



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

СБОРНИК ТРУДОВ



ВСЕРОССИЙСКОГО  
КОНГРЕССА  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ТОМ 2



Санкт-Петербург

2016

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

**Сборник трудов  
V Всероссийского конгресса молодых  
ученых**

**Том 2**



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

**Санкт-Петербург**

**2016**

Сборник трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых. Том 2. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 273 с.

В издании «Сборник трудов V Всероссийского конгресса молодых ученых» публикуются работы, представленные в рамках V Всероссийского конгресса молодых ученых и XIII Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых, которая состоялась 12–15 апреля 2016 года в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики.

ISBN 978-5-7577-0537-8

ISBN 978-5-7577-0538-5



**УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2016

© Авторы, 2016

УДК 621.397+623.4.052.5+681.785.6

**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СВЕТОВОЗВРАЩЕНИЯ  
ОБЪЕКТИВОВ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ**

**М.Б. Леонов<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент В.Н. Назаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Рассмотрены предпосылки к созданию стенда для измерения показателя световозвращения объективов и камер систем видеонаблюдения для реализации в составе модуля упреждения опасности. Описываются причины возникновения световозвращения в оптических и оптико-электронных приборах. Разработана методика измерения показателя световозвращения и реализован макет стенда для ее апробации.

**Ключевые слова:** система видеонаблюдения, модуль упреждения опасности, демаскирующие признаки, показатель световозвращения, измерительный стенд.

Существующие в настоящее время системы видеонаблюдения применяются для различных целей: от охраны территории (системы видеонаблюдения, работающие в различных условиях), до спасения людей и проведения разведки (беспилотные летательные аппараты). На основе анализа зарубежных систем была разработана концептуальная модель охранной системы видеонаблюдения (СВН) с модулем упреждения опасности (МУО) в составе автоматизированного снайперского комплекса и дополнительного оборудования для определения координат целей [1]. Для решения задачи преобразования координат МУО была разработана математическая модель, связывающая локальные и абсолютные координаты. По результатам исследования математической модели МУО была разработана методика расчета поля зрения визира СВН [2], а также выработаны технические требования к механизму наведения МУО. В ходе дальнейшей работы были разработаны инженерные методики расчета механизмов наведения и визиров МУО. Завершающим этапом работы являлась разработка методики контроля световозвращения визиров МУО, как доминирующего демаскирующего признака СВН.

Демаскирующие признаки оптико-электронных приборов (ОЭП), в том числе СВН, напрямую связаны с такими характеристиками, как контраст между объектами и фонами, освещенность объектов и фонов, отражение излучений объектами и фонами, пропускание и рассеяние излучения атмосферой, видимость объектов, световозвращение от оптических поверхностей. Из всех этих демаскирующих признаков именно световозвращение является доминирующим. Световозвращение в ОЭП возникает вследствие отражения входящего в прибор излучения от линз (френелевское отражение) и всех элементов конструкции. Фактически блики появляются от всех поверхностей внутренних элементов конструкции объектива. Световозвращение приводит к бликам, по которым определяют положение оптического прибора при помощи специального оборудования, причем в некоторых случаях эти блики можно наблюдать даже невооруженным глазом. Световозвращение объективов видимого диапазона, предназначенных для работы с ПЗС-матрицей, значительно повышается за счет материала приемника, кремния, с высоким коэффициентом отражения в видимом диапазоне ( $\rho \approx 0,3$ ). Объективы инфракрасного диапазона создаются из материалов (германий, кремний и др.), обладающих высоким коэффициентом отражения в видимом диапазоне спектра, что также приводит к световозвращению.

В связи с этим стал актуальным вопрос о возможности измерения световозвращения объективов СВН в видимом диапазоне с целью дальнейшего его анализа и разработок методов по его уменьшению. Световозвращение может оценено количественно такими параметрами как коэффициент световозвращения (КС),

коэффициент силы света (КСС) [3] и показатель световозвращения (ПСВ) [4]. КС и КСС применяются преимущественно для оценки световозвращения дорожных знаков и разметки, тогда как ПСВ – для ОЭП. ПСВ представляет собой отношение силы излучения, отраженного от ОЭП, к облученности входного зрачка ОЭП:

$$R_{\text{ПСВ}} = \frac{I_e}{E_e} \left[ \text{м}^2/\text{ср} \right]. \quad (1)$$

На основе анализа работы [3] была разработана методика измерения световозвращения объективов, отличающаяся от существующих [4]. В разработанной методике выражение (1) принимает вид:

$$R_{\text{ПСВ}} = \frac{D_{\text{зр}}^2 U_2 L^2 R_1}{d_{\text{д}}^2 U_1 R_2} \left[ \text{м}^2/\text{ср} \right],$$

где  $U_2$  – отсчет, пропорциональный потоку излучения, падающему на объектив, В;  $U_1$  – отсчет пропорциональный потоку излучения, прошедшему через объектив, отраженному от приемника и возвращенному по направлению к источнику излучения;  $R_1$ ,  $R_2$  – сопротивления нагрузки установленные на операционном усилителе, соответствующие отсчетам  $U_1$  и  $U_2$ ;  $d_{\text{д}}$  – диаметр измерительной диафрагмы, мм;  $D_{\text{зр}}$  – диаметр входного зрачка испытуемого объектива, мм;  $L$  – расстояние между источником излучения и испытуемым объективом, м.

Для апробации методики был разработан макет стенда, структурная схема которого с упрощенной, по сравнению с [4], оптической схемой представлена на рис. 1.

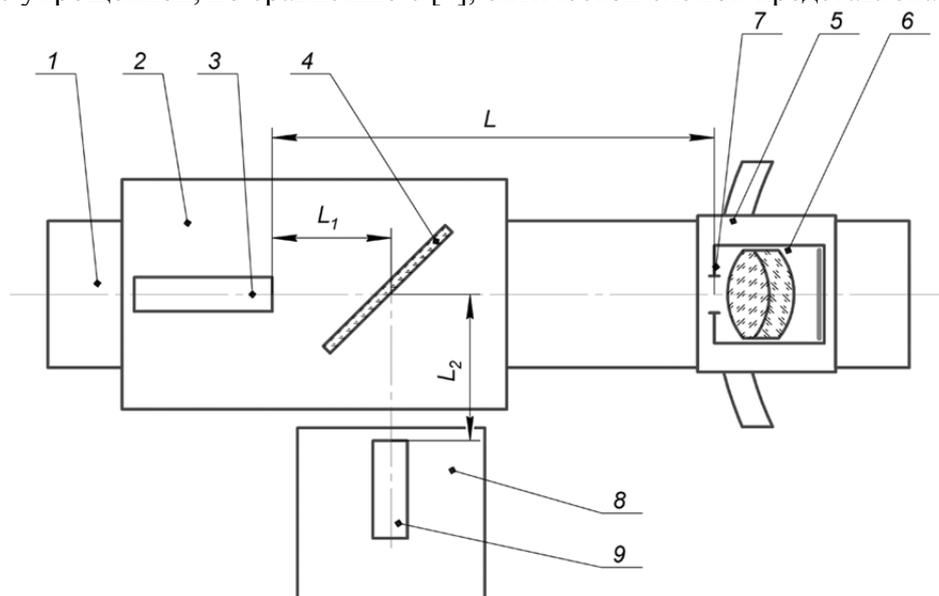


Рис. 1. Структурная схема стенда для измерения ПСВ наблюдательных каналов МУО:

- 1 – оптическая скамья; 2 – оптический столик источника излучения; 3 – лазерный источник излучения; 4 – полупрозрачная пластина; 5 – поворотный столик с объективодержателем; 6 – испытуемый визир МУО (объектив с ПЗС-матрицей); 7 – диафрагма; 8 – оптический столик приемника излучения; 9 – приемник излучения

Макет стенда разработан на базе оптической скамьи ОСК-2 со стандартными оптическими столиками. В качестве источника излучения используется полупроводниковый лазер ( $\Delta\lambda=635\text{--}670$  нм,  $\lambda_{\text{max}}=650$  нм) с коллимационной линзой для создания узкого параллельного пучка. Полупроводниковые лазеры обладают большими возможностями с точки зрения энергетики и имеют большую яркость, чем светодиоды в той же области спектра. При мощности источника излучения в 1 мВт осветитель может быть сделан без применения дополнительных оптических элементов. Ограничение угла излучения достигается применением диафрагм, которые также уменьшают влияние рассеянного света при измерениях [5].

Фотоприемные устройства (ФПУ) имеют линейный динамический диапазон, достигающий 7 порядков при использовании операционного усилителя и кремниевого фотодиода с темновым током не более 5 мкА. Нижний предел измерения таких ФПУ составляет  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  Вт без модуляции излучения, что позволяет использовать весь динамический диапазон ФПУ при работе совместно с лазерными источниками излучения. Переключение пределов измерений в таких ФПУ производится сменой нагрузочного сопротивления фотодиода в цепи обратной связи операционного усилителя. Сопротивление изменяется в пределах 0,1–50 МОм. Выходной сигнал с операционного усилителя позволяет подключать стандартный цифровой вольтметр для регистрации измеряемого излучения [5].

Результаты измерений визира (объектив МИР-1В с камерой BMR-1230LM-UF на основе ПЗС-матрицы ICX445ALA), пригодного для использования в составе МУО, представлены на рис. 2. Предельная относительная погрешность измерений составила  $\varepsilon=14\%$ .

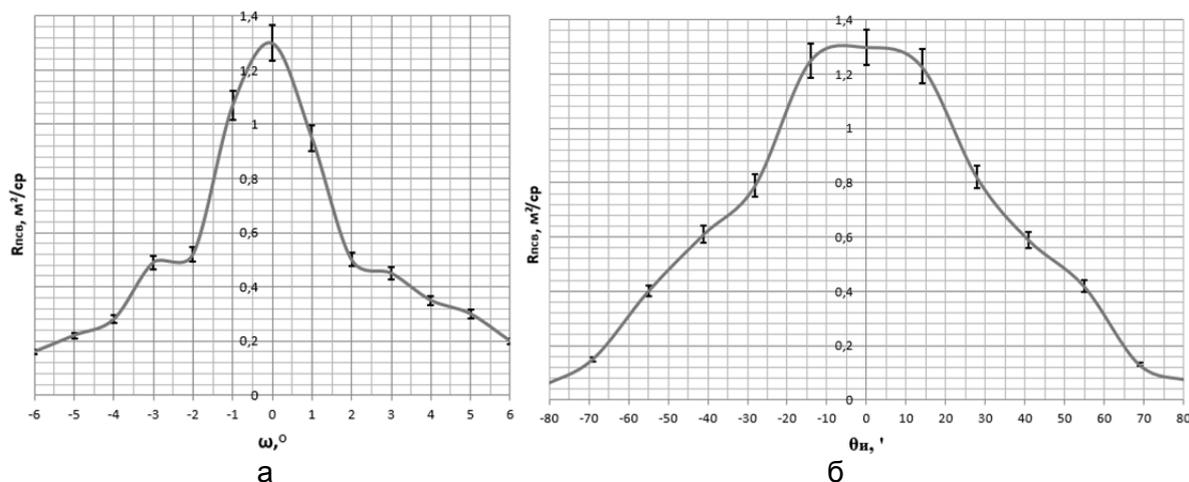


Рис. 2. Зависимость ПСВ от угла поля зрения  $\omega$  (а) и индикатриса ПСВ (б) наблюдательного канала МУО

Проведен анализ методов уменьшения ПСВ. В случае МУО используется готовая элементная база, поэтому применение методов ограничивается использованием светофильтров, отсекающих типовые длины волн лазеров. При невозможности использования этого метода, целесообразно использовать ложные оптические цели (например, отражательные призмы) для дезинформирования лазерных систем обнаружения ОЭП.

Полученные на макете стенда результаты позволяют судить об успешной реализации разработанной методики измерения ПСВ визиров МУО. В виду отсутствия ГОСТа на методы измерения ПСВ, разработанная методика может быть представлена для его создания, наряду с уже существующими относительными методами измерения ПСВ.

## Литература

1. Леонов М.Б., Назаров В.Н. Концептуальная модель охранной системы видеонаблюдения с модулем упреждения опасности // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 5. – С. 380–384.
2. Леонов М.Б., Назаров В.Н. Математическая модель модуля упреждения опасности системы видеонаблюдения с выработкой целеуказаний // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59. – № 3. – С. 189–196.
3. Кувалдин Э.В. Относительный метод измерения фотометрических характеристик дорожных знаков и разметки // Измерительная техника. – 2010. – № 4. – С. 64–68.

4. Барышников Н.В., Бокшанский В.Б., Животовский И.В. Автоматизация измерений световозвращательных характеристик // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». – 2004. – № 2. – С. 27–35.
5. Кувалдин Э.В., Киргетов М.В., Леонов М.Б. Установка для измерения основных характеристик малогабаритных объективов // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 1. – С. 94–99.

**УДК 004.896**

**ПАТЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ, ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ  
НА БАЗЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**Т.С. Лихачева<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Б. Бондаренко<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

С каждым днем системы, работающие на основе искусственных нейронных сетей, пытаются применить для решения все новых, более сложных задач, однако, при реализации таких систем, как и в любой другой системе, возникают сложности, препятствующие достижению их максимальной эффективности. Патентное исследование устройств и способов, так или иначе связанных с искусственными нейронными сетями, проведенное в данной работе, нацелено на выявление проблем, с которыми сталкиваются подобные системы.

**Ключевые слова:** патент, патентное исследование, системы, искусственные нейронные сети, недостатки, проблемы.

Патент представляет собой документ, удостоверяющий признание предложения изобретением, приоритет изобретения, авторство на изобретение и исключительное право патентообладателя на изобретение [1]. Патентное исследование в настоящей работе представляет собой информационный поиск, направленный на выявление проблем, с которыми чаще всего сталкиваются системы, работающие на базе искусственных нейронных сетей. Это позволяет понять пути дальнейшего развития и способы достижения новых положительных результатов в области искусственных нейронных сетей. Положительный результат такого исследования обеспечивается тем, что сами патенты подразумевают создание нового в ходе разработки или же модернизацию объекта техники, и, соответственно, преследуя эти цели, решают ряд проблем или снижают их неблагоприятные воздействия или последствия. Кроме того, все патенты проходят проверку на патентную чистоту, что обеспечивает новизну технических решений каждого патента и гарантирует эффективность проведения патентных исследований.

Патентное исследование в настоящей работе было произведено среди патентов как на устройства, так и на способы, имеющие отношение к системам, функционирующим на базе искусственных нейронных сетей. Глубина поиска патентов составила 10 лет (2005–2014 гг.) По выбранной области исследования было найдено множество разнородных патентов, но для работы были выбраны 15 российских патентов, по большей части относящихся к совершенно различным отраслям.

Однако, несмотря на различие сфер применения устройств и способов в отобранных патентах в ходе их анализа по целям – решаемым в них проблемам – были выделены пять основных групп. В основном объекты патентов, связанных с искусственными нейронными сетями, нацелены на решение следующих задач:

1. оптимизация конструкции и потоков информации;
2. расширение функциональных возможностей, в том числе усложнение класса решаемых задач;

3. обеспечение заданного качества и точности обработки информации;
4. повышение быстродействия;
5. повышение помехоустойчивости и надежности.

Из всего многообразия рассмотренных патентов ниже приведены по одному примеру решения той или иной проблемы.

Решение задачи оптимизации конструкции в патенте G06N3/063 2475843 [2] на «Адаптивное управляющее устройство, нейроподобный базовый элемент и способ организации работы такого устройства» было достигнуто за счет группировки базового нейроподобного элемента с множеством таких же базовых элементов, выполненных на плоской подложке, образующей модульный блок базовых элементов, имеющий две односторонние или двусторонние контактные площадки с параллельными друг другу входами и выходами.

Задача расширения функциональных возможностей автоматической системы управления и достижения автоматического управления движением мобильного объекта в разных ситуациях без участия человека в патенте B25J5/00 2451593 [3] на «Автоматическую систему управления движением мобильного объекта и способ автоматического управления движением мобильного объекта» решена за счет того, что исходная автоматическая система управления движением мобильного объекта, состоящая из блока обработки цифровых параметрических сигналов, блока с нечеткой логикой, блока с нейронной сетью и коммутирующего контроллера, дополнена блоком обработки видеосигналов, соединенным с камерами технического зрения мобильного объекта, блоком анализа и кластеризации, блоками с генетическими алгоритмами, а также задача решена за счет способа автоматического управления движением мобильного объекта, который подразумевает создание исходных правил для множества сценариев развития ситуаций и предварительное обучение системы с применением генетических алгоритмов.

Проблема обеспечения заданного качества и точности обработки информации была решена в патенте G06K9/62 2414748 [4] на «Способ автоматического распознавания следов огнестрельного оружия на изображении боковой поверхности пуль (или гильз)» за счет того, что в нем, в отличие от прототипа, исследуемое изображение анализируется не в целом, а предварительно разбивается на фрагменты заданных размеров, и с помощью одной обученной нейронной сети проводится классификация следов в каждом фрагменте изображения. Такая подготовка изображения позволила значительно повысить точность распознавания, а использование только одной нейронной сети упростило реализацию способа.

Задача повышения быстродействия была решена в патенте G06N3/06 G06G7/60 2309457 [5] на «Модель нейронной сети» за счет введения в модель нейронной сети нелинейного преобразования входного сигнала в дискретный (импульсный), позволяющего создать дополнительные каналы связи между нейронами, т.е. повышающего степень распараллеливания вычислительных процессов.

И, наконец, задача повышения надежности была решена в патенте G06N3/06 2398281 [6] на «Многослойную модульную вычислительную систему» за счет некоторого числа резервных слоев или резервных модулей в каждом слое.

Таким образом, с помощью патентного поиска были определены основные проблемы, возникающие в системах, функционирующих на базе искусственных нейронных сетей, а именно: большой объем оборудования, его сложность, невысокая скорость работы, большой объем хранимой и обрабатываемой информации, узкие функциональные возможности, невысокая сложность класса решаемых задач, недостаточное качество и точность обработки информации, низкое быстродействие, недостаточные помехоустойчивость и надежность.

## Литература

1. Симоненко З.Г., Ткалич В.Л. Патентное и авторское право. Учебное пособие / Под редакцией В.А. Иванова. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2002. – 148 с.
2. Патент № 2475843 РФ, МПК G06N 3/063. Адаптивное управляющее устройство, нейрноподобный элемент и способ организации работы такого устройства / Шумилов В.Н., Воронин В.Н., Соломонов В.И.; заявитель и патентообладатель Фед. гос. бюдж. образ. учрежд. высш. проф. образ. «Нац. исслед. Томский гос. ун-т» (ТГУ). – № 2011151391/08; заявл. 15.12.2011; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 24 с.
3. Патент № 2451593 РФ, МПК B25J 5/00. Автоматическая система управления движением мобильного объекта и способ автоматического управления движением мобильного объекта / Толстель О.В.; заявитель и патентообладатель Толстель О.В. – № 2009110867/02; заявл. 24.03.2009; опубл. 27.05.2012, Бюл. № 27. – С. 12.
4. Патент № 2414748 РФ, МПК G06K 9/62. Способ автоматического распознавания следов огнестрельного оружия на изображении боковой поверхности пуль (или гильз) / Крюков С.Н., Золотоверхий А.П., Каркаева Р.К., Созинова М.В.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Лазерные диагностические инструменты – Русприбор». – № 2009124396/08; заявл. 23.06.2009; опубл. 20.03.2011, Бюл. № 8. – С. 13.
5. Патент № 2309457 РФ, МПК G06N 3/06, G06G 7/60. Модель нейронной сети / Шевченко К.Н., Шевченко Н.В., Шульгин Б.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Уральский гос. техн. ун-т – УПИ». – № 2006115706/09; заявл. 06.05.2006; опубл. 27.10.2007, Бюл. №30. – С. 7.
6. Патент № 2398281 РФ, МПК G06N 3/06. Многослойная модульная вычислительная система / Соломенцев Ю.М., Шептунов С.А., Кабак И.С., Суханова Н.В.; заявитель и патентообладатель Рос. акад. наук, Ин-т констр.-технологич. информатики РАН (ИКИ РАН). – № 2008143737/09; заявл. 07.11.2008; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24. – С. 8.

### УДК 339

#### **ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ АДАПТАЦИИ И ВНЕДРЕНИЯ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Е.В. Лукашова<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент М.В. Скоробогатов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена актуальность в освоении интегрированной системы качества, которая является одним из основных факторов конкурентоспособности фармацевтического предприятия. Отмечены преимущества и недочеты при внедрении интегрированной системы менеджмента качества на предприятии. Дана характеристика законодательному обеспечению работы фармацевтической промышленности в России.

**Ключевые слова:** интегрированная система менеджмента качества, GMP, ISO 9000, фармацевтическое предприятие, качество, производство, процессный подход, IDEF0.

Для многих российских организаций, которые стремятся на равных конкурировать как на отечественном, так и с западными компаниями, существенное значение приобретает сертификация на соответствие стандартам, признанным не только в России, но и за рубежом.

На протяжении многих лет Российский фармацевтический рынок представлен зарубежными компаниями и доля их на рынке высока (по разным данным от 65% до 76%) [1, 2]. По этой причине в последние годы государство активно предпринимает меры по регулированию фармацевтического рынка, в частности формирует локального производителя. Попытки в данном направлении предпринимаются с 2010 года. Стратегия «Фарма–2020» стала одной из трех основных документов, которая

определила развитие отрасли на десятилетия вперед. На втором месте федеральная целевая программа «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности РФ на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» и на третьем – «Стратегия лекарственного обеспечения населения РФ до 2025 года» [3]. Также по оценкам экспертов существенное влияние может оказать введение требований по обязательному соблюдению стандартов производства с 01.01.2014 (ФЗ «Об обращении лекарственных средств» № 61-ФЗ). Другими словами с 1 января 2014 года лицензии на производство лекарственных средств (ЛС) будут выдаваться только при условии соответствия правилам GMP, а предприятия, уже получившие бессрочные лицензии, должны будут их подтвердить, пройдя государственную инспекцию [4]. В стратегии «Фарма-2020» предусмотрено увеличение доли продукции отечественного производства в общем объеме потребления на внутреннем рынке до 50% в стоимостном выражении к 2020 г. [5]. В связи с этим становятся актуальными не только вопросы повышения производственного потенциала российских фармацевтических промышленных предприятий, но необходимости повышения конкурентоспособности предприятий и увеличения доли их рынка.

Динамичное развитие фармацевтического рынка и усиление конкуренции предъявляют новые требования к организации управления фармацевтическими предприятиями. В этих условиях стратегически важным является определение основных направлений повышения конкурентоспособности исходя из особенностей конкретного производства лекарственных средств.

Конкурентоспособность – это способность объекта выдерживать конкуренцию в сравнении с аналогичными объектами на данном рынке [6].

Существует несколько путей повышения конкурентоспособности предприятия: рост объемов реализации продукта; улучшение качества выпускаемого продукта; уменьшение расходов; бенчмаркинг.

Для фармацевтической индустрии понятие качества продукции имеет важное значение в практической деятельности. Согласно ГОСТ 15467-79 «Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения» под качеством понимается совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [7].

Систему обеспечения качества фармацевтического предприятия нужно рассматривать как систему, с помощью которой достигается высокое качество продукта, качество процесса и качество структуры. Система обеспечения качества при производстве лекарственных средств должна гарантировать, что:

- продукция разработана с учетом всех требований и стандартов;
- на все операции по производству и контролю составлена четкая документация в соответствии с правилами стандарта;
- ответственность и полномочия строго определены;
- выполняются мероприятия по производству, поставке и использованию надлежащего исходного сырья и упаковочных материалов;
- проводится контроль промежуточной продукции и технологического процесса;
- контроль и проверка готовой продукции проводятся в соответствии с требованиями стандартов и законодательства;
- выполняется процедура проведения самоинспекции и (или) аудита качества, по которой регулярно оценивают эффективность и пригодность системы обеспечения качества.

Анализируя опыт успешного развития топ-10 зарубежных фармацевтических компаний, можно сказать, что достижение поставленных целей развития корпорации обеспечивается путем внедрения и сертификации нескольких систем качества в соответствии с международными стандартами, GxP и т.п., ISO 9000.

Термин GxP английского происхождения, он определяет группу регуляторных актов «Good...Practice», относящихся к фармацевтической индустрии.

Стандарт GMP («Good Manufacturing Practice», Надлежащая производственная практика) – система норм, правил и указаний в отношении производства: лекарственных средств, медицинских устройств, изделий диагностического назначения, продуктов питания, пищевых добавок, активных ингредиентов.

Стандарт GLP («Good Laboratory Practice», Надлежащая лабораторная практика) – система норм, правил и указаний, направленных на обеспечение согласованности и достоверности результатов лабораторных исследований.

Стандарт GCP («Good Clinical Practice», ГОСТ Р 52379-2005 Надлежащая клиническая практика) – международный стандарт этических норм и качества научных исследований, описывающий правила разработки, проведения, ведения документации и отчетности об исследованиях, которые подразумевают участие человека в качестве испытуемого.

Стандарт ISO 9000 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» содержит основополагающие положения для надлежащего понимания и внедрения настоящего международного стандарта. Принципы менеджмента качества детально описаны в ISO 9000 и приняты во внимание при разработке настоящего международного стандарта [8].

Таким образом, система качества выпускаемой продукции может быть успешно решена путем внедрения двух или более международных стандартов, функционирующая как единое целое, т.е. внедрение интегрированной системы менеджмента, состоящей из:

- серии ИСО 9000, описывающие организационную структуру управления качеством;
- стандартов GMP, которые содержат требования к производству и контролю качества лекарственных средств для человека и животных (ГОСТ Р 52249-2009, ГОСТ Р 52537-2006, ГОСТ Р 52550-2006, ОСТ 91500.05.001-00 и т.д.).

Согласно мнению экспертов основными преимуществами внедрения интегрированной системы менеджмента (ИСМ) являются:

- изменение подхода к обеспечению качества и безопасности лекарственных средств от ретроспективного к превентивному, что значительно снижает потери от возникновения брака и отзыва продукции;
- определение ответственности за обеспечение безопасности лекарственных средств;
- документальное подтверждение уверенности в безопасности лекарственных средств, что особо важно при работе с потребителем;
- обеспечение системного подхода, который включает все параметры безопасности лекарственных средств – от сырья до конечного пользователя;
- более экономное использование ресурсов для управления безопасностью;
- существенное снижение финансовых издержек, связанных с выпуском некачественной продукции;
- повышение доверия потребителей к качеству выпускаемых лекарственных средств;
- обеспечение деятельности предприятия в целом и оптимального режима работы систем контроля и верификации в частности;
- увеличение возможности выхода на новые рынки сбыта и расширение существующих;
- увеличение дополнительных преимуществ при участии в государственных закупках;
- увеличение готовности у зарубежных инвесторов идти на капиталовложения;
- обеспечение стабильности качества и безопасности лекарственных средств, от которых зависит имидж компании;
- обеспечение репутации производителя качественных и безопасных лекарственных средств.

Построение ИСМ, как правило, строиться на принципах, установленных в международных стандартах менеджмента. При этом в качестве базовых должны приниматься принципы менеджмента качества в первую очередь такие, как: процессный подход, системный подход, лидерство руководителя, вовлечение работников и постоянное улучшение. Реализация именно этих принципов позволяет наилучшим образом обеспечить интегрирование положений стандартов на отдельные системы в единый комплекс.

Принципы процессного и системного подхода могут быть реализованы путем построения целостной модели процессов ИСМ согласно требованиям выбранной группы стандартов [9]. Модель строится с использованием методологии IDEF0, которая позволяет с достаточной степенью детализации описать требования ИСМ, и в то же время оставляет возможность для дальнейшей декомпозиции. Это обстоятельство обеспечивает возможность адаптации универсальной модели ИСМ практически в любой организации. Помимо этого, методология IDEF0 принята Госстандартом России в руководящем документе «РД IDEF0-2000 Методология функционального моделирования» [9]. Документ описывает семантику нотации IDEF0, правила и методику структурированного графического описания процессов и является правовой базой для применения этой методологии в России.

Система менеджмента качества (СМК) систематизирует и регулирует все виды деятельности организации. Она направлена на достижение результатов в соответствии с целями в области качества, чтобы удовлетворять потребности, ожидания и требования заинтересованных сторон в производственных процессах деятельности компании.

Для фармацевтической отрасли характерен ряд моментов, которые в первую очередь содействуют повышению конкурентоспособности компаний за счет роста результативности и эффективности ее деятельности и создают реальные предпосылки того, что улучшение качества всей деятельности компании будет постоянно и устойчиво, прежде всего, это:

- качество создаваемой и выпускаемой продукции, все полнее удовлетворяя запросы потребителя (врача, пациента) по таким важным характеристикам как безопасность лекарственного средства;
- снижение издержек производства, что позволит осуществлять политику снижения цен, тем самым быть конкурентоспособной компанией, как на коммерческом секторе закупок, так и на бюджетном рынке, участвуя в аукционах;
- увеличение реализации продукции с возможностью выхода на рынки ближнего и дальнего зарубежья;
- увеличение эффективного использования производственных мощностей для выпуска не только собственной продукции, но и привлечение иностранных инвесторов для контрактного производства;
- благоприятный психологический климат во взаимоотношениях персонала и руководства, что должно вызывать удовлетворение от процветания компании и роста ее авторитета у потребителей и партнеров.

Однако опыт внедрения систем качества на российских предприятиях свидетельствует о том, что многие из них так и не смогли добиться значительных успехов в улучшении экономических показателей. Анализ сложившейся ситуации показывает, что основной причиной, препятствующей достижению высоких экономических результатов за счет создания системы качества на предприятии, является отсутствие надежного инструмента оценки качества менеджмента предприятия. Также из-за низкого уровня профессионализма руководителей предприятий существующие возможности стандарта ИСО 9000 используются слабо [10].

На сегодняшний день фармацевтический рынок России находится в стадии активной модернизации. Государство прилагает множество усилий, чтобы вывести

отечественных производителей в лидеры. В связи с этим те предприятия, которые освоят СМК, обеспечат возможности адаптации системы качества к изменяющимся условиям. Такие предприятия в новых условиях смогут иметь конкурентное преимущество на фармацевтическом рынке не только внутри страны, но и за ее пределами, они обеспечивают большую привлекательность деятельности предприятия для потребителей, инвесторов и других заинтересованных сторон.

### Литература

1. Российский фармацевтический рынок. Итоги 2014 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://dsm.ru/docs/analytics/dsm\\_report\\_2014\\_rus\\_web.pdf](http://dsm.ru/docs/analytics/dsm_report_2014_rus_web.pdf), своб.
2. Российский фармацевтический рынок итоги 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://remedium.ru/public/books/remedium/detail.php?ID=65863>, своб.
3. Распоряжение Правительства РФ от 01.10.2010 № 1660-р «Об утверждении Концепции ФЦП «Развитие фармацевтической и медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_105529/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_105529/), своб.
4. Федеральный закон от 12.04.2010 № 61-ФЗ (ред. от 29.12.2015) «Об обращении лекарственных средств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_99350/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99350/), своб.
5. Стратегия «Фарма-2020» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pharma2020.ru/>, своб.
6. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации. Учебник. – 2-е изд. – М.: Эксмо, 2005. – 544 с.
7. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Введен 01.07.1979. – М.: Стандартиформ, 2009. – 21 с.
8. ИСО 9000. Менеджмент качества – ИСО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iso.org/iso/ru/home.htm?>, своб.
9. РД IDEF0-2000. Методология функционального моделирования IDEF0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.studmed.ru/rd-idef0-2000-metodologiya-funkcionalnogo-modelirovaniya-idef0\\_8f0df62a790.html](http://www.studmed.ru/rd-idef0-2000-metodologiya-funkcionalnogo-modelirovaniya-idef0_8f0df62a790.html), своб.
10. Белобрагин В.Я., Воронин Г.П. Еще раз об эффективности системы менеджмента качества (ретроспективный взгляд на проблему) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://eq-journal.ru/pdf/01/Белобрагин ВЯ.pdf](https://eq-journal.ru/pdf/01/Белобрагин%20ВЯ.pdf), своб.

### УДК 004.93

#### РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЛИЦА

Е.А. Лукьянец<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент К.К. Симончик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе представлена архитектура программного комплекса верификации личности по изображению лица. Рассмотрены преимущества и недостатки используемого подхода. Также более подробно рассмотрены некоторые подходы к написанию исходных кодов. Работа написана по результатам разработки новой версии системы распознавания по лицу в ООО «Центр Речевых Технологий».

**Ключевые слова:** верификация, идентификация, распознавание лиц, архитектура программного комплекса, C++, CMake.

В последние годы биометрические системы распознавания личности по изображению лица получили широкое распространение. На рынке существует

множество различных решений, предоставляющих данную функциональность. Подобные системы часто достаточно сложны в реализации, так как должны сочетать в себе и наукоемкий исходный код, и удобный конечному пользователю интерфейс.

Архитектура библиотеки, удобная как разработчикам, так и конечным пользователям, позволяет оптимизировать и ускорить процесс разработки и на стороне интеграторов, и на стороне внутренних разработчиков системы.

В качестве примера такой системы будет рассмотрен в данный момент активно разрабатываемый программный комплекс идентификации личности по изображению лица компании ООО «Центр Речевых Технологий».

**Целью работы** является разработка удобной и интуитивно понятной архитектуры библиотеки программного комплекса, а также построение удобного интерфейса и настройки удобной системы сборки.

Из-за того, что система должна выполнять поставленные задачи быстро, в качестве языка разработки, как и для многих других подобных систем, например, FACEVACS Technology [1], был выбран язык программирования C++. Это позволило не только достичь высокой скорости исполнения кода, но и создания библиотек под различные архитектуры и платформы, такие как x86, x86\_64 и ARM (v7, v7a, v8). Кроме того, это позволило создать «оболочки» (wrapper) для других языков программирования, таких как Java и Python.

Стоит отметить, что на первом этапе развития библиотека содержала достаточно небольшое количество строк кода и зависела лишь от одной библиотеки. Однако со временем в системе появлялись новые функции, количество строк кода, как и количество зависимостей, росло. Для тестирования функциональности и скорости работы были написаны тесты, а также некоторый набор вспомогательных утилит. Однако структуре проекта не было уделено должное внимание. Спустя несколько лет развивать и поддерживать систему стало достаточно трудоемко.

В качестве системы сборки в данный момент используется Cmake [2]. До этого использовались проекты среды разработки Visual Studio и QMake [3]. Однако в настоящее время CMake является наиболее удобной и распространенной системой сборки для кроссплатформенных проектов.

Программный комплекс включает в себя множество компонентов, таких как модуль конфигурации системы, модуль детектирования лица, модуль разметки, модуль трекинга лиц, модуль идентификации и другие модули. Эти функциональности было решено разделить и выстроить четкие, односторонние зависимости компонентов так, чтобы направленный граф зависимостей являлся ациклическим. Это было достигнуто благодаря разделению основной библиотеки на 9 библиотек, зависимости между некоторыми из которых показаны на рисунке.

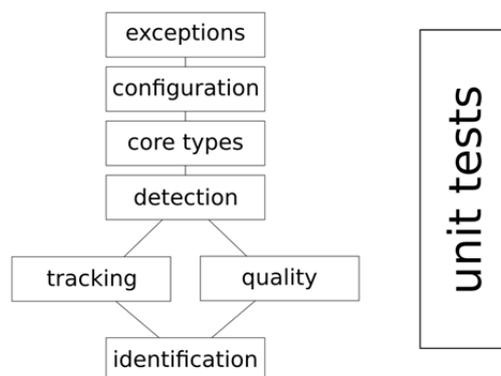


Рисунок. Схема зависимостей между некоторыми компонентами основной библиотеки

Было проведено четкое разделение файлов и кода библиотеки на интерфейс и реализацию. Это было достигнуто за счет того, что в интерфейсном классе вместо

необходимых полей присутствует указатель (Pointer) на класс, в котором уже непосредственно присутствуют необходимые для работы данные и методы, а в реализации методов интерфейсного класса присутствуют лишь конвертация данных из интерфейсных типов во внутренние (если они необходимы) и вызов соответствующих методов класса реализации.

У такого подхода есть свои достоинства и недостатки:

достоинства:

- явное разделение публичного интерфейса и интерфейса разработчиков;
- выделение низкоуровневой логики в отдельные файлы;
- независимость от версии среды исполнения (Runtime);
- небольшое количество строк в каждом файле;
- уменьшенное время сборки и дополнительное ускорение сборки на компьютерах с большим количеством логических ядер процессора;

недостатки:

- большое количество файлов.

