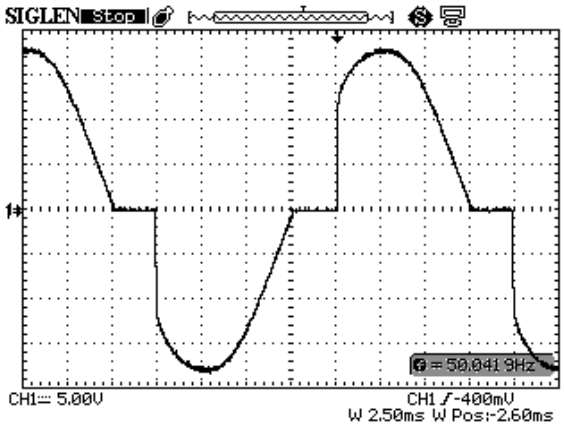


Figure 4. Output signal oscillogram

Circuit diagram (Figure 1) shows that we are able to connect control driver and any microcontroller between themselves. Now we are applying PinBoard 2.0 breadboard [5] based on 8-bit core – ATMega 16 microcontroller. The general view of PinBoard 2.0 is shown in Figure 5.

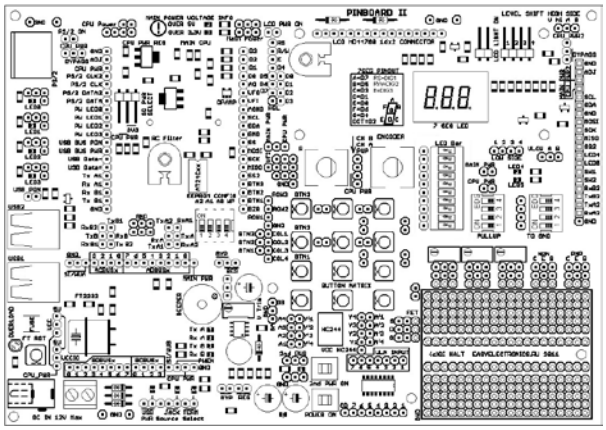


Figure 5. General view of PinBoard 2.0

PinBoard 2.0 breadboard has many functions. PinBoard application of experimental goals is completely useful, because it allows us to save money and time for selecting and configuring external power supplies, searching a chip programmer and brazing screw terminals. Breadboard advantages:

1. microcontroller configurations latitude;
2. internal chip programmer;
3. versatility of integrated units – we will use many units independently;
4. various ports and indicators are available – there are buttons, LEDs, an encoder, LCD indicators and Modbus/Ethernet interfaces;
5. basic analog circuits are available too - different filters, internal digital-to-analog converter, separate transistors and potentiometers.

As for the microcontroller, we chose ATMega 16, because it is cheap, easy to program; required software is free and available. Moreover, we have already had ATMega programming experience.

As for the feedback, we use a copper thermistor with unified output signal (4…20 mA), with operating temperature of -50˚…+150˚C.

Conclusion

Currently we are testing and debugging this appliance. During constructing, we dealt with different difficulties, which are not described in this article. However, in the nearest future we are going to cope with its implementation and then start programming.

References

1. Electronics for everybody. AC electric power supply control [Electronic resource]. – Access mode http://easyelectronics.ru/upravlenie-moshhnoj-nagruzkoj-peremennogo-toka.html, free.
2. MOC 3041 Datasheet [Electronic resource]. – Access mode http://www.futurlec.com/LED/MOC3041.shtml, free.
3. Fomichev Y. M., Sergeev V. M – Electronics. Electronic components, analog/digital elements: reference manual. – Tomsk, TPU, 2011.
4. Power supply controlling by PIC10F204 and TRIAC [Electronic resource] – Access mode http://www.microchip.com.ru/Support/dimm.html, free.
5. Electronics for all. PinBoard [Electronic resource] – Access mode http://shop.easyelectronics.ru/index.php?categoryID=102, free.

THE DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF ADAPTIVE DISCRETE PID CONTROL FOR THE EXTRUDER BASED ON A MICROCONTROLLER

Starikov D.P., Rybakov E.A., Zhuravlev D.V.
Scientific adviser: Berchuk D.U., postgraduate
Linguistic adviser: Kuznetsova I.N., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 654050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30
E-mail: Dstarikov@me.com

Introduction

It is supplied in a printer in a form of filament (figure 1).The most reasonable way of creating models is printing them out of ABS plastic. Nowadays, 3D printing gains the popularity and practical applicability.

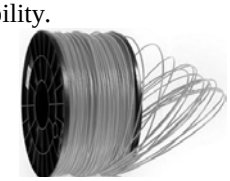


Figure 1. Form of filament

The technology of plastic fiber production assumes the adherence of diameter (1.7 mm) with the accuracy of 30 mcm. The plants (extruders) that can provide the given value are expensive. The created model of an extruder is shown as a model in figure 2.

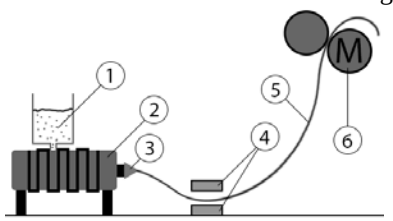


Figure 2. The model of extruder

where
1 – Bunker;
2 – Extruder;
3 – Nozzle;
4 – Transducers;
5 – Filament;
6 – Motor.

The crushed plastic is piled up to a special bunker (1) where it is heated up to the special temperature. The soft plastic is pressed out through the nozzle (3) as a filament (5) with a certain diameter by the screw rotating. After that the fiber (5) extends through the position transducers (4) by the gravity method. Depending on the sensor reading (4) it is needed to control the motor rotating frequency (6). It is necessary to solve the following problems of controlling this SAC loop:

- The continuously adjustable frequency of a motor rotating (without working in fits and starts);
- The optimal speed search of broaching (due to the non-linear speed of plastic supplying from the extruder;
- The warning system support (the plastic break etc.).

At the moment the motor rotating frequency control is implemented with the help of relay automation. The use of such implementation involves only a partial solution to the tasks. For example, there is a probability of plastic break because of the motor impulse control. Also, the diameter reduction is possible because of the fiber extension due to the stretching mechanism spurts.

Nowadays it is possible to reach the accuracy of 30 mcm on the functional plant but with the material over-expenditure, raising the question of profitability of the ABS fiber production. The developed algorithm may solve the presented problems absolutely. It is based on the classical PID loop control and supposes the adaptive discrete control. The scheme of the classical PID loop control is shown in figure 3.

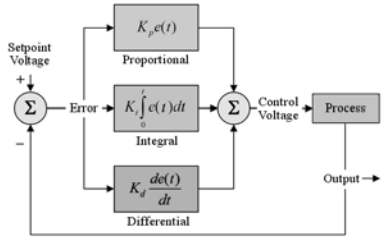


Figure 3. The classical scheme of the PID control loop

The control influence is formed depending on the sensor (or sensors) feedback. It includes proportional, integral and differential components depending on the error value (the difference between a set point and a real value). The quality of processes depends on the respective factors selection (1).

$$u(t) = P + I + D = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau)d\tau + k_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

It is obvious that a classical PID controller assumes the continuous (analog) signal using. Moreover it does not support the control influence adaptation. The main task is the software and hardware complex for control speed of motor (pulling fiber) developing that allows avoiding jerks with the increasing speed, automatically selecting the optimal feeding speed.

Algorithm

The flow chart of a suggested algorithm is shown in figure 4. When reading from the lowest sensor will reach the SETPOINT the motor speed will increased according PID control algorithm. Before the highest SETPOINT2 activation the algorithm of slowly breaking will be activated. Then the data for adaptive speed function will be saved and calculated.

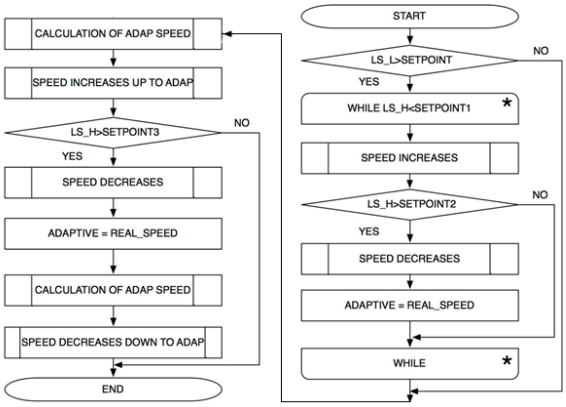


Figure 4. Flow chart

The calculated data will be transformed to the motor speed and translated to the engine. The motor will normally work at adaptive speed but if the highest sensor is activated at SETPOINT3 the adaptive speed will be recalculated.

In general the adaptive function may be presented as the following formula (2):

$$u_{t+1}(t) = \lim_{x \to t} \sum_{x=i-1}^{x=i} \frac{u_x}{2} \pm k_p e(t_{-1}) + k_i \int_0^{t-1} e(\tau) d\tau + k_d \frac{de(t_{-1})}{dt} \quad (2)$$

The choice of sum or difference shows depends on the motor speed trend.

Hardware

To solve the pointed problems completely it was decided to use a micro controller (instead of relay automation), transistors and 2 opt switches (to provide a feedback). MOSFET transistor was used as a controllable key because it can supply preselected performance of the pulse width modulation (PWM) of the control influence sent by a micro controller. The schematic diagram of logic key is shown in figure 5. The three-wire sensors connection scheme (figure 6) was used for fine-tuning.

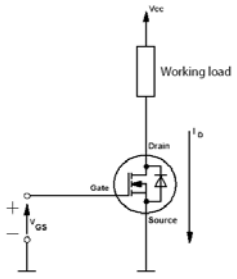


Figure 5. Schematic diagram

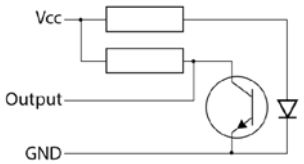


Figure 6. The three-wire sensors connection scheme

For implementation of the developed algorithm the position of opt switches was chosen (figure 7). This solution allows the better control of the fiber position in the space. Also the 3D model of a holder was developed in the special software (Autodesk Inventor) and was printed with the help of a 3D-printer (figure 8).

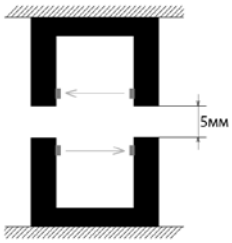


Figure 7. The position of opt switches

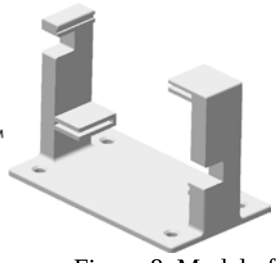


Figure 8. Model of holder

The proposed solution is based on a microcontroller ATmega2560, which is capable of 16 MHz PWM.