Также была значительно улучшена организация структуры CMake-проекта и, как следствие, процесса сборки библиотеки из исходных кодов. Непосредственно интерфейс библиотеки был также логически разделен на 9 пространств имен (namespace).

Итогом проделанной работы является более удобная архитектура библиотеки, более удобный и интуитивно понятный ее интерфейс, а также более строгая структура скриптов и процесса системы сборки.

## Литература

1. Cognitec, FACEVACS Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cognitec.com/technology.html>, своб.
2. CMake [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cmake.org/>, своб.
3. qmake Manual, Qt 5.5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://doc.qt.io/qt-5/qmake-manual.html>, своб.

**УДК 101**

### КОНЦЕПЦИИ ПИТАНИЯ: АНТРОПОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

А.А. Лупачёва<sup>1</sup>, С.В. Полатайко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Концепции питания в различные исторические эпохи определяли антропологический статус субъекта. Поиск новых форм приспособления путем изменений в социальной организации и хозяйственно-культурной сфере приводит в конечном счете к возможности выступать показателем феномена духовной и материальной культуры.

**Ключевые слова:** философская антропология, концепции питания, формирование субъекта.

Во времена первобытного общества характер питания, как и другие аспекты жизни и развития человека, служил одним из способов адаптации к окружающей среде и был направлен исключительно на выживание и размножение субъекта в представленных условиях.

«А. Тойнби видел причину развития цивилизаций в так называемом «вызове», бросаемом человеческой популяции окружающей средой. В ситуации, когда природные условия были в достаточной степени суровыми, чтобы стимулировать людей к борьбе за улучшение жизни, но не настолько жесткими, чтобы парализовать усилия этноса, происходило интенсивное развитие цивилизаций. В случае же комфортной

географической среды человечество прекращало экономическое развитие, имея возможность без особых усилий наслаждаться природными благами» [1].

Возникновение цивилизаций, первых государств обусловило появление технологий, которые расширили возможности людей взаимодействовать с природой, способствовали развитию сельского хозяйства. На ряду со стратегией адаптации характер питания приобретает приспособительные черты, помогающие уменьшить влияние многих факторов среды и снизить давление естественного отбора.

Во времена античности древнегреческие мыслители предлагают некую идеальную жизнь с новыми представлениями о культуре, человеке и его благе. Зная о несовершенстве человека, они ищут путь к гармоничной жизни, противопоставляя удовольствие наслаждения вкусом, контролируемое разумом, телом и душой. В рассуждениях об «истинном и ложном» благе находят истину в призыве к познанию самого себя, постижении своей меры.

Характерным показателем современной жизни стало широкое распространение гедонистических мотивов. Концепции питания как культурный и антропологический фактор трансформируются в стратегии удовольствия, диктуемые не субъектом, а внешними факторами. Необходимость экономического роста цивилизаций, подчиняясь не естественным экологическим законам, а законам стоимости, создает искусственную среду обитания, адаптируясь к которой появляется новое общество – общество потребления [2]. Вдохновленное образами созданного изобилия праздника в поисках накопления «знаков» счастья, оно находит возможность потери своего антропологического статуса.

В сложившихся условиях цивилизация «мусорной корзины» естественным образом порождает движения против принципов макдональдизированного общества – Slow food (медленная еда), а также с целью привлечения внимания к глобальной проблеме переизбытка товаров, голода и нищеты – фриганизм [3].

Развитие науки, медицины, новых технологий не остается в стороне. На основе древних известных практик и стратегий создается новый фундамент способов питания, который предполагает возможность выбора статуса субъекта.

Так, концепции традиционного смешанного питания, опираясь на знания науки – биологии и диетологии, представляют субъекта как физическое тело, составляющее сумму белков, жиров, углеводов, макро- и микроэлементов, других соединений, в сумме имеющих определенную массу, для поддержания или корректировки которой требуется знание закона сохранения энергии. Таким образом, в качестве правильного питания предлагается строго регламентированный рацион, придерживаясь которого, субъект получает возможность почувствовать себя своеобразным механизмом, для работы которого требуется определенное соотношение химических элементов и контроль поступления и расхода энергии.

Психология изучает закономерности возникновения, развития и функционирования психики и психической деятельности человека. Исходя из этого, в основе практик питания – работа с бессознательным стрессом, агрессией, основными причинами неконтролируемого употребления пищи. Таким образом, в качестве идеальной модели субъекта выступает осознанное поведение человека, позволяющее осмысленно подходить к выбору характера питания.

Таким образом, область знаний и предмет содержания характеризуют и определяют стратегию устройства концепций питания.

## Литература

1. Гордеева И.В. Проблема влияния природной среды на формирование и развитие этноса в различных концепциях // Материалы конференций: фундаментальные исследования. – 2005. – № 4. – С. 37–38.

2. Бодрийяр Ж. Общество потребления. Его мифы и структуры. – М.: Культурная революция, Республика, 2006. – 269 с.
3. Карпова Д.Н. Еда как контркультура или движение антикапитализма // Вестник института социологии. – 2015. – № 3(14). – С. 66–73.

#### УДК 004.94

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ 3D ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ НАУЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Н.А. Лютецкий<sup>1</sup>, А.В. Андреева<sup>1</sup>, С.К. Стафеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Сегодня на рынке представлено значительное количество 3D-продуктов. Обучение работе и пониманию 3D становится проблемой образования особой важности. В настоящей работе представлены различные инструменты и методы, используемые для этого обучения, их преимущества и недостатки, ограничения и ожидания, связанные с разработкой новых методов для 3D-обработки.

**Ключевые слова:** 3D-моделирование, виртуальная лаборатория, амплитудные датчики давления.

**Введение.** В основу работы заложены исследования оптического волокна и амплитудных волоконно-оптических датчиков, предложены варианты реализации таких датчиков и последующее исследование их характеристик в 3D-среде. На основе таких исследований могут быть созданы полноценные виртуальные 3D-лаборатории, включающие в себя различные методы и инструменты современной науки. Такие лаборатории позволят учащимся и сотрудникам школ и высших учебных заведений ознакомиться и получить практические навыки с дорогостоящим и труднодоступным оборудованием.

**Амплитудные датчики давления.** Волоконно-оптические датчики (ВОД) в настоящее время являются одной из наиболее динамично развивающихся областей оптоэлектроники [1]. За последние 30 лет произошел стремительный переход от простейших конструкций ВОД температуры и давления к созданию широкой номенклатуры датчиков физических величин. Важным достоинством ВОД является привнесение в измерительные системы новых качеств, таких как:

- малые размеры;
- устойчивость к неконтролируемым и агрессивным воздействиям окружающей среды и к электромагнитным помехам;
- высокая чувствительность;
- дистанционность измерений технологичности производства;
- потенциальная низкая стоимость.

**Параметры разработанного датчика для измерения внутричерепного давления.** За основу ВОД для моделирования взят разработанный датчик внутричерепного давления (ВЧД). В ходе работы получены параметры такого датчика: значения крутизны и минимального регистрируемого значения давления (таблица).

Таблица. Параметры датчика для измерения внутричерепного давления, определенные для оптических волокон различных типов

Тип оптического волокна	100/125 мкм	62,5/125 мкм
Крутизна, мм <sup>-1</sup>	4,33	6,51
Диапазон измеряемых значений давления, кПа	22,2	15,56
Минимальное регистрируемое изменение давления, Па	1,66	1,11
Максимальное значение выходного напряжения, мВ	138,2	11,2
Оптимальное расстояние от торца оптоволокна до отражающей поверхности, мм	0,7	0,38

Можно сказать, что для получения максимальной чувствительности целесообразно использовать оптические волокна с меньшим диаметром сердцевины. Однако на волокнах с большим диаметром сердцевины можно получить максимальное абсолютное значение выходного напряжения. Это связано с тем, что оптическое волокно с диаметром сердцевины 100 мкм обладает большим значением числовой апертуры. Большой диапазон измеряемых значений давления у волокон с диаметром сердцевины 100 мкм объясняется более широким начальным квазилинейным участком передаточной характеристики.

### Программные пакеты для 3D-моделирования

1. Autodesk 3Ds Max. Данный программный пакет представляет собой полнофункциональную профессиональную программную систему для создания и редактирования трехмерной графики и анимации [2]. Содержит самые современные средства для художников и специалистов в области мультимедиа. Работает в операционных системах Windows и Windows NT (как в 32-битных, так и в 64-битных). В марте 2014 года выпущена версия 17.0 этого продукта под названием Autodesk 3Ds Max 2015.

3Ds Max располагает обширными средствами для создания разнообразных по форме и сложности трехмерных компьютерных моделей, реальных или фантастических объектов окружающего мира, с использованием разнообразных техник и механизмов, включающих следующие: полигональное моделирование, в которое входят Editable mesh (редактируемая поверхность) и Editable poly (редактируемый полигон) – это самый распространенный метод моделирования, используется для создания сложных моделей и низкополигональных моделей для игр.

Пример модели реального оптико-электронного блока, использованного для измерения параметров датчика ВЧД приведен на рис. 1.



Рис. 1. 3D-модель оптико-электронного блока, созданная в редакторе 3Ds Max

Однако для получения практического опыта в использовании приборов их нужно «оживить». Для этого созданные модели и их анимация используются для создания приложений на движке Unity.

2. Unity. Unity – это инструмент для разработки двух- и трехмерных приложений и игр, работающий под операционными системами Windows, OS X. Есть возможность создавать приложения для запуска в браузерах с помощью специального подключаемого модуля Unity (Unity Web Player), а также с помощью реализации технологии WebGL.

Редактор Unity имеет простой Drag&Drop интерфейс, который легко настраивать, состоящий из различных окон, благодаря чему можно производить отладку игры прямо в редакторе. Движок поддерживает три сценарных языка: C#, JavaScript (модификация), Boo (диалект Python). Boo убран в 5-ой версии. Расчеты физики производит физический движок PhysX от NVIDIA.

Проект в Unity делится на сцены (уровни) – отдельные файлы, содержащие свои игровые миры со своим набором объектов, сценариев, и настроек. Сцены могут содержать в себе как, собственно, объекты (модели), так и пустые игровые объекты – объекты, которые не имеют модели («пустышки»). Объекты, в свою очередь, содержат

наборы компонентов, с которыми и взаимодействуют скрипты. Также у объектов есть название (в Unity допускается наличие двух и более объектов с одинаковыми названиями), может быть тег (метка) и слой, на котором он должен отображаться. Так, у любого объекта на сцене обязательно присутствует компонент Transform – он хранит в себе координаты местоположения, поворота и размеров объекта по всем трем осям. У объектов с видимой геометрией также по умолчанию присутствует компонент Mesh Renderer, делающий модель объекта видимой.

К объектам можно применять коллизии (в Unity так называемые коллайдеры – collider).

Также Unity поддерживает физику твердых тел и ткани, а также физику типа Ragdoll (тряпичная кукла). В редакторе имеется система наследования объектов; дочерние объекты будут повторять все изменения позиции, поворота и масштаба родительского объекта. Скрипты в редакторе прикрепляются к объектам в виде отдельных компонентов.

При импорте текстуры в Unity можно сгенерировать: alpha-канал, mip-уровни, normal-map, light-map, карту отражений, однако непосредственно на модель текстуру прикрепить нельзя – будет создан материал, которому будет назначен шейдер, и затем материал прикрепится к модели. Редактор Unity поддерживает написание и редактирование шейдеров. Редактор Unity имеет компонент для создания анимации, но также анимацию можно создать предварительно в 3D-редакторе и импортировать вместе с моделью, а затем разбить на файлы.

Модели, звуки, текстуры, материалы, скрипты можно запаковывать в формат \*.unityassets и передавать другим разработчикам, или выкладывать в свободный доступ. Этот же формат используется во внутреннем магазине Unity Asset Store, в котором разработчики могут бесплатно и за деньги выкладывать в общий доступ различные элементы, необходимые для разработки.

Unity обладает огромным набором инструментов для пост-обработки 3D-объектов и создания более полной иллюзии погружения, а значит, и более полного опыта в использовании различных научных инструментов и приборов.

При создании сложных приборов Unity позволяет привязать к каждой конкретной кнопке свой скрипт, выполняющий определенную функцию, что упрощает процесс программирования прибора. Примером может служить разработанная модель вольтметра, приведенная на рис. 2.



Рис. 2. Модель вольтметра (3Ds Max)

В данном случае каждая кнопка является отдельным объектом, имеет собственную анимацию действия, при которой выполняется соответствующий скрипт.

**Заключение.** В настоящий момент технологии 3D и виртуальная реальность не имеют широкого распространения в процессе обучения сотрудников и учащихся высших учебных заведений. Однако использование таких технологий может не только ознакомить с современным дорогостоящим научным оборудованием, но и дать к нему круглосуточный и свободный доступ. Разработки и программные продукты, описанные в работе, позволят создать ряд лабораторных работ по различным направлениям современной науки, а в перспективе создать полноценную научно-исследовательскую лабораторию полностью функционирующую в виртуальной реальности.

## Литература

1. Ветров А.А., Сергушичев А.Н., Ширшов А.А. Волоконно-оптические виброакустические датчики. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010. – 168 с.
2. Мэрдок К. Autodesk 3ds Max 2013 Bible. – М.: Диалектика, 2013. – 816 с.

УДК 004.58

### МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Д.А. Маняшин<sup>1</sup>

Научный руководитель – С.А. Якушенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>«Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного»  
Минобороны России, Санкт-Петербург

В работе рассмотрена задача поиска оптимальных маршрутов движения продвижения подвижных объектов в условиях дестабилизирующих факторов. Произведен анализ важности критериев выбора маршрута кратчайшего пути в мирное и военное время. Приведен способ решения задачи многопараметрического поиска, а также описано приложение, созданное для решения данной задачи.

**Ключевые слова:** многопараметрический поиск, оптимальные маршруты, дестабилизирующие факторы, критерии поиска, эвристические алгоритмы.

Успех выполнения задачи управления и мониторинга подвижными объектами (ПО) зависит от многих факторов как детерминированного, так и случайного характера. Степень выполнения задач во многом определяется правильным выбором маршрутов движения и их своевременным доведением до потребителей ПО. В настоящее время разработано множество алгоритмов прокладки маршрутов с использованием электронных карт местности. Для поиска пути по топографической карте используются алгоритмы построения маршрутов по одному критерию, который выбирается из совокупности критериев, заданных производителем в программном обеспечении навигационной аппаратуры потребителя (НАП) [1–3]. Критерии разнообразны и зависят от типа решаемой задачи, времени года, суток, рельефа местности, состояния дорог, их разветвленности, состава колонны, наличия средств связи в ПО и связи в движении и т.п. Однако данные алгоритмы, реализованные производителями в НАП не учитывают воздействие множества дестабилизирующих факторов, которые влияют на процесс передвижения ПО, а следовательно, на успех выполнения задачи в целом. В связи с этим в работе предложен алгоритм поиска оптимальных маршрутов с использованием данных электронной карты местности, который учитывает многофакторное дестабилизирующее воздействие. Актуальность данной задачи значительно возрастает при действии ПО на незнакомой территории [3].

Рассмотрим вариант поиска оптимального маршрута движения в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (рисунок). Данный класс задач относится к разделу логистики, решение которых известно. Отличительным признаком формулирования и содержания задачи в условиях дестабилизирующих факторов является выбор и обоснование критерия оптимизации маршрутов движения и метода решения задачи. Если в обычных условиях критерием выбора наилучшего маршрута являются минимум времени в пути, наикратчайшая длина пути, качество дорог и т.п., то в условиях комплексного воздействия дестабилизирующих факторов этим критерием может быть устойчивость функционирования подвижного объекта (колонны подвижных объектов) под которой понимается безопасность, живучесть, разведзащищенность и (или) живучесть движения [2].

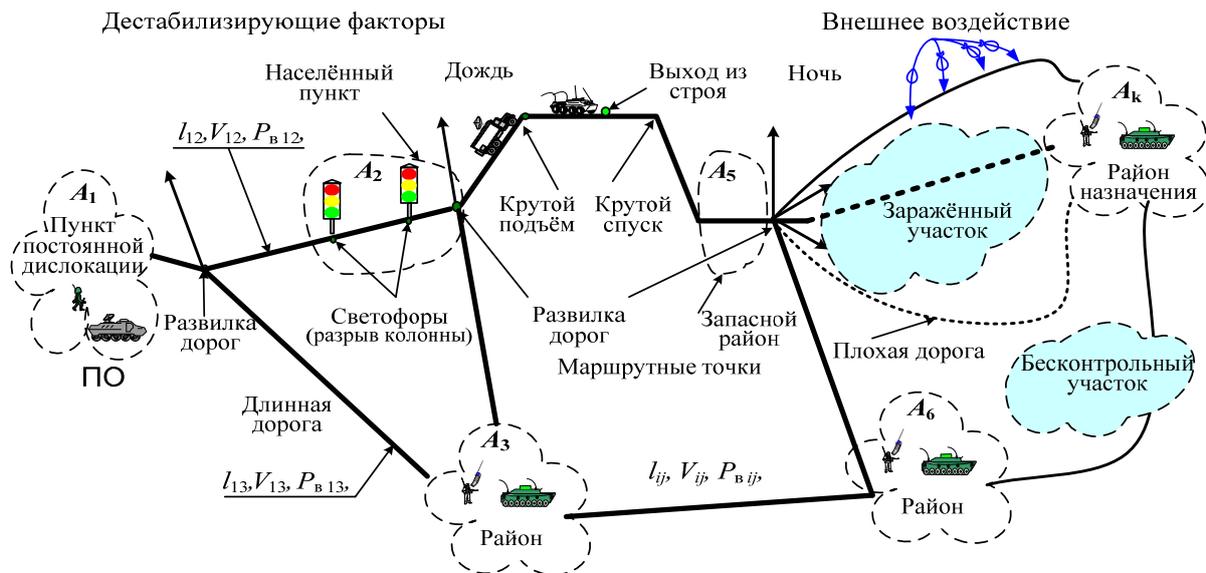


Рисунок. Дорожный граф в условиях воздействия дестабилизирующих факторов

Показателями поиска маршрутов движения в условиях многофакторного воздействия могут быть: параметры ПО (количество используемых транспортных единиц в колонне, расстояние между ними, тип используемого транспорта, его проходимость, граничные скорости движения); параметры времени (время года и суток, требуемое время на выполнение задачи); параметры рельефа местности (характер рельефа, растительности, наличие строений, дорог, водных преград и т.п.); параметры дестабилизирующих воздействий (визуальное, радиоэлектронное, физическое). Данные показатели разнородны, следовательно, их аналитическая свертка не представляется возможной. Исходя из этого, задача приобретает сложный характер. Достоверное решение возможно получить при ее декомпозиции на ряд простых взаимосвязанных задач.

В мирное время воздействия дестабилизирующих факторов не оказывают существенного влияния на выбор маршрута движения, однако во время стихийных, криминальных, террористических или военных конфликтов воздействия этих факторов становятся значительными. Таким образом, в условиях воздействия дестабилизирующих факторов в качестве критерия выбора маршрута целесообразно использовать показатели, которые определяют безопасность и надежность выполнения задачи в любых условиях дорожной обстановки. К таким показателям относятся показатели устойчивости движения, при условии выполнения требований по другим показателям.

Дестабилизирующие факторы носят случайный характер, поэтому показатели устойчивости описываются вероятностно-временными характеристиками. Так как маршрут представляется совокупностью ветвей дорожного графа, то целевая функция – целочисленная функция нескольких переменных, В общем случае целевую функцию поиска оптимальных маршрутов на дорожном графе, отражающую устойчивость маршрутов к дестабилизирующим воздействиям, можно представить следующим выражением

$$p_{\mu} = \max_{L_{\mu k}} \sum_{i,j}^K L_{\mu k} (A_k, V_{ij}, l_{ij}, p_{дijb}, p_{зijb}), \quad (1)$$

где  $L_{\mu}(\cdot)$  – функция выбора  $\mu$ -го маршрута до  $k$ -го объекта,  $\mu = \overline{1, M}$ ;  $l_{ij}$  – длина элементов (ветвей)  $\mu$ -го маршрута между  $i$ -ой и  $j$ -ой вершиной дорожного графа,  $i, j \in \{\mu\}$ ;  $p_{дijb}$  – вероятность воздействия  $b$ -го дестабилизирующего фактора на ПО, снижающего устойчивость движения ПО (колонны) при следовании по  $l_{ij}$  элементу

дорожного графа,  $b = \overline{1, B}$ ;  $A_k$  – важность  $k$ -го объекта,  $k = \overline{1, K}$ ;  $p_{z,ijb}$  – вероятность защиты ПО, находящегося на  $l_{ij}$  ветви от воздействия  $b$ -го дестабилизирующих фактора.

При ограничениях на целевую функцию

$$t_{\mu} < t_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где  $t_{\mu}(t_{\text{доп}})$  – время (допустимое время) движения ПО по маршруту.

Решением функции (1) является дорожный граф, состоящий из оптимальных маршрутов движения между  $K$ -объектами (конечными пунктами), который доставляет по максимуму целевую функцию, как устойчивость движения ПО (колонны) по сформированному графу дорог.

Задача решается методом наикратчайшего пути, учитывающего многофакторное дестабилизирующее воздействие на ПО. Задание весов ветвям дорожного графа осуществляется в соответствии с целевой функцией (1). С учетом параметров устойчивости движения ветвям дорожного графа на электронной карте задаются новые веса, т.е. в условиях многофакторного дестабилизирующего воздействия приоритет отдается устойчивости движения.

Алгоритмы поиска маршрутов можно разделить на точные и примерные. Точные методы, к которым относится алгоритм Дейкстры, находят в графе дорог оптимальное решение, но работают очень медленно при большом количестве ребер в графе. По этой причине при больших объемах дорожного графа поиск на электронной карте может затянуться. Примерные алгоритмы не гарантируют нахождение лучшего маршрута, как правило, находят удовлетворительное решение, но работают значительно быстрее. Рациональным выбором для построения маршрута в кратчайшие сроки является муравьиный алгоритм поиска оптимального маршрута движения ПО [4, 5].

В качестве интерфейса веб-приложения была выбрана модель на основе веб-технологии, так как она позволяет передавать данные через сеть и инвариантна к операционным системам компьютеров конечных пользователей. В качестве технологии разработки принимается Python Framework Django, ввиду удобства встроенных библиотек для работы с географическими данными, богатым функционалом основной библиотеки, наличием большого количества готовых расширений. Основной клиентской библиотеки была выбрана библиотека Leaflet, ввиду ее отличных скоростных характеристик, большим количеством форматов поддерживаемых геоинформационных данных и различных геометрических систем отчета.

Таким образом, предложенный алгоритм составления оптимальных маршрутов движения для ПО учитывает многокритериальное дестабилизирующее воздействие и позволяет в реальном масштабе времени формировать маршруты на электронных картах и оперативно передавать их на терминалы подвижных объектов. Кроме того, учет защитных свойств рельефа и растительности местности, а также разветвленности сетевого графа дорог цифровой карты позволит увеличить общий уровень безопасности использования транспорта, и следовательно, улучшить степень выполнения поставленных задач в условиях дестабилизирующих факторов.

## Литература

1. Якушенко С.А., Сазонов М.А. Информационно-расчетные задачи навигационно-связных комплексов специального назначения // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. – № 1. – С. 37–40.
2. Снежко В.К., Якушенко С.А. Военные интегрированные системы навигации, связи и управления. – СПб.: Военная академия связи, 2015. – 464 с.
3. Якушенко С.А., Курманаева А.Ф. Анализ характеристик навигационной аппаратуры потребителя для полевых подвижных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/konfer33/672.pdf>, своб.

4. Аттетков А.В., Зарубин В.С., Канатников А.Н. Введение в методы оптимизации. – М.: Финансы и статистика, ИНФРА-М, 2008. – 272 с.
5. Евстигнеев В.А. Применение теории графов в программировании. – М.: Наука, 1985. – 352 с.

УДК 536.21

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, НАПОЛНЕННЫХ ФУЛЛЕРЕНАМИ C<sub>60</sub>

Ю.П. Заричняк<sup>1</sup>, А.А. Марова<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Ю.П. Заричняк<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В ходе выполнения работы были предложены модели структур молекул фуллеренов C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub> для оценки коэффициента теплопроводности, произведена приближенная независимая оценка теплопроводности полимерного композиционного материала (полиамид-6 блочный, наполненный фуллеренами C<sub>60</sub> и C<sub>70</sub>).

**Ключевые слова:** теплопроводность полимерных композиционных материалов, фуллерены C<sub>60</sub>, фуллерены C<sub>70</sub>, полиамид-6 блочный, модифицированный фуллеренами.

В настоящее время все большее практическое применение находят новые композиционные материалы, содержащие микро- и наноразмерные компоненты (фуллерены, нанотрубки). Актуальной становится задача оценки механических и физических свойств таких материалов еще на этапе проектирования и разработки композиционного материала с заранее заданными свойствами. Известны публикации, доказывающие эффективность применения наноразмерных добавок для улучшения механических свойств полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1–3]. Так, например, в [1] было предложено использовать фуллерены C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub> или их смесь в качестве наполнителя для материала конструкционного и антифрикционного назначения – полиамида 6-блочного (капролона). Использование даже малого количества фуллеренов, фуллереновой сажи (от долей процента до нескольких процентов) в качестве добавки в матрицу полиамида 6-блочного приводит к существенному (на десятки процентов!) улучшению его механических и электрических свойств: возрастает твердость, прочность при изгибе и сжатии, электрическая прочность, теплопроводность (таблица).

Таблица. Изменение физических свойств при добавлении фуллеренов

Фуллереновые добавки	Твердость по Бриннелю	Предел прочности при сжатии	Ударная вязкость по Шарпи	Предел текучести при сжатии
От 0,01 до 3 масс. %	23%	40%	25%	15%

В результате включения в капролоновую матрицу наполнителя из фуллеренов можно ожидать и изменения его эффективной теплопроводности.

Для прогнозирования теплопроводности ПКМ необходимо знание теплопроводности полимера и высокотеплопроводного нанонаполнителя. Данные по теплофизическим свойствам полимеров достаточно хорошо изучены и находятся в справочниках. Крайне немногочисленные и различающиеся до двух порядков оценки теплопроводности фуллеренов C<sub>60</sub> от 0,4–0,8 Вт/(м·К) [4] и 2 Вт/(м·К) [2] до 120 Вт/(м·К) [5] показывают, что в любом случае их теплопроводность выше теплопроводности полимерной матрицы  $\lambda=0,25-0,29$  Вт/(м·К), и можно ожидать, что добавка фуллеренов должна приводить к повышению эффективной теплопроводности ПКМ.

Как было отмечено выше, добавка фуллеренов приводит к увеличению значений механических свойств. Будет ли добавка фуллеренов приводить к аналогичному по масштабу изменению теплопроводности ПКМ?

Попытаемся провести приближенную независимую оценку величины теплопроводности ПКМ, наполненного фуллеренами  $C_{60}$  и  $C_{70}$ .

**Целью работы** являлась разработка модели и методики приближенной оценки эффективной теплопроводности ПКМ (полиамида 6-блочного – капролона), наполненного фуллеренами  $C_{60}$  и  $C_{70}$  в зависимости от объемной доли фуллеренов.

Данные по теплопроводности молекул  $C_{70}$  в рассмотренных литературных источниках найти не удалось, поэтому на основе предложенных в [6] моделей и расчетных методик теории обобщенной проводимости был выполнен расчет теплопроводности такой молекулы. Для этого были сделаны следующие допущения:

1. пусть молекула  $C_{70}$  представляет собой полу сферу диаметром 0,741 нм, равным среднему значению диаметров молекул  $C_{60}$  и  $C_{80}$ , которые можно узнать, например, из [7, 8];
2. полая сферическая молекула заменяется упрощенной моделью – полым кубом равного объема:  $V_{\text{сф}} = \frac{4}{3}\pi R^3 = L^3$ , где  $L = R\sqrt[3]{4\pi/3}$  – сторона куба;  $V_{\text{сф}}$  – объем сферы;  $R$  – радиус сферы.

Следует учесть, что в литературе [7] в качестве диаметра молекулы часто приводится расстояние между центрами диаметрально противоположных атомов данной молекулы – расстояние  $D$ . Исходя из этого, для оценки наружного диаметра молекулы необходимо к  $D$  прибавить расстояние  $\Delta$  от 0,3 до 0,34 нм между плоскостями в монокристалле графита или между слоями в фуллереновых луковицах [7]. Для приближенной оценки по рекомендациям [9] примем среднее значение  $\Delta$ , равное 0,32 нм.

Приближенные оценки дают значения эквивалентной теплопроводности молекул  $C_{60}$  3,16 Вт/(м·К), а для  $C_{70}$  методами теории обобщенной проводимости [9] можно получить значение эквивалентной теплопроводности 3,24 Вт/(м·К).

Зная теплопроводность матричного компонента и наполнителя композиционного материала можно приступить к расчету его эффективной теплопроводности.

Рассматриваемый ПКМ с точки зрения моделирования представляет собой двухкомпонентную систему. Расчет его эффективной теплопроводности проводился с помощью метода поэтапного моделирования [10]. Модель композита представляет пространственную структуру из кубиков, заполненных либо только матричным компонентом (капролоном), либо кубиками, внутри которых находятся молекулы фуллеренов.

На первом этапе расчета осуществлялась оценка теплопроводности «элементарной ячейки» материала, которая представляет собой кубик, в котором находится фуллерен  $C_{60}$  или  $C_{70}$ , окруженный связующим – полиамидом-6 блочным (рис. 1).

Теплопроводность такой элементарной ячейки определялась с помощью выражения [10]:

$$\lambda_{\text{сф.в.кубе}} = \lambda_{\text{ПА6}} \left[ 0,215 + \frac{1,57}{1 - \lambda_{\text{отн}}} \left( \frac{1}{1 - \lambda_{\text{отн}}} \cdot \ln \left( \frac{1}{\lambda_{\text{отн}}} \right) - 1 \right) \right], \quad (1)$$

где  $\lambda_{\text{отн}} = \lambda_{\text{ПА6}} / \lambda_{\text{фул}}$ , где  $\lambda_{\text{ПА6}}$  – теплопроводность полиамида-6 (капролона), равная 0,25 Вт/(м·К);  $\lambda_{\text{фул}}$  – теплопроводность фуллерена  $C_{60}$  или  $C_{70}$ .

Так как данные по теплопроводности фуллерена  $C_{60}$  находятся в диапазоне с большим разбросом, расчет выполнялся для нескольких вариантов значений теплопроводности фуллеренов, найденных в литературе: 0,4 Вт/(м·К) [4, 11]; 2 Вт/(м·К) [2]; 3,16 Вт/(м·К) и 120 Вт/(м·К) [5].

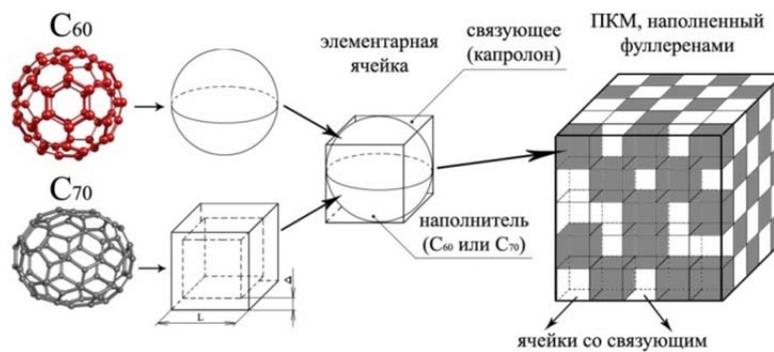


Рис. 1. Схема, отражающая последовательность этапов расчета эффективной теплопроводности ПКМ, наполненного фуллеренами

На втором этапе расчета находим эффективную теплопроводность полимеркомпозита с наполнителем в виде засыпки фуллеренов (расчет производится для двух видов наполнителя: фуллерены  $C_{60}$  и фуллерены  $C_{70}$ ). Засыпку фуллеренов в связующем полимере в плане моделирования можно представить системой (с эффективной теплопроводностью  $\lambda_{ПКМ}$ ), состоящей из плотно уложенных (без пустот) двух типов кубов: кубов с теплопроводностью материала связующего компонента  $\lambda_{ПА6}$  (если полимер не пористый) или  $\lambda_{пор.ПА6}$  (если полимер имеет пористую структуру) и кубов с наполнителем (фуллеренами) теплопроводностью  $\lambda_{сф.в.кубе}$  (рис. 1).

Расчет проводился по формуле [12]:

$$\lambda_{ПКМ} = \lambda_{ПА6} V_{ПА6}^2 + 4V_{ПА6} V_{фул} \frac{\lambda_{ПА6} \lambda_{сф.в.кубе}}{\lambda_{ПА6} + \lambda_{сф.в.кубе}} + \lambda_{сф.в.кубе} V_{фул}^2, \quad (2)$$

где  $\lambda_{ПА6}$ ,  $\lambda_{сф.в.кубе}$  – теплопроводность полимерного связующего (капролона) и теплопроводность элементарной ячейки, найденная по формуле (1);  $V_{ПА6}$ ,  $V_{фул}$  – объемные доли капролона и фуллеренов соответственно.

В ходе данной работы было проведено сопоставление полученных результатов с результатами расчета, выполненными по формуле В.С. Зарубина, полученной с помощью моделирования процесса стационарной теплопроводности в неоднородном теле [5]:

$$\tilde{\lambda} = \frac{2 + 2\beta - 2(1 - 2\beta)C_V}{2 + 2\beta + (1 - 2\beta)C_V}, \quad (3)$$

где  $\tilde{\lambda} = \lambda/\lambda_m$ ;  $\lambda$  – теплопроводность композита;  $\lambda_m$  – теплопроводность матрицы

(связующего);  $\beta = \frac{\lambda}{\lambda_m} \frac{h}{R_0}$ , где  $h=0,075$  нм – толщина сферической оболочки фуллерена;

$R_0=0,39$  нм – радиус сферической оболочки [5];  $C_V$  – объемная концентрация фуллеренов.

На рис. 2 приведены результаты расчета эффективной теплопроводности полимеркомпозита с фуллеренами при различных значениях теплопроводности фуллеренов  $C_{60}$ . На график для сопоставления с расчетными значениями теплопроводности были нанесены значения (для капролона с фуллереновыми модификаторами – КФМ и с фуллереновой сажой), полученные в результате эксперимента.

Ожидалось, что добавка фуллеренов должна приводить к повышению теплопроводности ПКМ. В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы: добавка фуллеренов действительно приводит к повышению теплопроводности ПКМ; теплопроводность растет пропорционально увеличению объемной доли фуллереновых наполнителей, хотя и не столь значительно (при исследованных объемных долях) по сравнению с изменением механических свойств.

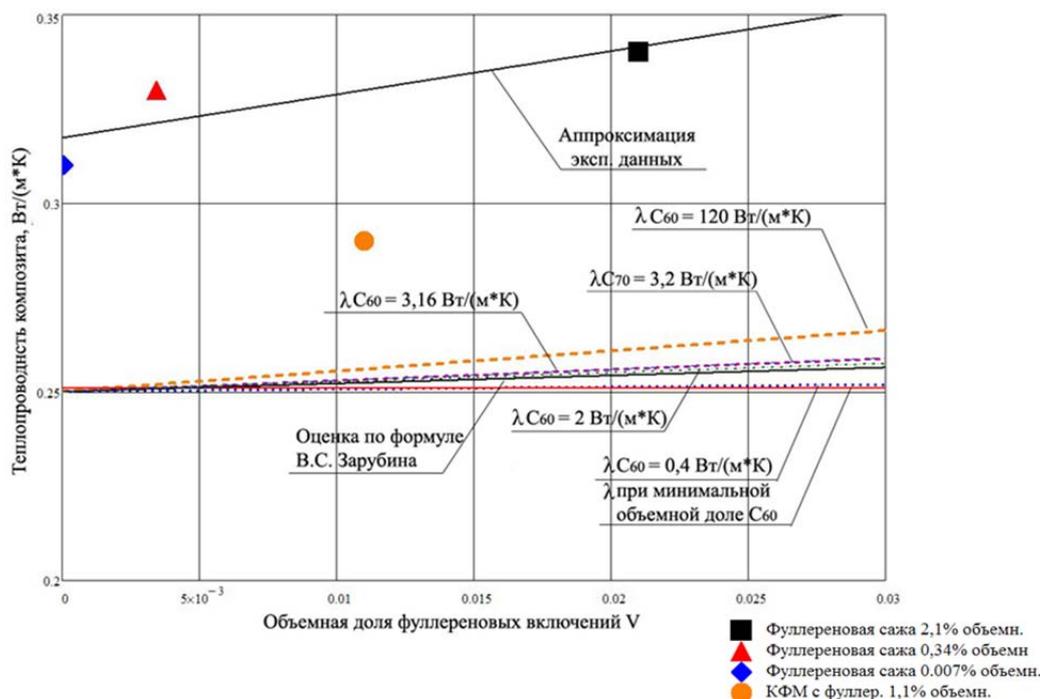


Рис. 2. График зависимости эффективной теплопроводности капролона с фуллеренами C<sub>60</sub> и с фуллеренами C<sub>70</sub> от объемной доли фуллеренов

При дальнейшем исследовании теплопроводности данного ПКМ, модифицированного фуллереновыми добавками, можно модифицировать модель для молекулы фуллерена C<sub>70</sub>, заменив модель кубической формы на более близкую по форме модель, а также провести экспериментальные исследования теплофизических свойств ПКМ с более высокой объемной долей фуллереновых наполнителей (или найти таковые в литературных источниках).