Results

According to the algorithm the graphs of transients are presented in figure 9. The research has given the following result (figure 10).

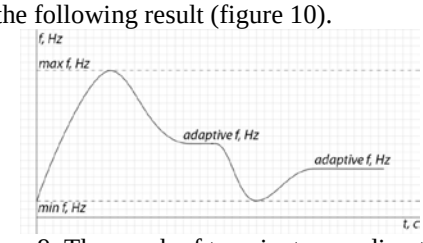


Figure 9. The graph of transient according to the algorithm

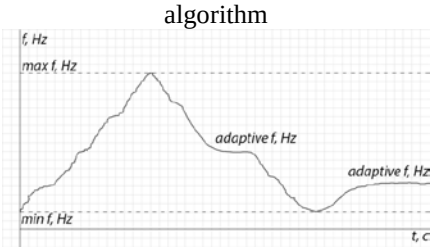


Figure 10. The real graph of transient.

According to the schedules of the transition process there is an ever-increasing and deceleration rotational speed of the broaching mechanism. Also, the algorithm provides the stable output for adaptive speed, which was calculated by a microcontroller using the trend process.

Conclusion

The described hardware and software solution has been tested and is successfully used in the ABS plastic fibers production in the upgraded unit. The solved problems:

- The smooth change of the engine speed (the pull mechanism) at the expense of transistor switches, PWM and the proposed algorithm.
- The optimal speed converting in the course of unit working is automatically selected.
- The emergencies were minimized because of the jolting pulling of fiber absence.

References

1. Arduino Cookbook by Michael Margolis, Published by O'Reilly Media, Inc., 2011
2. Users Guide to Autodesk Inventor by Rajat K. Daftuar, Purdue University School of Electrical Engineering

LINEAR TIME INVARIANT SYSTEM POLE PLACING BY POLYNOMIAL DIVISION METHOD

Khozhaev I.V.
Scientific supervisor: Gaivoronsky S.A., Ph. D., associate professor
Language supervisor: Pichugova I.L., senior teacher
Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia
E-mail: khozhaev.i@gmail.com

Introduction

Control quality of every system is fully determined by its poles placing, however, to manage the preferred control quality only few of them have to be placed inflexibly. These poles are designated as prevailing or dominant. In order to let dominant poles determine control quality, all other poles should be placed in some region of complex plane away of dominant poles; these poles are called unrestricted.

The main goal of this research is to develop a method of system pole placing by dividing its characteristic polynomial into two multipliers: the first one is supposed to place one real dominant pole or a pair of complex dominant poles; the second one is supposed to place all other poles in a preferred area of a complex plane.

Formulation of the problem

Characteristic polynomial of certain linear time invariant system has the following form:

$$D(s) = \sum_{i=0}^{n} a_i \cdot s^i , \qquad (1)$$

where a_i is a characteristic polynomial coefficient fully determined by parameters of systems regulators, n – characteristic polynomials degree.

Obviously, considered system has n poles.

Let us designate the polynomial, which determines a dominate poles placing, as $A(s)$; and the result of dividing (1) by $A(s)$ as $B(s)$; the remainder of such division – as R.

Due to these designations, characteristic equation of considered system has following form:

$$A(s) \cdot B(s) + R = 0 \qquad (2)$$

Now it is possible to formulate the problem of this research: to develop a method of extracting a polynomial $A(s)$, supposed to determine dominant poles placing, from characteristic polynomial; placing unrestricted poles (roots of $B(s)$ polynomial); synthesizing system regulators parameters according to poles placing.

Development of polynomials general form

In order to solve the problem, first of all a general view of $A(s)$, $B(s)$ and R should be developed.

As it is said in the introduction, the considered system can have one real dominant pole or a pair of complex dominant poles, so $A(s)$ has the following general form:

$$A(s) = s - s_0 ,$$

where s_0 is a real dominant pole of the considered system, in the first case or:

$$A(s) = (s - s_1) \cdot (s - s_2) = s_1^{\,2} - (s_1 + s_2) \cdot s + s_1 \cdot s_2 ,$$

in the second case. Let us designate a sum of two complex poles as X, its production – as y.

Consequently, coefficients of $B(s)$ polynomial can be calculated by the following formulas:

$$b_i = a_{i+1} + a_{i+2} \cdot s_0 , \quad i \in [0; n-1]$$

$$b_i = a_{i+2} + x \cdot b_{i+1} - y \cdot b_{i+2}; \quad i \in n-2 \ldots 0$$

where a_i is a one of $D(s)$ coefficients.

Obviously, the multiplication of these two polynomials must be equal to $D(s)$ characteristics polynomial. According to (2), in order to ensure this equality in systems parameters synthesis it is necessary to remember that R must be equal to zero.

To do so, a general view of R was developed:

$$R = \sum_{i=0}^{m} a_i \cdot s_0^i = D(s_0),$$

for the first case, or

$$R(s) = (a_1 + x \cdot b_0 - y \cdot b_1) \cdot s + a_0 - y \cdot b_0 ,$$

for the second case.

To place each dominant pole, the synthesized regulator must have one parameter, and another one to place all unrestricted poles. So, to place one real dominant pole a PI-regulator should be used, to place a pair of complex dominant poles - PID-regulator.

Synthesis algorithm

In order to synthesize a proper system regulator, we will have to get through eight steps:

1. Define a desirable stability degree.
2. Define a type of necessary regulator.
3. Add this regulator to the system and calculate its characteristic equation.
4. Calculate coefficients of all polynomials.
5. Choose one of regulators parameters, which is included into coefficients of an R polynomial.
6. Equate R polynomials real and imaginary part to zero and find regulators parameters function of the parameter chosen before.
7. Plot a D-partition of $B(s)$ polynomial in a plane of the main parameter, in order to find a set of values for this parameter.
8. Calculate other parameters.

Example of application

As an example of a newly developed method application, let us examine a closed-loop control system consisting of a control object and a regulator.

A schematic diagram of the considered system is given below (Fig.1).

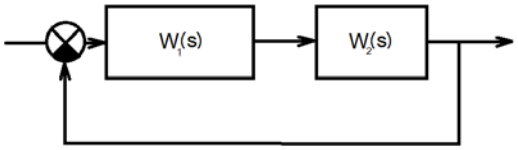


Fig.1 Schematic diagram of the considered system

Here, $W_1(s)$ is a transfer function of a control object, $W_2(s)$ is a transfer function of a regulator. Control object transfer function is given below.

$$W_1(s)=\frac{1}{1.382\cdot10^{-5}\cdot s^4+2.15\cdot10^{-3}\cdot s^3+0.083\cdot s^2+1.476\cdot s+11.2258}$$

In order to demonstrate features of this method completely, let us examine both cases of application: with one dominant pole and with a pair of complex dominant poles.

According to the synthesis algorithm, let us determine a desirable dominant poles location and stability degree. We assume, that it is necessary to place our dominant poles in points $-2\pm i\cdot 2$ of complex plane. So, the desirable stability degree is 2. Moreover, we assume, that it is necessary to place all unrestricted poles on the left of the complex plane point with coordinates (-15;0).

Control object transfer function is already given, so let us define a controller type. In order to place two dominant poles in the desired points a regulator with three tunable parameters should be used, for example, PID-regulator (transfer function is given below).

$$W_2(s)=\frac{K_1\cdot s^2+K_2\cdot s+K_3}{s}$$

Characteristic equation of a system is given below.

$$D(s)=1.382\cdot10^{-5}\cdot s^5+2.15\cdot10^{-3}\cdot s^4+0.083\cdot s^3+$$
$$+(K_1+1.476)\cdot s^2+(K_2+11.226)\cdot s+K_3$$

From this equation, let us find coefficients of $B(s)$ and R polynomials. The result of these calculations is given below.

$$B(s)=1.38\cdot10^{-5}\cdot s^3+2.09\cdot10^{-3}\cdot s^2+0.0747\cdot s+K_1+1.46$$
$$R(s)=(K_2-4\cdot K_1+4.791)\cdot s+K_3-8\cdot K_1-11.675$$

From imaginary part of $R(s)$ polynomial a K_2 parameter function of K_1 can be defined; from a real part of this polynomial a K_3 parameter function of K_1 can be defined. With these functions, all regulator parameters can be calculated by value of K_1. The mentioned functions are given below.

$$K_2=4\cdot K_1-4.791$$
$$K_3=8\cdot K_1+11.675$$

K_1 parameter can be calculated by plotting a D-partition.

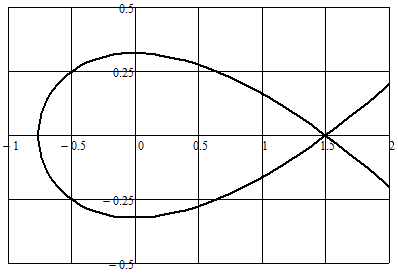


Fig.2 D-partition of B(s) polynomial in a plane of K_1 parameter

From this plot it is obvious, that in order to provide systems stability, K_1 should vary from 0 to 1.5. Let us designate a K_1 parameter equal to 1.4.

According to (5.1.1), K_2 and K_3 will be equal to 0.809 and 22.875.

With these values, poles of the considered system will be placed in points, listed below: $-2\pm i\cdot 2;-15.289\pm i\cdot 38.437;-120.977\cdot$

In order to place a single real dominant pole $s_0=-2$ and place all other poles from the left of the point (-8;0) of the complex plane, the same technique will be used.

Regulators transfer function:

$$W_2(s)=\frac{K_1+K_2\cdot s}{s}.$$

Characteristics equation:

$$D(s)=1.382\cdot10^{-5}\cdot s^5+2.15\cdot10^{-3}\cdot s^4+0.083\cdot s^3+$$
$$+1.476\cdot s^2+(K_2+11.226)\cdot s+K_1$$

$B(s)$ polynomial:

$$B(s)=0.00215\cdot s^3+0.0789\cdot s^2+1.318\cdot s+K_2+8.589$$

The value of K_2 parameter found by D-partition: K_2=3; value of K_1 parameter found from the equality of R to zero: K_1=23.179.

With these value of regulators parameters, system poles were placed in points listed below: -2; -25.5026; -108.2028; $-9.925\pm i\cdot 14.3377$.

Conclusion

This newly developed method is fully applicable for linear time-invariant control system synthesis; it can be easily used as a base for scientific software.

In addition, it can be easily expanded to robust system synthesis.

References

1. Bessekersky V.A., Popov E.P. Control system theory. - Moscow: Professiya, 2007 - 752 p.

RESEARCH ON H.265/HEVC INTRA PREDICTION MODES SELECTION FREQUENCIES

Sharabayko M.P.
Scientific Adviser: Markov N.G., Doctor of Sc., Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russian Federation, Tomsk, Lenin Avenue, 30
e-mail: sme_box@tpu.ru

Introduction

H.265/HEVC video compression standard provides higher compression efficiency compared to current industrial standard H.264/AVC. One of the advantages in HEVC intra-coding is the increase of intra-prediction directions. AVC has a total of 10 intra-prediction modes, while HEVC has 35 possible prediction modes.

In this paper we carry out a research on HEVC intra-prediction modes usage frequencies for the purposes of video compression. The analysis could be useful for development of intra-prediction search speed-up techniques [1].

HEVC Intra Prediction

HEVC intra prediction is performed on a prediction unit (PU) – a region of a video frame. PU pixels values should be predicted as close to original pixels values as possible to improve compression efficiency. There is a total of 35 intra-prediction modes in HEVC [2]: Planar (mode 0), DC (mode 1) and 33 angular modes (modes 2-34 on Fig.1).

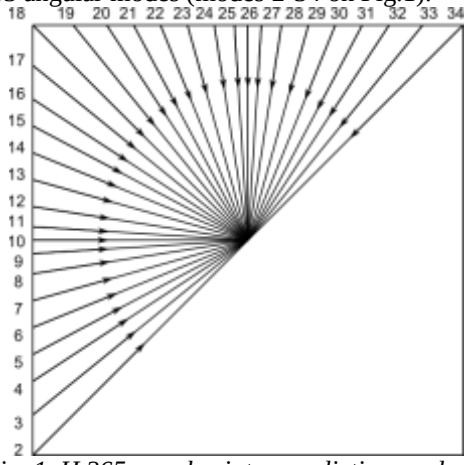


Fig. 1. H.265 angular intra prediction modes

DC intra-prediction is the most simple mode in HEVC. All PU pixels are set equal to the mean value of available neighboring pixels. Planar intra-prediction is a two-dimensional linear interpolation of neighboring pixels values. Finally, angular intra-prediction modes 2-34 are linear interpolations of pixel values in the corresponding directions (arrows on Fig. 1).

A detailed review of HEVC intra-prediction process can be found in [3].

Modes Selection Frequencies

For HEVC compression purposes we use the HM reference encoder v.12.1 [4]. It implements quasi-full RDO model providing the best relation between distortion and compression ratio. The findings are valid for JCT-VC test sequences [5]. In this paper we expose results for several test sequences, listed in Table 1.

Table 1. Test video sequence set

Sequence	Resolution	Frame-rate, Hz	Frames
BasketballDrill	832×480	50	500
Cactus	1920×1080	50	500
PeopleOnStreet	2560×1600	30	150

Fig.2–4 illustrate intra-prediction modes selection frequencies in the HM-coded test video sequences with several quantization parameters (QP). The most frequently used modes are Planar (mode 0) and DC (mode 1). Planar prediction is performed for 20% of PUs, while about 10% are predicted by DC. Each video sequence has several angular prediction usage peaks. These peaks characterize video sequence features in horizontal (modes 2-17) and vertical (modes 18-34) directions.

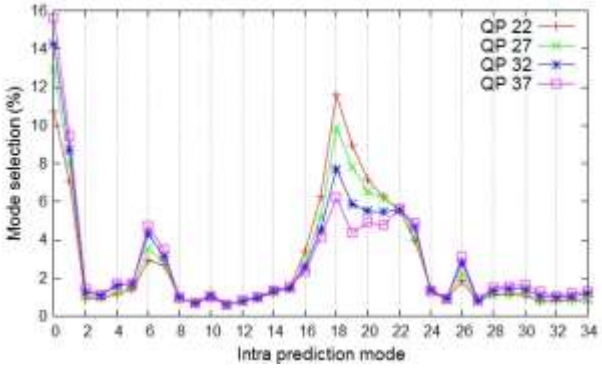


Fig. 2. Intra prediction modes selection frequencies for BasketballDrill sequence

Prediction modes 6 and 18 are the local maximums of usage frequencies for BasketballDrill sequence (Fig. 2). A total usage frequency of angular modes decreases with the QP value increase.

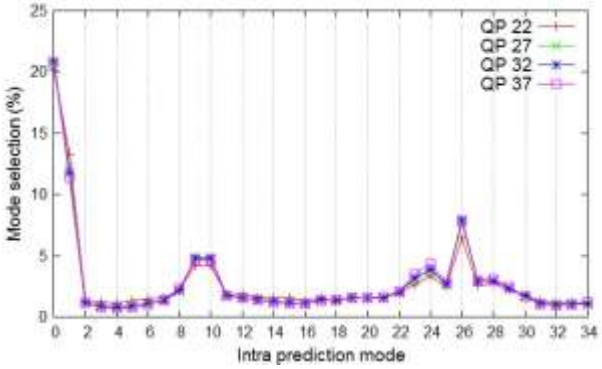


Fig. 3. Intra prediction modes selection frequencies for Cactus sequence

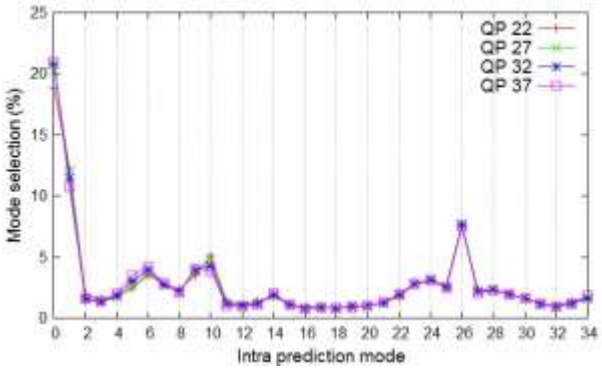


Fig. 4. Intra prediction modes selection frequencies for PeopleOnStreet sequence

The HM encoder tends to use angular modes 9, 10 and 26 for unit prediction of Cactus (Fig. 3) and PeopleOnStreet (Fig. 4) video sequences.

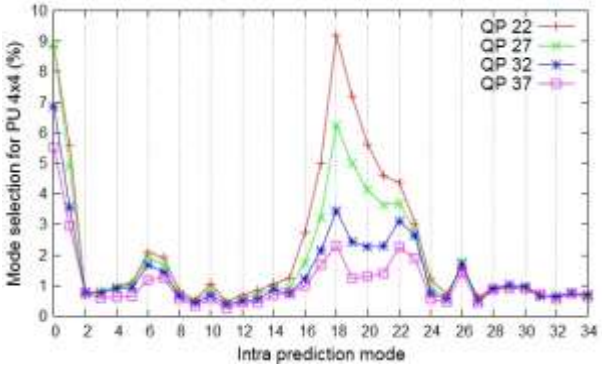


Fig. 5. Intra prediction modes selection frequencies for PU 4×4 of BasketballDrill sequence

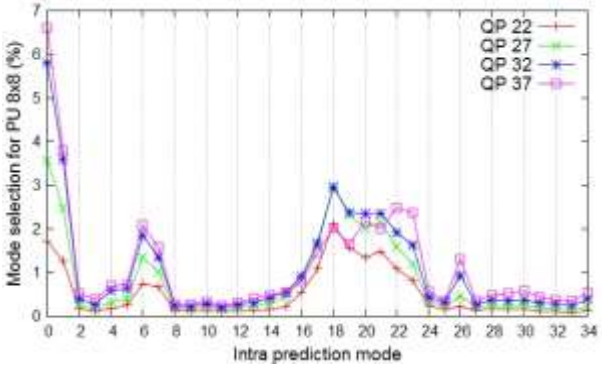


Fig. 6. Intra prediction modes selection frequencies for PU 8×8 of BasketballDrill sequence

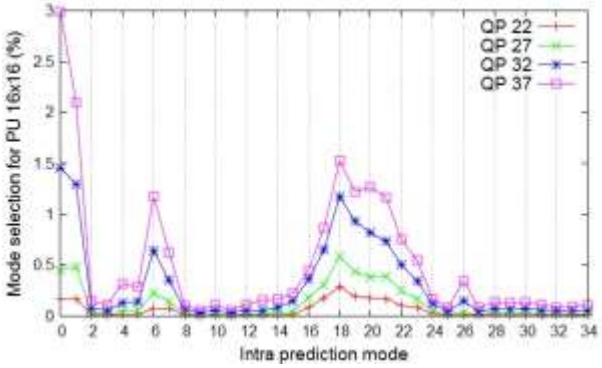


Fig. 7. Intra prediction modes selection frequencies for PU 16×16 of BasketballDrill sequence

The higher the QP is, the less details are stored in the compressed video sequence. Therefore Planar and DC mode usage increases with the increase of QP value. Furthermore, QP also influences PU size selection. Fig. 5–8 illustrate mode usage frequencies in compressed BasketballDrill sequence with respect to PU size.

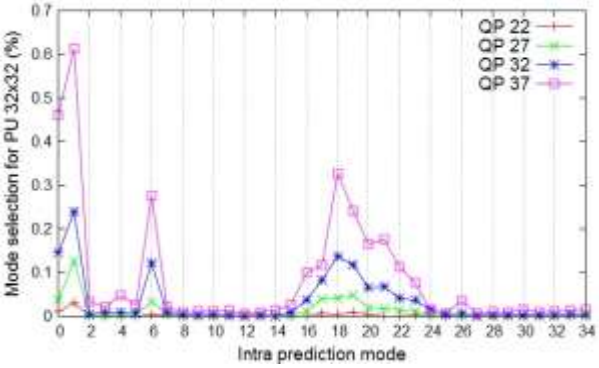


Fig. 8. Intra prediction modes selection frequencies for PU 32×32 of BasketballDrill sequence

The results show (Fig. 5–8), that the higher the QP value is, the bigger the sizes of PUs are. However the most frequently used modes are the same regardless of QP value or PU size.

Conclusion

All HEVC intra-prediction modes are used for intra-compression. However, Planar and DC prediction are the most frequently used modes for any video sequence. The higher the quantization parameter is, the more frequently these modes are used.