### Литература

1. Пат. 2316571 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> C08J 5/16, МПК<sup>7</sup> C08L 77/02. Полиамидный композиционный материал (варианты) / Некрасов К.В., Герасимов В.И., Туляков О.С., Иванов В.В. и др; заявитель и патентообладатель ООО «Судопластсервис» (RU), ООО «УНТ-ПЛАСТ» (RU). – № 2006110509/04; заявл. 28.03.2006; опубл. 10.02.2008.
2. Пат. 2523477 Российская Федерация, МПК C01B31/06, МПК B82Y40/00, МПК B82B3/00. Способ получения сверхтвердого композиционного материала / Данилов В.Г., Бланк В.Д., Дубицкий Г.А. и др.; патентообладатель ЗАО Петровский научный центр «ФУГАС» (RU), ФГБНУ ТИСНУМ (RU). – № 2011146655/05; заявл. 17.11.2011; опубл. 10.09.2013.
3. NC. NEWCHEMISTRY.ru / В ЗАО ИЛИП разработана оригинальная технология производства, синтезированы и исследованы образцы капролонов, модифицированных фуллеренами и фуллероидными материалами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=957&cat\\_id=&sword=%EF%EE%EB%E8%E0%EC%E8%E4](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=957&cat_id=&sword=%EF%EE%EB%E8%E0%EC%E8%E4), своб.
4. Tea N.H., Yu R.C., Salamon M.B., Lorents D.C., Malhotra R., Ruaff R.S. Thermal Conductivity of C60 and C70 Crystals // Appl. Phys. A. Solids and Surfaces. – 1993. – V. 56. – P. 219–225.
5. Головин Н.Н., Зарубин В.С., Кувыркин Г.Н. Оценки эффективного коэффициента теплопроводности композита, модифицированного фуллеренами // Композиты и наноструктуры. – 2012. – № 4. – С. 15–22.

6. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов: справочная книга. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.
7. Кац Е.А. Леонард Эйлер и современные представления о молекулярной структуре фуллеренов // Энергия: экономика, техника, экология. – 2004. – № 2. – С. 51–57; № 3. – С. 52–57; № 4. – С. 57–62.
8. SES research. Physical Properties of Fullerenes. Properties of Carbon 60 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sesres.com/physicalproperties.asp>, свобод
9. Заричняк Ю.П., Чаплыгин В.В. Исследование продольной и поперечной теплопроводности бездефектных углеродных одностенных нанотрубок // 2-я Международная научно-техническая конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ. – 2012.
10. Волков Д.П., Заричняк Ю.П., Муратова Б.Л. Расчет теплопроводности наполненных полимеров // Изв. АН Латв. ССР, Механика композиционных материалов. – 1979. – № 5. – С. 939–942.
11. Салихов Т.Х., Табаров С.Х., Рашидов Д., Туйчиев Ш., Хуссейн А. Влияние добавок фуллерена C60 на теплопроводность пленок из полиметилметакрилата // Письма в журнал технической физики. – 2009. – Т. 35. – № 21. – С. 75–78.
12. Заричняк Ю.П. Структура, теплофизические свойства и характеристики композиционных материалов и сплавов. Докторская дисс. – Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 1989. – 470 с.

**УДК 62-526**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЬЕЗОПРИВОДОВ В СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

**Д.В. Маруткин<sup>1</sup>, Ю.В. Федосов<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина), <sup>2</sup>Университет ИТМО

В работе описаны существующие контроллеры пьезоприводов. Рассмотрены их технические возможности и приведено их сравнение. Дано описание ряда недостатков, присущих современным контроллерам пьезоприводов. Предложен контроллер пьезопривода, предназначенный для использования в составе станка с числовым программным управлением. Приведены его общая схема и рекомендации по конструктивному исполнению.

**Ключевые слова:** станок с ЧПУ, контроллер, пьезопривод, схема, евромеханика.

В настоящее время пьезоприводы находят все более широкое применение в различных конструкциях, использующихся в приборостроении. Например, в оптике пьезоприводы чаще всего применяются для управления фокусировкой объектива и подстройки расстояния до фокальной плоскости. Они устанавливаются во встроенных фотокамерах сотовых телефонов и смартфонов, производя смещение двух линз вдоль направляющих вверх-вниз и обеспечивая автофокусировку. В точной механике пьезодвигатели нашли применение в системах, где преобладает наноперемещение. Например, применение прецизионного пьезодвигателя для сканирующего туннельного микроскопа уменьшает погрешности позиционирования образца и зондирующей иглы туннельного микроскопа. Также широко используются пьезоэлектрические двигатели в элементах и конструкциях космических аппаратов, медикобиологических системах, технологических системах, приводах лазерных гироскопов, датчиках угла наклона, двухосевых приводах астроориентаторов. Благодаря способности устойчиво сохранять положение подвижной части при отключенном напряжении питания, пьезодвигатели могут обеспечивать точное фиксированное положение конструкции.

Пьезодвигатели неприхотливы в эксплуатации, они могут использоваться в условиях вакуума, или будучи погруженными в жидкий гелий или азот, имеют большое

время наработки на отказ и высокий момент.

Для работы пьезодвигателей применяются различные типы контроллеров. Рассмотрим некоторые из них.

Так, например, контроллер AG-UC8 имеет возможности управления через 8 каналов USB. Питание подается через тот же порт USB, который используется для связи с персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ). Другая версия контроллера, AG-UC8PC [1], предназначена для промышленных целей и системной интеграции. Она обеспечивает те же функции, что и контроллер AG-UC8, но выпускается в бескорпусном исполнении.

Другой контроллер, AG-UC2, обеспечивает компьютерное дистанционное управление для двух осей. Для каждой оси контроллер AG-UC2 имеет два ряда кнопок для настройки размера шага и точной корректировки скорости движения. Питание подается через порт USB либо через блок питания.

Следующий рассматриваемый контроллер, DMC-30019, в отличие от предыдущих, имеет возможность управления с ПЭВМ через интерфейс Ethernet. Обеспечивает точную настройку скорости и ускорения, обладает встроенной памятью, возможностью параллельного выполнения до четырех программ, а также оснащен оптически изолированными входами и выходами для синхронизации движения с внешними агентами.

Также контроллеры пьезодвигателей могут быть выполнены в виде микросхем (рис. 1). К их числу относятся такие микросхемы, как FAN8841MPX [2] и LT3572 [3]. Такие микросхемы предназначены для формирования импульсов, подаваемых на пьезопривод, и имеют встроенные схемы повышения напряжения до 40–75 В [4].

Отметим, что существующие модели контроллеров пьезодвигателей не предназначены для работы в составе с числовым программным управлением (ЧПУ) как часть аппаратно-программного комплекса, например, у AG-UC8PC [1] (практически аналогичен AG-UC2), и контроллера DMC-30019 [5] имеется возможность обмена данными по последовательному интерфейсу типа «RS-232». У остальных контроллеров такой возможности нет. Также у контроллеров нереализована обработка кодов ошибок, и они не сообщают текущее состояние.



Рис. 1. Оценочный набор для пьезопривода SQL

Очевидно, что для решения задач, возникающих в ходе работы пьезопривода в составе технологического оборудования, требуется разработка устройства, которое свободно от перечисленных недостатков. Общий вид электрической схемы такого устройства приведен на рис. 2.

В качестве встроенного вычислительного средства используется ARM-контроллер STM32F407, что позволяет существенно увеличить число интерфейсов управления по сравнению с рассмотренными ранее контроллерами. Также возможности ARM-контроллера позволяют реализовать обработку ошибок и контроль текущего состояния.

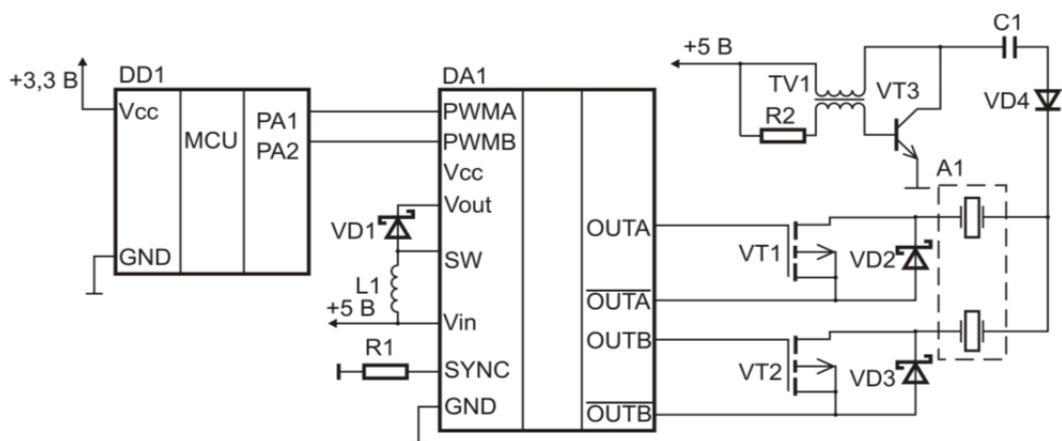


Рис. 2. Общий вид схемы управления: A1 – пьезопривод; C1 – K50-3 1 мкФ; DA1 – LT3572FA; DD1 – STM32F407; L1 – 10 нГн; R1 – 1,5 кОм; R2 – 1 кОм; VD–VD3 – КД636 АС; VD4 – КД213; VT1, VT2 – NEC K3570; VT3 – E13009L

Обратим внимание на конструктивное исполнение контроллеров. В отличие от рассмотренных ранее контроллеров, выполненных в нестандартных корпусах, такие контроллеры, как LT3572 [3] или LV8491CT [6], выполнены в виде микросхем и в оборудование с ЧПУ как самостоятельная единица установлены быть не могут. Подобное разнообразие конструктивных исполнений затрудняет использование рассмотренных контроллеров в промышленных системах.

В настоящее время существуют определенные стандарты, используемые при разработке электронной аппаратуры. Стандартизация позволяет унифицировать все разработки для удобного использования, возможности быстрой замены или модернизации без существенных конструктивных изменений. Одной из наиболее часто используемых является стандартизация типоразмеров «Евромеханика», который представляет собой стандартный конструктив исполнения печатных плат, предназначенных для размещения в специальных блоках с возможностью установки в стойку с оборудованием, построенным по модульному принципу. В частности, был предложен стандарт IEEE 1101.2-1992, конкретизировавший требования к конструкции плат и блоков для их установки. Стандарт определяет формат и типоразмер используемых печатных плат, форму, профиль, расположение и допуски на элементы крепления, а также общее расположение разъема на плате.

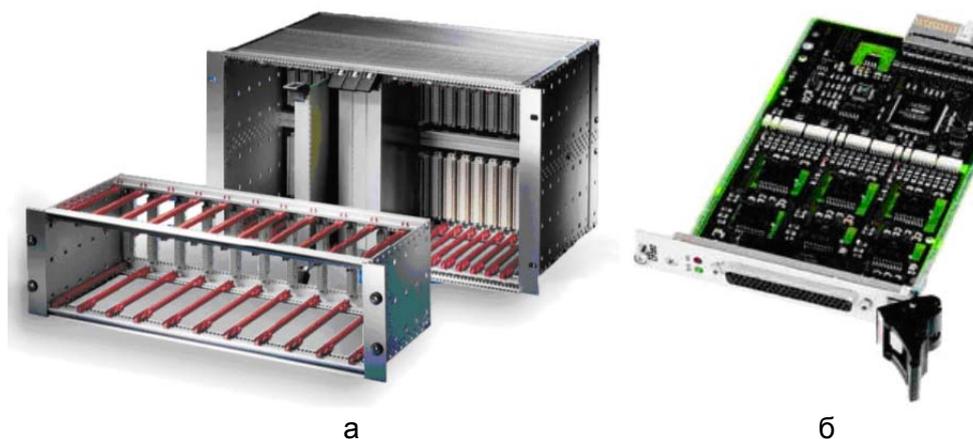


Рис. 3. Блок (а) и плата (б) типоразмера «Евромеханика»

Исходя из требований для электронных блоков, стоек, и установок стандарта «Евромеханика», которому принадлежит сборка (весь станок с ЧПУ), в состав которого будет входить ячейка контроллера, возникают определенные ограничения и требования, накладываемые на проектируемую плату. Иными словами, проектируемое устройство должно соответствовать стандарту «Евромеханика».

## Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://search.newport.com/?x2=sku&q2=AG-UC8PC>, своб.
2. FAN8841 Dual Half-Bridge Piezoelectric Driver with Step-up DC-DC Converter. – FAIRCHILD, 2015. - 16 p.
3. LT3572 Dual Full-Bridge Piezo Driver with 900mA Boost Converter. – Linear technology, 2007. – 12 p.
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://search.newport.com/?x2=sku&q2=AG-UC2>, своб.
5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.piezomotor.com/products/drivers/dmc-30019/>, своб.
6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.onsemi.com/product?part=LV8491CT>, своб.

### УДК 536.2

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИСИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ

М.Э. Мерзлякова<sup>1</sup>, Д.П. Волков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе были проведены исследования теплоемкости фторсилоксанового полимера с различным наполнителем. Особенность этих полимеров состоит в высокой стойкости к воздействию авиационных масел и топлив, наряду с широким температурным диапазоном. Исследования проводились на измерителе ИТ-С-400 и установке дифференциальной сканирующей калориметрии в диапазоне температур 50–200°С. Полученные результаты говорят о том, что с ростом температуры теплоемкость увеличивается.

**Ключевые слова:** теплоемкость, композиции, полимеры, полисилоксаны.

В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования теплоемкости фторсилоксанового компаунда.

Основной целью работы являлось исследование влияния температуры и концентрации наполнителей на теплоемкость фторсилоксанового компаунда [1–4].

Для исследования были предложены композиции заливочных компаундов, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Исследуемые компаунды

№ образца	Полимер	Растворитель, масс.% от веса полимера	Отвердитель, масс.% от веса полимера	Наполнитель, масс.% от веса полимера
22	НФС-100	–	0,30 (230-19) 4,0 (ЭС-40)	–
23	НФС-100	–	0,50 (230-19) 2,0 (ЭС-40)	–
24	НФС-100	1,5 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	100 (КЖ-2)
25	НФС-100	5 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	300 (КЖ-2)
26	НФС-100	2,3 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	200 (КЖ-2)
27	НФС-100	0,7 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	50 (КЖ-2)

№ образца	Полимер	Растворитель, масс.% от веса полимера	Отвердитель, масс.% от веса полимера	Наполнитель, масс.% от веса полимера
28	НФС-100	22 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	50 (стеклосферы)
29	НФС-100	75 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	100 (стеклосферы)
30	НФС-100	2 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	15 (стеклосферы)
31	НФС-100	8 (этилацетат)	0,50 (230-19) 5,0 (ЭС-40)	30 (стеклосферы)

Для исследования значений теплоемкости проведены испытания образцов на измерителе теплоемкости ИТ-С-400 в диапазоне температур 50–200°C. В основу работы установки положен метод динамического калориметра в режиме монотонного нагрева.

Для исследования теплоемкости образцы выполнялись в форме цилиндров диаметром 15 мм и высотой 9 мм.

Результаты проведенных исследований представлены в табл. 2, 3 и на рис. 1.

Таблица 2. Теплоемкость чистых образцов

Температура, °С	Обр. № 22 теплоемкость, Дж/(кг·К)	Обр. № 23 теплоемкость, Дж/(кг·К)
50	1345,3	1234,3
75	1368,0	1256,0
100	1405,3	1301,2
125	1458,2	1330,4
150	1487,6	1348,7
175	1511,0	1396,5
200	1547,1	1413,4
225	1568,6	1436,6

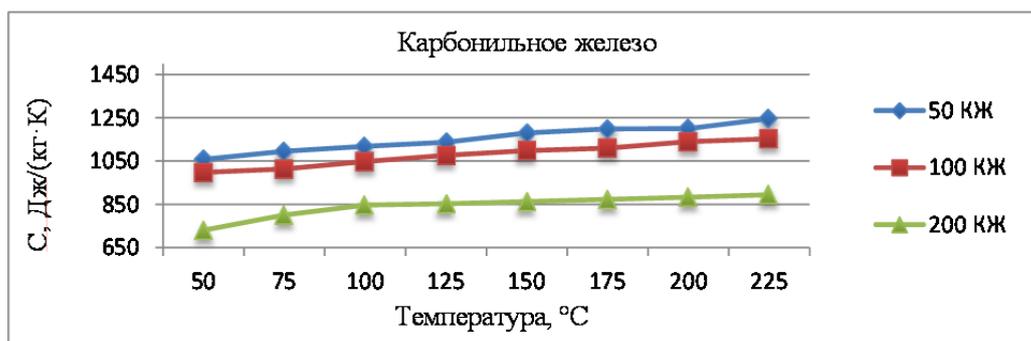


Рис. 1. Зависимость теплоемкости от температуры: образцы № 24, 26, 27

Таблица 3. Теплоемкость образцов со стеклосферами

t, °С	Обр. № 28 теплоемкость, Дж/(кг·К)	Обр. № 29 теплоемкость, Дж/(кг·К)	Обр. № 30 теплоемкость, Дж/(кг·К)	Обр. № 31 теплоемкость, Дж/(кг·К)
50	1156,71	1175	1000,00	1110
75	1187,18	1198	1129,14	1138
100	1229,41	1200,2	1184,43	1152
125	1267,35	1214,8	1248,86	1192
150	1278,18	1248	1298,71	1227
175	1305,88	1267	1311,71	1278

Чистые образцы основания НФС-100 показали наибольшее значение теплоемкости, также стоит сделать вывод, что разное количество отвердителя имеет малое влияние на результат теплоемкости.

С ростом температуры наблюдаем одинаковый незначительный характер возрастания теплоемкости в серии с карбонильным железом, а образец № 25 не показал результата из-за ограниченного диапазона измерения данной установки. По анализу выходных данных образцы с наполнением стеклосфер (СФ) показали гораздо больший прирост значения теплоемкости с увеличением температуры.

Для уточнения полученных результатов были проведены исследования теплоемкости указанных материалов на установке дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Прибор работает по принципу теплового потока и имеет трехмерную симметричную конструкцию с однородным нагревом. Высокочувствительные калориметрические сенсоры, малая постоянная времени приборов обеспечивают высокую чувствительность и стабильную, воспроизводимую базовую линию при длительной и интенсивной эксплуатации прибора.

Для исследования теплоемкости образцы выполнялись в форме цилиндров диаметром 4 мм и высотой 1 мм.

Результаты проведенных исследований представлены на графиках (рис. 2 и 3).

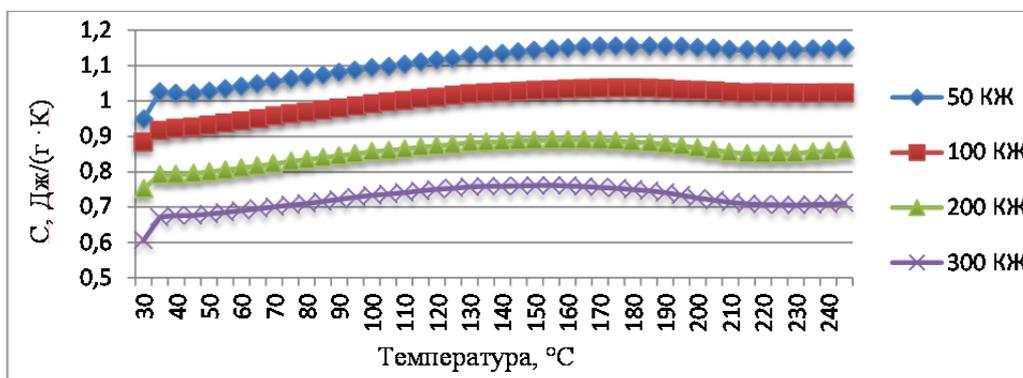


Рис. 2. Зависимость теплоемкости от температуры в серии с карбонильным железом: образцы № 24–27

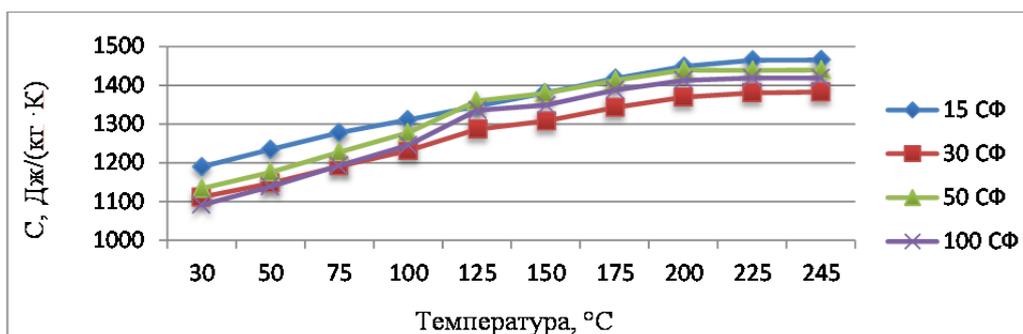


Рис. 3. Зависимость теплоемкости от температуры в серии со стеклосферами: образцы № 28–31

Теплоемкость материала определяется степенью свободы молекул. С повышением температуры подвижность молекул компонентов растет, соответственно возрастает теплоемкость композита.

Детальный анализ показал сходство характера зависимости у отдельной группы. Увеличение карбонильного железа в образцах приводит к значительному, постоянному уменьшению теплоемкости.

Теплоемкость композиций со стеклосферами имеет линейный вид, но увеличения концентрации неоднозначно сказываются на поведении теплоемкости. Такая

особенность присуще химической составляющей образцов. При повышении температуры, помимо перераспределения вторичной решетки, возможно химическое взаимодействие структуры стеклосфер со структурой основания НФС-100, чего не наблюдается при комнатных температурах.

Обобщая результаты работы, отметим следующее:

1. теплоемкость чистого полимера и композиций на его основе с ростом температуры увеличивается;
2. с увеличением концентрации карбонильного железа теплоемкость композиций уменьшается, а увеличение концентрации стеклосфер не сказывается на значениях теплоемкости;
3. величины теплоемкостей материалов, полученные на приборе ИТ-С-400 и на установке ДСК, имеют близкие значения.

### Литература

1. Долгов О.Н., Воронков М.Г., Гринблат М.П. – Кремнийорганические каучуки и материалы на их основе. – Л.: Химия, 1975. – 112 с.
2. Платунов Е.С., Баранов И.В., Буравой С.Е., Курепин В.В. Теплофизические измерения: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. – 738 с.
3. Касандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – 104 с.
4. Емелина М.А. Дифференциально сканирующая калориметрия. – Изд-во: Лаборатория химического факультета, МГУ, 2009. – 42 с.

### УДК 504.03

#### ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МОЙКИ

М.А. Молева<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Рассмотрены показатели экологической эффективности технологического процесса мойки алюминиевой тары для напитков. Приводятся рекомендации для повышения ресурсной эффективности процесса мойки на основе выбора наилучших доступных технологий и практик. Определены показатели эколого-экономической эффективности после модернизации процесса мойки.  
**Ключевые слова:** показатели эффективности, индикаторы, процесс мойки, алюминиевая тара для напитков.

**Целью работы** являлся выбор показателей для оценки экологической эффективности технологических процессов мойки на предприятии по производству алюминиевой тары для напитков. Основные задачи работы заключались в изучении системы показателей для оценки экологической эффективности, их применении для процессов мойки и разработке предложений для улучшения системы мойки. Выбор показателей экологической эффективности предприятия базируется на учете мнений заинтересованных сторон и сборе данных при выполнении экологического аудита, экологического мониторинга или комплексного экологического обследования, выходящего за рамки контроля индикаторов, предписываемых законодательством.

Оценка экологической эффективности (ОЭЭ) представляет собой процесс сбора и обработки информации с целью определения текущего уровня экологической эффективности и тенденций ее изменения во времени. Выбор показателей для ОЭЭ важен с точки зрения представления информации об экологической эффективности организации в экологической отчетности в виде, гармонизированном с требованиями международных стандартов [1].

Выполнение ОЭЭ позволяет выявлять экологические аспекты деятельности предприятия и определять, какие из них являются наиболее значимыми. Повышение уровня экологической эффективности предприятия может быть обеспечено эффективным управлением теми элементами деятельности предприятия, которые оказывают наиболее значительное воздействие на окружающую среду [2].

Экологическое обследование проводилось на предприятии по производству алюминиевой тары в 2014–2015 гг., при этом анализировалась система производственного экологического контроля и проверялась эффективность работы комплекса очистных сооружений (КОС) предприятия. Пробы сточных вод отбирались на разных стадиях КОС и анализировались в лаборатории экологического мониторинга на кафедре промышленной экологии Университета ИТМО. В табл. 1 приведены данные по количеству сбрасываемых загрязняющих веществ (ЗВ) по данным предприятия на контрольном колодце и плата за нормативный и фактический сброс. Данные по водопотреблению в технологическом процессе мойки приведены в табл. 2.

Таблица 1. Состав сточных вод и плата за сверхнормативный сброс загрязняющих веществ

Вещество	Норматив, мг/л	Плата за норматив, руб./год	Фактическая концентрация, мг/л	Фактическая плата, руб./год	Масса ЗВ, т/год
Алюминий	0,5	2338,90	9,8	219685,90	2,00
Нефтепродукты	0,7	2619,76	7,6	131664,51	1,55
СПАВ	0,8	299,94	5,9	9927,1	1,21

Таблица 2. Водопотребление и водоотведение в процессе мойки

Показатель	Количество, м <sup>3</sup> /сут.	Количество, м <sup>3</sup> /год	Плата, тыс. руб. /год
Водопотребление	563,50	205677,50	1404,78
Водоотведение	560,17	204462,05	10607,49

По результатам экологического обследования очистных сооружений было установлено, что концентрация ЗВ в сточных водах после мойки значительно (например, по СПАВ – до 10 раз, по алюминию – от 200 до 480 раз) превышает исходные значения, установленные в проекте КОС, что приводит к неэффективной работе сооружений и превышению допустимых нормативов сброса промышленных стоков по содержанию нефтепродуктов, фтора и, особенно, алюминия и СПАВ [3].

В связи с этим в качестве основных показателей для ОЭЭ процесса мойки были выбраны следующие: удельный расход воды и моющих средств; удельное образование сточных вод в процессе мойки в моечной машине; кратность превышения концентрации алюминия, нефтепродуктов, СПАВ неионогенных и фтора по отношению к установленным нормативам водоотведения.

В качестве мер управления для повышения эффективности технологического процесса мойки алюминиевой тары, а также эффективности работы комплекса очистных сооружений предприятия были предложены меры управления, основанные на принципах экологически более чистого производства: установка расходомеров для контроля расхода чистой воды на стадиях мойки 3 (первая промывка) и 5 (вторая промывка); установка расходомера для контроля расхода сточных вод на выходе из моечной машины; установка насосов – дозаторов моющих средств. Применение коалесцирующих фильтров на выходе стадии 1 (предварительная мойка) и на выходе стадии 2 (основная мойка) позволит сократить содержание нефтепродуктов, поступающих в резервуарный бак-отстойник.

Установка локальных очистных сооружений после мойки до входа загрязненной

воды в бак-отстойник позволит снизить содержание алюминия в сточных водах. Дополнительная установка бака объемом 40 м<sup>3</sup> для сбора воды в период технического обслуживания системы мойки позволит исключить использование накопительного отстойника объемом 700 м<sup>3</sup>, техническое обслуживание которого является трудоемким и ресурсоемким процессом. В результате нарушения регламента технического обслуживания в отстойнике образуются застойные зоны с высокими концентрациями примесей.

Коалесцирующие фильтры компании типа Палл [4] обеспечивают эффективность удаления нефтепродуктов 98% даже в присутствии в сточных водах поверхностно-активных веществ. Система Палл позволяет разделить смеси с очень малым межфазным поверхностным натяжением (МФН) менее 1 дин/см. Система позволит снизить затраты на удаление жидких и твердых загрязнений. По сравнению с традиционными системами общая стоимость затрат по очистке тонны продукции с применением коалесцеров Палл будет ниже.

На основе данных по затратам на установку и обслуживание коалесцирующих фильтров и расходомеров были рассчитаны показатели эколого-экономической эффективности предлагаемых проектов: сокращение водопотребления и водоотведения, сокращение сброса нефтепродуктов и чистая годовая экономия предприятия (табл. 3).

Экономические показатели рентабельности проекта модернизации мойки показаны в табл. 4.

Таблица 3. Показатели эколого-экономической эффективности

Мероприятия	Текущая ситуация		После мероприятия		Экономия	
	кол-во	тыс. руб./год	кол-во	тыс. руб./год	кол-во	тыс. руб./год
<b>Установка расходомеров</b>						
Сокращение водопотребления, м <sup>3</sup> /год	205677,5	1404,78	185109,75	1264,3	20567,75	140,49
Сокращение водоотведения, м <sup>3</sup> /год	204462,05	10607,49	184015,85	9546,74	20446,2	1060,93
<b>Сокращение сбросов загрязняющих веществ в водный объект при внедрении коалесцирующих фильтров</b>						
Нефтепродукты, т/год	1,55	643,57	0,14	2,619	1,41	640,9
<b>Эксплуатационные затраты</b>						
Годовое техническое обслуживание	–	–	–	160,15	–	–160,15
<b>Итого</b>	<b>Чистая годовая экономия:</b>					<b>1682,15</b>

Таблица 4. Рентабельность проекта модернизации мойки

Наименование показателя	Ед. измерения	Величина
Общие инвестиции ( $I_0$ )	тыс. руб.	1281,20
Чистая экономия (B)	тыс. руб.	1682,15
Срок окупаемости (PB)	год	0,76
Чистая приведенная стоимость (NPV)	тыс. руб.	5771,27
Внутренняя норма прибыли (IRR)	%	33
Индекс доходности (PI)		4,5

Использование системы оценки экологической эффективности на основе выбранных показателей, а также реализация предложенных мер управления позволит снизить потребление водных и энергетических ресурсов на предприятии, а также уменьшить штрафные санкции в связи с более эффективной очисткой производственных сточных вод.

Оценивание экологической эффективности необходимо при выборе наилучших доступных технологий по эколого-экономическим критериям, но также становится важным требованием при разработке систем экологического менеджмента в связи с принятием в 2015 г. новой редакции международного стандарта ИСО 14001.

### Литература

1. ГОСТ Р ИСО 14031-2001. Управление окружающей средой. Оценивание экологической эффективности. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-14031-2001>, своб.
2. Сергиенко О.И., Пахомова Н.В. Систематизация базовых подходов к оценке экологической эффективности на микроуровне // Материалы 8-й Международной конференции Российского общества экологической экономики «Экономическое развитие и окружающая среда: стратегии, модели, инструменты управления». – 2007. – С. 218–229.
3. Ульянов Н.Б., Томилов С.Б., Клейменова М.Э., Семьина Г.А., Смирнова С.В., Ильиных К.В., Шульц А.А. Результаты экологического обследования очистных сооружений предприятия по производству алюминиевой тары для напитков // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2015. – № 1(20). – С. 239–246.
4. Коалесцеры Палл. Снижают затраты при помощи эффективных технологий сепарации фаз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pall.com/pdfs/Fuels-and-Chemicals/COA100RU.pdf>, своб.

### УДК 330.3

#### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Е.В. Мохнаткина<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.э.н., профессор А.А. Голубев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе произведен анализ существующих подходов к выделению критериев инновационной активности хозяйствующих субъектов. Приведены основные достоинства и недостатки этих подходов. На основе проведенного анализа предлагаются авторские критерии оценки, которые охватывают все элементы инновационной активности хозяйствующего субъекта, и, следовательно, позволят более точно оценить уровень инновационной активности хозяйствующего субъекта.

**Ключевые слова:** инновации, инновационная активность, критерии оценки инновационной активности.

Современный этап развития экономики характеризуется повсеместным использованием инноваций. В связи с этим для получения конкурентных преимуществ предприятиям необходимо быть инновационно активными, что подразумевает осуществление ими инновационной деятельности, а также применение инноваций на всех уровнях. В свою очередь, на основе эффективного управления инновационной активностью предприятия смогут улучшить свои экономические показатели, а также получить новые конкурентные преимущества.

В связи с этим становится актуальной задача по разработке методики оценки инновационной активности, которая позволит грамотно оценить уровень инновационной активности субъекта хозяйствования.

Под инновационной активностью следует понимать трехкомпонентную характеристику инновационной деятельности предприятия, которая связывает количество и качество ресурсов, используемых предприятием, с результатами его инновационной деятельности, а также характеризует степень участия предприятия в инновационном процессе.

Таким образом, в составе инновационной активности можно выделить три составляющие: ресурсную, результативную и статистическую.

Ресурсная составляющая инновационной активности предприятия включает в себя качественные и количественные ресурсы предприятия, используемые им в инновационной деятельности.

Результативная составляющая инновационной активности отражает суммарный эффект инновационной деятельности предприятия, полученный за счет действий руководства данного предприятия и его персонала. Этот эффект характеризуется количеством созданных и внедренных предприятием инноваций и оценивается экономическим, социальным, экологическим и другими результатами, полученными от их применения.

Статистическая составляющая инновационной активности показывает, в каких стадиях инновационного процесса предприятие принимало непосредственное участие, и насколько оно было самостоятельным на каждом этапе инновационного процесса.

Зачастую процесс оценки инновационной активности предприятия заключается в расчете соответствующих показателей инновационной активности. Выбор определенных показателей в качестве составляющих инновационной активности ставит задачу по выделению соответствующих критериев, по которым будет осуществляться отбор показателей оценки.

На основе анализа отечественной литературы был сделан вывод, что многие авторы в своих методиках используют критерии оценки инновационной активности предприятия, предлагаемые Л.Е. Товстых [1]. Он предлагает осуществлять оценку инновационной активности по трем критериям: интеллектуальность, инновационность и лидерство в инновациях, инновативность.

В рамках предлагаемой классификации под интеллектуальностью предприятия следует понимать научно-технические достижения, результаты интеллектуального характера, которые находятся в распоряжении предприятия с целью их коммерческой реализации.

Второй критерий – инновационность предприятия – призван оценить способность предприятия превращать продукт интеллектуальной деятельности в новшество, показывает его стремление быть лидером в инновациях.

Третьим критерием оценки инновационной активности предприятия является инновативность. В рамках данного критерия оценивается умение предприятия стабильно работать в условиях нестабильной внешней среды. Ключевым параметром инновативности предприятия является стремление его персонала к новшествам и его позитивная оценка инновационного пути развития предприятия в целом.

Ю.П. Анисимов и И.А. Борисенко [2] используют более конкретные критерии для оценки инновационной активности субъекта хозяйствования. Авторы предлагают следующие критерии оценки: динамика изменения количества предложений по проведению преобразований, динамика изменения числа созданных предприятием нововведений, изобретений, изменение количества полученных авторских свидетельств и патентов, объем осуществляемых научных семинаров, сессий, конференций, участие предприятия в них. Согласно такому набору критериев, улучшение качества новшеств,

использование современного оборудования и передовых технологий, увеличение объема инвестиций в инновационные проекты, рост капиталоемкости новой продукции и технологий, сокращение времени, затрачиваемого на создание и освоение новшеств, будут свидетельствовать об увеличении уровня инновационной активности предприятия.

По мнению автора, критерии, предлагаемые Ю.П. Анисимовым и И.А. Борисенко, являются информационно перегруженными, что осложняет возможность их применения.

Л.В. Журавлевой [3] предлагается использовать для оценки инновационной активности предприятия три критерия: инновационная способность организации, инновационная восприимчивость организации и инновационная компетентность организации. В рамках предлагаемой классификации, первый критерий призван оценить возможности организации к осуществлению инновационной деятельности и эффективность этой деятельности. Второй критерий характеризует степень признания нового со стороны различных подразделений, работников организации и контрагентов. Третий критерий оценивает уровень знаний различных аспектов деятельности организации и способность их грамотного применения.

Предлагаемые Л.В. Журавлевой критерии не оценивают ресурсной составляющей инновационной активности, и в основном, носят оценочный характер. Это означает, что применение данных критериев, по мнению автора, может привести к неточностям оценки.

А.Г. Кулагина [4] для оценки уровня инновационной активности также предлагает использовать три критерия. Первый критерий – производственно-технический – призван оценить процессы производства и реализации инновационной продукции, а также уровень прогрессивности и ресурсоемкости такой продукции. Вторым критерием, согласно классификации, является организационно-управленческий критерий, характеризующий уровень применения передовых технологий в производстве, его экологичность и энергоемкость. Третий критерий – социально-экономический – анализирует степень переориентирования потребительского поведения, оценивает степень развития творческой и коммерческой инициативы, а также уровень и объемы финансирования инновационной деятельности. Критерии, предлагаемые А.Г. Кулагиной, также не оценивают ресурсную составляющую инновационной активности, поэтому, по мнению автора, их применение для оценки не является целесообразным.

Исследователь В.В. Поляков в своей работе [5] предлагает критерии для оценки инновационной активности научной организации. В их состав входят следующие критерии:

- объем научной и научно-технической деятельности в общем объеме выполненных организацией работ;
- объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), выполняемых по приоритетным направлениям науки, технологий и техники и критическим технологиям федерального уровня в общем объеме научной и научно-технической продукции;
- объем НИОКР, выполняемых по федеральным целевым программам в общем объеме научной и научно-технической продукции;
- объем НИОКР, выполняемых по федеральной целевой научно-технической программе, в общем объеме научной и научно-технической продукции;
- объем разработок, соответствующих мировому уровню или превосходящих его в общем объеме научной и научно-технической продукции;
- патентоспособность;
- патентная активность;

- удельный вес сотрудников, занимающихся исследованиями и разработками;
- технический потенциал (фондовооруженность);
- удельный вес уникального оборудования, установок, стендов в общем объеме производственных фондов;
- инновационный потенциал;
- удельный вес технологических инноваций в общем объеме выполняемых НИОКР;
- удельный вес инновационной продукции в общем количестве реализованной научно-технической продукции;
- степень внедрения в промышленность инновационных проектов;
- выработка инновационной продукции на одного научного сотрудника.

Данный набор критериев, по мнению автора, также не оценивает ресурсную составляющую инновационной активности, и поэтому его применение не является целесообразным.

В своей работе О.Е. Вязникова [6] для оценки уровня инновационной активности субъекта хозяйствования предлагает применять три критерия:

- соответствие сферы деятельности хозяйствующих субъектов приоритетным направлениям инновационного развития региона и страны в целом;
- преобладание в субъектах технологических (продуктовых или процессных) инноваций по сравнению с организационными и маркетинговыми инновациями;
- доля инновационной продукции в общем объеме продукции организации.

По мнению автора, данные критерии оценивают лишь частные показатели и не охватывают в полной мере составляющих инновационной активности, и поэтому их применение не даст полной и значимой оценки уровня инновационной активности субъекта хозяйствования.

Исследователь Ю.В. Мирюшкина [7] предлагает применять для оценки инновационной активности предприятия три критерия. В соответствии с предлагаемой классификацией, первый критерий направлен на оценку ресурсного потенциала предприятия и призван оценить имеющиеся в распоряжении предприятия ресурсы. Второй критерий направлен на оценку различных составляющих инновационной деятельности предприятия. Третий критерий призван оценить эффективность инновационных проектов предприятия.

Критерии, предлагаемые Ю.В. Мирюшкиной, не оценивают результативную составляющую инновационной активности, поэтому, по мнению автора, данный набор критериев необходимо расширить.

Проведенный анализ предлагаемых отечественными авторами критериев для оценки уровня инновационной активности предприятия показал, что, в большинстве случаев, критерии направлены на оценку составляющих инновационной активности. По мнению автора, среди рассмотренных выше подходов нет набора критериев, который бы полностью соответствовал целям данного исследования. В этой связи автором предлагается использовать следующие критерии для оценки инновационной активности: возможности предприятия к осуществлению инновационной деятельности; результативность инновационной деятельности предприятия; эффективность инновационной деятельности предприятия.

Критерий возможностей предприятия к осуществлению инновационной деятельности направлен на оценку ресурсной составляющей инновационной активности. При этом оцениваются количественная и качественная компоненты данной составляющей. В рамках данного критерия оцениваются материальные и финансовые ресурсы предприятия, техника и технологии, его организационная структура, маркетинг, кадровые возможности, восприимчивость к нововведениям, внутренние источники финансирования инновационной деятельности, возможность привлечения внешних источников финансирования и другие показатели.

Критерий результативности инновационной деятельности предприятия призван оценить результативную составляющую инновационной активности. Здесь оцениваются финансовые и экономические показатели предприятия от инновационной деятельности, их динамика, количество созданных объектов интеллектуальной собственности, научная и научно-техническая деятельность, научная активность и другие показатели.

Критерий эффективности призван оценить суммарный эффект, полученный предприятием от инновационной деятельности. Соответственно в рамках данного критерия целесообразно производить расчет показателей эффективности деятельности предприятия и анализировать их динамику в ходе осуществления инновационной деятельности.

### Литература

1. Товстых Л.Е. Новая инновационная сфера в экономике третьего тысячелетия и новые задачи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://innov.etu.ru/innov/archive.nsf/0d592545e5d69ff3c32568fe00319ec1/05c41afa4e4e0c1a43256def0031e467?OpenDocument>, своб.
2. Анисимов Ю.П., Борисенко И.А. Основы инновационного менеджмента. Учебное пособие. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – С. 36.
3. Журавлева Л.В. Оценка инновационной активности организации как открытой системы в конкурентной среде: автореф. дисс... канд. экон. наук. – М.: Государственный университет управления, 2008. – 20 с.
4. Кулагина А.Г. Формирование инновационного механизма социально-экономического развития региона: автореф. дисс...канд. экон. наук. – Чебоксары: Чувашский университет им. И.М. Ульянова, 2006. – 23 с.
5. Арутюнов Ю.А., Архипов И.П. Критерии оценки инновационного потенциала НИИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mipt.ru/upload/ec4/ar2-1-agreuc0cglw.pdf>, своб.
6. Вязникова О.Е. Совершенствование процесса развития инновационной активности российских хозяйствующих субъектов: дисс... канд. экон. наук. – Воронеж, 2015. – 230 с.
7. Мирюшкина Ю.В. Методические подходы к оценке инновационного развития экономики // Вестник. Наука и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://конференция.com.ua/pages/view/499>, своб.

#### УДК 004.428.4

### ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

А.А. Мулюкин<sup>1</sup>, И.А. Перл<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены основные возможности оптимизации алгоритмов выполнения моделей системной динамики, среди которых описание инструментального подхода и обзор возможных направлений по разработке распределенного алгоритма.

**Ключевые слова:** моделирование, системная динамика, распределенные алгоритмы, System Dynamics.

System Dynamics – это направление моделирования, представляющее собой исследование нелинейного поведения сложных систем в течение длительного времени. Данные, полученные с помощью моделирования системной динамики, позволяют отслеживать такие аспекты поведения модели, как: причинно-следственные связи, петли обратной связи, задержки реакций, а также влияние внешней среды [1–5].

Для определения моделей системной динамики существует несколько основных форматов файлов. Большинство из них были разработаны специально для конкретного программного обеспечения, например, VEnsim и Stella. В связи с чем возникает проблема переносимости моделей между программным обеспечением, которое занимается расчетом моделей системной динамики. Язык описания моделей XMILE (XML Modeling Interchange Language), решает ее, предоставляя открытую спецификацию для записи модели на основе текстового формата XML.

Для выполнения моделей, записанных в терминологии языка XMILE, существует библиотека PySD. Особенностью данной библиотеки является возможность вычисления модели динамической системы в фоновом режиме, что дает возможность использования данной библиотеки во время разработки приложений для работы с динамическими системами. Существенным недостатком данной разработки является низкая производительность. Учитывая то, что большинство моделей системной динамики исследуются на длительных отрезках времени с подробной детализацией, то это является критическим фактором для определения качества решения, так как затрачиваемое время для выполнения каждой такой модели может потребовать до нескольких реальных дней и даже больше. Исходя из этого, первостепенной задачей является оптимизация процесса выполнения моделей по времени. Уменьшение затрат времени на процесс исполнения позволит добавлять уточняющие компоненты в систему или производить дополнительные запуски моделирования на различных начальных условиях, при тех же затратах времени. Благодаря этому исследователи моделируемой системы смогут получить больше данных для анализа исследуемой системы или процесса.

Существующие алгоритмы выполнения моделей системной динамики используют подход последовательного расчета. Из-за чего вычислительные ресурсы используются не оптимально и, как следствие, время полного моделирования значительно выше, чем при использовании параллельного подхода.

Есть два основных принципиально различных подхода к оптимизации процесса моделирования. Первый из них – это инструментальный подход, заключающийся в оптимизации за счет изменения используемых инструментов и технологий, применяемых при разработке программного решения исполнения моделей системной динамики. Второй подход – разработка специализированного распределенного алгоритма, который позволит эффективно использовать предоставленные вычислительные ресурсы.

Рассмотрим структуру моделей динамических систем, а также формат описания моделей XMILE. Можно заметить, что каждое уравнение, используемое для вычисления значений потоков, представляет собой чистую функцию, т.е. функцию, которая не имеет побочных эффектов для системы в целом. Такие функции являются одной из главных концепций функционального программирования. Алгоритмы, которые были разработаны по концепциям функционального программирования, могут быть оптимизированы на уровне исполняемой среды с помощью таких подходов, как: параллельное выполнение чистых функций, кэширование вычислений для сложных функций и операций. Таким образом, при правильной трансформации структуры описания модели системной динамики, можно получить оптимизацию процесса выполнения за счет исполняемой среды, без разработки специализированного распределенного алгоритма.

Распределенный алгоритм расчета моделей системной динамики должен обеспечить возможность параллельного вычисления компонентов модели. Для этого потребуется детальнее рассмотреть структуру и выделить два основных типа связи

между компонентами: компоненты без обратной связи и компоненты с обратной связью. Обратная связь – это свойство, которое определяет зависимость компонентов друг от друга. В случае если два компонента модели (А и В) связаны потоком  $F$ , где А является истоком потока  $F$ , а В – стоком, и при этом значение потока  $F$  зависит только от значения истока, тогда можно считать, что компоненты модели А и В не имеют обратной связи. Если же значение потока зависит от значения стока, то – компоненты имеют обратную связь.

Для начала стоит обратить внимание на модель, в которой компоненты не имеют обратной связи. Исходя из определения выше, можно заметить, что значение потока  $F$ , как и самого истока А не зависит от значения, которое находится в стоке В. Если в данную систему добавить дополнительные истоки ( $A_i$ ), которые будут связаны с одним и тем же стоком (В) с помощью потоков без обратной связи ( $F_i$ ), тогда можно сказать, что введенные потоки ( $F_i$ ) являются независимыми друг от друга. Следовательно, значения этих потоков, а также стоков могут рассчитываться независимо друг от друга, параллельно. Значение результирующего стока (В) может быть вычислено как сумма, заранее просчитанных независимых потоков ( $F_i$ ). На рис. 1 представлена схема модели без обратной связи.

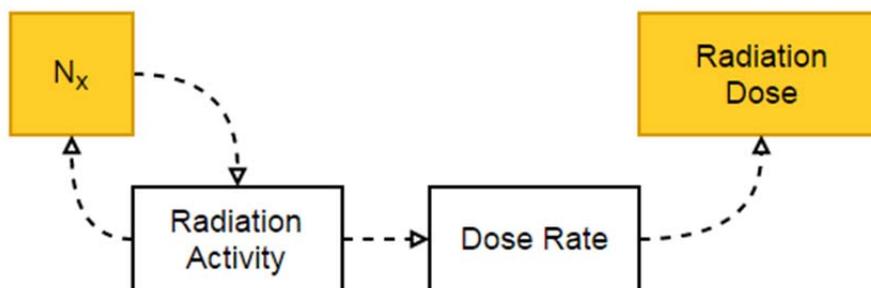


Рис. 1. Схема модели без обратной связи

Кроме того, следует обратить особое внимание на модель, которая содержит в себе компоненты с обратной связью. Проблема разработки распределенного алгоритма для таких моделей заключается в том, что моделируемая система имеет высокую степень связанности. Предположим, что есть несколько истоков ( $A_i$ ), которые связаны потоками ( $F_i$ ) с одним стоком (В). Значение каждого выбранного потока, зависит от текущего значения стока (В). Таким образом, расчет значения потока, а также связанного с ним истока для следующего отрезка времени не может быть произведен, пока не будет получено значение стока для текущего отрезка времени. Если учитывать, что результирующее значение стока является суммой всех входящих потоков, то можно сказать, что все введенные потоки ( $F_i$ ), а также истоки ( $A_i$ ), зависят от других потоков. Таким образом, независимый расчет значений потоков невозможен. При параллельном вычислении таких потоков возникает конкурирующий доступ к значению стока (В). На рис. 2 приведена схема связей стоков в модели с обратной связью.

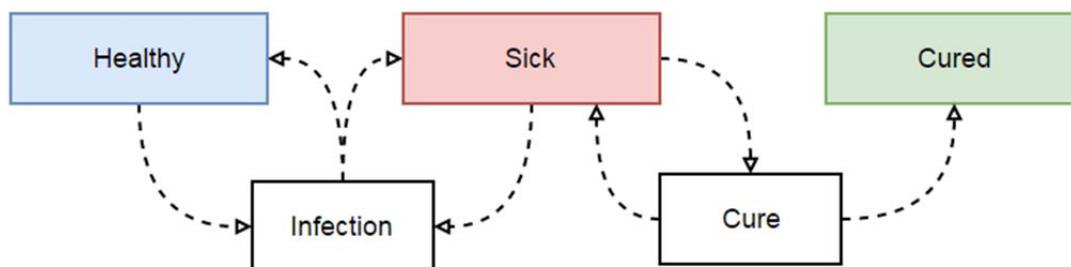


Рис. 2. Схема связей стоков в модели с обратной связью

В реальных системах очень редко можно встретить, когда модель представляет собой компоненты, которые связаны друг с другом только потоками без обратной

связи. Естественно, что в моделях встречаются компоненты, как с обратной связью, так и без нее. Таким образом, появляется задача анализа связей компонентов в пределах существующей модели. Для данной задачи можно представить всю систему, как однонаправленный граф, где ребра указывают направление потоков и соответственно связь между компонентами. Такую точку, которая зависит от наибольшего числа компонентов сильно связанной системы, убрав которую, можно получить две независимые системы, назовем точкой сечения или разреза. Для поиска такой точки можно воспользоваться алгоритмом нахождения минимального разреза графа, алгоритмом Штора–Вагнера. Применяв данный алгоритм на граф модели, можно получить независимые части системы, которые могут быть рассчитаны параллельно.

Как говорилось ранее, модели системной динамики выполняются на больших по длительности отрезках времени с малым шагом по отношению ко всему участку моделируемого времени. Существующие алгоритмы моделирования используют подход с последовательным моделированием временных отрезков с фиксированным шагом. Такой подход не позволяет обрабатывать модель независимо. Но в данный подход можно внести коррективы, которые позволят без особого вмешательства в основной алгоритм моделировать систему на разных временных отрезках параллельно. Предположим, что модель системной динамики должна быть обработана на временном отрезке  $t_1-t_2$  с шагом  $dt$ . Тогда, увеличив шаг моделирования до  $4dt$ , можно получить граничные точки моделируемой системы на всем требуемом отрезке времени. Для этих граничных точек будут получены данные о значениях в каждом стоке и потоке, используемых в модели. Используя их можно промоделировать систему на каждом полученном отрезке времени с уже заданным шагом. Так как начальное условие известно для каждого отрезка времени, то можно считать, что каждый из этих отрезков времени не зависит друг от друга, следовательно, каждый полученный отрезок времени может быть промоделирован параллельно.

Подводя общий итог, были рассмотрены основные подходы, которые можно применить для оптимизации процесса исполнения моделей системной динамики. В частности, был рассмотрен инструментальный подход, который заключался в выборе подходящего инструментария, способствующего улучшению производительности. Также были рассмотрены подходы, которые могут быть применены при разработке распределенного алгоритма для выполнения моделей системной динамики.

### Литература

1. Форестер Дж. Основы динамических систем: Пер. с англ. – Кембридж, штат Массачусетс, США.: MIT, 1989. –16 с.
2. Радзикки М., Тэйлор Р. Введение в динамические системы (версия 1.0): Пер. с англ. – U.S. Department of Energy's, 1997.
3. Джеймс Х., Сигел М. Расширенный анализ данных для моделей динамических систем с использованием PySD: Пер. с англ. – Кембридж, штат Массачусетс, 2015. – 27 с.
4. Chichakly K. XMILE: An XML Interchange Language for System Dynamics. – 2013. – 44 с.
5. Мулюкин А., Перл И. Использование PySD для исполнения динамических систем // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2016. – Т. 3. – С. 301–303.

УДК 004.056

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ МОДЕЛИ УСРЕДНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЦЕЛИ

М.В. Назыров<sup>1</sup>, А.А. Шлыков<sup>1</sup>Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент И.И. Комаров<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена модель усреднения движения мультиагентной робототехнической системы, для которой был произведен факторный анализ, а также были выявлены наиболее влияющие на достижение роём целей параметры. **Целью работы** являлось исследование данной модели мультиагентной робототехнической системы для повышения эффективности взаимодействия членов роя. В конечном итоге в работе выбраны наиболее значимые параметры. **Ключевые слова:** МРТС, МАС, рой агентов, модель усреднения движения, анализ факторов, критерий эффективности.

Мультиагентные системы (МАС) и групповая робототехника вызывают сегодня большой исследовательский интерес [1]. Значительное количество работ по данной тематике посвящено распределенным алгоритмам, обеспечивающим слаженное движение роботов в группе по образцу стай птиц, рыб, мигрирующих стадных животных и т.п. [2, 3]. Ожидается, что подобные алгоритмы найдут свое применение для организации движения автономных устройств самого различного назначения, включая беспилотные летательные аппараты, автоуправляемые легковые автомобили и т.п. Для функционирования роя роботов в мультиагентной робототехнической системе (МРТС) необходимо выполнение поставленных перед ними задач, которые зачастую заключаются в достижении той или иной цели. При невыполнении заданных целей задача считается нерешенной, и данный факт может свидетельствовать о неэффективной работе алгоритма. В связи с этим для улучшения различных показателей имеется необходимость оценить влияние каждого фактора на получение желаемого результата. Данный анализ поможет выделить наиболее влияющие факторы в алгоритме, на которых стоит сделать акцент при дальнейшем его рассмотрении.

За основу в работе взята модель К. Рейнолдса [4]. На рисунке продемонстрирована ее общая концепция.

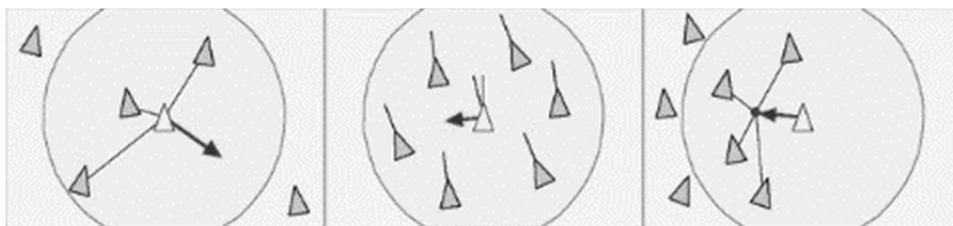


Рисунок. Общий принцип модели Рейнолдса

Данная модель характеризуется следующими свойствами:

- избегание столкновений;
- движение к центру масс;
- направления движений высчитываются на основе среднего значения.

Ниже представлены формулы, которые описывают движение каждого робота по отдельности.

$$\theta = (\bar{\mathbf{W}}, \mathbf{i}), \quad (1)$$

$$\mathbf{W} = w \cdot \mathbf{g} + (1 - w) \cdot \mathbf{h}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{i}$  – единичный вектор, направление которого совпадает с осью абсцисс;  $w$  – информированность робота относительно определенной цели (изменяется в пределах от

0 до 1, включая границы);  $\mathbf{g}$  – вектор, соединяющий текущего робота и цель;  $\mathbf{h}$  – вектор усреднения векторов скорости роботов.

Для исследования были взяты два алгоритма, которые отличаются друг от друга только тем, учитываются ли изменения коэффициента уверенности на протяжении их работы или же нет.

Математическое описание первого алгоритма, в котором отсутствует изменение уверенности, ограничивается формулами (1) и (2). Далее для исследований был взят именно этот алгоритм, и все написанное применимо к нему.

Для описания другого алгоритма, в котором имеет место изменение коэффициента уверенности, необходимо учитывать изменения последнего, используя формулу:

$$w_{t+1} = \begin{cases} w_t + \Delta w, & \text{если } \cos(\widehat{\mathbf{g}}, \widehat{\mathbf{h}}) \geq \mu \\ w_t - \Delta w, & \text{если } \cos(\widehat{\mathbf{g}}, \widehat{\mathbf{h}}) < \mu \end{cases}$$

где  $t$  – номер итерации;  $\Delta w$  – шаг изменения уверенности;  $\mu$  – предел нормы угла отклонения.

Задача выбранных для исследования алгоритмов заключается в обеспечении перемещения агентов из некоторой начальной позиции в зону, которая называется «цель». В рое могут находиться диверсанты – агенты, пытающиеся увести рой в другую, некорректную, зону. Критерий эффективности представленных алгоритмов можно выразить в виде количества агентов, дошедших до цели.

Начальный рой характеризуется нижеуказанными параметрами.

1. Количеством агентов:
  - роботов-диверсантов, которые уводят рой от правильной цели;
  - информированных роботов, которые стремятся довести рой до корректной цели;
  - неосведомленных (неинформированных) роботов, которые поддаются влиянию и следуют за другими роботами.
2. Степенью уверенности информированных роботов.
3. Начальным расстоянием между роботами.
4. Радиусом, на расстоянии которого могут общаться роботы (радиусом взаимодействия).
5. Критическим (минимальным) расстоянием, ближе которого один агент не может приближаться к другому.

Для определения влияния факторов использовалась линейная регрессия, т.е. исследуемый фактор представлял из себя некоторое линейное уравнение следующего вида:

$$Y = \alpha_0 + \sum_{i \in 1}^7 \alpha_i X + \varepsilon.$$

Таким образом, в уравнение добавляется свободный член ( $\alpha_0$ ), а влияние каждого фактора измеряется при помощи коэффициентов  $\alpha_i$ . Данная форма проведения анализа была выбрана в качестве начального предположения; использование такого вида уравнения предполагалось только как базовый вариант для начала проведения эксперимента, однако результаты дальнейших расчетов показали, что можно отказаться от других вариантов регрессии.

Исходные данные для проведения анализа формируются на основе нижеследующих параметров работы модели.

1. Размер всего роя: от 100 до 1000 агентов.
2. Количество информированных роботов: от 5% до 50% от размеров роя.
3. Количество роботов-диверсантов: от 5% до 30% от размеров роя.
4. Радиус взаимодействия: от 4 до 20 единиц.
5. Минимальное расстояние: от 3 до 5 единиц.
6. Начальное расстояние между роботами: от 3 до 5 единиц, но больше или равняется минимальному расстоянию между агентами.
7. Степень уверенности информированных агентов: от 0 до 1.

Перед проведением регрессионного анализа был выполнен корреляционный анализ, который позволил отсеять факторы, оказывающие влияние друг на друга. Часть анализа зависимостей между параметрами, которая представляет наибольший интерес, отображена в табл. 1.

Таблица 1. Анализ зависимостей между параметрами

	Начальное расстояние	Радиус взаимодействия	Минимальное расстояние
Начальное расстояние	1		
Радиус взаимодействия	0,22	1	
Минимальное расстояние	0,67	0,02	1

При исследовании было выявлено, что существует зависимость между начальным расстоянием между роботами и радиусом взаимодействия, а также зависимость между начальным расстоянием и минимальным расстоянием. Представляется логичным удалить переменную «Начальное расстояние» из исследуемых параметров. В дополнении к предыдущим корреляциям была найдена некоторая зависимость между количеством диверсантов, количеством информированных агентов и общим количеством агентов. Можно предположить, что проведение анализа разумно при условии учета значений фактора «Количество диверсантов», так как этот показатель не оказывает значительного влияния на другие.

После проверки исходных данных была составлена исследуемая регрессия следующего вида:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6.$$

В данном уравнении факторы ( $X_i$ ) написаны в порядке, приведенном в корреляционной матрице. Проведение дальнейшего анализа позволило определить коэффициенты перед факторами ( $\alpha_i$ ) и те факторы, которые оказывают значительное влияние на исследуемые значения.

Регрессионный анализ считается проведенным достаточно успешно, так как, исходя из данных в табл. 2, можно утверждать, что данная модель описывает исследуемый фактор более, чем на 93%. Однако параметр «Минимальное расстояние» является незначимым на 5% уровне значимости. Необходимо построить еще одну регрессию, удалив данный параметр. Это позволит отбросить лишние факторы, которые могут «перегружать» модель и давать ухудшенные результаты прогнозирования.

Таблица 2. Результаты множественного анализа

Регрессионная статистика	
Множественный $R$	0,966156274
$R$ -квадрат	0,933457946
Нормированный $R$ -квадрат	0,93282118
Стандартная ошибка	51,67666533
Наблюдения	634

Результаты, полученные после второго регрессионного анализа, часть из которых представлена в табл. 3, в целом не отличаются от предыдущих, но теперь все параметры становятся значимыми.

Исходя из табл. 3, можно сделать вывод о конечном виде уравнения:

$$Y = -35,46 + 1,64X_1 + 0,54X_2 + 1,53X_3 - 0,87X_4 + 40,93X_5.$$

Был проведен аналогичный анализ для алгоритма, в котором учитывается изменение уверенности, но в нем  $R$ -квадрат получился равен 0,6. Можно говорить, что модель описывает только в некоторой степени поведение алгоритма, но результаты весьма приблизительны. При исследовании значения  $\mu$  менялись от 0,5 до 0,99.

Таблица 3. Результаты множественного регрессионного анализа без минимального расстояния

	Коэффициенты
Свободный член	-35,46
Радиус взаимодействия	1,64
Количество неосведомленных роботов	0,54
Количество информированных роботов	1,53
Количество роботов-диверсантов	-0,87
Степень уверенности	40,93

Уравнение для данного алгоритма принимает вид:

$$Y = 236,47 + 4,54X_1 + 0,48X_2 + 0,82X_3 - 1,05X_4 + 165,13X_5 - 578,6X_6.$$

При анализе параметров модели были обнаружены всего три значимых фактора:

1. радиус взаимодействия между агентами;
2. соотношение агентов разных категорий;
3. степень уверенности агентов относительно обозначенных целей.

Проведенные эксперименты позволили получить уравнения, описывающие поведения роя роботов в условиях атаки на систему (атака была произведена путем интеграции в систему роботов, пропагандирующих ложное направление на цель). На основе факторного анализа удалось установить значимость влияния следующих параметров: радиуса взаимодействия агентов (величина радиуса локальной коммуникации), количественного соотношения числа агентов разных категорий (легитимных информированных агентов, агентов-злоумышленников, общего количества роботов в системе) и степени уверенности легитимных информированных агентов в пропагандируемой цели. Обнаружение скрытых зависимостей и особенностей данной системы позволит не только определить ее основные уязвимые места, но и разработать подходы, позволяющие нивелировать последствия «мягких» атак на рой.

Также можно сделать вывод, что модель без изменения уверенности более устойчива к появлению диверсантов с примитивным поведением (выбор и движение к ложной цели). Но есть основания предполагать, что для диверсантов, меняющих движение исходя из окружающей обстановки, лучшую защиту окажет модель с изменением уверенности. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение уравнения зависимости эффективности работы от указанных параметров при усложнении алгоритма. В частности, целесообразно выявление значимых факторов для различных методов изменения уровня уверенности легитимных лидеров на каждом шаге итерации, а также добавление нескольких целей для движения роя. А также будет произведено изучение поведения более сложных агентов-диверсантов.

### Литература

1. Brambilla M., Ferrante El., Birattari M., Dorigo M. Swarm robotics: a review from the swarm engineering perspective // *Swarm Intelligence*. – 2013. – V. 7. – № 1. – P. 1–41.
2. Barve A., Nene M. Survey of Flocking Algorithms in Multi-agent Systems // *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. – 2013. – V. 10. – Is. 6. – № 2. – P. 110–117.
3. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 280 с.
4. Reynolds C.W. Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model // *ACM SIGGRAPH computer graphics*. – 1987. – V. 21. – № 4. – P. 25–34.

УДК 004.021

## АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГОМОМОРФНЫХ КРИПТОСИСТЕМ И МОДЕЛЕЙ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А.Д. Наумов<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Б. Бондаренко<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В связи с необходимостью повышения безопасности облачных вычислений становится важным создание эффективных алгоритмов полностью гомоморфного шифрования, позволяющего производить произвольные вычисления над данными без предварительной расшифровки.

**Целью работы** являлся анализ производительности основных гомоморфных криптосистем и моделей облачных вычислений для дальнейшего их совершенствования и использования.

**Ключевые слова:** гомоморфные криптосистемы, облачные вычисления, производительность, криптография.

**Введение.** В настоящее время одно из наиболее активных направлений развития информационных технологий – облачные вычисления. Основной причиной такого развития является возможность для компаний и частных лиц снижения расходов на поддержание собственной ИТ-инфраструктуры за счет передачи этой работы провайдеру облачного сервиса, он же поставщик облачных вычислений. Однако в такой ситуации становятся небезопасными хранение и обработка конфиденциальных данных в облачной инфраструктуре, так как у ее провайдера появляется возможность неконтролируемого доступа к обрабатываемым данным.

Единственным решением этой проблемы может служить шифрование всех частных данных перед передачей в облако. К сожалению, все распространенные в настоящее время криптографические алгоритмы не позволяют производить произвольные вычисления над зашифрованными данными, существенно ограничивая возможности использования облачных ресурсов.

На рис. 1 представлена общая схема взаимодействия с провайдером облачного сервиса:

1. организация отправляет данные в зашифрованном виде;
2. организация отправляет запрос на выполнение некоторых операций над этими данными;
3. программа, находящаяся в облаке, реализует вычисления над этими данными;
4. обработанные данные возвращаются организации;
5. организация расшифровывает результат.

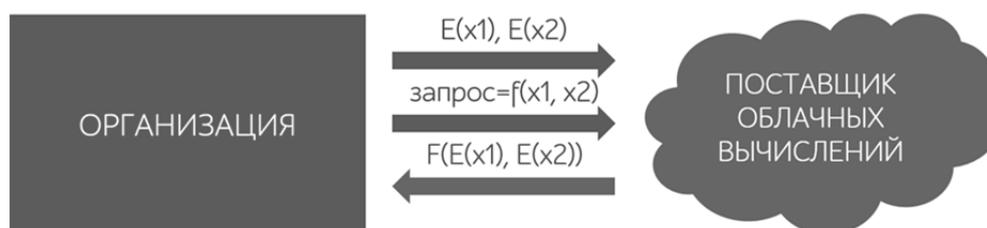


Рис. 1. Общая схема взаимодействия с провайдером облачного сервиса

**Гомоморфное шифрование.** В 1978 году авторами известного алгоритма с открытым ключом RSA Майклом Дертусосом, Рональдом Риверстом и Леонардом Адлеманом было сформировано понятие гомоморфного шифрования. В их работе они описали концепцию гомоморфного шифрования, а также задались вопросами: возможно ли такое шифрование в принципе и для каких алгебраических систем такой гомоморфизм существует. Их попытки потерпели неудачу, и было решено, что эта идея не является реализуемой. Под формальным определением гомоморфного шифрования

понимается криптографический примитив, представляющий собой функцию шифрования, удовлетворяющую дополнительному требованию гомоморфности относительно каких-либо алгебраических операций над открытым текстом.

Пусть  $E(k, m)$  – функция шифрования, где  $m$  – открытый текст;  $k$  – ключ шифрования. Заметим, что для данных фиксированных  $k$  и  $m$  криптограмма  $E(k, m)$  может быть, вообще говоря, случайной величиной. В таких случаях говорят о вероятностном шифровании. Функция  $E$  гомоморфна относительно операции  $op$  над открытыми текстами, если существует эффективный алгоритм  $M$ , который, получив на вход любую пару криптограмм вида  $E(k, m_1)$ ,  $E(k, m_2)$ , выдает криптограмму  $c$  такую, что при дешифровании  $c$  будет получен открытый текст  $m_1 op m_2$ .

Как правило, рассматривается следующий важнейший частный случай гомоморфного шифрования. Для данной функции шифрования  $E$  и операции  $op_1$  над открытыми текстами существует операция  $op_2$  над криптограммами такая, что из криптограммы  $E(k, m_1) op_2 E(k, m_2)$  при дешифровании извлекается открытый текст  $m_1 op_1 m_2$ .

Задачу вычисления над зашифрованными данными можно рассматривать в различных постановках. Например, данные могут сравниваться по значению, т.е. если  $m_1 < m_2$ , где  $m_1$  и  $m_2$  – открытые тексты, то  $E(k, m_1) < E(k, m_2)$ . Но в общем случае рассматриваются операции сложения и умножения, т.е.  $E(k, m_1) op E(k, m_2)$  при дешифровании приводят к  $m_1 + m_2$  и  $m_1 \cdot m_2$ .

Гомоморфное шифрование – это криптографическая система, которая позволяет проводить математические операции над зашифрованными данными без их предварительной расшифровки.

Основные системы шифрования и модели, обладающие гомоморфными свойствами:

- криптосистема RSA;
- криптосистема Эль-Гамала;
- криптосистема Пэе (Paillier) [1];
- модель криптосистемы Крейга Гентри (Craig Gentry) [2], в дальнейшем переросшая в схему BGV (Бракерски–Гентри–Вайкунтанатан, Zvika Brakerski and Craig Gentry and Vinod Vaikuntanathan) [3].

1. Криптосистема RSA. Криптосистема RSA является самой популярной криптографической схемой, описание которой можно найти практически в любом тексте, посвященном криптографии с открытым ключом. По этой причине здесь мы эту криптосистему не описываем, ограничимся обозначениями. Пусть  $N$  – составной модуль (модуль RSA) и  $e$  – открытая экспонента. Таким образом, пара  $(N, e)$  является открытым ключом криптосистемы. Далее, пусть  $m \in Z_N$  – открытый текст. Функция шифрования  $E((N, e), m) = m^e \bmod N$  криптосистемы RSA гомоморфна относительно умножения открытых текстов. В самом деле, для любых двух открытых текстов  $m_1$ ,  $m_2$  и любого открытого ключа  $k$  криптограмма произведения равна произведению криптограмм сомножителей:  $E(k, m_1 \cdot m_2) = E(k, m_1) \cdot E(k, m_2)$ .

2. Криптосистема Эль-Гамала. Пусть  $G$  – циклическая группа порядка  $p$  и  $g$  – ее порождающий. В качестве секретного ключа криптосистемы выбирается случайный элемент  $x$  группы  $Z_{p-1}$ . Соответствующий открытый ключ вычисляется по формуле  $y = g^x$ . Криптограмма открытого текста  $m \in G$  вычисляется с помощью функции шифрования  $E(y, m) = (y^r m, g^r)$ , где  $r$  – случайный элемент группы  $Z_{p-1}$ , т.е. число  $r$  выбирается всякий раз заново, независимо и равномерно.

Дешифрование криптограммы  $(c_1, c_2)$  выполняется следующим образом. Сначала вычисляется  $c_2^x = g^{rx}$ , откуда  $m = c_1 / c_2^x$ .

Криптосистема Эль-Гамала является криптосистемой вероятностного шифрования. Ее функция шифрования гомоморфна относительно операции умножения открытых текстов: криптограмма произведения может быть вычислена как произведение (попарное) криптограмм сомножителей. Если  $E(y, m_1) = (y^{r_1} m_1, g^{r_1})$  и  $E(y, m_2) = (y^{r_2} m_2, g^{r_2})$ , то  $E(y, m_1 m_2)$  можно получить в виде  $(y^{r_1} y^{r_2} m_1 m_2, g^{r_1} g^{r_2})$ .

Функция шифрования криптосистемы Эль-Гамала обладает свойством рерандомизации. Криптограмму произведения, полученную в указанном выше виде, можно рандомизировать, выбрав случайное число  $r$  из  $Z_{p-1}$  и домножив первый элемент криптограммы на  $y^r$ , а второй – на  $g^r$ .