Also each video sequence has its unique angular prediction usage frequency distribution. The HM encoder tends to increase a usage of angular modes with the decrease of quantization parameter.

The research shows the obvious tendency in intra-prediction mode selection. The trend should remain if the features of a video frame are reserved. Thus in case of a scene change the frequencies may also change. The observation could be usefull, e.g., for probability estimation of intra-prediction mode selection in order to speed-up intra-prediction search process.

References

1. Sharabayko M.P., Markov N.G. Iterative Intra Prediction Search for H.265/HEVC // X International IEEE Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 12-13 Sept. 2013, pp. 1-4.
2. Recommendation H.265: High effiency video coding, ITU-T, April 2013.
3. Sharabayko M.P., Ponomarev O.G., Chernyak R.I. Intra Compression Efficiency in VP9 and HEVC // Applied Mathematical Sciences, Vol. 7, 2013, no. 137, pp. 6803-6824.
4. HEVC reference model. [URL]: http://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware (Accessed: 07.02.2014).
5. Bossen F. Common test conditions and software reference configurations. JCT-VC Doc. JCTVC-K1100, October 2012.

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ18У МЕТОДОМ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ

[1]Острижная А.С
[2]Научный руководитель: в.н.с. ИФПМ СО РАН, к.ф.-м. н. Почивалов Ю.И.
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
[2]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
E-mail: NasO@mail2000.ru

Введение

Титановые сплавы широко применяются в качестве конструкционных материалов в авиастроении, благодаря их высокой удельной прочности, малого удельного веса и коррозионной стойкости [1]. Основным методом соединения деталей из титановых сплавов является сварка. Многообразие процессов, происходящих в зоне формирования сварного соединения, обуславливает сложность их контроля. В последние годы огромное внимание уделяется после сварочным методам обработки сварных соединений. Среди методов, реально позволяющих повысить качество, надежность и ресурс сварных конструкций следует выделить наноструктурирование поверхностных слоев сварных соединений [2].

В настоящей работе, для повышения усталостных характеристик сварного соединения титанового сплава ВТ18У, был применен перспективный метод создания наноструктурированных поверхностных слоев, путем ультразвуковой ударной обработки.

Материалы и методы исследования.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы сварных соединения титанового сплава ВТ18У, вырезанные из листа толщиной 4 мм^2 и прошедшие термообработку по стандартному режиму (закалка при 1143 К в течении 30 минут, старение проводилось при 773 К).

Металлографические исследования проводили в области сварного шва. Для выявления структуры образцы травили в растворе следующего состава: 10мл 2% водного раствора HNO_3, 10мл 2% водного раствора HF. Микроструктурные исследования проводили на оптическом микроскопе «Axiavert 25 CA», растровом микроскопе Tesla BS-300. Механические испытания выполнены путем растяжения на универсальной испытательной машине ”Instron-5582”.

Результаты исследований

Структура сварного соединения титанового сплав ВТ18У после травления в зоне сварного шва представлена на рисунке 1.

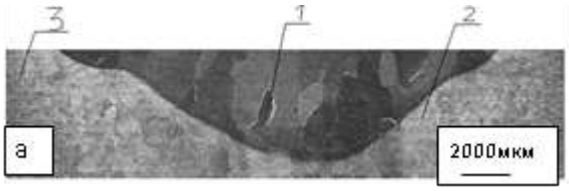


Рисунок 1. Структуры сварного соединения титанового сплава ВТ18У. а- панорама х 5

Механические свойства и методы исследования

Для исследования механических характеристик сварного соединения сплава ВТ18У было проведены испытания на растяжение (таблица 1).

Таблица 1. Механические свойства сварных соединений сплава ВТ18У после отжига и с наноструктурированным поверхностным слоем.

Режим обработки	Предел прочности σ_B, МПа	Относительное удлинение, %
Отжиг 750 ^{o}C, 1ч	747	0
Отжиг 950 ^{o}C, 1ч	1002	0,25
Отжиг 950 ^{o}C, 1ч + УУО 630 ватт	990	1,5

Отжиг применяется для снятия остаточных сварочных напряжений и сглаживания пиков водорода в около шовной зоне, уменьшения коэффициента концентрации напряжений в месте перехода от основного металла к сварному шву, снижения концентрации водорода в основном металле.

Как следует из представленных данных отжиг при 950˚С и выдержка в течении 1 часа, приводит к повышению пластичности сварного соединения титанового сплава ВТ18У.

Ультразвуковая обработка

Упрочняющая обработка сварных соединений методом поверхностного пластического деформирования материала на ультразвуковой частоте оказывает комплексное воздействие на сварочное соединение: снижает концентрации напряжений в сварном соединении.

Исследование структуры микротвердости отожженного сварного соединения титанового

сплава ВТ18У после ультразвуковой обработки свидетельствуют о том, что на обрабатываемой поверхности создается упрочняющий слой с повышенной сопротивляемостью к образованию трещин. В сварном шве и околошовной зоне растягивающие остаточные напряжения меняют свой знак на сжимающие.

Выполненные электронно-микроскопические и микродифракционные исследования фольг, приготовленных из обработанных методом УУО образцов сплава ВТ18У (зоны термического влияния), показали, что в результате УУО в поверхностном слое формируется весьма неоднородная структура. На поперечном срезе в отожженном при 950˚С образце наблюдаются пластины α-фазы шириной 0,2-0,4 мкм, ориентированные под углом к поверхности образца . После ультразвуковой обработки в поверхностном слое толщиной 3-5 мкм формируются полосовые структуры, состоящие из α-фазы на основе титана шириной 0,06-0,25 мкм. Эти структуры ориентированы параллельно поверхности образца. Размеры зерен в наноструктуре поверхностного слоя при изменении мощности ультразвуковой обработки остаются неизменными. Проведенные усталостные испытания показывают эффективность использования наноструктурирования поверхностных слоев сварного соединения титанового сплава ВТ18У. Усталостная долговечность сварных соединений титанового сплава ВТ18У с наноструктурированным поверхностным слоем составляет 150000 циклов, что более чем в 5 раз превышает усталостную долговечность отожженных сварных соединений без наноструктурированного поверхностного слоя, при сохранении высокой термической стабильности наноструктуры.

Заключение

Проведенные механические испытания на растяжение сварных соединений титанового сплава ВТ18Упоказывают, что отжиг при 950˚С и выдержка в течении 1 часа приводит к небольшому повышению пластичности и прочности сварных соединений титанового сплава ВТ18У.

Ультразвуковая ударная обработка околошовной зоны и зоны термического влияния создает на обрабатываемой поверхности упрочненный наноструктурированный слой с высокой диспергирующей способностью, при этом вместо исходных растягивающих напряжений, формируются большие сжимающие напряжения, которые эффективно препятствуют зарождению и распространению трещин. Это приводит к значительному повышению усталостной долговечности.

Список литературы:

1. Гецов Л. Б. Материалы и прочность деталей газовых турбин // Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние. -1973. - С.296.

2. Влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12 / В.Е.Панин, Е.Н.Каблов, В.С.Плешанов и др. // Физическая мезомеханика. - 2006. - Т.9; №2. - С. 85.

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В MANET

Иовлев Д.И.
Научный руководитель: Бойченко И.В., к.т.н., с.н.с. Томского филиала Института вычислительных технологий СО РАН (ТФ ИВТ СО РАН)
Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail: prodenx@t-sk.ru

MANET (Mobile Ad hoc Network)[1] — беспроводные децентрализованные самоорганизующиеся сети, состоящие из мобильных устройств. Каждое такое устройство может независимо передвигаться в любых направлениях, и, как следствие, часто разрывать и устанавливать соединения с соседями.

Минимальное конфигурирование и быстрое развёртывание позволяют применять самоорганизующиеся сети в чрезвычайных ситуациях, при боевых действиях и в других ситуациях, когда отсутствует какая-либо заранее развернутая инфраструктура связи [1].

Одной из проблем реализации сетей класса MANET является обеспечение эффективности, безопасности и надежности передачи данных в условиях произвольно изменяющейся физической топологии сети. Данную проблему можно решить с помощью подходящей реализации протокольного обеспечения.

Ключевую роль в решении играет протокол транспортного уровня – транспортный механизм потоковой передачи данных с предварительной установкой соединения. Протоколы транспортного уровня обеспечивают работу протоколов вышестоящих уровней, вплоть до прикладного. Поэтому протоколы надежной доставки необходимы для обеспечения работы многих сетевых приложений.

Общепринятым транспортным протоколом является Transmission Control Protocol [2]. Хорошо известно, что TCP предназначен для обеспечения надежной доставки данных в традиционной проводной сети, такой как Ethernet и др. Из-за своей популярности, TCP используют в мобильных беспроводных сетях. В нем надежная доставка осуществляется путем ретрансляции потерянных пакетов.

В [3-5] показано, что алгоритмы управления передачей данных, представленные в протоколе TCP, не эффективны в сетях MANET по следующим присущим им причинам:

- высокий уровень ошибок, конфликтов и коллизий на канальном и физическом уровнях;
- возможность кратковременного разрыва связи;
- смена связанности;
- постоянное изменение качества связей;
- применение многонаправленной (от англ. multi-path) маршрутизации;
- требование обеспечения энергоэффективности.

В настоящее время уже существуют аналоги решения вышеуказанной проблемы: TCP с обратной связью (TCP-F [6], TCP-ELFN [7], ATCP [8]), TCP без обратной связи (TPA [9], ATP [10]).С особенностями перечисленных решений можно ознакомиться из научных журналов.

Основным недостатками вышеперечисленных аналогов является отсутствие изменений на сетевом уровне, усложнение существующего протокола TCP вместо полной его переработки. Поэтому необходимо разработать комплексное решение проблемы организации эффективной передачи данных в сетях MANET.

Было решено, что при разработке транспортного протокола необходимо исходить из высокой «энтропии» и децентрализованности сетей MANET.

Эффективность транспортного протокола зависит от протокола маршрутизации. Поэтому изменения коснулись и сетевого уровня. Сейчас уже имеется запатентованное фирмой «Микран» решение [11]. Данный протокол маршрутизации позволяет значительно быстрее реагировать на изменения в топологии сети. На данный момент имеются первые рабочие версии. Дальше речь пойдет о принципах разрабатываемого нами транспортного протокола TPM (Transmission Protocol for MANET).

Главной особенностью протокола TPM является организация управления передачей данных на каждом хопе всего маршрута, воль которого осуществляется общение между модулями протокола в пункте отправления и пункте назначения. Т.е. в управлении передачей потока участвуют модули протокола TPM на каждом промежуточном узле (рис. 1).