Таким образом, будет получена криптограмма  $(y^{r_1} y^{r_2} y^r m_1 m_2, g^{r_1} g^{r_2} g^r)$ , связь которой с исходными криптограммами «затемнена» случайными множителями.

3. Криптосистема Пэйе (Paillier). Пусть  $p$  и  $q$  – два больших простых числа и пусть  $n = pq$  и  $\lambda = \text{НОК}(p-1, q-1)$ . Выберем случайное число  $g$  из  $Z_{n^2}^*$  и вычислим  $\mu = (L(g^\lambda \bmod n^2))^{-1} \bmod n$ , где  $L(u) = (u-1)/u$ . Поскольку при выбранном  $\lambda$  выполняется сравнение  $u \equiv 1 \bmod n$ , определение корректно.

Открытым ключом криптосистемы служит пара  $k = (n, g)$ , а секретным ключом – пара  $(\lambda, \mu)$ .

Для шифрования открытого текста  $m \in Z_n$  выбирается случайное число  $r$  из  $Z_{n^2}^*$  и вычисляется шифротекст по формуле  $c = g^{m r^n} \bmod n^2$ .

Дешифрование криптограммы  $c$  выполняется по формуле  $m = L(c^\lambda \bmod n^2) \mu \bmod n$ .

Криптосистема Пэйе также является системой вероятностного шифрования. Из всех известных криптосистем с открытым ключом данная обладает, по-видимому, наиболее интересными гомоморфными свойствами:

- произведение двух криптограмм является криптограммой суммы соответствующих открытых текстов, т.е. при дешифровании криптограммы  $E(k, m_1) \cdot E(k, m_2) \bmod n^2$  будет получен открытый текст  $m_1 + m_2 \bmod n$ ;
- ту же самую сумму можно получить, умножив криптограмму  $E(k, m_1)$  на  $g^{m_2}$ , т.е. при дешифровании криптограммы  $E(k, m_1) \cdot g^{m_2} \bmod n^2$  будет получен открытый текст  $m_1 + m_2 \bmod n$ ;
- открытый текст, содержащийся в криптограмме, можно умножить на константу  $d$ , возведя эту криптограмму в степень  $d$ , т.е. при дешифровании криптограммы  $E(k, m)^d \bmod n^2$  будет получен открытый текст  $dm \bmod n$ . В частности, в качестве константы  $d$  можно задать другой открытый текст  $m'$  и тем самым получить криптограмму произведения  $mm' \bmod n$ .

Подчеркнем, что последнее свойство не является свойством гомоморфности функции шифрования относительно операции умножения открытых текстов.

**Модель криптосистемы Крейга Генгри.** Аспирант Стэнфорда Крейг Генгри предложил эту модель в 2009 году для своей кандидатской диссертации «Полностью гомоморфное шифрование с использованием идеальных решеток» (Fully homomorphic encryption using ideal lattices). Модель была очень благосклонно принята сообществом криптографов, которые сразу реализовали для нее ряд усовершенствований. Сам Генгри еще до этого получил поддержку от Национального научного общества и научно-исследовательского подразделения IBM Research.

В алгоритме Генгри выполняются свойства гомоморфности относительно как умножения, так и сложения. Тем самым данную модель можно использовать в облачных вычислениях без ограничений. Передавая данные в облака, т.е. в недоверенную зону, можно не задумываться об их конфиденциальности.

**Описание практической части.** Компания IBM выпустила свободную криптографическую библиотеку HElib с поддержкой гомоморфного шифрования (homomorphic encryption, HE). Это первая в истории реализация подобной криптосистемы, и важный этап в развитии криптографии как науки и математических методов защиты информации. Разработка имеет особенную практическую ценность именно в наши дни с распространением облачных сервисов.

Исследователи IBM сумели реализовать не частично, а полностью гомоморфное шифрование. Схема получила название BGV (Бракерски–Гентри–Вайкунтанатан, Brakerski-Gentry-Vaikuntanathan).

В библиотеке HElib схема BGV реализована с оптимизациями для быстродействия, в том числе с использованием техники упаковки шифротекста Смарта–Веркаутерена и оптимизациями Гентри–Халеви–Смарта.

HElib написана на C++ с использованием математической библиотеки NTL. Исходный код распространяется под лицензией GPL.

В данной работе были протестированы модель криптосистемы Крейга Гентри, криптосистемы RSA, Эль-Гамала и Пэе, сравнены скорости шифрования данных и скорости операций гомоморфных свойств.

Для каждой криптосистемы были реализованы и выделены отдельные классы, которые содержали следующие функции:

- генерация ключей (KeyGeneration);
- шифрование (Encrypt);
- дешифрование (Decrypt);
- сложение (Addition);
- умножение (Multiplication).

**Результаты практической части.** В случае криптосистемы Пэе умножение шифротекста производилось на константу, что не является свойством гомоморфности. Тем не менее, данное свойство является интересным и позволяет использовать систему при тайном голосовании с весами для разных типов голосов. В криптосистеме RSA и Эль-Гамала функция сложения (Addition) реализована не была. Результаты практической части представлены в таблице. Для криптосистемы Пэе умножение проводилось на константу.

Таблица. Результаты практической части

	Шифрование	Умножение	Сложение
Криптосистема RSA	58 мс	540 мс	–
Криптосистема Эль-Гамала	87 мс	810 мс	–
Криптосистема Пэе	1554 мс	70754 мс	6773 мс
Модель криптосистемы Крейга Гентри	140626 мс	(результат получен не был)	2800 мс

Дополнительные условия при проведении практической части:

- операция шифрования проводилась 1000 раз для каждой криптосистемы;
- операция умножения – 10000 раз для каждой криптосистемы;
- операция сложения – 10000 раз для каждой криптосистемы;
- размер числа был равен 64 битам.

Характеристики компьютера, на котором проводились контрольные измерения:

- процессор: Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E7200 @ 2.53GHz 2.53GHz;
- установленная память (ОЗУ): 8.00 ГБ;
- тип системы: 64-разрядная операционная система (ОС);
- ОС: Windows 7 Профессиональная;
- дисковое устройство: ST3250410AS ATA Device.

В ходе тестирования модели криптосистемы Крейга Гентри на умножение выяснилось, что операции занимают слишком много времени. Было решено прервать эксперимент. Также резкое увеличение времени для модели криптосистемы Крейга Гентри происходило при увеличении размера числа.

**Заключение.** Рассмотрено гомоморфное шифрование, как наиболее перспективное направление в области защиты информации при использовании облачных вычислений. К сожалению, гомоморфное шифрование значительно увеличивает требования к вычислительным ресурсам систем облачных вычислений. Через несколько лет или десятилетий, если закон Мура продолжит действовать, инструменты гомоморфной криптографии окажут свое влияние на рынок облачных услуг, и в той или иной степени на облик современных информационных технологий. Зависимость числа транзисторов (вычислительной мощности) от времени согласно закону Мура представлена на рис. 2.

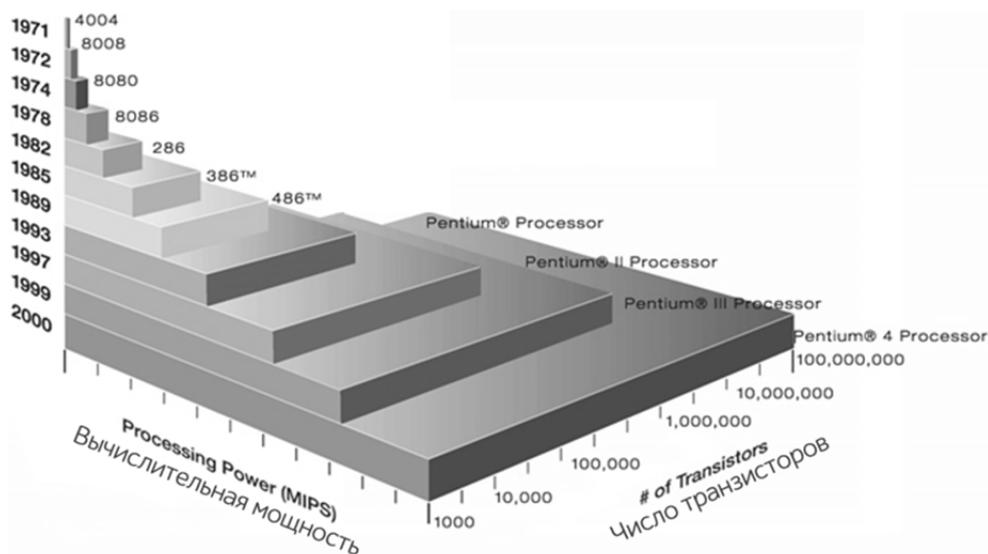


Рис. 2. Зависимость числа транзисторов (вычислительной мощности) от времени согласно закону Мура

Проведен анализ производительности криптосистем RSA, Эль-Гамала и Пэя, обладающих одним гомоморфным свойством, и модели криптосистемы Крейга Гентри, обладающей двумя гомоморфными свойствами (умножения и сложения). В ходе анализа выяснилось, что на данный момент модель полностью гомоморфной криптосистемы Крейга Гентри на практике не применима. В то же время, криптосистемы RSA, Эль-Гамала и Пэя, обладающие одним гомоморфным свойством могут использоваться в очень узконаправленных областях применений облачных вычислений [4, 5].

## Литература

1. Paillier P. Public-Key Cryptosystems Based on Composite Degree Residuosity Classes // *Advances in Cryptology – EUROCRYPT'99*. – 1999. – V. 1592. – P. 223–238.
2. Gentry C. A fully homomorphic encryption scheme [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://crypto.stanford.edu/craig/craig-thesis.pdf>, своб.
3. Brakerski Z., Gentry C., Vaikuntanathan V. Fully Homomorphic Encryption without Bootstrapping [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eprint.iacr.org/2011/277.pdf>, своб.
4. Варновский Н.П., Шокуров А.В. Гомоморфное шифрование // *Труды института системного программирования Российской академии наук*. – 2006. – Т. 12. – С. 27–36.

5. Бабенко Л.К., Буртыка Ф.Б., Макаревич О.Б., Трепачева А.В. Защищенные вычисления и гомоморфное шифрование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://2014.nscf.ru/TesisAll/4\\_Systemnoe\\_i\\_promezhytochnoe\\_PO/01\\_141\\_ByrtikaFB.pdf](http://2014.nscf.ru/TesisAll/4_Systemnoe_i_promezhytochnoe_PO/01_141_ByrtikaFB.pdf), своб.

УДК 681.7.026.6

## УЗКОПОЛОСНЫЕ СВЕТОФИЛЬТРЫ НА ОСНОВЕ ЯВЛЕНИЯ НАРУШЕННОГО ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

Нгуен Ван Ба<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Губанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе показана возможность создания узкополосного светофильтра на основе явления нарушенного внутреннего отражения. Разработана конструкция интерференционного фильтра для ближнего инфракрасного диапазона спектра. Такой светофильтр позволяет выделить узкий спектр пропускания с использованием минимальных чисел интерференционных слоев.

**Ключевые слова:** узкополосные светофильтры, нарушение полного внутреннего отражения, интерферометр Фабри–Перо, полуширина.

Решения вопроса создания узкополосных светофильтров для ближнего инфракрасного (ИК) диапазона спектра часто ведутся на основе интерферометра Фабри–Перо, который образован двумя зеркалами, расположенными параллельно друг другу на некотором расстоянии. В состав таких светофильтров входят десятки интерференционных слоев [1], что приводит к усложнению процесса их изготовления и контроля в процессе формирования. В настоящее время актуальной является задача создания нового типа узкополосных светофильтров, работа которых может быть основана на явлении нарушенного полного внутреннего отражения. Возможности создания такого типа светофильтров рассмотрены в работе [2], и реализация одной конструкции такого типа фильтров для дальнего ИК диапазона спектра (длиной волны порядка 100 мкм) представлена в работе [3].

Между двумя призмами, изготовленными из оптического стекла с показателем преломления  $n_0$  расположены три интерференционных слоя, сформированных из материалов с показателями преломления  $n$ ,  $n_0$  и  $n$  соответственно (рис. 1). Слои, соприкасающиеся с призмами, играют роль двух зеркал, а средний слой является резонатором Фабри–Перо.

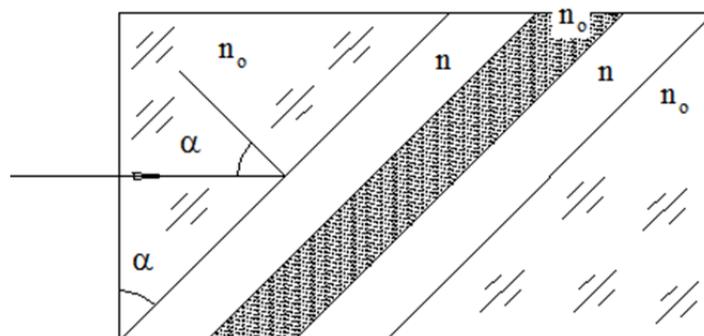


Рис. 1. Структура трехслойного интерференционного фильтра на основе нарушенного полного внутреннего отражения

Если  $n_0 > n$  и угол падения излучения на границе раздела призма-слой  $\alpha_0$  больше критического угла  $\alpha$ , то угол распространения излучения в слое будет мнимым. Полное внутреннее отражение не произойдет, так как толщина тонких слоев сравнима с длиной волны падающего излучения, в этом и заключается явление нарушенного полного внутреннего отражения.

При падении излучения под углом энергетические коэффициенты отражения на границах раздела сред, которые имеются в интерференционном покрытии, различны для излучения, поляризованного в разных плоскостях, поэтому необходимо рассматривать коэффициент отражения интерференционной системы, состоящей из трех слоев, формирующих покрытие отдельно для  $s$ - и  $p$ -компонент. Матрица интерференции системы слоев, формирующих покрытие, может быть записана в следующем виде:

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{i \sin \varphi}{\tilde{n}} \\ i\tilde{n} \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi_0 & \frac{i \sin \varphi_0}{\tilde{n}_0} \\ i\tilde{n}_0 \sin \varphi_0 & \cos \varphi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & \frac{i \sin \varphi}{\tilde{n}} \\ i\tilde{n} \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix},$$

где  $\tilde{n}, \tilde{n}_0$  – эффективные показатели преломления слоев, которые для  $s$ - и  $p$ -компонент определяются как:

$$\begin{aligned} \tilde{n}_s &= i\sqrt{n_0^2 \sin^2 \alpha_0 - n^2}, \\ \tilde{n}_{0s} &= n_0 \cos \alpha_0, \\ \tilde{n}_p &= i\frac{\sqrt{n_0^2 \sin^2 \alpha_0 - n^2}}{n^2}, \\ \tilde{n}_{0p} &= \frac{\cos \alpha_0}{n_0}. \end{aligned}$$

$\varphi$  и  $\varphi_0$  – фазовые толщины слоев с показателями преломления  $n$  и  $n_0$ , соответственно. Фазовые толщины слоев определяются как:

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= \frac{2\pi n_0 d_0}{\lambda} \cos \alpha_0, \\ \varphi &= i\frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{n_0^2 \sin^2 \alpha_0 - n^2}. \end{aligned}$$

Амплитудный коэффициент отражения принимает вид:

$$r = \frac{(\tilde{n}_0 M_{11} - \tilde{n}_m M_{22}) + i(\tilde{n}_0 \tilde{n}_m M_{12} - M_{21})}{(\tilde{n}_0 M_{11} + \tilde{n}_m M_{22}) + i(\tilde{n}_0 \tilde{n}_m M_{12} + M_{21})}, \quad (1)$$

где  $\tilde{n}_m$  – эффективный показатель преломления второй призмы. Как предполагалось, призмы одинаковые, поэтому  $\tilde{n}_0 = \tilde{n}_m$ ;  $M_{11}, M_{12}, M_{21}$  и  $M_{22}$  – элементы матрицы интерференции. Система слоев симметрична, поэтому  $M_{11} = M_{22}$ . Следовательно выражение (1) можно переписать в следующем виде:

$$r = \frac{i(\tilde{n}_0^2 M_{12} - M_{21})}{2\tilde{n}_0 M_{11} + i(\tilde{n}_0^2 M_{12} + M_{21})}. \quad (2)$$

Как видно из выражения (2), для того чтобы коэффициент отражения обращался в нуль, должно выполняться условие:

$$\tilde{n}_0^2 M_{12} - M_{21} = 0.$$

Поставив в это выражение полученные значения для элементов матрицы интерференции, получим:

$$\operatorname{tg} \left( \frac{2\pi n_0 d_0 \cos \alpha_0}{\lambda} \right) = \frac{n_0 \lambda \cos \alpha_0}{\pi d (n_0^2 \cos 2\alpha_0 + n^2)}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет установить связь между толщинами слоев, формирующими рассматриваемую систему, показателем преломления материалов, из

которых изготовлены призмы и длиной волны, на которой энергетический коэффициент отражения обращается к нулю (тогда на этой длине волны энергетический коэффициент пропускания будет максимальным).

Основываясь на вышеприведенные результаты, подобрана конструкция светофильтра, сформированная на гипотенузной грани призмы, изготовленной из материала с показателем преломления  $n_0=1,52$ . На этой грани формируются три слоя, изготовленные из материалов с показателями преломления  $n=1,38$ ,  $n_0=1,52$ . Толщины слоев:  $d=1,62$  мкм,  $d_0=0,533$  мкм. Излучение падает на гипотенузную грань первой призмы под углом  $\alpha_0=72^\circ$ . В качестве материала с показателем преломления  $n=1,38$  выбран  $MgF_2$ , а материалом с показателем преломления  $n_0=1,52$  оказывается стекло марки К8. На рис. 2 показана спектральная характеристика энергетического коэффициента пропускания разработанного фильтра.

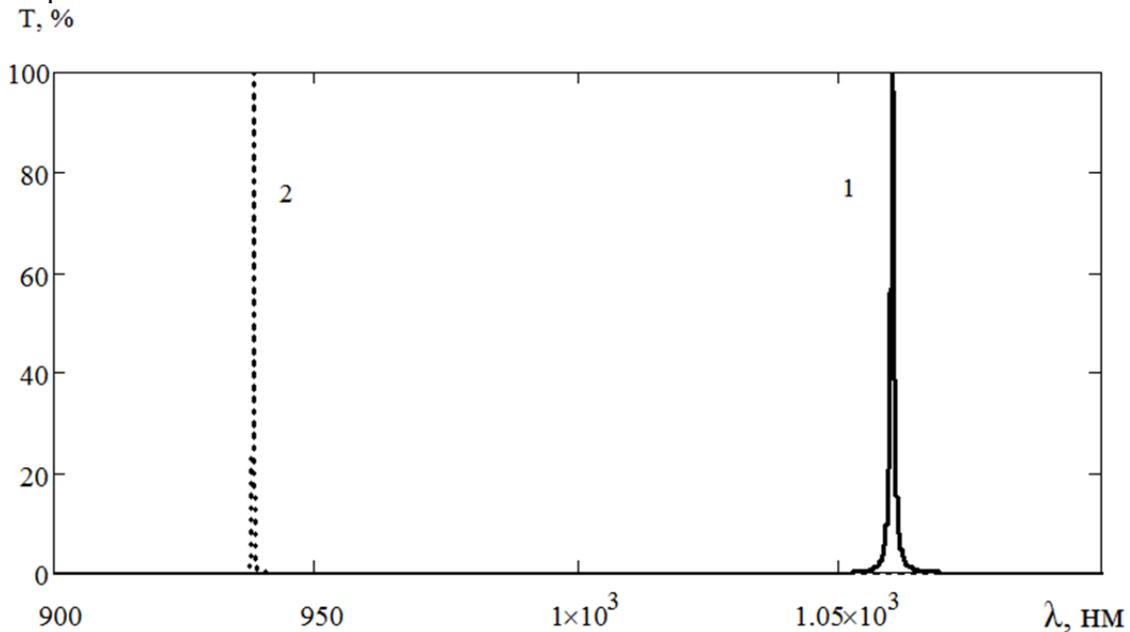


Рис. 2. Спектральная характеристика коэффициента пропускания интерференционного фильтра с использованием трехслойного покрытия:

1 – для  $s$ -компоненты и 2 – для  $p$ -компоненты

Из рис. 2 видно, что максимумы пропускания для  $p$ - и  $s$ -поляризаций смещены друг относительно друга, причем положение максимума пропускания для  $s$ -поляризации находится на длине волны 1,06 мкм, полуширина 1 нм при 100% пропускании в максимуме (без учета френелевских отражений на катетных гранях призм); а для  $p$ -поляризации оно находится на длине волны 0,94 мкм, полуширина 0,5 нм при 100% пропускании в максимуме. Ширина зоны гашения, в которой пропускание не превосходит величины  $10^{-5}$  составляет 1,5 мкм.

Явление нарушенного полного внутреннего отражения позволяет получить узкополосный светофильтр, имеющий полуширину порядка 1 нм для длин волн, лежащих в ближнем ИК диапазоне спектра. Положение максимумов пропускания в шкале длин волн зависит от толщины среднего слоя, так если толщина среднего слоя увеличивается, то положения максимумов смещаются в длиноволновую область. Таким образом, теоретически можно создать этот тип светофильтра для любого спектра пропускания. Полуширина спектра пропускания зависит от толщин тонких слоев, соприкасающихся с призмами. Так, если их толщины увеличиваются, то полуширина спектра пропускания уменьшается. При продолжении увеличения этих толщин, полуширина спектра пропускания стремится к нулю, что соответствует исчезновению максимума пропускания.

## Литература

1. Окатов М.А. и др. Справочник технолога-оптика. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 679 с.
2. Baumeister P.W. Optical tunneling and its applications to optical filters // Applied Optics. – 1967. – V. 6. – № 5. – P. 897–905.
3. Chesnokov V.V., Chesnokov D.V., Surneva A.S. Development of an Interference Filter Model Based on a Total-Internal-Reflection Resonator // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. – 2015. – V. 51. – № 2. – P. 205–211.

УДК 004.932.2

### ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СОПОСТАВЛЕНИЯ БЛОКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДВИЖЕНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ ВИДЕОКОДЕРАХ

Нгуен Ван Чыонг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Алгоритм сопоставления блоков является способом нахождения соответствия блоков в видеопоследовательности для оценки движения. Это используется для устранения временной избыточности в видеопоследовательности и для повышения эффективности сжатия видеоданных. Алгоритм включает в себя разделение текущего кадра на блоки и сравнения каждого из них с соответствующим блоком в соседнем кадре видео (иногда просто с предыдущим).

**Ключевые слова:** компенсация движения, алгоритмы сопоставления блоков, сопоставление блоков, оценка подобия.

**Введение.** Кодирование с предсказанием используется для устранения большого количества временной и пространственной избыточности, которые существуют в видеопоследовательностях. В обычных кодированиях с предсказанием разница между текущим кадром и кадром-прогнозом (на основе предыдущего кадра) кодируется и передается. Чем лучше кадр-прогноз, тем меньше ошибки. Если сцена остается, то хороший прогноз текущего пикселя есть пиксель в предыдущем кадре, а ошибка равна нулю. Тем не менее, когда есть движение в последовательности, то пиксель на той же части движущегося объекта служит хорошим прогнозом для текущего пикселя. Существует большое количество алгоритмов оценки движения для кодирования с предсказанием. Данная работа ориентируется на алгоритмы, которые называются алгоритмами сопоставления блоков.

**Алгоритмы сопоставления блоков.** Метод сопоставления блоков является наиболее популярным и практичным методом оценки движения в кодировании видео. На рис. 1, а, показано, как он работает. Текущий кадр делится на блоки размером  $b \times b$  (обычно,  $b=8$  или  $16$ ). Затем производится сравнение каждого блока текущего кадра с соответствующими блоками соседнего кадра (предыдущего или последующего) для нахождения блока соответствия. В результате сравнения создается вектор, который описывает движение блока из одного места в другое [1].

Для ограничения масштаба поиска определяется область поиска. Предположим, что блок с размером  $b \times b$  имеет вектор движения с максимальным допустимым смещением  $\pm s$  пикселей (иначе,  $s$  – параметр поиска) как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях, существуют  $(2s+1)^2$  возможных блоков-кандидатов внутри области поиска (рис. 1, б).

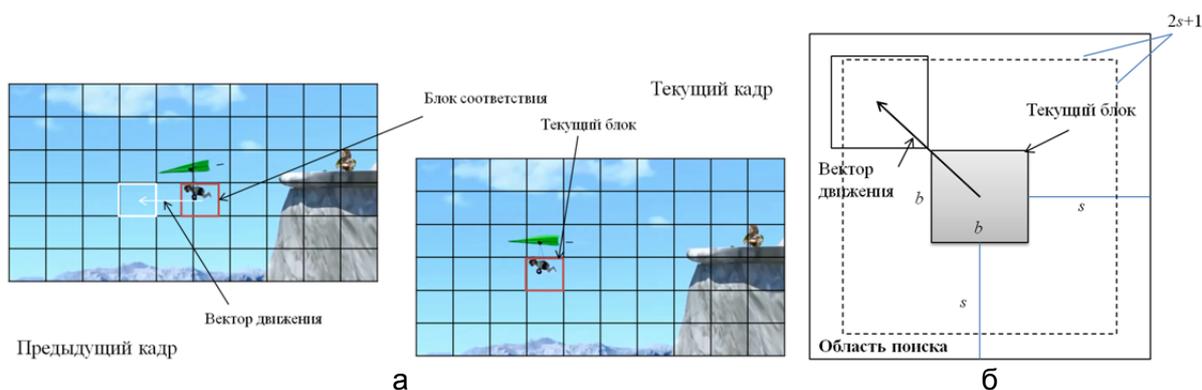


Рис. 1. Оценка движения на основе сопоставления блоков (а); процесс поиска блока соответствия (б)

Рассмотрим основные алгоритмы сопоставления блоков.

1. Полный перебор (FS). Берется каждый блок текущего кадра и сравнивается с соответствующим блоком соседнего, в итоге получаем лучший блок [2]. Хотя этот алгоритм является лучшим выбором с точки зрения качества предсказанного кадра и простоты, он имеет очень большой объем вычислений (как уже было сказано – до 80% вычислительных затрат видеокodeка).
2. Трехшаговый поиск (TSS). Был разработан в 1981 году и до сих пор является популярным благодаря своей простоте, надежности и высокой производительности. Основная проблема алгоритма заключается в удаленности равномерно распределенных точек шаблона, что делает его неэффективным для областей малого движения [3].
3. Четырехшаговый поиск (FSS). Алгоритм основан на таком свойстве большинства видеопоследовательностей, как ориентированность к центру кадра [4]. Как правило, данный алгоритм показывает большую надежность с сохранением эффективности для сложных вариантов движения и операций масштабирования. Это делает FSS привлекательной стратегией для выборки блоков в схемах компенсации движения.
4. Ромбический поиск (DS). Алгоритм работает практически как FSS. Тем не менее, алгоритм может иметь неограниченное число шагов [5]. DS использует два фиксированных шаблона (рис. 2, а): малый шаблон ромбического поиска (SDSP) и большой шаблон ромбического поиска (LDSP).

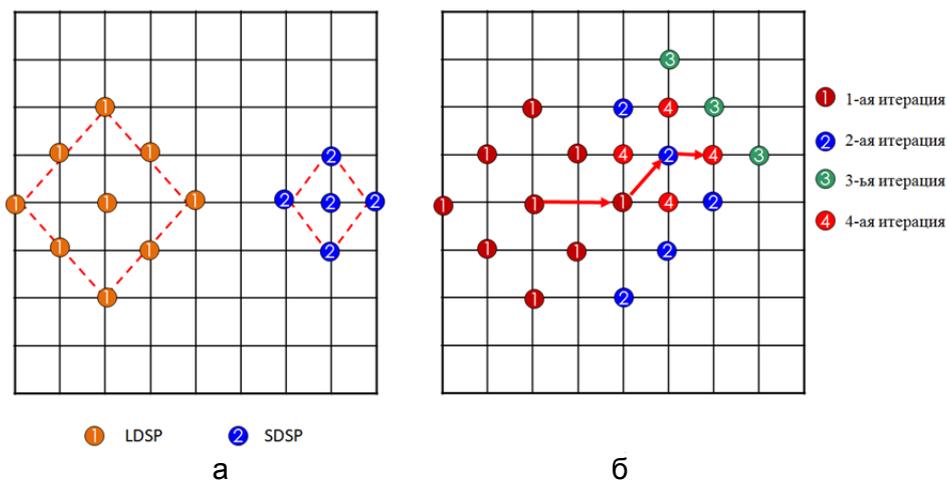


Рис. 2. LDSP и SDSP (а); пример работы алгоритма DS (б)

Алгоритм осуществляется следующим образом:

- Стадия 1 (поиск по LDSP). Начинается с шагом шаблона 2. Найти 8 точек вокруг центра области поиска, которые имеют координаты  $(x,y)$  и  $|x|+|y|=2$ . Найти точку с

наименьшим отклонением. Если найденная точка окажется центром, то перейти к стадии 2; в противном случае переместить центр в эту точку и повторить поиск по LDSP.

- Стадия 2 (поиск по SDSP). Установить шаг шаблона на 1. Найти точку с минимальным отклонением из установленных точек по SDSP. Построить вектор движения.

На рис. 2, б, представлен пример процесса построения траектории движения блока из 4 итераций алгоритма DS. Здесь и далее стадия – это этап выполнения алгоритма, а итерация – число исполнений алгоритма.

Этот алгоритм применим в большей степени для последовательности изображений с широким диапазоном движения. Он превосходит алгоритм TSS с точки зрения объема вычислений при одновременном выполнении примерно на 20–25%.

5. Перекрестный ромбический поиск (CDS). Алгоритм использует перекрестный шаблон поиска (CSP) для начальной стадии, а LDSP и SDSP для последующих [6]. Шаблон CSP имеет 9 точек с центром области поиска, который представлен на рис. 3, а.

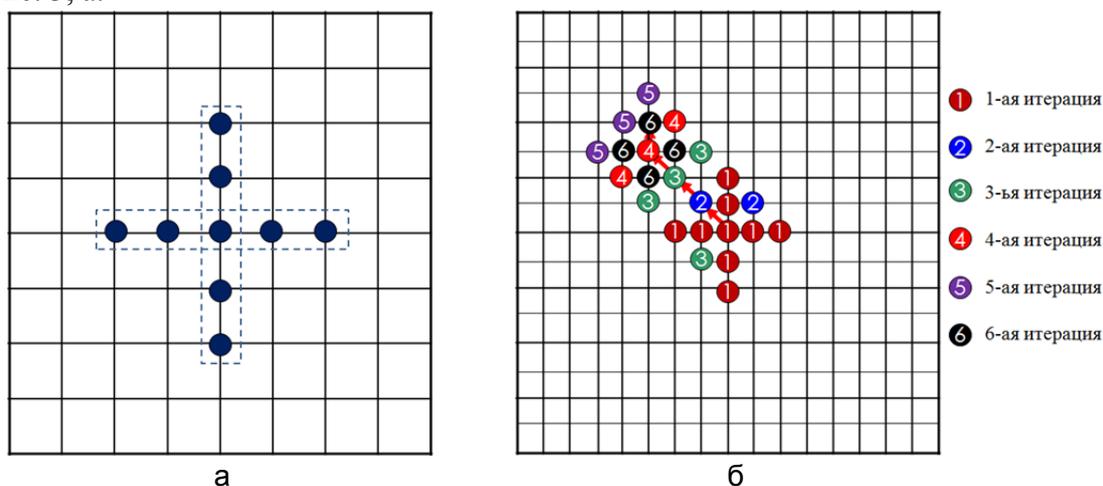


Рис. 3. CSP (а); пример процедуры алгоритма CDS (б)

Алгоритм можно описать следующим образом:

- Стадия 1. Найти точку с минимальным отклонением из 9 точек на шаблоне CSP. Если она кажется центром, то процесс закончится; в противном случае перейти к стадии 2.
- Стадия 2. Добавить 2 точки с координатами типа  $(\pm 1; \pm 1)$  близко найденной точке в стадии 1 (поиск по LDSP). Если необходимая точка окажется центром стороны CSP, т.е. точка с координатами типа  $(\pm 1; 0)$  или  $(0; \pm 1)$ , то процесс останавливается. В противном случае перейти к стадии 3.
- Стадия 3. Продолжить поиск по LDSP. Если необходимая точка находится в центре шаблона LDSP, то перейти к стадии 4. В противном случае повторить эту стадию.
- Стадия 4. Проводить поиск по SDSP. Построить вектор движения с помощью найденной точки.

На рис. 3, б, представлен пример процесса построения траектории движения блока с помощью алгоритма CDS из 6 итераций.

6. Адаптивный метод поиска шаблона (ARPS). Алгоритм использует тот факт, что общее движение в кадре, как правило, поступательное, т.е. если блоки вокруг текущего блока двигаются в определенном направлении, то существует высокая вероятность того, что текущий блок также будет иметь подобный вектор движения. Этот алгоритм использует вектор движения блока, находящегося непосредственно слева, для предсказания собственного вектора движения [7].

Данный алгоритм реализуется следующим образом (рис. 4).

- Стадия 1. Найти предсказанный вектор движения блока. Установить шаг шаблона на значение  $\max(|x|, |y|)$ , где  $(x, y)$  – координаты предсказанного вектора движения. Найти точки вокруг центра, находящиеся на расстоянии шага шаблона от центра. Найти точку с минимальным отклонением, в которую затем переместить центр.
- Стадия 2. Производить поиск по SDSР вокруг точки центра. Повторить поиск по SDSР до того, как точка с минимальным отклонением будет находиться в центре.

С точки зрения объема вычислений ARPS превосходит DS, так как в этом случае предсказанный вектор движения имеет координаты  $(0; 0)$ , ARPS сразу переходит к поиску по SDSР (не нужно проводить поиск по LDSР). Тем не менее, если вектор движения находится далеко от центра, то этот алгоритм быстрее переходит к поиску по SDSР, чем алгоритм DS.

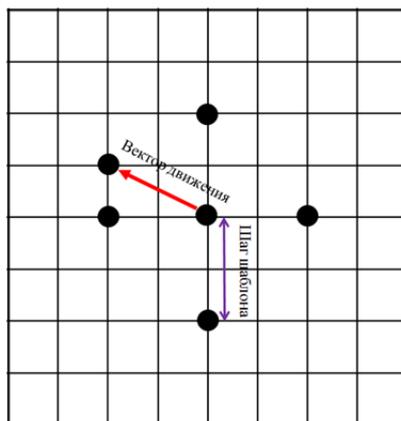


Рис. 4. Пример процедуры алгоритма ARPS

**Экспериментальные результаты.** Рассмотренные выше алгоритмы были реализованы с помощью MATLAB и протестированы с несколькими видеопоследовательностями, в том числе видео Tiger (34 кадра), видео Ronaldinho (34 кадра), видео Walkonwater (34 кадра) и видео Gun (34 кадра). Первая видеопоследовательность имеет пространственное разрешение  $320 \times 256$  пикселей и временную частоту дискретизации 25 кадров/с. Вторая последовательность имеет пространственное разрешение  $160 \times 128$  пикселей и временную частоту дискретизации 25 кадров/с. Третья последовательность имеет пространственное разрешение  $320 \times 256$  пикселей и временную частоту дискретизации 30 кадров/с. Последняя последовательность имеет пространственное разрешение  $256 \times 160$  пикселей и временную частоту дискретизации 29 кадров/с.

Для всех алгоритмов – размер блока для оценки движения  $16 \times 16$  и параметр поиска  $s=7$ . Сравнение средних количеств точек поиска по блоку представлено на рис. 5.

Покадровый коэффициент PSNR видео показан в таблице для различных тестовых видео.

Таблица. Среднее значение покадрового коэффициента PSNR, дБ

Видео	Алгоритмы					
	ES	TSS	FSS	DS	CDS	APRS
Tiger	35,4468	35,0898	35,1518	35,3339	35,2920	35,2723
Ronaldinho	28,5570	27,8704	28,1583	28,1932	28,1806	27,9857
Gun	35,0982	34,8786	34,8860	34,8744	34,8070	34,7522
Walkonwater	23,7942	23,5356	23,4151	23,4602	23,4325	23,5679

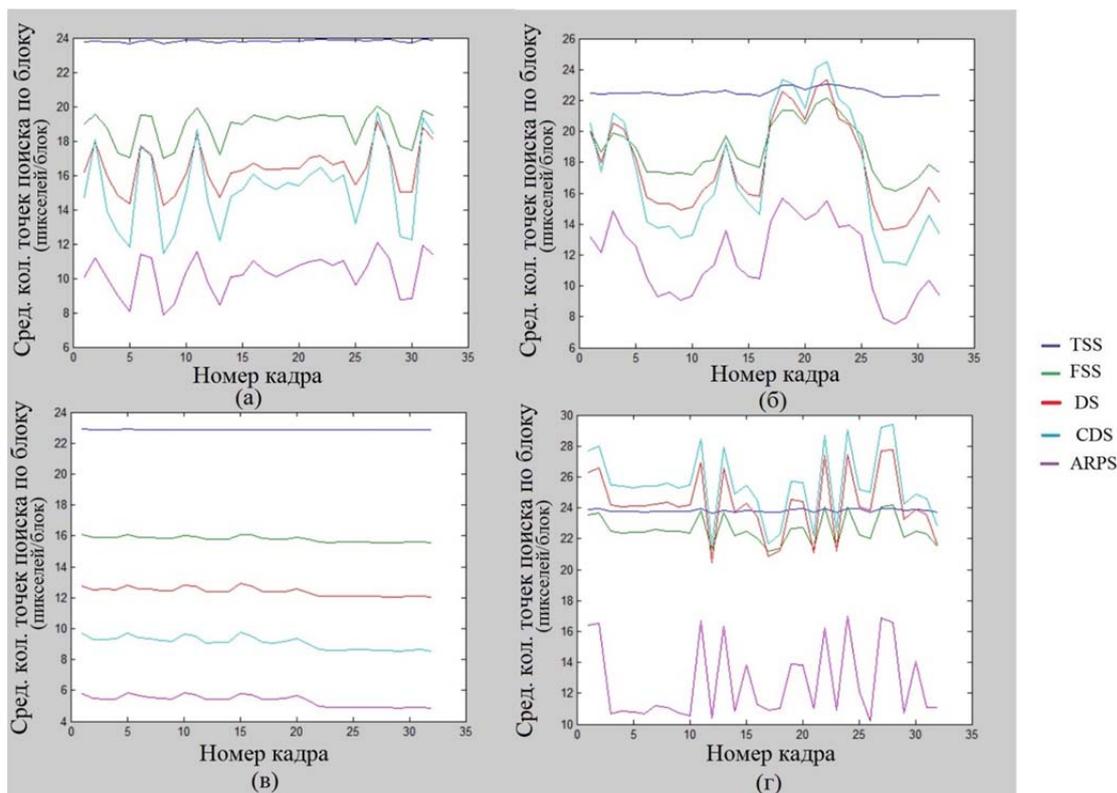


Рис. 5. Среднее количество точек поиска по блоку кадров видео: Tiger (а); Ronaldinho (б); Gun (в); Walkonwater (г)

**Вывод.** В ходе работы показано, что наилучшим алгоритмом сопоставления блоков из рассмотренных алгоритмов оказывается ARPS. Как следствие, вычислительные и временные затраты при кодировании видеосигнала кодеками по стандартам H.264 и MPEG-4 Visual значительно снижаются.

### Литература

1. Barjatya A. Block Matching Algorithms For Motion Estimation // DIP 6620 Final Project Paper in Digital Image Processing, Utah State University. – P. 1–6.
2. Chen M.J., Chen L.G. and Chiueh T.D. One dimensional Full Search motion estimation algorithm for video coding // IEEE transactions on circuits and systems for video technology. – 1994. – V. 4. – № 5. – P. 504–509.
3. Lap-Pui C., Xuan J. Efficient Three-Step Search Algorithm For Block Motion Estimation In Video Coding // Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). – 2003. – V. 3. – P. 421–424.
4. Lai Man P., Wing-Chung M. A Novel Four-Step Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 1996. – V. 6. – № 3. – P. 313–317.
5. Shan Z., Kai-Kuang M. A New Diamond Search Algorithm For Fast Block-Matching Motion Estimation // IEEE Transactions on Image Processing. – 2000. – V. 9. – № 2. – P. 287–290.
6. Chun-Ho C., Lai-Man P. A Novel Cross-Diamond Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2002. – V. 12. – № 12. – P. 1168–1177.
7. Yao N., Kai-Kuang M. Adaptive Rood Pattern Search For Fast Block-Matching Motion Estimation // IEEE Transactions on Image Processing. – 2002. – V. 11. – № 12. – P. 1442–1449.

УДК 334.02

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФТС РОССИИ В СФЕРЕ  
МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА С ТАМОЖЕННЫМИ СЛУЖБАМИ  
И ПРАВООХРАНИТЕЛЬНЫМИ ОРГАНАМИ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ**

**А.С. Николаев<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент И.А. Гокинаева<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе разработана методика оценки и расчета пяти контрольных показателей эффективности деятельности Управления таможенного сотрудничества ФТС России. Предложенные показатели оценки эффективности деятельности Управления таможенного сотрудничества ФТС России нуждаются в доработке и апробации, однако, по мнению авторов, они создадут основу для развития методологии оценки эффективности международной деятельности ФТС России.

**Ключевые слова:** международное таможенное сотрудничество, контрольные показатели эффективности деятельности.

Провозглашенный Правительством Российской Федерации (РФ) переход российской экономики к инновационному развитию и модернизации предполагает расширение международного взаимодействия РФ с разными странами мира и международными организациями по различным направлениям, в том числе по внедрению передовых технологий в сфере таможенного дела. Несмотря на возникшую в последние годы политическую и экономическую напряженность в мире, ведущие экономисты планеты говорят о необходимости углубления международной интеграции.

Взаимодействие между государствами проводится в различных сферах общественной жизни, в том числе и в сфере таможенного дела. Международное таможенное сотрудничество проводится в целях создания благоприятных условий для ведения внешней торговли, которые создают широкое поле для взаимодействия с таможенными и правоохранными органами иностранных государств не только в сфере обмена опытом по ускорению ведения торговли и минимизации рисков, но и в вопросах информационного обмена. В настоящее время динамично развивается взаимодействие таможенных органов в рамках ЕАЭС, разработаны программы совместного таможенного сотрудничества Федеральной таможенной службы РФ (ФТС России) со странами БРИКС, ШОС и другими мировыми и региональными интеграционными объединениями.

Деятельность ФТС России по развитию международного сотрудничества с таможенными и правоохранными органами иностранных государств требует выделения из бюджета дополнительных сумм на расходы по самым разным статьям: от организации международных конференций до средств, необходимых на открытие представительств ФТС России за рубежом. Во всех государственных структурах и учреждениях, чья деятельность финансируется из Федерального бюджета РФ, существует система оценки эффективности деятельности. Необходимость оценки эффективности деятельности каждого участника бюджетного процесса связана с понятием экономической выгоды. Правительство РФ должно иметь представление о том, насколько хорошо функционирует организация, справляется ли она с выполнением поставленных перед нею задач, и оправданы ли затраты на поддержание существующей структуры. Важным элементом определения эффективности деятельности ФТС России является оценка деятельности Управления таможенного сотрудничества (УТС) ФТС России в сфере международного таможенного сотрудничества.

Единой методологии оценки экономической эффективности деятельности ФТС России в области международного таможенного сотрудничества не существует. Это объясняется сложностью объекта оценки, который включает в себя широчайший спектр отношений от закупок фирменной полиграфической продукции до аренды зданий для

проведения международных встреч. В настоящей работе предложены варианты контрольных показателей эффективности деятельности (КПЭД), с помощью которых можно было бы оценить экономическую эффективность международного таможенного сотрудничества ФТС России.

На содержание 19 зарубежных представительств ФТС России ежегодно из Федерального бюджета РФ выделяется около 180 млн руб. [1]. Таким образом, ежегодно одно представительство ФТС России за рубежом получает финансирование в размере 9,5 млн руб. Штатная численность представительства ФТС России в Итальянской Республике, Китайской Народной Республике, Федеративной Республике Бразилия, Турецкой Республике и Республике Корея состоит из двух штатных единиц: главного представителя ФТС России в иностранном государстве и главного специалиста-эксперта (4,74 млн руб. на одну штатную единицу). Для оценки эффективности деятельности представительств ФТС России за рубежом, авторами предлагается ввести КПЭД: «Отдача от деятельности зарубежного представительства». Показатель следует рассчитывать отдельно для каждого из 19 представительств по формуле:

$$O_{AИП} = \frac{V_A^t}{Z_A^t}, \quad (1)$$

где  $O_{AИП}$  – отдача от деятельности иностранного представительства за рубежом;  $Z_A^t$  – затраты на содержание представительства ФТС России в стране «А» за год «t», млн руб.;  $V_A^t$  – совокупный объем таможенных платежей, поступивших в Федеральный бюджет РФ от взаимной торговли со страной «А» в году «t», млн руб. Показатель отдачи показывает сколько рублей таможенных платежей пришлось на 1 руб. затрат на содержание таможенного представительства ФТС России в стране «А». Используя эти данные можно рассчитать показатель емкости, разделив затраты на содержание представительства ФТС России в стране «А» за год «t» на совокупный объем таможенных платежей, поступивших в Федеральный бюджет РФ от взаимной торговли со страной «А» в году «t». Показатель емкости даст информацию о том, какая сумма таможенных платежей содержится в 1 руб. затрат на содержание таможенного представительства ФТС России в стране «А» [2].

Эффективность деятельности зарубежного представительства ФТС России можно также охарактеризовать по формуле:

$$O_{AИП} = \frac{V_A^t}{C_A^t}, \quad (2)$$

где  $O_{AИП}$  – отдача от деятельности иностранного представительства ФТС России за рубежом;  $C_A^t$  – средняя цена внешнеторговой сделки между участниками внешнеэкономической деятельности РФ и страны «А» за год «t», млн руб.;  $V_A^t$  – совокупный объем таможенных платежей, поступивших в Федеральный бюджет РФ от взаимной торговли со страной «А» по внешнеторговым соглашениям, инициированным таможенным представительством ФТС России в стране «А» в году «t», млн руб. Если затраты на содержание иностранного представительства ФТС России в стране «А» больше средней стоимости внешнеторговой сделки между РФ и страной «А» (значение показателя  $O_{AИП}$  будет меньше единицы), то мы можем говорить о неэффективности деятельности зарубежного представительства ФТС России в стране «А».

Некоторые международные Договоры и Соглашения в сфере таможенного дела, несмотря на их исполнение ФТС России не ратифицированы РФ. Отсутствие ратификации международных Договоров создает риск неопределенности для партнеров РФ, так как не ратифицированные соглашения могут не исполняться РФ, при этом на организацию встреч представителей таможенных служб разных стран и организацию двусторонних переговоров для подписания Международных договоров в зависимости от места совершения переговоров и количества проведенных раундов тратятся от 230 тыс. руб. до 1 млн руб. [3].

Авторами предлагается КПЭД УТС ФТС России: «Доля ратифицированных и

применяемых на практике международно-правовых актов от общего числа заключенных актов в году «*t*», рассчитываемый по формуле:

$$d = \frac{РД}{ЗД} \times 100 \%, \quad (3)$$

где *d* – доля ратифицированных международно-правовых актов от общего числа заключенных актов в году «*t*», %; РД – количество ратифицированных договоров, заключенных в году «*t*», шт.; ЗД – общее количество договоров и иных международных правовых актов, заключенных в году «*t*», шт.

В 2012 г. ФТС России было заключено 26 Международных соглашений и договоров, из них в 2015 г. ратифицировано 24. Значение КПЭД «Доля ратифицированных и применяемых на практике международно-правовых актов от общего числа заключенных актов в году «*t*» в 2012 г. составило 92,3% [4]. Значения КПЭД «Доля ратифицированных и применяемых на практике международно-правовых актов от общего числа заключенных актов в году «*t*» необходимо пересчитывать и уточнять, поскольку по некоторым Договорам и Соглашениям от подписания до ратификации проходит несколько лет.

Традиционно при подписании каких-либо важных стратегических документов участники национальных делегаций после официальной части переговоров посещают театры, выставки или ужины. На портале государственных закупок РФ содержатся сведения о проведении ФТС России электронного аукциона на организацию в 2012 г. рекреационных мероприятий для иностранных делегаций на сумму 10 млн руб.

Предложено включить в процедуру оценки эффективности международного таможенного сотрудничества КПЭД «Доля затрат на рекреационные мероприятия», который рассчитывается по формуле:

$$dЗ_p = \frac{\sum З_p}{\sum З} \times 100\%, \quad (4)$$

где *dЗ<sub>p</sub>* – доля затрат на рекреационные мероприятия, %; *З<sub>p</sub>* – затраты на проведение рекреационных мероприятий, млн руб.;  $\sum З$  – сумма всех затрат на организацию и проведение международных переговоров, млн руб.

В рамках анализа эффективности расходования бюджетных средств при проведении международных переговоров предложено произвести расчет КПЭД: «Стоимость подписания одного соглашения» по формуле:

$$Ц_1 = \frac{\sum З}{ЗД}, \quad (5)$$

где *Ц<sub>1</sub>* – стоимость подписания одного соглашения, млн руб.;  $\sum З$  – сумма годовых всех затрат на организацию и проведение международных переговоров, млн руб.; ЗД – количество заключенных Договоров или Соглашений, шт.

Для анализа эффективности расходования бюджетных средств при проведении международных переговоров предложено введение КПЭД: «Экономический эффект от реализации Соглашения», рассчитываемого по формуле:

$$ЭФ = \frac{ТП}{\sum З}, \quad (6)$$

где ЭФ – экономический эффект от реализации Соглашения, млн руб.; ТП – объем таможенных платежей, поступивших в Федеральный бюджет РФ от реализации соглашения, млн руб.;  $\sum З$  – сумма затрат на организацию и проведение переговоров для подписания данного Соглашения, млн руб.

Трудность расчета КПЭД «Экономический эффект от реализации Соглашения» состоит в том, что необходимо оценить выгоду от реализации Соглашения. Выгоду можно измерить в увеличении сумм таможенных платежей или увеличении товарооборота между странами – сторонами Соглашения, но целесообразнее делать это по таможенным платежам, так как они являются прямыми доходами Федерального бюджета РФ.

Предложенные показатели оценки эффективности деятельности УТС ФТС России

нуждаются в доработке и апробации, однако, полагаем, что они создадут основу для развития методологии оценки эффективности международной деятельности ФТС России.

В результате работы были выявлены проблемы, затрудняющие интенсивное развитие международного таможенного сотрудничества. Среди них наиболее серьезной является проблема отсутствия системы индикаторов и контрольных показателей оценки эффективности деятельности ФТС России в сфере международного сотрудничества с таможенными и правоохранительными органами иностранных государств. Сегодня международное таможенное сотрудничество развивается в условиях политической и экономической нестабильности. Для преодоления существующих трудностей УТС ФТС России следует проводить согласованную с Правительством РФ политику международного таможенного сотрудничества. Провозглашенный Правительством РФ переход российской экономики к инновационному развитию и модернизации предполагает расширение международного взаимодействия РФ с разными странами мира и международными организациями по внедрению передовых технологий в сфере таможенного дела. В этой связи целесообразно расширить международное таможенное сотрудничество в сфере академических исследований и научных разработок, так как в период экономического кризиса именно результаты научной деятельности являются источником развития для всех сфер общественной жизни страны.

### Литература

1. Федеральный закон РФ от 01.12.2014 № 384-ФЗ «О федеральном бюджете на 2015 год и на плановый период 2016 и 2017 годов».
2. Российский статистический ежегодник 2014. Сборник статей. – М.: Росстат, 2014. – 693 с.
3. Официальный сайт Российской Федерации в сети Интернет для размещения информации о размещении заказов на поставки товаров, выполнение работ, оказание услуг [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakupki.gov.ru>, своб.
4. Ежегодный сборник «Таможенная служба Российской Федерации в 2015 году». – М.:, 2016. – 76 с.

УДК 62-529

### СПОСОБЫ АКТИВНОЙ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ

П.В. Новокшенов<sup>1</sup>, Ю.В. Федосов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены причины снижения точности технологических систем, при этом особое внимание уделено компенсации вибраций рабочего органа. Предложена схема активной компенсации погрешностей с использованием подвижной платформы, приводимой в движение пьезоприводами. Рассмотрена схема контроля положения платформы, приведен пример расчета компенсации погрешности для системы позиционирования лазерного луча.

**Ключевые слова:** лазер, активная компенсация, технологическое оборудование, пьезоприводы.

Одними из характерных особенностей современных технологических систем являются их сложность и высокая скорость работы. Точность системы во многом зависит от конструкции системы, ее жесткости, износостойкости, теплостойкости и виброустойчивости.

Вибрация оборудования может быть обусловлена недостаточной жесткостью конструкции, близостью транспортных путей, неподходящим типом электропривода, или неверно заданными параметрами управления приводами, а также особенностями расположения оборудования и, как следствие, собственными колебаниями конструкции

оборудования и цехов. Также может вибрировать сама конструкция технологического оборудования, причем вибрация корпуса может входить в резонанс с остальными частями оборудования на различных гармониках.

Вибрации технологического оборудования оказывают непосредственное влияние на точность изготовления деталей, а также могут привести к разбалансировке узлов точного оборудования. При этом возможно образование положительной обратной связи – чем больше разбалансируется узел, тем сильнее он становится подвержен воздействию резонанса. К сожалению, несмотря на ряд существующих решений, направленных на гашение колебаний, они не позволяют устранить вибрации полностью. Так, виброизоляторы гасят вибрации только в определенных диапазонах (например, 5–2500 Гц [1]).

Особенно актуальным гашение вибраций становится для высокоточного оборудования, например, проводящего лучевую обработку заготовок. В качестве решения такой задачи может выступить активная компенсация вибрации. Для примера подверженного вибрациям технологического оборудования рассмотрим координатный стол, по которому перемещается каретка (рис. 1). Установленный на каретке рабочий орган перемещается в направляющих вдоль двух взаимоперпендикулярных осей с помощью шаговых двигателей и пар винт-гайка.

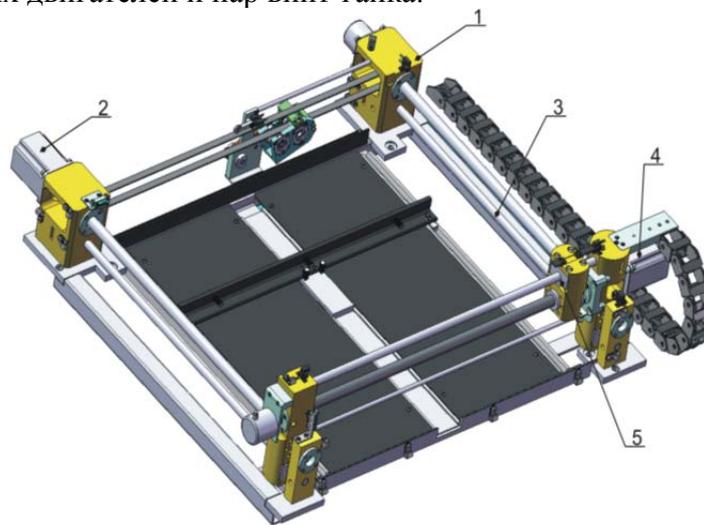


Рис. 1. Координатный стол: 1 – корпус; 2, 4 – шаговые двигатели; 3 – направляющая; 5 – подвижная каретка

Поскольку в качестве привода используется шаговый двигатель, вращение ротора которого происходит ступенчато, а величина шага зависит от количества пар полюсов, то при малой степени электромеханической редукции угла поворота движение будет происходить слишком резко, что неизбежно вызовет вибрации. Также важно учесть режим работы двигателя (статический режим, квазистатический режим, установившийся режим, переходный режим) [2].

Все возможные причины вибраций, указанные выше, возможно предусмотреть и постараться компенсировать при проектировании конструкции. Но если необходима высокая степень точности, то могут потребоваться адаптивные элементы [3], сводящие колебания рабочего органа к минимальным величинам.

На сегодня системы активной компенсации вибрации уже широко используются в объективах различной фото- и видеотехники, однако предлагаемые решения не позволяют использовать их в составе технологического оборудования, поскольку они имеют достаточно большие погрешности, обусловленные несовершенством кинематических схем объективов вследствие слишком больших свободных зазоров в механических узлах.

Рассмотрим платформу, кинематическая схема которой приведена на рис. 2.

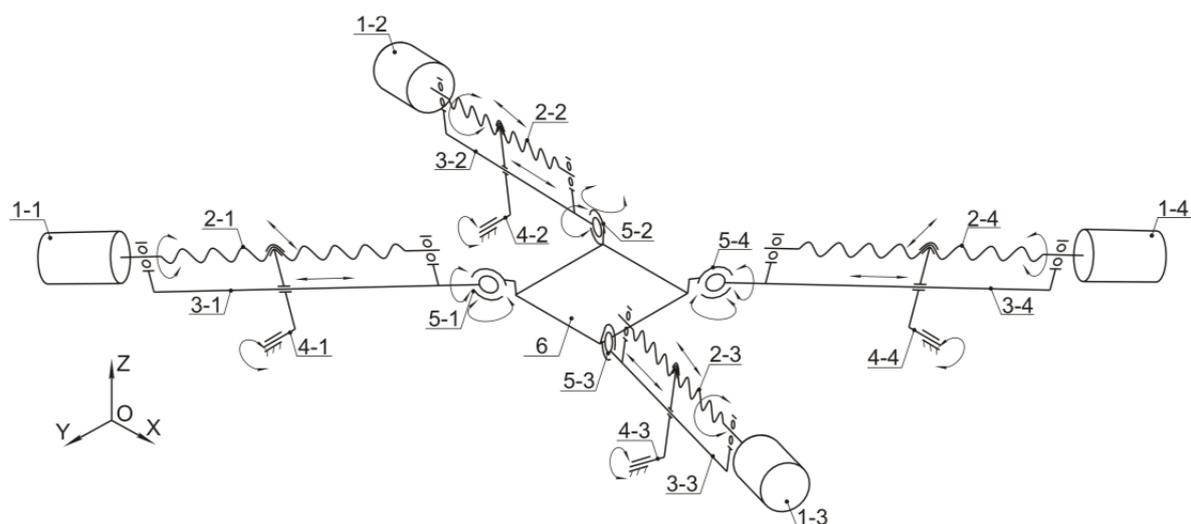


Рис. 2. Кинематическая схема платформы: 1 – двигатели; 2 – винты; 3 – направляющие; 4 – петли; 5 – шаровые наконечники; 6 – подвижная платформа

Использование подобной компоновки и наличие трех степеней свободы (два поворота вокруг горизонтальных осей и линейное перемещение вдоль вертикальной оси) обеспечивают постоянство нахождения центра подвижной платформы относительно оптической оси системы. Для изменения длин тяг могут использоваться линейные двигатели, шаговые двигатели с парами винт-гайка, либо пьезопроводы.

Рассмотрим возможность активной компенсации вибрации, когда в качестве движущихся элементов используются адаптивные элементы на основе пьезодвигателей, в которых механическое перемещение достигается за счет обратного пьезоэлектрического эффекта.

Пьезопроводы – практически безынерционные, обеспечивают отличную приемистость (движение с ускорением до 10g), почти бесшумны в звуковом диапазоне (30 Гц–15 кГц). При этом точность позиционирования может достигать значения в единицы микрометров. Диапазон рабочих частот пьезопроводов находится в пределах от 40 до 200 кГц.

Области применения пьезопроводов довольно обширны – это и приводы для измерительных устройств, таких как электронные и туннельные микроскопы, приводы манипуляторов различных сборочных роботов. Основное преимущество пьезопроводов – возможность прямого позиционирования с высокой точностью. Отметим, что точность позиционирования пьезопровода может достигаться без использования датчиков положения – благодаря тому, что движение происходит без проскальзывания, и перемещение прямо пропорционально числу импульсных сигналов, приложенных к пластинам актуатора.

Возьмем для примера случай компенсации погрешности позиционирования лазерного луча. Пусть рабочий пучок имеет диаметр 500 мкм, погрешность позиционирования каретки – 400 мкм на каждые 500 мм. При использовании пьезопровода типа SQL, имеющего погрешность позиционирования 0,5 мкм, необходим ход компенсирующего элемента в 800 мкм. При общей длине свободного хода штока, равной 6000 мкм, возможно скомпенсировать погрешности позиционирования в заданном диапазоне с точностью до 0,5 мкм. Такое решение полностью удовлетворяет поставленной задаче.

Для отслеживания погрешности позиционирования рабочего органа можно применить схему, содержащую один гироскоп и два акселерометра (рис. 3).

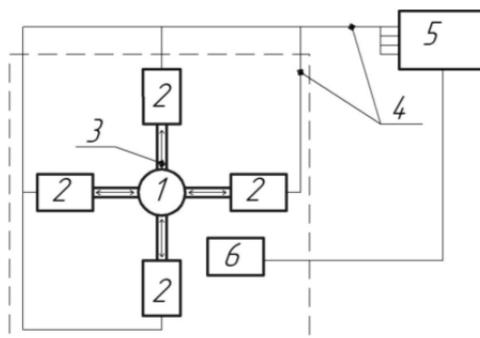


Рис. 3. Структурная схема устройства компенсации вибраций: 1 – рабочий орган; 2 – пьезопровод; 3 – механические связи; 4 – электрические связи; 5 – вычислительный блок; 6 – платформа с акселерометрами и гироскопами

Для корректной работы схемы необходим вычислительный блок 5, который будет в зависимости от показаний гироскопической платформы управлять приводами на опережение колебаний с достаточной скоростью [4].

### Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://npckvadra.ru/wp-content/uploads/2013/08/tros\\_vibr\\_tip.pdf](http://npckvadra.ru/wp-content/uploads/2013/08/tros_vibr_tip.pdf), своб.
2. Шаговые двигатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ficom.ru/mcu/stepper/stp\\_basics.html](http://ficom.ru/mcu/stepper/stp_basics.html), своб.
3. Магистерская программа «Высокие технологии в машиностроении» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/465/6521.php>, своб.
4. Сеницын И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева. – М.: Логос, 2006. – 640 с.

УДК 00.004

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛИНОЙ СЕМЬИ, КОНТРОЛИРУЕМЫХ АКУСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Д.В. Овсянников<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель З.Г. Симоненко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Выполнен аналитический обзор существующих методов исследования характеристик состояния акустическими методами для выбора устройства-аналога. Проведены исследования для установления корреляции частотного диапазона звука пчелиной семьи и характеристик ее состояния. Определена структура нейронной сети для идентификации характеристик состояния пчелиной семьи.

**Ключевые слова:** состояния для акустического анализа, акустический сигнал, искусственная нейронная сеть, частотный диапазон, пчелиная семья.

Биология пчелиной семьи представляет большой интерес и всегда была предметом многовекового изучения. Особенного внимания заслуживают звуки, издаваемые пчелиной семьей, по звуковому фону которого можно приближенно судить о ее состоянии.

По звукам, издаваемым пчелиной семьей (звуковому фону улья), хотя и очень приближенно, можно судить о ее состоянии. Субъективность и низкая точность контроля состояния пчел на слух ограничивают сферу его применения. Однако в большинстве случаев желательно, а иногда крайне необходимо контролировать состояние семей, не вскрывая улья (весь период зимовки; в летний период, когда в

природе нет цветущих медоносов; контроль за отношением безматочных семей к новой матке и, в особенности, в исследовательской работе).

Данная работа посвящена анализу методов и устройств, применяемых в исследованиях рассматриваемой предметной области.

Для проведения исследования в полном объеме необходимо было провести анализ существующих аналогов методов и приборов для контроля характеристик состояний пчелиной семьи акустическими методами.

По данным из литературных источников [1–4] установлено, что полный частотный диапазон пчелиной семьи находится от 20–6 кГц. Именно данный диапазон показывает нормальное здоровое состояние жизнедеятельности пчел. В редких случаях были замечены колебания в области частот 8–10 кГц [1], что могло быть вызвано раздражением пчел на наличие постороннего объекта (диктофона) в улье или раздражительной реакцией на электромагнитные волны.

Наиболее распространенным является способ определения информативных спектральных составляющих акустического сигнала пчелиных семей [1] при распознавании их состояний, заключающийся в получении амплитудного или энергетического спектра, производимого пчелиной семьей акустического шума в предварительно ограниченном частотном диапазоне 60–600 Гц. А также в выделении усредненных по нескольким реализациям сигнала нормированных значений спектральных составляющих в выделенных узких полосах частот, совместно перекрывающих весь указанный диапазон частот.

Основными недостатками этого способа являются:

- отсутствие возможности точно определять информативные частотные полосы, так как оцениваемые интенсивности и стабильности не позволяют точно определить информативные частотные полосы, при этом оценивается приблизительное нахождение этих частотных полос. Недостаточно точное расположение этих частотных полос уменьшает количество распознаваемых состояний;
- затрудняется распознавание конкретных состояний пчелиных семей, увеличивается время анализа, не обеспечивается возможность количественной оценки достоверности распознавания, и, как следствие, усложняется аппаратная реализация средств распознавания.

Основной задачей является повышение количества распознающих состояний пчелиных семей, а также их достоверность путем точного размещения наименьшего количества информативных частотных полос при значительном упрощении вычислений, упрощении алгоритма распознаваний.

Первоначально полосы частот узкополосных частотных фильтров определяют согласно способу, рассмотренному в устройстве-аналоге [4]. Затем с использованием описанного способа анализируется наибольшее количество акустических сигналов пчелиных семей с различными состояниями.

На основании проведенного анализа выявлены следующие состояния: рабочее – ношение меда; роевое – после закладки маточников; роевое – в день выхода роя; пчелиная семья без матки; отводок без матки (вновь организуемая искусственным путем пчелиная семья); безматочная пчелиная семья, в которую подсаживают новую матку; отводок, в который подсаживают новую матку; зимующая пчелиная семья в зимовнике при различном времени записи в течение зимовки; пчелиная семья, на которую воздействовали переменным электрическим полем напряженностью 400 В/см [1] в рабочем состоянии; пчелиная семья, на которую воздействовали переменным электрическим полем в роевом состоянии; тип улья; состояние кормовых запасов; время контроля и т.д. [1, 2].

Устройство-аналог, реализующее способ, основанный на анализе интенсивностей сигналов в наиболее информативном частотном диапазоне и диагностики путем

сопоставления на экране индикатора накладываемых трафаретов, соответствующих определенным состояниям пчелиной семьи, представлено на рис. 1.

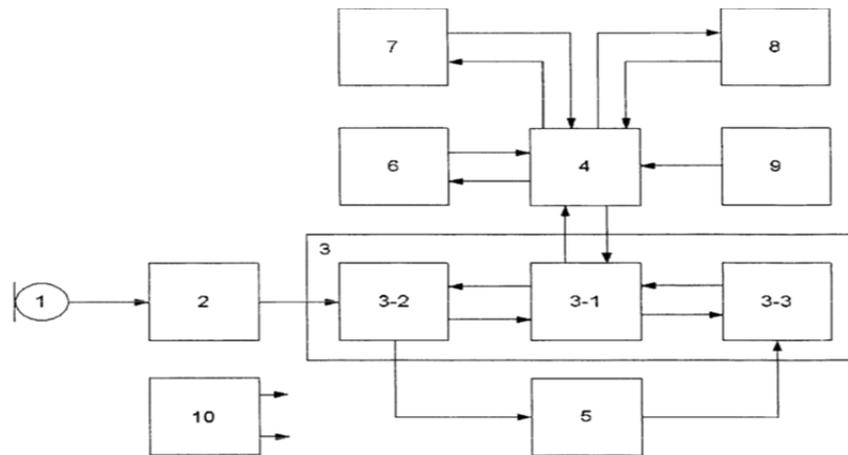


Рис. 1. Структурная схема устройства-аналога

Пчеловод с использованием клавиатуры 8, запускает в работу программу микроЭВМ 4, которая через второй информационный выход включает в работу микросхему часов реального времени 6, по второму информационному входу микроЭВМ 4 получает код подтверждения подключения микросхемы часов реального времени 6. Время начала измерения записывается во FLASH-памяти 7 через третий информационный выход микроЭВМ 4, соответственно FLASH-память 7 выдает код подтверждения на третий информационный вход микроЭВМ 4.

В процессе измерения звуковой сигнал с выхода микрофона 1 поступает на усилитель 2, а с его выхода на первый вход микросхемы PSoC на вход блока узкополосных частотных фильтров 3-2.

С первого выхода микросхемы PSoC, которая представляет собой выход перестраиваемых узкополосных частотных фильтров 3-2, отфильтрованные сигналы акустического шума пчелиной семьи поступают на входы блока детекторов средневыпрямленного значения 5.

Детектированные сигналы с выхода блока детекторов средневыпрямленного значения 5 поступают на второй шинный вход микросхемы PSoC, представляющий шину входа блока компараторов 3-3.

На выходах блока компараторов 3-3 формируются кодовые сообщения, которые поступают на информационные входы микроконтроллера 3-1. Затем они поступают на первый информационный вход микроЭВМ 4 на обработку и для выдачи диагностического сообщения через пятый информационный выход микроЭВМ 4 на жидкокристаллический индикатор 9, который формирует сигнал подтверждения, поступающий на пятый информационный вход микроЭВМ 4.

Недостатком этого устройства является неудобство в процессе диагностирования, так как спектральные составляющие при каждом анализе неизвестного состояния могут отличаться от трафарета с известным состоянием, требуется осуществлять подбор, что снижает скорость диагностирования, трафареты могут быть потерянными, а также неточно с приближением принимать решение о принадлежности к диагностируемому состоянию, низкая достоверность диагностирования.

Проведен анализ экспериментальных частотных характеристик из различных литературных источников для отдельных характеристик состояний пчелиной семьи. Затем на реализованном макете, аналогичном устройству-аналогу, были проведены установочные экспериментальные измерения, необходимые для корреляции экспериментальных данных с данными, полученными ранее с устройства-аналога.

Измеренные частотные характеристики представлены на рис. 2.

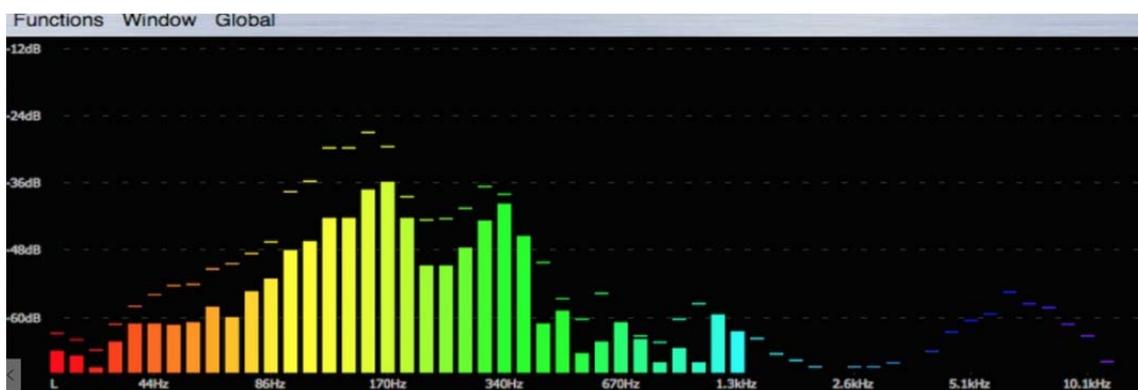


Рис. 2. Частотные спектры здоровой пчелиной семьи с маткой, полученные в летний период (август)

Наблюдается повышение в области частот в диапазоне 5–12 кГц.

Измеренные частотные характеристики хорошо укладываются в диапазоны частот, измеренных на устройстве-аналоге, и коррелируют с имеющимися характеристиками из литературных источников.

Для создания программного модуля устройства была предложена модель нейронной сети, так как именно данный метод искусственного интеллекта предназначен для задач классификации, идентификации, в том числе и для решения задач распознавания образов, прогнозирования и управления.

Структура нейронной сети определяется следующими факторами: типом исходных данных, хранящихся в базе данных, реализуемой парадигмой обучения, числом нейронов в скрытых слоях, количеством классов данных по статистической выборке. Нейронная сеть работает с акустическими данными, записываемыми в улье в течение определенного отрезка времени.

Входной слой сети имеет 6000 нейронов, что соответствует возможному диапазону записываемых частот (0–6000 Гц). Выходной слой сети имеет 15 узлов, что соответствует количеству возможных характеристик состояния пчелиной семьи.

В качестве метода обучения искусственной нейронной сети был выбран алгоритм обратного распространения ошибки, как наиболее распространенный и широко используемый в настоящее время метод [5].

В ходе проектирования сети используется деструктивный метод: создается сеть завышенного объема (3 скрытых слоя, в каждом из которых количество узлов равно  $1,2n$ , где  $n$  – среднее арифметическое между числом входных и выходных нейронов). В процессе обучения сети завышенного объема производятся наблюдения, какие из нейронов малозначимы для ее корректной работы, после чего такие узлы исключаются из структуры, и сеть обучается заново. Процесс повторяется до тех пор, пока не будет получен оптимальный объем сети.