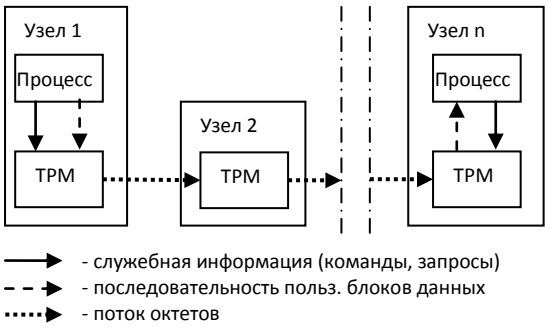


Рис. 1. Схема передачи потока данных с пункта направления в пункт назначения.

Из схемы видно, что в передаче данных от процесса в пункте отправления процессу в пункте назначения участвуют модули протокола TPM на каждом узле маршрута. Передающий и принимающий процесс, в пункте отправления и пункте назначения соответственно, не знают о посредниках (промежуточных узлах), которые участвуют в доставке данных. Т.е. данные доставляются в неизменном виде так, как бы это происходило при использовании TCP и сквозной передачи.

Для управления передачей данных протокол TPM использует обратную связь (ОС). ОС организуется между модулями протокола TPM на каждом хопе маршрута следования данных.

Протокол TPM обладает механизмами обеспечения надежной доставки данных. Эти механизмы функционируют на каждом промежуточном узле маршрута и используют информацию, которая поступает по обратной связи. Таким образом, подтверждение доставки данных осуществляется на каждом хопе.

Такой подход обеспечивает возможность проталкивания данных в сети: ретрансляция данных осуществляется на том хопе сети, где они были потеряны.

На каждом хопе модуль протокола TPM осуществляет регулирование скорости передачи данных: данные в определенном размере передаются через определенные промежутки времени. Конкретные значения параметров передачи вычисляются на основе информации о загрузке соседнего узла, которая поступает от него же по обратной связи вместе с информацией о полученных данных.

Модуль протокола на передающей стороне поддерживает такую скорость передачи, при которой загрузка соседнего узла находится на оптимальном уровне, что снижает вероятность возникновения затора на принимающей стороне.

Каждому октету передаваемых данных присваивается порядковый номер. Он служит для подтверждения полученных данных и восстановления порядка следования принятых октетов в пункте назначения.

В протоколе не используются таймеры ретрансляции для каждого пакета. Потерянные данные можно определить по пропускам в последовательности номеров подтвержденных октетов.

TPM представляет ориентированный на соединения протокол. Для обеспечения вышеописанных принципов протокол оперирует двумя типами соединениями:

- Соединение между пунктом отправления и пунктом назначения (*AAC – Application-to-Application Connection*). Данное соединение используется пользовательскими процессами как точка входа (в пункте отправления) и выхода (в пункте назначения) для обмена данными.
- Соединение между передающим и принимающим узлом (*PPC – Protocol-to-Protocol Connection*). Данное соединение используется для передачи содержимого потока данных, поступающего в AAC, от модуля протокола на передающем узле модулю протокола на принимающем узле.

Через последовательность соединений PPC осуществляется передача данных, которые поступают в соединение AAC (рис. 2).

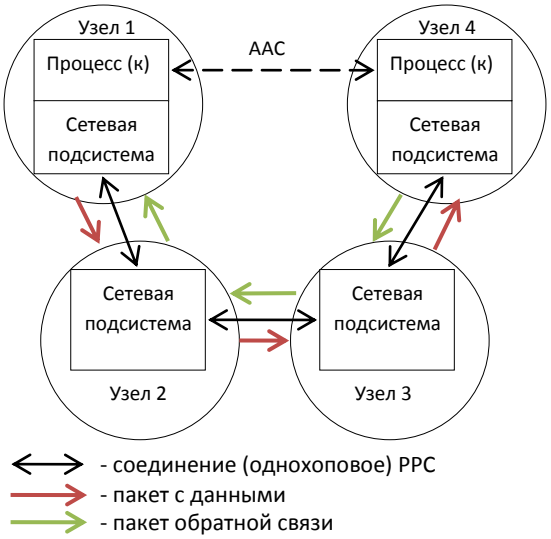


Рис. 2. Схема организации соединений для передачи данных через узлы вдоль маршрута.

В протоколе используется несколько различных заголовков сообщений. Каждый из них выполняет определенную задачу в передаче данных и для этого содержит минимальный необходимый набор параметров. Это позволяет значительно сократить количество служебной нагрузки во время трансляции.

Так же, для уменьшения служебной нагрузки, протокол TPM объединяет данные нескольких потоков, проходящих через один и тот же соседний узел, в один пакет.

Описанные принципы и алгоритмы были реализованы в виде алгоритмов и проверены в Matlab. Ниже приведенные результаты говорят только о работоспособности алгоритмов, а не их эффективности.

Моделировался случай, представленный на рис. 3.

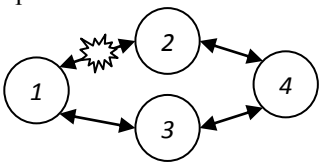
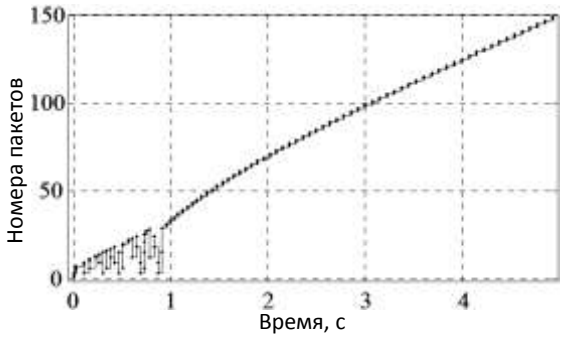


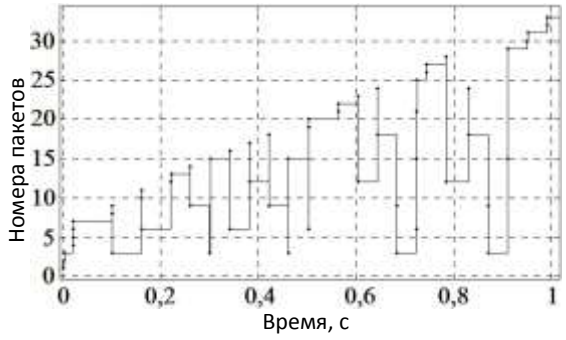
Рис. 3. Тестовый пример

Окружности представляют собой узлы, которые образуют сеть и способны принимать/передавать данные. В участке между первым и вторым узлами помеха.

Первый узел инициирует отправку данных до четвертого через второй узел, причем, из-за помехи, пакеты с номерами, кратные трем, теряются.



а)



б)

Рис. 4. Порядок отправляемых пакетов на первом узле

Из графиков видно, что во время передачи происходили потери и ретрансляции пакетов (рис. 4(б)). При этом производилась передача следующих пакетов после потерянных.

После смены маршрута, который обеспечивает протокол маршрутизации [11], все потерянные пакеты будут доставлены до получателя (рис. 4(а)).

Результаты

В ходе исследований были выявлены проблемы управления передачей данных в сетях MANET. Были изучены существующие решения и выявлены недостатки их использования. Разработаны основные принципы решения указанных проблем.

Предполагается, что по предложенным принципам будет реализован транспортный протокол TPM в составе стека протоколов MANET, разрабатываемый компанией «Микран». В настоящее время практически завершена разработка спецификации протокола TPM. Ведется разработка архитектуры программной реализации протокола и моделирование протокола в системе NS-2.

Список использованных источников

1. Radhika R. R. Handbook of Mobile Ad Hoc Networks for Mobility Models. USA: Springer, 2011, 1169 c.

2. RFC: 793 TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.faqs.org/rfcs/rfc793.html, свободный (дата обращения: 03.02.2013).

3. A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links / H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, R. Katz // IEEE. ACM Transactions on Networking (Stanford, USA). – Dec. 1997. – T. 5, № 6. – P. 756–769.

4. TCP over wireless multihop protocols: simulation and experiments / M. Gerla, R. Bagrodia, L. Zhang et al. // IEEE ICC'99 (Vancouver, Canada). – June 1999. – P. 1089–1094.

5. Xiang Chen, Hongqiang Zhai, Jianfeng Wang, and Yuguang Fang. TCP Performance over Mobile Ad Hoc Networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1425806, свободный (дата обращения: 24.05.2013).

6. K. Chandran, S. Raghunathan, S. Venkatesan, and R. Prakash, "A feedback-based scheme for improving TCP performance in ad hoc wireless networks," IEEE Personal communications, 8 (1):34-39, February 2001.

7. Ewa Romanowicz. TCP with Explicit Link Failure Notification // Department of Computer Science (York University, Toronto, Canada). – August 2008.

8. Jian Liu. ATCP: TCP for Mobile Ad Hoc Networks // Jian Liu, Suresh Singh // IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS. – July 2001. – V. 190, № 7. – P. 1300–1315

9. Anastasi G. TPA: a transport protocol for ad hoc networks // Anastasi G., Ancillotti E., Conti M., Passarella A. // Computers and Communications. – 2005.

10. Sundaresan K. ATP: a reliable transport protocol for ad hoc networks // Sundaresan K., Anantharaman, V., Hung-Yun Hsieh, Sivakumar, R. // IEEE TRANSACTIONS ON MOBILE COMPUTING. – November/December 2005. – V. 4, № 6. – P. 588–603.

11. Соковых О. В., Скирта Ю. В., Абрамов В. В. Способ маршрутизации для беспроводных мобильных самоорганизующихся сетей передачи данных: пат. 2486703 Российская Федерация. 2013.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ – НИКЕЛЬ» МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Шевцова Л.И., Анисимов А.Г., Самейщева Т.С.
Научный руководитель: Батаев А.А., д.т.н., профессор
Новосибирский государственный технический университет,
630092, Россия, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20
E-mail: edeliya@ngs.ru

Одной из важных задач современного материаловедения является улучшение механических свойств конструкционных материалов. При разработке и изготовлении деталей для ряда отраслей химического машиностроения, авиации и космоса предъявляются высокие требования к используемым функциональным и конструкционным материалам. Интерметаллиды на основе никеля и алюминия рассматриваются в качестве перспективных материалов благодаря сочетанию таких свойств, как низкая плотность, высокая удельная прочность, а также сопротивление коррозии и окислению при повышенных температурах [1, 2]. Однако широкое применение интерметаллидов ограничено их повышенной хрупкостью в области низких температур и длительностью технологических процессов получения. Одно из решений отмеченной проблемы может быть основано на добавлении в порошок алюминида никеля частиц пластичного никеля.

Для получения готовых изделий из алюминидов никеля могут быть использованы различные технологические процессы. В представленной работе с целью формирования компактных изделий на основе интерметаллидов системы «Ni-Al» предлагается использовать технологию искрового плазменного спекания (SPS-технологию) мелкодисперсных частиц алюминида никеля и частиц чистого никеля. Основными достоинствами данной технологии по сравнению с традиционными методами спекания являются кратковременность процесса спекания и возможность сохранения мелкодисперсной структуры материала [3].

В качестве исходных материалов были выбраны порошки ПН85Ю15 (доминирующая фаза Ni_3Al) и карбонильного никеля ПНК-УТ3. Для спекания были подготовлены порошковые смеси с различным содержанием никеля (от 10 до 70 масс. %). Порошковые смеси были получены путем перемешивания в планетарной шаровой мельнице Fritch Pulverisette 6 в течение 6 часов в изопропиловом спирте.

Искровое плазменное спекание порошковых смесей проводили на установке Labox-1575 в Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Процесс спекания осуществляли при следующих условиях: давление - 40 МПа, скорость нагрева – 100 °С/мин, температура спекания - 1100 °С, изотермическая выдержка при температуре спекания – 5 мин. Оптимальные режимы спекания были определены нами ранее [4].

Структурные исследования образцов, полученных по SPS-технологии, проводили методами оптической и растровой электронной микроскопии. Металлографические исследования выполняли на оптическом микроскопе Carl Zeiss Axio Observer Z1m и на растровом электронном микроскопе Carl Zeiss EVO 50 XVP. Для определения фазового состава спеченных компактов использовали рентгеновский θ-θ дифрактометр ARL X`TRA. Источником рентгеновского излучения являлась медная рентгеновская трубка. Дифракционные картины регистрировали с шагом Δ2θ, время накопления составляло 10 с на одну точку.

Оценку твердости спеченных материалов проводили с использованием прибора Wolpert Group 402MVD. В качестве показателя прочностных свойств использовали предел прочности, зафиксированный при проведении испытаний на трехточечный изгиб. Прочностные испытания выполняли при комнатной температуре на установке Instron 3369.

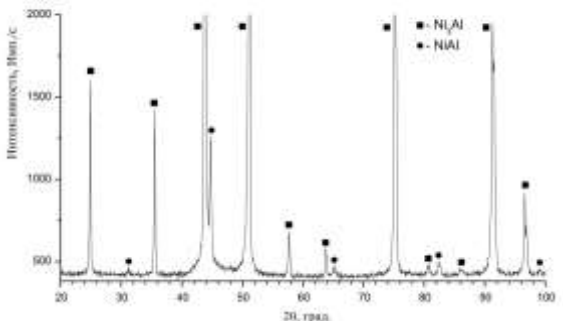


Рис.1. Рентгенограмма образца, полученного в результате спекания (SPS) порошка ПН85Ю15 при 1100 °С.

Методами рентгенофазового анализа в образце, полученном спеканием порошка ПН85Ю15 без добавления частиц никеля, обнаружено два типа алюминидов - Ni_3Al и NiAl. Основной фазой в спеченном компакте является соединение Ni_3Al. В спеченном образце, полученном при добавлении в порошковую смесь 10 % никеля, интерметаллид NiAl не обнаружен. В образце, полученном в результате спекания порошковой смеси ПН85Ю15 и никеля в

соотношении 3:7, зафиксированы две фазы - Ni_3Al и Ni. На рис. 1 в качестве примера представлена дифрактограмма образца, спечённого при 1100 °С

При реализации отмеченных выше режимов спекания микроструктура полученных материалов по всему объему является однородной. В структуре образцов отсутствуют макротрещины. Относительная плотность всех спеченных композитов превышает 90 %, что является достаточным для достижения высоких прочностных свойств.

На рис. 2 представлены результаты измерения твердости образцов, полученных искровым плазменным спеканием порошковой смеси алюминидов с различным содержанием никеля. Наибольшим значением твердости (3100 МПа) обладают компакты, полученные при спекании порошка ПН85Ю15. При добавлении в порошковую смесь 10-30 % Ni твердость спеченных образцов снижается. Дальнейшее увеличение содержания никеля сопровождается снижением твердости материалов до 1500 МПа.

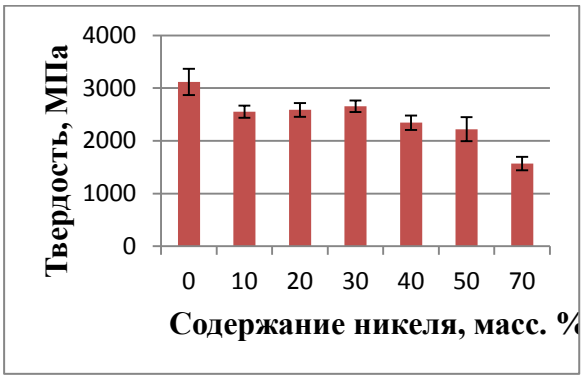
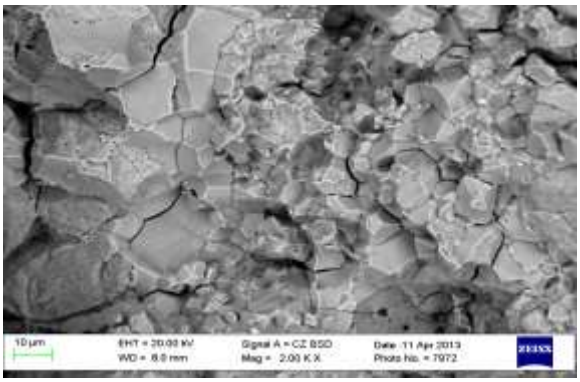


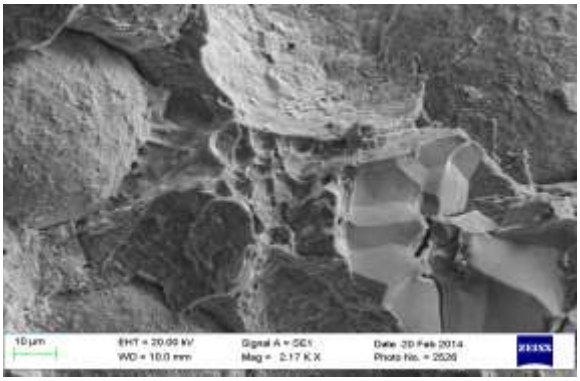
Рис.2. Твердость композита «алюминид никеля – никель».

Максимальный уровень предела прочности при изгибе (1900 МПа) достигнут при спекании порошковой смеси алюминида никеля и никеля в соотношении 3:7. Это более чем в два раза превышает предел прочности спеченного порошка ПН85Ю15 (890 МПа). Предел прочности образцов при увеличении содержания никеля более 30 % постепенно уменьшается.

На рис. 3 показаны фрактограммы поверхностей разрушения компактов, полученных спеканием порошковых смесей двух типов: ПН85Ю15 и «ПН8Ю15 – Ni» в соотношении 7:3. На рис. 3а, соответствующем хрупкому алюминиду никеля, можно наблюдать транскристаллитный излом. Добавление в порошковую смесь 30 % никеля является причиной повышения пластичности спеченного компакта. Об этом свидетельствует присутствие на фрактограмме чашечного излома, характерного для разрушения пластичных и псевдопластичных материалов (рис. 3б).



а



б

Рис.3. Фрактограмма поверхности излома образца, полученного спеканием порошка ПН85Ю15 (а) и порошковой смеси «ПН8Ю15– Ni» в соотношении 7:3 при 1100 °С.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что добавление в порошковую смесь мелких частиц никеля благоприятно отражается на плотности и прочностных свойствах спеченных композитов. Наиболее высокий комплекс свойств зафиксирован при испытании компакта, содержащего 30 % Ni и 70 % порошка ПН85Ю15.

Список литературы:

1. Taub A. I., Fleischer R. L. Intermetallic Compounds for High-Temperature Structural Use // Science. – 1989. – V.243. – № 4891. – P. 616 - 621.

2. Deevi S.C., Sikka V.K. Nickel and iron aluminides: an overview on properties, processing, and applications // Intermetallics. – 1996. – № 4. – P. 357–375.

3. Tokita M. Trends in Advanced SPS (Spark Plasma Sintering) Systems and Technology // J. Soc.Powd.Tech.Japan. – 1993. – V.30. – №11. – P. 790-804.

4. Шевцова Л.И., Батаев И.А., Мали В.И., Анисимов А.Г., Лазуренко Д.В., Самейщева Т.С. Влияние температуры нагрева на структуру и механические свойства материала, полученного искровым плазменным спеканием порошка ПН85Ю15 // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2003. - № 4 (61) – С. 35-42.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 6. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
SECTION 6. MATERIAL SCIENCE 3

Аккузин С.А.
ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ И ДЕФЕКТНОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ В МЕТАСТАБИЛЬНОЙ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 5

Бабина (Порядина) А.Н.
ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧИСТЫХ МЕТАЛЛОВ....7

Балушкина М.А., Макаров С.А., Тетюцкая М.В.
ВНЕВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА КАРБИДОМ ФОЛЬФРАМА С МОДИФИЦИРОВАНИЕМ НАПЛАВЛЕННОГО СЛОЯ....9

А.А. Белоусова, Кузнецова В.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ЦИРКОНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА....11

Бондаренко Я.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКИ ПОРОШКА СВМПЭ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 13

Булынко Д.Ю.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ZR-NB 15

Васильев И.П.
ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ОКСИДНЫХ ПЛАЗМОХИМИЧЕКИХ ПОРОШКОВ НА ПРОЦЕССЫ ИХ КОМПАКТИРОВАНИЯ И СПЕКАНИЯ....17

Горев М.М.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ А12....19

Горяйнова О.А., Мельникова Е.В., Кузьмин К.
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ПОРОШКА Al2O3 В БИСЕРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ 21

Гэ Гуанхуэй, Камрикова А.А., Петикарь П.В.
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ CDWO4 ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОННОМ И ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ....23

Душкина М.А..
ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ ПЕСКОВ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СОВМЕСТНО ПРИСУТСТВУЮЩИХ Fe2O3 И Al2O3 ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ 25

Дюкова К.Д., Баннов А.Г.
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ШИХТЫ В ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ НА МОРФОЛОГИЮ ПОРОШКА КАРБИДА ХРОМА 27