Основным итогом работы можно считать: проведенный анализ существующих методов исследования характеристик состояния акустическими методами для выбора устройства-аналога, исследования и установочные эксперименты для установления корреляции частотного диапазона звука пчелиной семьи и характеристик ее состояния. Определена структура нейронной сети для идентификации и классификации характеристик состояния пчелиной семьи.

## Литература

1. Патент № 2099942. Устройство для акустического контроля за состоянием пчелиной семьи // Дрейзин В.Э., Рыбочкин А.Ф., Захаров И.С., Еськов Е.К. Опубл. 27.12.1997.

2. Huw Evans Beng Ph.D & Sandra Evans MSc. Remote Hive Monitoring [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.apimondia.com/congresses/2013/Economy/Plenary-Session/Remote%20Hive%20Monitoring%20-%20Huw%20Evans%20Beng.pdf>, своб.
3. Bencsik M., Bencsik J., Baxter M., Lucian A., Romieu J., Millet M. Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations // Computers and Electronics in Agriculture. – 2011. – V. 76. – № 1. – P. 44–50.
4. Патент №2259041. Рыбочкин А.Ф. (RU), Дрейзин В.Э. (RU), Захаров И.С. (RU), Дрёмов Б.Б. (RU), Кутузов А.А. (RU). Способ и устройство диагностики состояний пчелиных семей по их акустическому шуму. Опубл. 27.08.2005.
5. Портал искусственного интеллекта AIportal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aiportal.ru/articles/neural-networks/back-propagation.html>, своб.

УДК 681.785.223

### ПРИМЕНЕНИЕ РЕФРАКТОМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

П.В. Однороченко<sup>1</sup>, А.Д. Яськов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена принципиальная схема и основные конструктивные особенности промышленного рефрактометра для контроля состава растворов на химических, пищевых, целлюлозно-бумажных производствах. Приводится краткое описание составных частей, а также технико-эксплуатационные характеристики.

**Ключевые слова:** промышленная рефрактометрия, показатель преломления, химические производства.

В современных химико-технологических производствах требуется контроль за состоянием процессов в режиме реального времени. Из числа известных методов наиболее универсальной и практичной является промышленная рефрактометрия, основанная на явлении полного внутреннего отражения света на границе раздела контролируемой жидкофазной среды и рабочей оптической призмы. На большинстве отечественных предприятий в настоящее время используются промышленные рефрактометры зарубежного производства, которые часто не удовлетворяют требованиям производств, поэтому создание отечественного промышленного рефрактометра универсального назначения, способного заместить импортные аналоги, является актуальным.

Принцип действия промышленных рефрактометров основан на использовании явления полного внутреннего отражения света на границе раздела сред с различным показателем преломления [1] – исследуемой жидкофазной среды с меньшим показателем преломления и рабочей призмы рефрактометра с большим показателем преломления. Принципиальная оптическая схема промышленного рефрактометра полного внутреннего отражения приведена на рис. 1, а.

Световой поток от источника излучения, в качестве которого обычно применяется светодиод, падает на входную грань оптической призмы и после преломления, передается на внутреннюю поверхность ее рабочей грани, которая находится в контакте с контролируемым раствором. Световой поток, отраженный от рабочей грани делится на две зоны: световую и затемненную, как показано на рис. 1, а. Световые лучи, падающие на рабочую грань под углами, больше критического, в результате полного внутреннего отражения образуют светлую область изображения на фотоприемнике. Лучи, падающие на рабочую грань под углами, меньше предельного, частично попадают в раствор и частично отражаются, в результате чего на фотоприемнике

образуется затемненная зона. В результате наложения двух зон на фотоприемнике формируется граница «свет-тень».

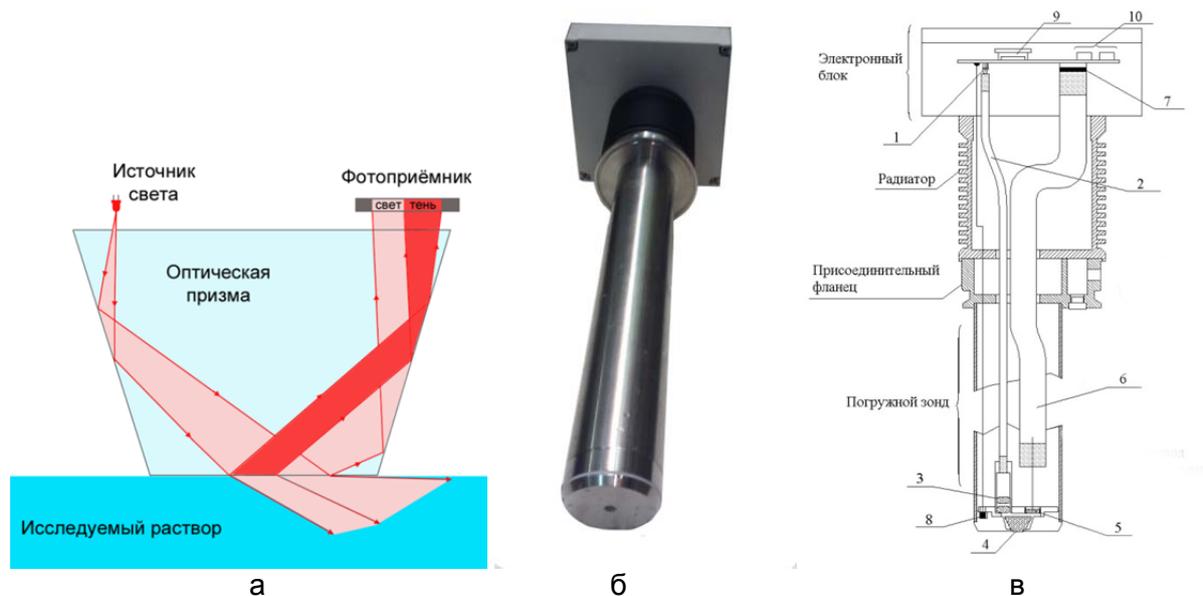


Рис. 1. Принципиальная схема промышленного рефрактометра (а); внешний вид промышленного рефрактометра (б); структурная схема (в): 1 – светодиод; 2, 6 – оптоволоконные жгуты; 3 – двухлинзовый конденсор; 4 – призма; 5 – объектив; 7 – ПЗС-линейка; 8 – термодатчик; 9 – дисплей; 10 – токовые выходы

Положение этой границы на многоэлементном фотоприемнике зависит от соотношения показателей преломления материала оптической призмы и исследуемого раствора, а также длины волны излучения и температуры среды. Поскольку показатель преломления призмы, длина волны излучения остаются постоянными, то по положению границы «свет-тень» на фотоприемнике можно однозначно определить показатель преломления раствора при данной температуре раствора. Таким образом, если известен показатель преломления исследуемого раствора и его концентрационная и температурная зависимости показателя преломления, то на основании online рефрактометрических данных можно определить концентрацию сухого остатка или концентрацию растворенного вещества и растворителя в двухкомпонентном жидкофазном растворе [2].

Структурная схема и внешний вид разработанного промышленного рефрактометра приведены на рис. 1, б, в.

Существенное преимущество представляемого рефрактометра в сравнении с зарубежными аналогами состоит в том, что он представляет собой моноблок, совмещающий погружной зонд с оптической системой и электронный блок сбора, обработки и вывода данных измерений концентрации и температуры раствора.

Излучение от светодиода 1 с длиной волны  $\lambda=633$  нм направляется на рабочую грань оптической призмы 4 через оптоволоконный жгут 2. На границе раздела «исследуемый раствор – рабочая грань призмы полного внутреннего отражения» формируется граница «свет-тень». Ее изображение через объектив 5 направляется на входной торец регулярного оптоволоконного жгута 6, который устанавливается в фокальной плоскости объектива 5. Оптоволоконный жгут 6 передает распределение света на границе раздела «свет-тень» на многоэлементный фотоприемник 7. Сигнал с фотоприемника обрабатывается и представляется на графическом дисплее в виде численных значений показателя преломления, концентрации раствора и его температуры. Вывод данных измерений производится также на два токовых выхода 10. В состав прибора входит термодатчик 8, который используется для температурной корректировки результатов рефрактометрических измерений.

Погружной зонд и соединительная трубоарматура (фланцы, патрубки, установочные хомуты и др.) изготавливались из нержавеющей сплава 12Х18Н10Т, рекомендованного к применению в пищевых и значительной части химических производств.

В оптической системе данного рефрактометра установлена призма, изготовленная из лейкосапфира, геометрическая конфигурация и ход лучей в которой представлены на рис. 2.

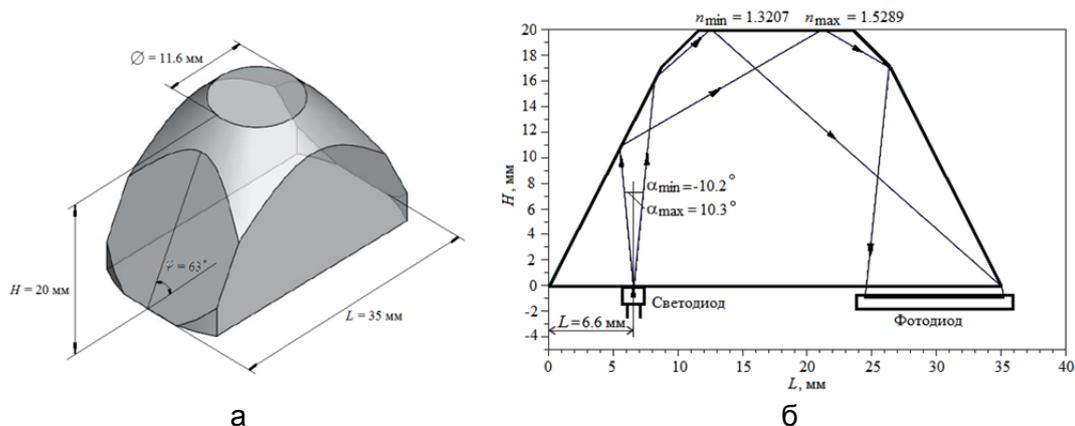


Рис. 2. Рабочая призма в оптической системе рефрактометра: геометрическая конфигурация (а); ход лучей в призме (б)

Данная призма обеспечивает возможность работы рефрактометра в широком диапазоне значений показателя преломления  $n=1,3207-1,5289$ . Рабочий диапазон прибора по показателю преломления  $n$  определяется углом преломления призмы и углом диаграммы направленности светодиода  $\alpha=20,5^\circ$ , который установлен в приборе.

Электронная плата сбора и обработки данных смонтирована в корпусе FIBOX серии MNX, изготовленного из поликарбоната, с защитой от внешних факторов по стандарту IP-67 [3]. Электронная плата собрана на основе процессора MICROCHIP DS PIC 30F6013. На плате в качестве фотодетектора установлена ПЗС-линейка TAOS TSL1402R, длина фоточувствительного слоя которой составляет 16 мм. Светодиод HAMAMATSU L7868 с длиной волны  $\lambda=633 \text{ нм}$  при помощи проводов напаивался на электронную плату. На дисплей прибора одновременно выводились результаты измерений показателя преломления, концентрации раствора и его температура. Эти данные также дублируются на токовые выходы 4–20 мА.

Калибровка прибора предполагала использование от 4 до 8 эталонных растворов, показатель преломления которых измерялся при помощи цифрового рефрактометра «Expert Pro» или же лабораторного рефрактометра Аббе (УРЛ-1). Далее в кюветы с эталонными растворами поочередно погружался зонд рефрактометра и определялся нормированный сигнал ПЗС-линейки в зависимости от показателя преломления растворов. Полученный нормированный сигнал вводился в память прибора и определял его показания по показателю преломления и концентрации.

Основные технико-эксплуатационные характеристики разработанного рефрактометра представлены в таблице.

Таблица. Техничко-эксплуатационные характеристики промышленного рефрактометра

Технические характеристики	Промышленный рефрактометр
Рабочий диапазон показателя преломления среды	1,3207–1,5289
Рабочий диапазон измерения концентрации в шкале Brix	0–100%
Погрешность измерения показателя преломления	$\pm 0,0002$
Погрешность измерения концентрации	$\pm 0,1\%$

Технические характеристики	Промышленный рефрактометр
Допустимые пределы изменения температуры исследуемого раствора	0–140°C
Погрешность определения температуры исследуемого раствора	±1°C
Масса, не более	5,5 кг
Питание прибора	220 В/50 Гц или 24 В
Время выхода прибора на рабочий режим	20 мин
Токовые выходные сигналы	4–20 мА

Необходимо заключить, что по сравнению с зарубежными аналогами данный прибор имеет следующие преимущества:

1. предлагаемая здесь моноблочная конфигурация рефрактометра позволяет упростить и удешевить конструкцию прибора в целом, а также оптимизировать программное обеспечение за счет исключения обмена данными между двумя отдельными устройствами по сравнению с известными зарубежными аналогами [4, 5], использующими раздельное расположение погружного зонда и оптоэлектронной системы сбора, обработки и вывода данных измерений;
2. в предлагаемом рефрактометре использована оптическая призма, рабочая грань которой в 8–10 раз увеличена в сравнении с зарубежными аналогами [4, 5]. Это позволило в большинстве его реальных применений обходиться без дополнительных внешних систем очистки рабочей грани призмы от продуктов осаждения из контролируемого потока. Такие системы, использующие перегретый пар или воду высокого давления [4], также усложняют и существенно увеличивают стоимость прибора;
3. благодаря использованию волоконно-оптических жгутов, в предлагаемом приборе можно существенно увеличить длину погружного зонда и, таким образом, обеспечить монтаж прибора на трубопроводах большого диаметра и технологических емкостях.

Представленный промышленный рефрактометр и его аналоги в настоящее время используются или проходят производственные испытания на предприятиях пищевой, целлюлозно-бумажной, а также химической промышленности. В целом средние погрешности измерения показателя преломления и концентрации растворов не превышают  $\Delta n = \pm 0,0015$  и  $\Delta k \cong \pm 1\%$ , что удовлетворяют требованиям производства.

### Литература

1. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств: учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 424 с.
2. Рефрактометры // Инженерный центр «Технокон» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tcon.ru/refr/refract.htm>, своб.
3. ГОСТ 14254-96 (МЭК 529-89). Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP). – Минск: Стандартиформ, 2008. – 36 с.
4. K-Patents Process Refractometer PR-23-GP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kpatents.com/products/chemical-miscellaneous/pr23gp\\_chemical](http://www.kpatents.com/products/chemical-miscellaneous/pr23gp_chemical), своб.
5. Atago. Проточные рефрактометры PRM-100a [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.atago.net/russia/products\\_process.php](http://www.atago.net/russia/products_process.php), своб.

УДК 520.2.03; 520.2.062; 531.396; 681.782.49

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКИМ  
ЛУЧОМ**

**Ж.Х. Окас<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Демин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена параллельному вычислению математической модели системы управления оптическим лучом в режиме поиска и наведения. Показаны преимущества метода квазипараллелизации расчетов в системах оптической локации на примере управления лучом с помощью оптических клиньев. Показан способ оптимизации математической модели за счет квазипараллелизации модели, использование которой позволяет увеличить производительность системы управления и тем самым максимально использовать имеющиеся ресурсы.

**Ключевые слова:** оптический луч, математическая модель, оптические клинья, сканирование, слежение.

**Введение.** С ростом производительности компьютеров становится доступным решение все более сложных математических задач, связанных с управлением сложными динамическими системами в реальном масштабе времени при наличии внешних возмущений. К таким задачам, в частности, относятся всевозможные задачи автоматизированного управления сложными динамическими системами реального времени, а именно активные оптико-цифровые лидары (системы дистанционного зондирования или мониторинга). При оценке качества подобных систем, помимо качества самого решения, определяющим критерием является время задержки с момента поступления входной информации (эхо-сигнала) до момента принятия решения. Качество принятого решения зависит от достоверности математической модели управления движением по выбранной траектории оптического луча лидара. Управление лучом в комплексах оптической локации реализуется сложной динамической системой, работающей в реальном масштабе времени при наличии внешних возмущений, в которых временной фактор от момента распознавания возмущения до момента его парирования является очень критичным. Особенно это важно, когда локатор помимо функции обзора пространства реализует еще и режим сопровождения (слежения) выбранного объекта, т.е. система управления должна реализовывать практически любую траекторию движения оптического луча [1–8].

**Цель работы** – показать, что существует способ оптимизации математической модели за счет параллелизации модели, использование которой позволяет увеличить производительность системы управления и тем самым максимально использовать имеющиеся ресурсы. Показать преимущества метода параллелизации расчетов в системах оптической локации, на примере управления лучом с помощью оптических клиньев.

**Основная часть.** Ядром любой системы управления является набор действий. Все эти действия можно представить в виде конечного автомата, где узлы – суть состояния системы, а связи – действия, которые производит система в зависимости от разных условий. Тем самым каждое следующее состояние системы будет на вход получать информацию, накопленную ей на всех предыдущих состояниях. Идея оптимизации системы заключается в том, чтобы преобразовать этот конечный автомат таким образом, чтобы как можно больше действий выполнялось параллельно и синхронно, и при этом результат работы всей системы не изменился бы, тем самым такой процесс и есть параллелизация модели [9].

В общем виде аналитические соотношения, описывающие работу сканера, включают в себя значения показателей преломления, преломляющих углов оптических клиньев и углы их вращения. Естественно поиск оптимального алгоритма управления с

учетом качества изображения одновременно практически невозможно. В этой связи целесообразно произвести декомпозицию системы на две подсистемы – это подсистема, обеспечивающая движение луча, и подсистема, обеспечивающая качество изображения. Тогда поиск оптимальной реализации математической модели системы управления лучом с помощью оптических клиньев по двум направлениям можно разделить на три этапа:

1. поиск алгоритма вращения клиньев при выбранных предварительно значениях преломляющих углов и показателей материала;
2. поиск значений преломляющих углов и показателей преломления, обеспечивающих требуемое качество изображения;
3. корректировка алгоритма вращения клиньев с учетом результатов второго этапа.

Наиболее сложным является первый этап, его и рассмотрим. Воспользовавшись законом преломления в векторной форме (1) и опуская промежуточные вычисления, уравнении траектории луча по двум направлениям в угловой мере в картинной плоскости  $XOY$  в общем виде (2) представлены для пары вращающихся оптических клиньев [10–12]:

$$\begin{cases} \mathbf{A}_{m+1} = \frac{n_m}{n_{m+1}}(\mathbf{A}_m + \Gamma_{m+1}\mathbf{N}_{m+1}) \\ \Gamma_{m+1} = \cos \alpha_{m+1} - \frac{n_{m+1}}{n_m} \sqrt{1 - \left(\frac{n_{m+1}}{n_m}\right)^2 (1 - \cos^2 \alpha_{m+1})} \\ \cos \alpha_{m+1} = -(\mathbf{A}_m \cdot \mathbf{N}_{m+1}) \\ m = 0; 1; 2; 3; 4, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X = 2\Gamma \sin \beta \cos \alpha \\ Y = -2\Gamma \sin \alpha \cos \beta \\ \alpha = \frac{\varphi_2 + \varphi_1}{2}; \beta = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \\ \Gamma = |\Gamma_1 \sigma_1| = |n_2 \Gamma_4 \sigma_2| \\ \Gamma_1 \sigma_1 < 0; n_2 \Gamma_4 \sigma_2 > 0 \\ \text{sign}(\Gamma_1 \sigma_1) = -\text{sign}(n_2 \Gamma_4 \sigma_2), \end{cases} \quad (2)$$

где  $\mathbf{A}_m$  – вектор луча, падающий на  $(m+1)$ -ую преломляющую поверхность клина;  $\Gamma_m$  – стигматическая постоянная для  $m$ -ой преломляющей поверхности клина;  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы поворота первого и второго оптического клина с преломляющими углами  $\sigma_1, \sigma_2$  и показателями преломления  $n_1, n_2$  соответственно;  $X, Y$  – угловые координаты луча  $\mathbf{A}_4$ , отсчитываемые от оси  $OZ$  (оптическая ось).

При  $X \neq 0 \Rightarrow \cos \alpha \neq 0 \Rightarrow \alpha \neq \frac{\pi}{2} + \pi K_\alpha$  решение уравнения (2) относительно  $\alpha$  и  $\beta$  в общем виде для картинной плоскости  $XOY$  будет

$$\begin{cases} \alpha = \arctg\left(-\frac{Y}{X}\right) + \pi K_\alpha \\ \beta = (-1)^{K_\beta} \arcsin\left[\frac{X}{2\Gamma \cos \alpha}\right] + \pi K_\beta \end{cases}, \quad (3)$$

откуда углы поворота клиньев  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  в зависимости от требуемого направления луча  $\mathbf{A}_4$  относительно оси  $OZ$  в картинной плоскости  $XOY$  в пространстве в зависимости от реализуемого режима:

– для реализации режима непрерывного обзора пространства (режим сканирования)

$$\begin{cases} \varphi_1 = \alpha - \beta = \alpha - (-1)^{K_\beta} \arcsin \left[ \frac{X}{2\Gamma \cos \alpha} \right] + \pi K_\beta \\ \varphi_2 = \alpha + \beta = \alpha + (-1)^{K_\beta} \arcsin \left[ \frac{X}{2\Gamma \cos \alpha} \right] + \pi K_\beta; \end{cases} \quad (4)$$

– для реализации режима слежения за объектом или наведения на него – режим работы в I-м квадранте

$$\begin{cases} \varphi_1 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{Y}{X} \right) + \arcsin \left[ \frac{X}{2\Gamma \cos \left[ \operatorname{arctg} \left( -\frac{Y}{X} \right) \right]} \right] \\ \varphi_2 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{Y}{X} \right) - \arcsin \left[ \frac{X}{2\Gamma \cos \left[ \operatorname{arctg} \left( -\frac{Y}{X} \right) \right]} \right]. \end{cases} \quad (5)$$

Для того чтобы избежать  $X = 0$ , необходимо чтобы начальное положение системы отсчета или управления клиньями из точки  $O$  системы  $XOY$  должно быть смещенным, т.е.  $X \neq 0, Y \neq 0$  является рабочим вариантом. Ограничившись главными значениями и посчитав  $\operatorname{arctg}(\arg)$  и  $\arcsin(\arg)$  – можно параллельно посчитать сумму и разности, получив тем самым значения  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  одновременно, что позволяет реализовать параллельное управление.

Полученные соотношения были экспериментально апробированы при создании системы параллельного управления линией визирования в режиме сканирования пространства по двум угловым направлениям в оптико-электронной системе поиска и обнаружения, спроектированной для эксплуатации на летательном аппарате.

На рис. 1, а, приведены графики изменения углов вращения клиньев для реализации движения луча по архимедовой спирали и параболе. Исходные данные оптических клиньев – показатель преломления оптического материала клиньев 1,5163, преломляющий угол клиньев 0,017446 рад. На рис. 1, б, приведены реализованные траектории. С целью минимизации величины бокового смещения (рис. 2, б) в ходе моделирования было подобрано соотношение угловых скоростей вращения клиньев, что возможно было при реализации параллелизации вычислительных процессов для  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  (рис. 2, в).

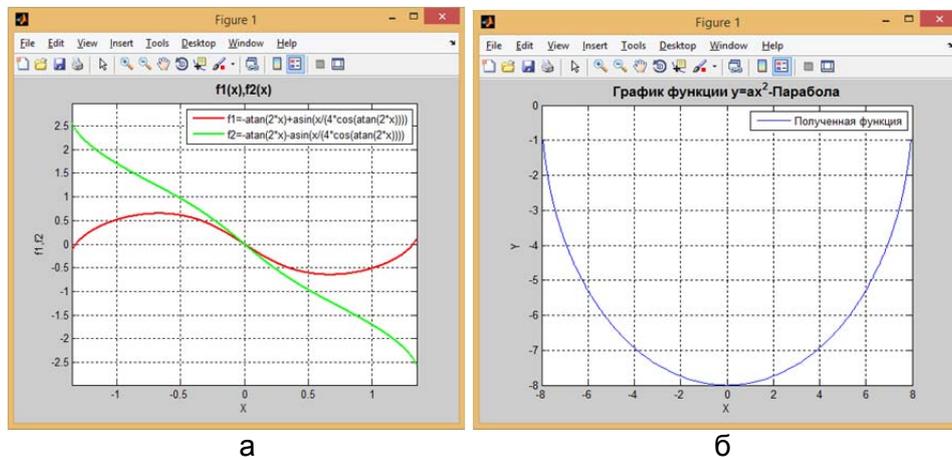


Рис. 1. Графики изменения углов вращения клиньев для реализации движения луча по параболе (а); реализованная траектория (б)

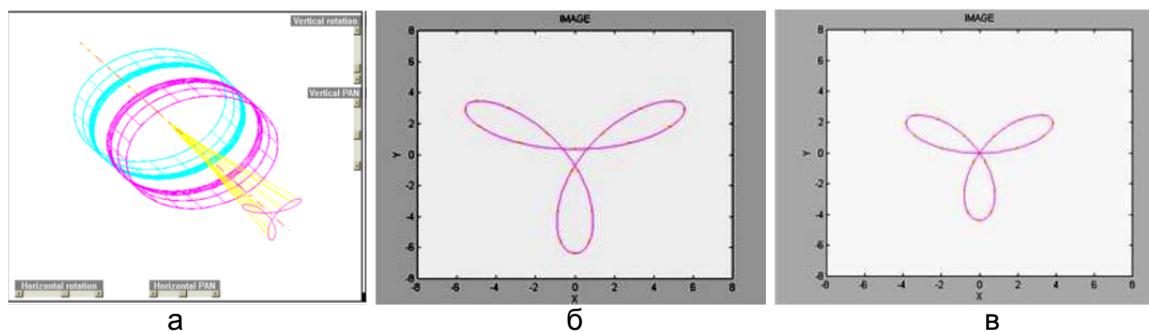


Рис. 2. Графическое отображение розеточной траектории парой оптических клиньев (а); траектория смещения осевого луча парой оптических клиньев компенсатором до оптимизации (б) и после минимизации бокового смещения луча (в)

**Заключение.** Таким образом, показано, что если математическая модель процесса представима в виде совокупности соотношений, как и сам физический процесс в виде действий, то компьютерная модель может быть по реализации выполняться параллельно, а соответственно, выполнять и сам процесс управления. Преимущество параллелизации моделирования на компьютере показано на сканирующей системе, выполненной на паре оптических клиньев.

### Литература

1. Катус Г.П. Автоматическое сканирование. – М.: Машиностроение, 1969. – 518 с.
2. Катус Г.П., Кравцов Н.В., Чирков Л.Е., Коновалов С.М. Модуляция и отклонение оптического излучения. – М.: Машиностроение, 1967. – 175 с.
3. Еськов Д.Н., Новиков В.А. Автоматическая стабилизация оптического изображения. – Л.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
4. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учебник для вузов. – М.: Логос, 2004. – 472 с.
5. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
6. Волков О.А., Демин А.В., Константинов К.В., Проценко В.А. Приемопередающий блок светолокационного измерителя высоты нижней границы облаков. Патент на полезную модель № 65253. Заявка № 2007110054, приоритет полезной модели 19 марта 2007.
7. Демин А.В., Медведев С.Д., Петров И.В., Перцович Т.Ю. Устройство для изменения направления распространения и фокусировки световых лучей. Авторское свидетельство № 1157514 от 22.01.85.
8. Демин А.В., Даниель С.В. Оптическая система оптико-электронной аппаратуры для пеленгования импульсных источников теплового излучения // Исследования в области оружия и систем вооружения, авиа- и ракетостроения, космических ЛА: сб. статей. – 2010.
9. Демин А.В., Зверев С.К. Оптимизация алгоритма управления оптическим лучом методом имитационного моделирования // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2004. – № 3(14). – С. 192–197.
10. Демин А.В., Грамматин А.П., Козодой В.В. Двухкоординатное развертывание луча в гирооптическом модуле // Сб. оптико-электронные приборы и системы. Серия «Сборник научных статей». – 1993. – Вып. 97. – С. 50–57.
11. Грамматин А.П., Демин А.В., Джаманбаев А.А., Козодой В.В. Способ развертывания оптического луча. Патент № 2097811 Россия, приоритет от 27.02.1995.

12. Грамматин А.П., Демин А.В., Джаманбаев А.А., Козодой В.В. Способ развертывания оптического луча. Патент № 2097812 Россия, приоритет от 27.02.1995.

## УДК 678

### POTENTIAL OF RESOURCE AND ENERGY EFFICIENCY IN THE RECYCLING OF WASTE TIRES

A.A. Oripova<sup>1</sup>

Supervisor – A.V. Dombrovskaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ITMO University

This work analyses ecological and economic benefits from the recycling of waste tires, and consider the issues of resource and energy efficiency, study the main components of tires and brings methods for efficient recycling of waste tires.

**Key words:** waste tires, recycling, pyrolysis, resource and energy efficiency.

Environmental focus is one of the leading trends in many industries. In order to preserve the environment for the next generation people should strive to sustainable development in all activities. Therefore it can be concluded that environment became a part of present economy affected each activity, including automotive industry, especially that intensive development of the automotive industry is a source of hazards for the environment [1]. Car manufacturing is a very resource-intensive area. The total automobile production is about 90 million units per year worldwide and by the predictions, the vehicle sales market will be increasing by 4.1 percent annually. It means that the use of our natural resources will grow in the same way.

Environment is a source of materials, infrastructure necessary for manufacturing but everything is limited. Environmental restrictions have a positive side, because there is a big pressure to avoid wastes during every stages of car life cycle, what let manufacturers to reduce costs and to be more competitive.

The process of car or automotive parts manufacturing is very complex, regarding usage of numerous resources and different technologies. It results in potential threats for: polluting water, soil and air; noise; creating waste and landfills; damaging land use; overutilization of materials; disruptions of ecosystem; etc.

Waste tires are the source of environmental pollution. Due to their huge sizes and heavy metal content, tires pose a health risk to the environment and people. When put in waterlogged soils, tires can leach toxins into the groundwater and pose a huge problem. Used and dumped tires pose health problems to the people around. Insects and small animals can use the tires as their homes and later cause health issues to the human population. For example, when it rains and water is collected in the inner parts of the tires, mosquitoes can come, inhabit these places, and later cause health problems to people. The most obvious hazard associated with the uncontrolled disposal and accumulation of large amounts of tires outdoors is the potential for large fires, which are extremely detrimental to the environment. Once a large pile catches fire, it is very hard, if not impossible, to extinguish.

The accumulation of waste tires is not only an environmental issue but economical too. Waste tires and rubbers, being made of high-quality rubbers, represent a large potential source of raw material for the rubber industry. The main reasons for the low scale current application of tire and rubber recycling are: more stringent requirements for quality of rubber articles, and hence for that of reclaimed rubber; the substitution of raw rubber by other materials, for example by plastics in some cases; rising cost of reclaim production from tires and rubber waste due to the more stringent regulations for environmental protection; a comparatively

high labor input into reclaim production; and as a result of all this, the high cost of reclaimed rubber.

A large number of tires are becoming waste every year. Only in Russian Federation were generated over 850 thousand tons of waste tires (Fig. 1), and approximately 20% of this amount is reused, while the rest is accumulating as a stockpile.

Tires is a high-performance composite built using elastomers, fibers, steel, and a range of organic and inorganic chemicals. All tires include four groups of materials: rubbers, carbon blacks/silica, reinforcing materials and facilitators [2].

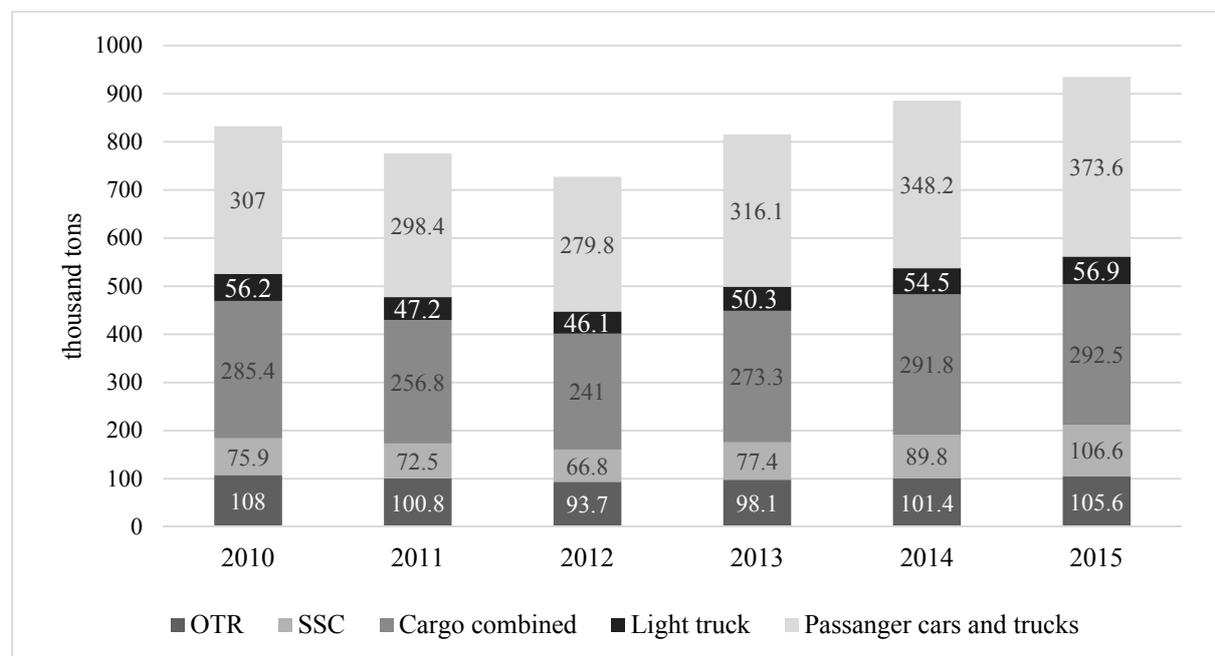


Fig. 1. Formation of waste tires in Russian Federation

Tires are 100% recyclable, yielding three separate material streams: rubber, metal, and textile. The chemical and physical properties of the tire contribute to making it a valuable resource. One ton of waste tires can bring over 700 kg of rubber. Recycled polymeric and rubber materials can have various potential applications some of which appear technically sound and economically attractive. Whether tires are reused, reprocessed or hand crafted into new products, the result is that there is less waste and less environmental degradation as a result.

Table. Principal rubber recycling processing paths

Kind of recovery	Method	Recovery process
Product reuse	Repair	– Retreading – Regrooving
	Physical reuse	– Use as weight – Use of form – Use of properties – Use of volume
Material reuse	Physical	– Tearing apart – Cutting – Processing to crumb
	Chemical	– Reclamation
	Thermal	– Pyrolysis – Combustion
Energy reuse		– Incineration

In particular, we can recycle waste tires to produce: shoe heels and soles, tubes, conveyor belts, playground and track surfacing, sound barriers and liquid rubber for roof coating.

If tires are incinerated to reclaim embodied energy then we can yield substantial quantities of useful power. In many countries like USA, Japan and Canada waste tires are burned to generate electricity.

Tires can be reused or reclaimed in many ways. The waste management hierarchy dictates that re-use, recycling and energy recovery, in that order, are superior to disposal and waste management options and this hierarchy is outlined in Table below.

In this work, we focused our attention on pyrolysis. Pyrolysis, or the destructive distillation of scrap tires, has been proposed as a means of converting scrap tires to useful products. Pyrolysis in the absence of air is not a new technique. It was, and still remains, used as a powerful investigative tool.

Pyrolysis of scrap rubber may be conducted under significantly varied conditions of time, temperature, and pressure. It may be effected under reductive or oxidative conditions which in turn could be catalytic or noncatalytic. In considering scale-up, engineering alternatives are more important than in most chemical processes. For example, product yield and quality would be expected to be different in batch operation from that in continuous operation [3].

Pyrolysis of scrap tires gives as major products, gas, oil, and residue. The gas is the result of thermal cracking and dehydrogenation. The oil derives from extender oils used in the compounding of the vulcanizates as well as from the depolymerization fragments from the rubber. The residue represents recovered carbon black as well as any inorganic material used in the fabrication of the original rubber.

Pyrolysis of one ton waste tires gives as gas, up to 500 kg oil, approximately 400 kg carbon black and metal cord. The beneficial use of pyrolysis products is showed in Fig. 2.