Еремин А.В., Бурков М.В., Любутин П.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НА РЕАКЦИЮ ДАТЧИКА ДЕФОРМАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ТИПА 29

Ескермесов Д.К., Рахадилов Б.К.
ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ Р6М5 31

Жидик Ю.С., Ватюк А.А., Воронюк Е.Е.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МИШЕНИ In(90%)/Sn(10%) НА ПАРАМЕТРЫ ПЛЕНОК ITO 33

Закревский С.С.
ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПТФЭ И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ К–3 и КВН–3 35

Зимоглядова Т.А., Кривеженко Д.С., Комаров П.Н.
ФОРМИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БОРИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 37

Иванова Е.С., Иванова А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ 39

Исупова И. Л.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ 41

Козлова Т.А., Мельников Е.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАВОДОРОЖИВАНИЯ И ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРУ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ 08Х17Н14М2 43

Кошовкина В.С., Майер Г.Г.
ВЛИЯНИЕ КРУЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ПОСЛЕДУЮЩИХ ОТЖИГОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ СТАЛИ 06МБФ 45

Кретов Ю.Л., Гимаев Б.Д.
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ТЕРМОСТОЙКОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ Al_2O_3 С ДОБАВЛЕНИЕМ MgO 47

Кундянова У.П.
МОДЕЛИРОВАНИЕ РУЧЕЙКОВОЙ КОРРОЗИИ ПОЛОСТИ ТРУБОПРОВОДА 49

Корниенко Е.Е., Лапушкина Е.Ю., Сергачев Д.В.
ПЛАЗМЕННОЕ НАПЫЛЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ 51

Лодягина Т.В.
ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ С КАРБОНИТРИДНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ 53

Ложкина Е..А., Ложкин В.С.
ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ1 55

Лосинская А.А., Головин Д.Д.
ФОРМИРОВАНИЕ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СЛОЕВ НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВКАХ ИЗ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОГО ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОПЛАВЛЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА.....57

Лысык В.В., Турлыбекулы А., Липовка А.А.
ИНИЦИИРОВАНИЕ ФТДО И СМЕСЕЙ НА ЕГО ОСНОВЕ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ 59

Лязгин А.О., Шугуров А.Р.
ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТИЙ Au-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ И ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИИ 61

Надежкин М.В., Лунев А.Г., Мальцев Ю.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА 63

Мельников Е.В., Козлова Т.А.
ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА ЗАКОНОМЕРНОСТИ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЯХ 08Х17Н14М2 И 08Х18Н10Т ПРИ ПРОКАТКЕ 65

Муль Д.О., Лазуренко Д.В., Шмидт А.Н.
СОЗДАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ НА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ ПОРОШКОВ СИСТЕМЫ «ТАНТАЛ-УГЛЕРОД».....67

Нгуен Суан Тьук, Панин С.В., Корниенко Л.А.
ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ФТОРОПЛАСТА 4 (Ф4) НА СВОЙСТВА СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА 69

Никитин Д.С.
ПЛАЗМОДИНАМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ СОСТАВОМ ПРОДУКТА 71

Николаев Е.В., Лысенко Е.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ЛИТИЕВОГО ФЕРРИТА ПОЛУЧЕННОГО НА ОСНОВЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО ОКСИДА ЖЕЛЕЗА 73

Омурбекова К.Р., Волкова А.В.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОЙТЕПЛОПРОВОДНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ МЕТОДОМ ПРЕССОВАНИЯ ИЗ ГРАНУЛЯТА..75

Парилов Е.А., Беляков А.В., Химич М.А.
ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СЛИТКОВ СПЛАВА Ti-Nb, ПОЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКОЙ В ОХЛАЖДАЕМЫЙ МЕДНЫЙ ТИГЕЛЬ 77

Полехина Н.А., Литовченко И.Ю.
ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ СТАЛЕЙ ЭК-181 И ЧС-139 ПОСЛЕ ТРАДИЦИОННОГО РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ 79

Попкова Ю.Ф., Елсукова Т.Ф.
ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ В ЗАРОЖДЕНИИ И РАСПРОСТРАНЕНИИ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ЗНАКОПЕРЕМЕННОМ ИЗГИБЕ 81

Прямушко Т.С., Грубова И.Ю., Иванова А.А.
ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА ВТ 1-0 ПЕРЕД НАПЫЛЕНИЕМ СЕРЕБРОСОДЕРЖАЩЕГО ГИДРОКСИАПАТИТА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА 83

Пухова И.В, Гальченко Н.К, Колесникова К.А
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ 85

Пыхтин С.В., Дьяков С.С., Исаченко Д.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ИСХОДНОЙ ШИХТЫ НА ПРОЦЕСС ПРОТЕКАНИЯ СВ-СИНТЕЗА В ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ РАО НА ОСНОВЕ РАСЧЁТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГОРЕНИЯ 87

Самойленко В.В., Ленивцева О.Г., Поляков И.А.
ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «Ti-Ta-Zr», СФОРМИРОВАННЫХ НА ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВА ВТ1-0 МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ 89

Семененко Т.М., Губин И.А., Исаченко Д.С.
ПОЛУЧЕНИЕ ИНТЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, НА ОСНОВЕ TiB и NiAl, В РЕЖИМЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРЕНИЯ....91

Сорвачева Ю.А., Чистяков Э.Ю.
ПРОЯВЛЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ КОРРОЗИИ БЕТОНА В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЯХ....93

Степанова Е.В.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ 95

Степанова Н.В.
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРАФИТИЗИРОВАННОЙ ЗАЭВТЕКТОИДНОЙ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ АЛЮМИНИЕМ И МЕДЬЮ 97

Степанюк А.В., Фадеев В.В., Калатур Е.С.
ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА СТРУКТУРУ, ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И РАЗРУШЕНИЕ СПЕЧЕННОЙ КЕРАМИКИ ZrO2(MexOy) 99

Сутыгина А.Н., Шулепов.И.А., Сыпченко В.С.
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТВЁРДОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ АЗОТИРОВАНИИ СТАЛЕЙ .101

Горина С.Г., Ли Цзысюань, Сычева А.В.
ВРЕМЯ-РАЗРЕШЕННАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ Al2O3 103

Тарновский Р.В.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛА В КОМПОЗИЦИОННОЙ КЕРАМИКЕ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ 105

Тимаревский Р.С. , Черкасова Н.Ю., Ануфриенко Д.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ВЫЖИГАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗОК НА СТРУКТУРУ ПЛОТНОЙ КЕРАМИКИ 107

Тимофеева А.А., Юсин С.И.
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОКСИДА ГРАФИТА 109

Тихонина К.В., Немзорова М.А., Тимофеева А.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ НА БАЗЕ ТЕРМОРАСШИРЕННОГО ГРАФИТА 111

Фазылов Д.С., Петикарь П.В., Камрикова А.А.
КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КРИСТАЛЛОВ LiF-Fe2O3 113

Федосеев С.Н.
ОПЫТ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СТАЛИ ГАТФИЛЬДА 115

Антонова Е.В., Фролова И.С., Баннов А.Г.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА ДИБОРИДА ТИТАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОВОЛОКНИСТОГО УГЛЕРОДА.....117

Хрусталёв А.П., Ворожцов С.А.
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ, УПРОЧНЕННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ АЛМАЗА. 119

Черниговская М.А., Малахова Е.А., Сипкина Е.И.
НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕТРАЭТОКСИ-СИЛАНА И СОПОЛИМЕРОВ СТИРОЛА И АЛЛИЛГЛИЦИДИЛОВОГО ЭФИРА 121

Чудинова Е.А., Сурменева М.А., Грубова И.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КАЛЬЦИЙ-ФОСФАТНОГО СЛОЯ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ 123

Шадрин В.С., Дедова Е.С., Ше В.Р.
ВЛИЯНИЕ ZrW2O8 НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛЮМИНИЯ.....125

Hairullin R.R., Dorovskikh S.I.
XRD INVESTIGATIONS OF CO FILMS DEPOSITED BY CVD 127

СЕКЦИЯ 7. ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
SECTION 7. INFORMATICS AND CONTROL IN ENGENEERING SYSTEMS 129

Агеева Ю.Н.
ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И АНАЛИЗА СВАРОЧНЫХ МАСТЕРСКИХ ГОУ СПО ЮТМИИТ.....131

Аипова А.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОСМОТРА УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ В ТОМСКОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ 133

Альшиц И.М.
АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ТЕЛЕКОММУКАНИЦИЯХ 135

Аникина П.В.
ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БИЗНЕС-ЛОГИКИ В ОТЧЕТАХ НА БАЗЕ MS REPORTING SERVICES 2005.....137

Анистратов П.С., Голобоков Ю.Н.
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОЗДАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ОС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ LINUX/XENOMAI 139

Анциферова Е.В.
КОНФИГУРИРОВАНИЕ В 1С: ПРЕДПРИЯТИЕ 8.2 141

Ахметов Т.А., Агеев А.В.
ПРОГРАММА АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ УСТРОЙСТВ....143

Бауэр А.В.
ДИНАМИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЖЕСТОВ РУКИ НА ОСНОВЕ СКРЫТЫХ МОДЕЛЕЙ МАРКОВА....145

Беляев А.С.
СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛАТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КАМЕРАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ....147

Бикинеева А.М.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛА ЭТО ТПУ....149

Бояршинова А.С..
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ....151

Булдыгин Р.А., Цапко С.Г.
СРЕДСТВО ОБМЕНА И ПРОСМОТРА ТРЁХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ....153

Булуев И.И.
ROBOTIS BIOLOID: НЕСТАНДАРТНЫЙ ВЗГЛЯД НА ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТА....155

Воронин А.А.
ШАГАЮЩАЯ МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА....157

Гладырь Е.М., Денисевич А.А.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ФТОРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОМ СТЭ-1Э....159

Горемыкина Д.С., Немировский В.Б.
ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОМЕРНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ, МОДЕЛИРУЮЩИХ РЕКУРРЕНТНУЮ НЕЙРОННУЮ СЕТЬ, ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ПОЛНОЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ....161

Гуляева К.В.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТАМИ ЭТО ТПУ....163

Дериглазов А.А., Криницын Н.С.
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ АППАРАТА КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА....165

Доронкин Д.Ю., Буркатовская Ю.Б.
АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПЫЛЕПИТАТЕЛЯ ТЭЦ....167

Доронкин Д.Ю., Медведев Е.А., Кудинов А.В.
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА НА ПРИМЕРЕ СЛОЖНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ....169

Друки А.А.
НЕЙРОСЕТЕВОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРНЫХ ЗНАКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ СО СЛОЖНЫМ ФОНОМ....171

Дусеев В.Р., Рудь М.Н, Мальчуков А.Н.
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРА КАЛМАНА В ПРИЛОЖЕНИИ К ФИЛЬТРАЦИИ ДАННЫХ ГЛУБИНЫ С СЕНСОРА KINECT....173

Езангина Т.А.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОЛИНОМА, ГАРАНТИРУЮЩИХ ЗАДАННУЮ СТЕПЕНЬ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ....175

Иванов К.А.
ДВУХКАНАЛЬНАЯ СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПОТОКА ОРГАНИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КАСКАДА КОЛОНН С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НАСОСАМИ....177

Измайлова Е.В.
ВЕЙВЛЕТ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ 179

Калиновский И.А.
БЫСТРАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ.....181

Капустин В.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ JPEG2000.....183

Кармачев Д.П., Ефремов А.А.
АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С U ОБРАЗНОЙ ФУНКЦИЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ.....185

Клюев С.В.
ТЕСТИРОВАНИЕ НАБОРОВ ДАННЫХ В ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ z/OS. 187

Книга Е.В., Жаринов И.О.
КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ БОРТОВЫХ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ.....189

Комаров А.Ю, Дорофеев В.А
РАЗРАБОТКА КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМПЬЮТЕРОМ (NETWORK BRIDGE) 191

Костыря Е.И.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЛЕВАНТНОСТИ В ПОЛНОТЕКСТОВОМ ПОИСКЕ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ 193

Котов В.А., Громаков Е.И.
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....195

Крашкевич А.С., Карабанова О.И.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОДЕКАДНОГО ИНДУКТИВНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ В ПАКЕТАХ ORCAD И MATLAB.....197

Курганов С.М.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ В АПРИОРЕ НЕИЗВЕСТНОЙ СРЕДЕ.....199

Лихолат А.Д.
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....201

Медведев К.О., Рудницкий В.А.
МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИБОРА - ИДЕНТФИКАТОРА НА БАЗЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО ИНТЕРПОЛЯЦИОННОГО МЕТОДА.....203

Михальков Ф.Д.
ИНТЕГРАЦИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕЗЕНТАЦИИ 205

Мороз Ю.С.
РАЗРАБОТКА АВТОПИЛОТИРУЕМОЙ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ 207

Моховикова А.Ю.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И СТАТИСТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ ФОНДА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ 209

Муравьев А.С.
КЛАССИФИКАТОР НА ОСНОВЕ БЫСТРОРАСТУЩЕГО НЕЙРОННОГО ГАЗА 211

Мустафина Д.Б., Мартынова Ю.А.
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ГОРОДСКИМИ ПАССАЖИРСКИМИ ПЕРЕВОЗКАМИ 213

Мыцко Е.А., Мальчуков А.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ПОИСКА ОБРАЗУЮЩИХ ПОЛИНОМОВ 215

Нгуен Фу Туан
СОБСТВЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ УПРУГИХ СИСТЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСА 217

Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Деветьяров А.Н.
ОПТИМИЗАЦИЯ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ КАСКАДОМ РЕАКТОРОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПОДАЧЕЙ ИСХОДНОГО РЕАГЕНТА 219

Неупокоева А.Е., Скороспешкин М.В.
ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО 221

Никифоров Д.Г., Скороспешкин М.В.
ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ ДВУКАНАЛЬНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ 223

Николаев А.В., Криницын Н.С., Савитский О.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОПИСАНИЯ ТОУ МОДЕЛЯМИ ВЫСОКОГО ПОРЯДКА ПРИ СИНТЕЗЕ ОДНОКОНТУРНЫХ САУ 225

Окс А.Е.
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МИКРОМОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ СЕМАНТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 227

Пантюхин А,Р., Александрова Т.В.
ИНТЕГРАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА И ОПЕРАЦИОНОЙ СИСТЕМЫ ROS 229

Писарев М.О., Долганов И.М., Ивашкина Е.Н.
РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ ГАЗА 231

Плахин Д.В.
РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТА TREEVIEWMANAGER ДЛЯ СИСТЕМЫ ПРОТОКОЛИРОВАНИЯ СОБЫТИЙ 233

Потапьев И.А.
УЛУЧШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ СЦЕН ВИДЕО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ OPENCL 235

Разумников С.В.
ОЦЕНКА ПРИГОДНОСТИ КОРПОРАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МИГРАЦИИ В ОБЛАКО 237

Репин Д.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ CAD/CAM/CAE В ПРОЕКТИРОВАНИИ ШАГАЮЩЕЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ 239

Рыбаков Е.А., Стариков Д.П., Громаков Е.И.
ADVANCED CONTROL ДАВЛЕНИЕМ НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ 241

Сахопотинов Г.А.
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМОЙ 243

Скотников Н.В., Белоножко А.В.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ 245

Станкевич Ф.В.
РАСПОЗНАВАНИЕ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АНАЛИЗА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК 247

Сыркин И.С.
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ГЕНЕРИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПРИ ПОМОЩИ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ 249

Сю Шуайкай, Бордулев Ю.С.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ....251

Тараканов В.С., Данченко А.М., Штерн В.В.
АЛГОРИТМ ПОИСКА ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ 253

Трубин П.П., Епифанцева К.А.
АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ, С УЧЁТОМ ЗАВИСИМОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ....255

Туралина Н.В.
РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ЗАВОД ТЕХНОНИКОЛЬ-СИБИРЬ»....257

Тутов И.А.
ВЕРИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВОГО КОТЛА МЫЛЬДЖИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ....259

Фаерман В.А., Аврамчук В.С.
ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ НЕИЗВЕСТНОЙ ФОРМЫ 261

Фам Ван Дай, Скороспешкин В.Н.
НЕЧЕТКОЕ ПСЕВДОЛИНЕЙНОЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ 263

Фоменко А.С.
РАЗРАБОТКА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ УЗЛА СЕПАРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР КОМПАНИИ BENTLEY SYSTEMS....265

Хлебникова Е.С., Беккер А.В.
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕХИМИИ 267

Чемезов В.О.
ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНОВАНИЯ УЗЛОВЫХ ТОЧЕК КАЛИБРОВОЧНОГО ШАБЛОНА....269

Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.
АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ БПФ НА МНОГОЯДЕРНОМ ПРОЦЕССОРЕ 271

Черемнов А.Г., Аврамчук В.С.
АРХИТЕКТУРНАЯ И КОМПИЛЯТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЯ БПФ НА МНОГОЯДЕРНОМ ПРОЦЕССОРЕ....273

Черных А.А.
ФАЗОВЫЙ РЕГУЛЯТОР МОЩНОСТИ С МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ 275

Черных А.А.
БЛОК КЛИМАТ КОНТРОЛЯ ПОМЕЩЕНИЯ 277

Шевнин В.А.
АВТОМАТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ 279

Шутова Ю.О., Мартынова Ю.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА НА СХОДИМОСТЬ....281

Янковский И.Г.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ЦИФРОВЫМ ФИЛЬТРОМ....283

Baglaeva E.A.
NATURAL LANGUAGE PROCESSING FOR THE CASE OF THE LEXICAL TEXT ADAPTATION AND GENERATING GRAMMAR EXERCISES 285

Bylina H.N.
RUBY PROGRAMMING LANGUAGE. RUBY ON RAILS FRAMEWORK 287

Дусеев В.Р., Рудь М.Н., Мальчуков А.Н.
JUMP POINT SEARCH ALGORITHM PERFORMANCE ANALYSIS 289

Kolosovskiy M.A.
INTELLIGENT VIDEO SURVEILLANCE SYTEM FOR PEDESTRIAN CROSSINGS 291

Kazylina Y.I.
TEXT RECOGNITION 293

Leontev P.N., Sannikov M.A.
FRONT-END DEVELOPMENT OF THE APPLICATION “LEARN LANGUAGE BY SONGS” 295

Makarov E. Dmitry, Alekseev S. Igor
HUMAN MACHINE INTERFACE (HMI). USAGE OF CLOUD HMI AND ITS COMPARISON WITH OTHER HMI SYSTEMS 297

Nebaba S.G.
OPTIMIZATION ALGORITHMS FOR ESTIMATION OF THE MAIN SOIL CORROSION FACTORS 299

Prisakar A.V.
ANALYSIS OF RHYTHMS OF NIGHT BREATHING OF PATIENTS WITH BRONCHIAL ASTHMA BY METHOD OF LYAPUNOV 301

Rud M.N., Duseev V.R.
SIMULATION AND VISUALIZATION OF WATER FLOW USING GRAPHICAL PROCESSING UNITS (GPUs) 303

Ryabikina A.S.
AIR-OIL FLOW SIMULATION IN A POROUS COLUMN 305

Sannikov M.A., Leontev P.N.
BACK-END DEVELOPMENT OF THE APPLICATION “LEARN LANGUAGE BY SONGS” 307

Solovyev P.A.
DESIGNING A HEATING APPLIANCE MODEL TO PRACTICE DIGITAL CONTROLLERS SYNTHESIZING 309

Starikov D.P., Rybakov E.A., Zhuravlev D.V.
THE DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM OF ADAPTIVE DISCRETE PID CONTROL FOR THE EXTRUDER BASED ON A MICROCONTROLLER 311

Khozhaev I.V.
LINEAR TIME INVARIANT SYSTEM POLE PLACING BY POLYNOMIAL DIVISION METHOD 313

Sharabayko M.P.
RESEARCH ON H.265/HEVC INTRA PREDICTION MODES SELECTION FREQUENCIES 315

Острижная А.С.
ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ18У МЕТОДОМ НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ 317

Иовлев Д.И.
ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В MANET 319

Шевцова Л.И., Анисимов А.Г., Самейщева Т.С.
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «АЛЮМИНИД НИКЕЛЯ – НИКЕЛЬ» МЕТОДОМ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ 322

ОГЛАВЛЕНИЕ 324

Научное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

СБОРНИК ДОКЛАДОВ
XX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

В трех томах

Том 2

Компьютерная верстка Т.М. Плахова

Дизайн обложки А.М. Петелин

Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета

Подписано к печати 00.05.2014. Формат 60x84/8. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл. печ. л. **38,73**. Уч.-изд. л. **35,04**
Заказ **000-12**. Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел/факс: +7 (3822) 56-35-35, www.tpu.ru