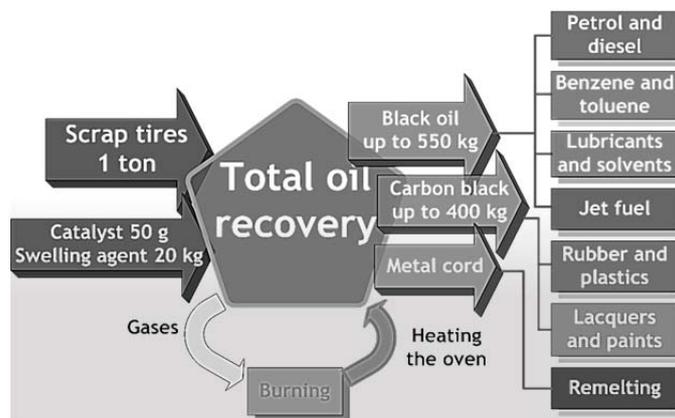


Fig. 2. Schematic diagram of pyrolysis

Carbon black is using as adsorbent, in high-purity carbon production, and high-energy fuel. Synthetic liquid fuel from pyrolysis process can bring different types of fuel such as petrol and diesel and many others. Pyrolysis gas maintains process with sufficient energy, thus we do not need other sources of power and this solves the problem of energy efficiency.

Recycling waste rubber is a very important problem, in theory as well as economically and practically. This work analyzed the potential of waste tire recycling and described pyrolysis as one of the methods for recycling.

If tires are recycled, the use of natural resources will be decreasing. Tire recycling is a perspective business that must be created in Russian Federation.

Waste tire recycling solves not only economic issues, but also reduces environmental problems associated with the tire landfilling. It is important to recycle any solid waste including tires to ensure that the environment is clean.

The benefits include reducing landfills space, releases less toxic chemicals into the air, prevent the spread of diseases, which could occur by piling of the tires in the landfills sites.

### References

1. Golinska P. (Ed.). Environmental Issues in Automotive Industry. – Springer, 2013. – 260 p.
2. Mark J.E., Erman B., Roland M. (Eds.). The Science and Technology of Rubber. – Fourth Edition. – Academic Press, 2013. – 801 p.
3. Vergnaud J.M., Rosca I.D. Rubber curing and properties. – CRC Press, 2009. – 232 p.

УДК 378.14:16

## СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ЗАДАНИЙ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Т.С. Осадчая<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., ассистент П.В. Балакшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена обзору средств автоматизации разработки тестовых заданий в различных системах дистанционного обучения и контроля знаний. Указаны наиболее распространенные средства автоматизации разработки заданий. Рассмотрен ряд систем дистанционного обучения, проведено сравнение используемых в них средств автоматизации разработки тестовых заданий. Сформулированы основные преимущества применения шаблонов.

**Ключевые слова:** система дистанционного обучения, средства автоматизации разработки заданий, подходы к генерации заданий, форматы представления заданий, шаблоны.

**Введение.** В современном мире дистанционное обучение получает все более широкое распространение. Дистанционное обучение подразумевает собой получение знаний с помощью современных информационно-образовательных и телекоммуникационных технологий без очного посещения занятий. Компьютерное тестирование является главной формой дистанционной проверки знаний. Как правило, разработка заданий в системах дистанционного обучения (СДО) и контроля знаний является достаточно трудоемкой. Традиционный подход к созданию тестовых заданий заключается в некоторой компьютеризации ручного тестирования с помощью современных информационных технологий. В связи с этим особую важность имеют средства автоматизации формирования заданий.

**Целью работы** являлся обзор средств автоматизации разработки тестовых заданий в различных СДО и контроля знаний.

Под СДО понимают комплекс программно-технических средств, методик и организационных мероприятий, который обеспечивает условия для получения образования в условиях дистанционного обучения.

В настоящее время существует множество СДО. Для исследования были выбраны следующие:

1. система AcademicNT, используемая в ЦДО Университета ИТМО;
2. система Moodle, широко распространенная в мире;
3. система eTest, используемая на ряде кафедр Университета ИТМО;
4. система образовательного центра PLM-академии, используемая на кафедре ТПС Университета ИТМО.

Поскольку компьютерное тестирование, являющееся наиболее стандартизованным и объективным методом контроля и оценки знаний, предназначено для контроля знаний большого количества человек, СДО должна обладать средствами

автоматизации разработки тестовых заданий для создания большой базы тестовых заданий, что сведет к минимуму проблему недобросовестного тестирования.

Автоматизация процесса обучения и проверки знаний имеет множество преимуществ и позволяет:

- увеличить эффективность образовательного процесса с позиции экономии времени при помощи избавления от бумажных документов;
- повысить прозрачность учебного процесса;
- облегчить действия лиц, задействованных в процессе дистанционного обучения.

С целью облегчения процесса подготовки дистанционных учебных курсов с функциями тестирования и уменьшения временных затрат на создание тестов были предложены различные подходы к автоматизации создания тестовых заданий.

**Анализ средств разработки заданий.** Генератором тестовых заданий называют программу, результатом выполнения которой является информационный объект, содержащий один или несколько тестовых вопросов в определенном формате представления.

Наибольшее распространение на практике и в исследованиях получили следующие подходы к генерации тестовых заданий:

- параметризованные тесты;
- понятийно-тезисная модель (ПТМ);
- семантические сети;
- использование деревьев И/ИЛИ.

Суть подхода с применением параметризованных тестов заключается в представлении обучаемым шаблонного задания, отличающегося определенными параметрами, которые генерируются автоматически в заранее установленных границах. Шаблон является заготовкой текста, некоторые элементы которого можно изменять в соответствии с заданным алгоритмом [1].

При использовании понятийно-тезисной модели вопрос строится на основе текстового шаблона, в определенное место которого вставляется текст запросного элемента контрольной понятийно-тезисной пары.

Суть подхода с применением семантических сетей заключается в генерации тестовых вопросов на основе базы знаний путем опущения одного из звеньев триады «понятие» – «отношение» – «понятие» и постановкой вопроса о недостающем звене [2].

Для представления тестового задания в виде дерева И/ИЛИ текст задания разбивается на фрагменты, каждый из которых описывается вариантом дерева И/ИЛИ.

Подходы к генерации тестовых заданий, основанные на использовании шаблонов тестов, такие как подход с применением параметризованных тестов и понятийно-тезисная модель, являются наиболее широко распространенными на практике. Они обладают множеством преимуществ, важнейшим из которых является то, что для малого количества шаблонов возможна генерация большого количества задач.

Кроме того, применение того или иного подхода к генерации тестовых заданий также зависит от рассматриваемой предметной области. Так, параметризованные тесты хорошо подходят для контроля в точных науках и программировании, однако не подходят для проверки теоретических знаний и контроля в гуманитарных науках. Преимуществом же подхода с применением семантических сетей является способность системы рассуждать знаниями предметной области.

К преимуществам использования шаблонов при подготовке тестовых заданий с точки зрения разработчика тестовых вопросов относятся:

- простота и удобство использования;

- уменьшение времени набора текста;
- возможность сразу просмотреть все вопросы и их содержание;
- возможность легко обнаружить и устранить случайные ошибки;
- возможность легко сгруппировать вопросы по типам;
- легкий импорт в необходимую категорию банка вопросов;
- возможность загружать тестовые задания с изображениями;
- настройки вопросов представлены наглядно уже в самих шаблонах [3].

Необходимо отметить, что автоматизация при подготовке тестовых заданий может быть использована как непосредственно к генерации новых тестов, так и миграции тестов из одной системы в другую.

Применение современных форматов обмена тестовыми заданиями позволяет существенно сократить время ввода тестов в СДО за счет использования процедуры массового импорта данных из внешнего файла, представленных в адекватном для считывания системой виде.

Существует большое разнообразие форматов представления тестовых вопросов. Наиболее распространенными форматами для обмена тестовыми заданиями являются:

- GIFT;
- Aiken;
- IMS QTI;
- Moodle XML [4].

GIFT представляет собой наиболее полный формат, доступный для импортирования вопросов в тесты системы Moodle из текстового файла.

Aiken представляет собой простой формат для записи в текстовом редакторе тестовых вопросов типа «множественный выбор» с единственным правильным ответом [4].

Наиболее распространенным стандартом разметки тестовых вопросов в формате XML является IMS QTI. Спецификация IMS QTI содержит модель данных, определяющую структуру вопросов, оценку и результаты вопросов в формате XML данных [5].

Moodle XML представляет собой специфический формат Moodle для импорта и экспорта вопросов в XML-формат.

Таким образом, форматы IMS QTI и Moodle XML предназначены для обмена тестовыми заданиями между СДО, а форматы Aiken и GIFT разработаны для облегчения записи (в текстовом формате) и ввода тестов в СДО.

В таблице представлены средства автоматизации разработки заданий, используемые в рассматриваемых СДО и контроля знаний.

Таблица. Средства автоматизации разработки тестовых заданий в СДО и контроля знаний

Критерий сравнения	Система AcademicNT	Система Moodle	Система eTest	Система PLM-академии
Применение подходов к генерации заданий	Да (подход с применением параметризованных тестов)	Да (подход с применением параметризованных тестов)	Нет	Нет
Использование форматов обмена тестовыми заданиями	Да (формат .xml)	Да (форматы GIFT, Aiken, Moodle XML и другие)	Да (формат .txt)	Да (формат .txt)

Критерий сравнения	Система AcademicNT	Система Moodle	Система eTest	Система PLM-академии
Наличие шаблона для импорта тестовых заданий	Да	Да	Да	Да

По итогам анализа средств автоматизации разработки тестовых заданий в различных СДО и контроля знаний было выявлено, что среди используемых в Университете ИТМО системах разработка тестовых заданий наиболее автоматизирована в системах AcademicNT и Moodle.

В обеих системах используется подход к генерации тестовых заданий с применением параметризованных тестов. Кроме того, как и в системах eTest и PLM-академии, в них используются различные форматы обмена тестовыми заданиями. Также необходимо отметить, что система Moodle допускает импорт тестовых заданий с наибольшим количеством форматов представления. Кроме того, для каждой из выше перечисленных СДО разработаны шаблоны для импорта тестовых заданий.

**Заключение.** Подводя итог, следует сказать, что основным средством автоматизации разработки заданий в СДО является применение различных подходов к генерации тестовых заданий, а также форматов представления тестовых вопросов. Применение подходов к генерации тестовых заданий с использованием шаблонов позволяет обеспечить генерацию большого количества задач, что не только облегчит процесс подготовки дистанционного курса, но и уменьшит проблему недобросовестного тестирования. Использование форматов, предназначенных для обмена и импорта тестовых заданий в СДО, является простым и эффективным способом ускорения процесса подготовки к тестированию.

В работе было проведено сравнение средств автоматизации разработки тестовых заданий в СДО, используемых в Университете ИТМО, также были указаны основные преимущества использования шаблонов при подготовке тестовых заданий.

Направлениями будущих исследований являются:

- миграция и автоматизация миграции текущих СДО, используемых на разных кафедрах Университета ИТМО, на Moodle;
- исследование СДО, недавно появившихся на рынке, работающих на облачных технологиях.

### Литература

1. Титенко С.В. Автоматизации построения тестовых заданий в системах дистанционного обучения на основе понятийно-тезисной модели // Образовательные технологии и общество. – 2013. – № 1. – С. 463–481.
2. Танченко С.С., Титенко С.В., Гагарин А.А. Анализ методов генерации тестовых заданий // XIII международная научная конференция им. Т.А. Таран «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013». – 2013. – С. 220–226.
3. Белоножкин Ю.Н., Телегина Т.В. Повышение результативности разработки онлайн-курса на основе типового шаблона Word // IX Всероссийская научно-практическая конф. «Научно-образовательная информационная среда XXI века». – 2015. – С. 12–16.
4. Савиных И.В., Журавлева Е.А. Форматы для обмена тестовыми заданиями: AIKEN и GIFT // Вестник Марийского государственного университета. – 2009. – № 3. – С. 99–100.
5. Зигель Э. Углубленное изучение QTI // IBM Developer Works [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/x-qli/>, своб.

УДК 004

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ ДЛЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.А. Петров<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент А.Г. Карманов<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В современном мире все большее распространение получают беспилотные летательные аппараты. Все шире становится спектр их применения. В связи с этим необходимо решать задачи постоянного и независимого энергоснабжения этих аппаратов. Очевидно, что традиционные методы вряд ли подходят. Применение современных солнечных батарей в совокупности с технологиями в области аккумуляторных батарей позволяет создавать необходимые решения этой задачи.

**Ключевые слова:** БПЛА, самолет на солнечной энергии, фотоэлектрические преобразователи, определение проектных параметров, аккумуляторная батарея.

**Введение.** XXI в. в области авиации ознаменовался появлением многочисленных беспилотных летательных средств. Хотя подобные аппараты появлялись и ранее, но именно в XXI в. идея беспилотников захватила мир. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) ныне уже не экзотика, а вполне обыденное явление. Теперь это уже серийно выпускаемые промышленностью летательные аппараты. Беспилотные летательные аппараты можно разделить на три больших класса:

1. БПЛА, разрабатываемые и используемые в интересах военных ведомств различных государств;
2. БПЛА, используемые в мирных интересах;
3. БПЛА класса моделей и игрушек [1, 2].

Тем не менее, современные разработки в области электрических двигателей, аккумуляторных батарей, сверхлегких конструктивных материалов позволили БПЛА с гибридной и целиком электрической энергоустановкой занять достойное место и обеспечить им пригодность для промышленного выпуска и эксплуатации. В настоящей работе рассмотрено применение БПЛА в сфере мониторинга нефтегазовых объектов, когда БПЛА оснащен телекоммуникационной аппаратурой и должен обеспечивать максимально длительный независимый полет [3, 4].

**Целью работы** являлась разработка солнечной энергостанции для обеспечения электрической энергией БПЛА в сфере мониторинга.

**Рассмотрение функциональности мобильной солнечной энергостанции.** Вырабатываемой мощности солнечной энергостанции должно быть достаточно для того, чтобы в светлое время суток принимать и обеспечить зарядку аккумуляторных батарей.

Общая мощность солнечной энергостанции должна быть в пределах 0,5 кВт.

Сделаны приблизительные расчеты. Согласно ГОСТ Р 51594-2000 принимаем плотность потока солнечной энергии в 1000 Вт на 1 м<sup>2</sup>. Полезная площадь составляет 1 м<sup>2</sup>. КПД PV-элементов на основе аморфного кремния составляет 11%. Следовательно, имеется 110 Вт или 0,1 кВт электрической энергии на 1 м<sup>2</sup> солнечной энергостанции. Для обеспечения полнофункциональной работы двигателя и различных бортовых систем рассматриваемого беспилотного самолета потребуется площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>. Таким образом, номинальная мощность солнечной энергоустановки составит 0,4 кВт.

Следовательно, проектируемая солнечная энергостанция удовлетворяет генерируемой мощности, единственно возможным вариантом является не полное обеспечение всех электронных узлов и исполнительных механизмов [5].

**Использование PV-модулей в беспилотных самолетах.** При выборе модулей некремниевые тонкопленочные PV-элементы находились еще в стадии лабораторных разработок. Выбор авторов остановлен на PV-панели из аморфного кремния.

**Испытание пленочной солнечной батареи.** Испытание пленочной солнечной батареи из 15 панелей RC7.2-75. Дата: 10.03.13. Место: Москва. Объект испытания:

- пленочная солнечная батарея, собранная из 15 панелей RC7.2-75;
- габариты: 1350 мм×270 мм;
- вес, без учета проводов: 95 г.

Электрическая нагрузка: маленький бесколлекторный двигатель с 2-х лопастным воздушным винтом диаметром 7" и шагом 4", двигатель подключен к пленочной солнечной батарее через регулятор оборотов 6 А. Начало испытаний 13:50. Метеоусловия: ветер 3–5 м/с; температура 9°C; чистое небо; легкая дымка.

**Результаты измерений.** Показания вольтамперметра нестабильные, наиболее частые изменения:

- напряжение холостого хода 9,9 В;
- показания вольтамперметра: 6,8 В×1,2 А; 6,7 В×1,3 А; 6,8 В×1,3 А.

Паспортные данные панели RC7.2-75. По данным производителя при стандартной освещенности панель выдает:

- напряжение 7,2 В;
- ток 0,1 А.

Вывод: на мартовском солнце в запыленной Москве, пленочная солнечная батарея из 15 панелей при оптимальной ориентации на солнце дает мощность 76% от паспортного значения, а именно около 8 Вт.

**Размещение солнечных PV-модулей с помощью компоновки на крыле самолета.** Предложено рассмотреть вариант размещения солнечных батарей на крыле самолета. Основное отличие состоит в подборе и сопоставлении PV-модулей с различающимися параметрами размеров в единый блок, форма которого повторяет форму крыла.

Блок солнечных элементов состоял из: RC7.2-75 Flexible Solar Panel в количестве 11 ед., PowerFilm Solar Cell: SP3-37 Flexible Solar Panel в количестве 7 ед., PowerFilm Solar Cell: SP4.2-37 Flexible Solar Panel в количестве 5 ед., PowerFilm Solar Cell: MP3-37 Flexible Solar Panel в количестве 17 ед.

Суммарное количество установленных PV-элементов на одно крыло составит 40 ед.

Суммарный вес составит: 66 г + 4,9 г + 4 г + 20,4 г = 95,3 г.

Площадь занимаемая солнечными элементами:  $267300 \text{ мм}^2 + 16576 \text{ мм}^2 + 15540 \text{ мм}^2 + 71706 \text{ мм}^2 = 371112 \text{ мм}^2 = 0,37 \text{ м}^2$ .

Схема расположения PV-модулей представлена на рисунке.

Как видно из рисунка, поверхности крыла самолета представляют собой довольно сложную форму для монтажа солнечных батарей. Не изменяя конструктивные особенности крыла размещаем доступные солнечные элементы, которые по сей день широко используются в различных областях применения выработки электроэнергии, не изменяя технологию их производства.

Задача размещения солнечных батарей сводится к размещению максимального количества заводских PV-модулей на крыле самолета. При этом учитывается общая нагрузка на крыло, габариты крыла и форма поверхности. Рассмотрены два возможных варианта. Для дальнейшего расчета выбран второй вариант с учетом большей эффективности вырабатываемой энергии и небольшой разницы в суммарном весе PV-

модулей. Гибкая пластиковая подложка солнечных батарей обеспечивает возможность монтажа на гибкие и подверженные незначительным произвольным деформациям поверхности. Легкий вес солнечных батарей – самый важный критерий для летательных аппаратов.

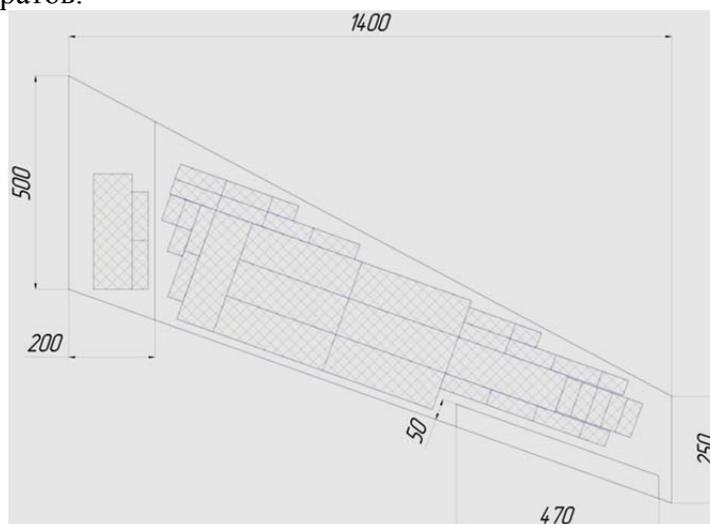


Рисунок. Эскизный проект размещения солнечных модулей на верхней аэродинамической плоскости крыла

Энергия, вырабатываемая солнечными батареями:

- RC7.2-75 Flexible Solar Panel в количестве 11 ед.;  
 $E_1 = 0,72 \text{ Вт} \cdot 9 \text{ ед.} = 6,48 \text{ Вт/ч}$  (энергия солнечных батарей, расположенных на верхней части самолета);  
 $E_2 = 0,72 \text{ Вт} \cdot 2 \text{ ед.} \cdot 0,6 = 0,864 \text{ Вт/ч}$  (энергия солнечных батарей, расположенных на боковых частях самолета);
- суммарная вырабатываемая энергия:  $E_c = 6,48 \text{ Вт} + 0,864 \text{ Вт} = 7,344 \text{ Вт/ч}$ ;
- PowerFilm Solar Cell: SP3-37 Flexible Solar Panel в количестве 7 ед.  
 $E_3 = 0,066 \text{ Вт} \cdot 7 \text{ ед.} = 0,462 \text{ Вт/ч}$ ;
- PowerFilm Solar Cell: SP4.2-37 Flexible Solar Panel в количестве 5 ед.  
 $E_5 = 0,0924 \text{ Вт} \cdot 5 \text{ ед.} = 0,462 \text{ Вт/ч}$ ;
- PowerFilm Solar Cell: MP3-37 Flexible Solar Panel в количестве 17 ед.  
 $E_6 = 0,15 \text{ Вт} \cdot 17 \text{ ед.} = 2,55 \text{ Вт/ч}$ ;
- Энергия всех вырабатываемых солнечных батарей:  
 $E_{об1} = 6,48 \text{ Вт} + 0,864 \text{ Вт} + 0,462 \text{ Вт} \cdot 2 + 2,55 \text{ Вт} = 10,818 \text{ Вт/ч}$  (одно крыло);  
 $E_{об2} = 10,818 \text{ Вт/ч} \cdot 2 = 21,636 \text{ Вт/ч}$  (два крыла);
- Стандартный дневной 7 часовой цикл обеспечивает выработку  
 $E_d = 21,636 \text{ Вт/ч} \cdot 7 \text{ ч} = 151,452 \text{ Вт/ч}$ .

**Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:**

1. в данной работе проведен всесторонний анализ существующих и проектируемых аналогов, доступных в публичном доступе, и выбор остановлен на БПЛА ZALA 421-16E;
2. рассмотрена функциональность мобильной солнечной энергостанции. Для обеспечения полнофункциональной работы беспилотного самолета требуется площадь не менее  $4,5 \text{ м}^2$ . Единственно возможным вариантом является неполное обеспечение всех электронных узлов и исполнительных механизмов;
3. выбрана подходящая технология для реализации солнечной энергостанции. Для реализации проекта сделан выбор в пользу PV-модулей из аморфного кремния компании PowerFilm® из США;

4. произведен расчет плотности мощности и энергии солнечного излучения в течение суток и года на горизонтальной поверхности в заданном районе, с учетом различных природно-климатических и других факторов на основании методики расчета солнечной энергоустановки. В итоге сделан расчет пикового значения плотности солнечного излучения, равного  $850 \text{ Вт/м}^2$  для установок с концентраторами излучения (прямое излучение) и  $1000 \text{ Вт/м}^2$  для установок без концентраторов (полное излучение);
5. осуществлен расчет типовой нагрузки на энергетическую установку (на основе приведенной практической рекомендации расчета солнечной энергоустановки в реальных условиях):
  - в маршевом режиме суммарная потребляемая мощность составляет  $370,4 \text{ Вт/ч}=0,4 \text{ кВт/ч}$ . Общее потребление за стандартный маршевый цикл составит  $1600 \text{ Вт/ч}=1,6 \text{ кВт/ч}$ ;
  - в рабочем режиме суммарная потребляемая мощность составляет  $529,2 \text{ Вт/ч}=0,5 \text{ кВт/ч}$ . Общее потребление за стандартный рабочий цикл (4 ч) составит  $2116,8 \text{ Вт/ч}=2,1 \text{ кВт/ч}$ ;
6. проведены испытания и анализ эффективности пленочной солнечной батареи в реальных погодных условиях. На мартовском солнце в Москве пленочная солнечная батарея при оптимальной ориентации на солнце дает мощность 80% от паспортного значения, а именно около 8 Вт. На апрельском солнце мощность составляет 69% от паспортного значения, а именно около 7 Вт;
7. представлен эскизный проект расположения солнечных батарей на крыльях самолета с учетом фактической геометрии. Выбран вариант размещения различающихся по размерам солнечных PV-модулей с помощью компоновки на крыле самолета. Суммарное количество установленных PV-элементов составляет 80 ед. Суммарный вес составил 190,6 г. Полезная площадь одного крыла составляет  $0,5 \text{ м}^2$ . Площадь занимаемая солнечными элементами на одном крыле  $0,37 \text{ м}^2$ ;
8. расчет фактически вырабатываемой электроэнергии в стандартных условиях показал, что полная энергия, вырабатываемая солнечными батареями при стандартных условиях, составляет  $21,636 \text{ Вт/ч}=0,021 \text{ кВт/ч}$ .

Следовательно, энергетическая установка способна продлить время полета более чем на один час (16%) в полностью рабочем режиме и на два часа в маршевом режиме (23%), исходя из потребности беспилотного самолета в электроэнергии.

Разработана модель беспилотного летательного самолета с солнечной электростанцией за счет использования исключительно серийных компонентов и материалов.

Авторы разработали солнечную энергостанцию, обеспечивающую потребности телекоммуникационного беспилотного самолета в электрической энергии для движения, маневрирования и обеспечения телекоммуникационных сервисов.

### Литература

1. Markvart T., Castafier L. (ed.). Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications. – ELSEVIER, 2003. – 1012 p.
2. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных элементов: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
3. Казарьян Б., Медведь А. Беспилотники ВВС США // «Крылья Родины». – 2012. – № 3–4. – С. 114–119.
4. Андреев В.М., Румянцев В.Д., Лантратов В.М., Шварц М.З., Калюжный Н.А., Минтаиров С.А. Наногетероструктурные фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии // Труды Международного форума по нанотехнологиям. – 2008. – Т. 1. – С. 360–362.

5. Павлушенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты – история, применение, угроза распространения и перспективы развития. Научные записки ПИР-центра: национальная и глобальная безопасность. – М.: Права человека, 2004. – 612 с.

УДК 004.056.5+512.545

## THE IMPLEMENTATION OF THE GRAM-SCHMIDT ORTHOGONALIZATION PROCESS IN SECURITY PROTOCOLS

A.V. Piskova<sup>1</sup>, A.A. Menshchikov<sup>1</sup>, N.A. Tishukova<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ITMO University

Information technologies have huge value in the modern world and are widely applied in various areas. According to Shor's algorithm, with approach of a quantum computer era, the huge computing power can cause failure of many cryptographic schemes used today. The alternative approach for this problem solution is the creation of schemes based on the certain lattice complexity characteristics. In this article we carry out the LLL lattice reduction algorithm analysis, its efficiency as well as the practical application in security protocols.

**Key words:** LLL reduction, integer lattices, the Gram-Schmidt orthogonalization.

Nowadays almost all popular cryptographic schemes are based on complexity of classical difficult tasks (factorization, discrete logarithming) [1, 2]. Algorithms of lattices theory with use of bases are much steadier against quantum computer's attacks. That is why they are worthy replacement to modern algorithms of asymmetric cryptography.

Let the basis of a lattice  $B = \{b_1, \dots, b_n\}$  be given by  $n$ -linearly independent vectors, then a lattice  $L$  is defined as a set of integer linear combinations of these vectors [3] (Fig. 1):

$$L(b_1, \dots, b_n) = \{\sum_{i=1}^n a_i b_i : (a_1 \dots a_n) \in \mathbb{Z}^n\}. \quad (1)$$

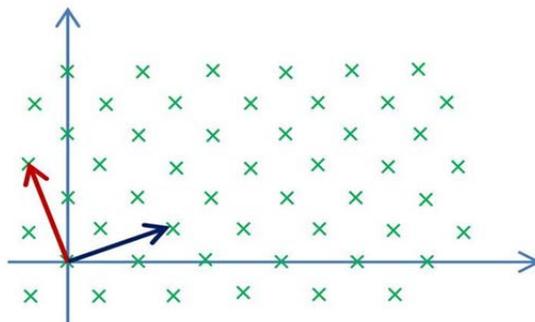


Fig. 1. The basis of a lattice

The orthogonalization process is a key part of a lattice basis reduction process. The recurrent Gram-Schmidt algorithm assists to perform the QR matrix decomposition in LLL reduction algorithm. We remind the main stages of this process (Fig. 2).

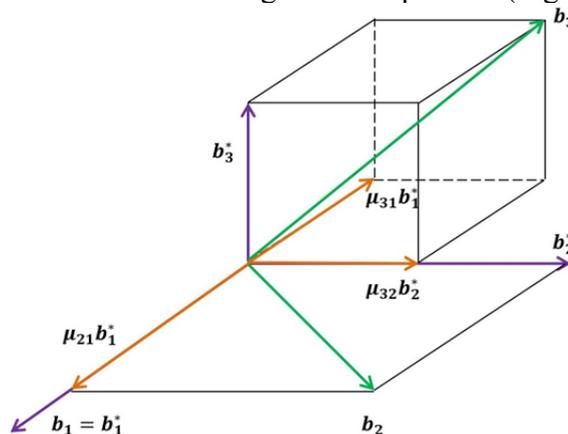


Fig. 2. The Gram-Schmidt orthogonalization process

Let  $b_1 \dots b_n$  be linearly independent vectors of  $R^m$ . If  $b_1^* \dots b_n^*$  vectors are defined by ratios

$$\langle b_i^*, b_j \rangle = \langle b_i^*, b_i^* \rangle \quad (2)$$

$$b_i^* = b_i - \sum_{j=1}^{i-1} \mu_{ij} b_j^*, \quad (1 \leq i \leq m), \quad (3)$$

$$\text{where } \mu_{ij} = \frac{\langle b_i, b_j^* \rangle}{\langle b_j^*, b_j^* \rangle}, \quad (1 \leq j \leq i \leq n), \quad (4)$$

then  $\langle b_i^*, b_j \rangle = 0$  for all  $j < i$ , so  $b_1^* \dots b_n^*$  vectors are orthogonal in pairs [4].

The numerical example of the Gram-Schmidt orthogonalization process is given further:

1. the lattice with bases  $b_1 = (5, 8, 11)$  and  $b_2 = (13, 9, 6)$ ,  $b_3 = (3, 14, 1)$  is given as

$$A = \begin{pmatrix} 5 & 13 & 3 \\ 8 & 9 & 14 \\ 11 & 6 & 1 \end{pmatrix};$$

2. we calculate the vectors  $b_1$ ,  $b_2$  and  $b_3$  lengths as  $\|b_n\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ :

$$\|b_1\| = \sqrt{5^2 + 8^2 + 11^2} \approx 14.49,$$

$$\|b_2\| = \sqrt{13^2 + 9^2 + 6^2} \approx 16.91,$$

$$\|b_3\| = \sqrt{3^2 + 14^2 + 1^2} \approx 14.35;$$

3. let  $b_1^* = b_1$ ;

4. we calculate the coefficients  $\mu_{ij}$  using the formula:

$$\mu_{21} = \frac{\langle b_2, b_1^* \rangle}{\langle b_1^*, b_1^* \rangle} = \frac{\langle 13 \cdot 5 + 9 \cdot 8 + 6 \cdot 11 \rangle}{\langle 5 \cdot 5 + 8 \cdot 8 + 11 \cdot 11 \rangle} = \frac{\langle 203 \rangle}{\langle 210 \rangle};$$

$$\mu_{31} = \frac{\langle b_3, b_1^* \rangle}{\langle b_1^*, b_1^* \rangle} = \frac{\langle 3 \cdot 5 + 14 \cdot 8 + 1 \cdot 11 \rangle}{\langle 5 \cdot 5 + 8 \cdot 8 + 11 \cdot 11 \rangle} = \frac{\langle 138 \rangle}{\langle 210 \rangle};$$

$$\mu_{32} = \frac{\langle b_3, b_2^* \rangle}{\langle b_2^*, b_2^* \rangle} = \frac{\langle 3 \cdot 13 + 14 \cdot 9 + 1 \cdot 6 \rangle}{\langle 13 \cdot 13 + 9 \cdot 9 + 6 \cdot 6 \rangle} = \frac{\langle 171 \rangle}{\langle 286 \rangle};$$

5. we calculate the bases  $b_2^*$  and  $b_3^*$  using the formula:

$$b_2^* = b_2 - \mu_{21} b_1^* = \left( 13 - \frac{203}{210} \cdot 5; 9 - \frac{203}{210} \cdot 8; 6 - \frac{203}{210} \cdot 11 \right) = \\ = \left( \frac{343}{42}; \frac{133}{105}; -\frac{973}{210} \right) \approx (8.1667; 1.2667; -4.6334);$$

$$b_3^* = b_3 - \mu_{31} b_1^* - \mu_{32} b_2^* = \\ = \left( 3 - \frac{138}{210} \cdot 5 - \frac{171}{286} \cdot \frac{343}{42}; 14 - \frac{138}{210} \cdot 8 - \frac{171}{286} \cdot \frac{133}{105}; 1 - \frac{138}{210} \cdot 11 - \frac{171}{286} \cdot -\frac{973}{210} \right) = \\ = \left( \frac{434595}{84084}; \frac{47961}{6006}; -\frac{41541}{12012} \right) \approx (-5.1685; 7.9855; -3.4583).$$

6. we calculate the vectors lengths  $b_1^*$ ,  $b_2^*$  and  $b_3^*$  using the formula:

$$\|b_1^*\| = \sqrt{5^2 + 8^2 + 11^2} \approx 14.4914,$$

$$\|b_2^*\| = \sqrt{\left(\frac{343}{42}\right)^2 + \left(\frac{133}{105}\right)^2 + \left(-\frac{973}{210}\right)^2} \approx 9.4745,$$

$$\|b_3^*\| = \sqrt{\left(\frac{434595}{84084}\right)^2 + \left(\frac{47961}{6006}\right)^2 + \left(-\frac{41541}{12012}\right)^2} \approx 10.1214.$$

We can see that  $b_2^*$  and  $b_3^*$  vectors are shorter than initial vectors.

Nowadays Today the Lenstra-Lenstra-Lovasz lattice basis reduction algorithm is quite popular and it is possible to find some of its modifications in open access [5]. In this work, the application is based on the open mathematical libraries from NumPhy and Kwant Projects. For dependence assessment of time execution on lattice dimension, matrices with dimension from 1 to 100 with step 1 have been taken with hundredfold calculations. The matrices consisting of casual rational values in the ranges from  $-100$  to  $0$ , from  $-100$  to  $100$ , from  $0$  to

100 and also matrices of rational numbers in the range from  $-0.0000001$  to  $0.0000001$  by rounding to 7 signs after the comma have been taken. All calculations are carried out on the personal computer with the Intel Core i5-3317U processor.

**Conclusion.** Thus, this work includes the analysis of Lenstra-Lenstra-Lovasz lattice basis reduction algorithm. In the work we consider the LLL lattice reduction algorithm analysis, and its programming implementation, its efficiency, performance characteristics during the process of basis resolution process, modes and performance depending on a lattice dimension as well as the main scopes of the algorithm and its practical application in security protocols.

### References

1. Piskova A.V. Usilenie stojkosti shemy autentifikacii informacii putem reshenija neskol'kih vychislitel'no slozhnyh zadach [The enhance resistance of the information authentication scheme by solving several challenging computational problems] // Nauchnye raboty uchastnikov konkursa "Molodye uchenye Universiteta ITMO" 2015 goda [Scientific works of the participants of the contest "Young scientists of the ITMO University" 2015]. – 2016. – P. 234–237 (in Russian).
2. Piskova A.V., Korobeynikov A.G. Razrabotka algoritma elektronnoi tsifrovoi podpisi, osnovannogo na zadachakh faktorizatsii i diskretnogo logarifmirovaniia na ellipticheskikh krivykh [Development of a digital signature algorithm based on factorization and discrete logarithming on the elliptic curves] // Sbornik trudov IV Vserossiiskogo kongressa molodykh uchenykh [Collection of works of the IV all-Russian young scientists' congress]. – 2015. – P. 322–326 (in Russian).
3. Piskova A.V., Korobejnikov A.G. Osobennosti primeneniya teorii reshetok v shemah jelektronnoj cifrovoj podpisi [The application peculiarities of the lattice theory in the electronic digital signature schemes] // Kibernetika i programmirovaniye [Cybernetics and programming]. – 2016. – № 2. – P. 8–12 (in Russian).
4. Lenstra A.K., Lenstra H.W., Lov'asz L. Factoring Polynomials with Rational Coefficients // Math. Annalen. – 1982. – V. 261. – P. 515–534.
5. Piskova A.V., Menshikov A.A., Korobejnikov A.G. Ispol'zovanie ortogonalizacii Grama-Shmidta v algoritme privedeniya bazisa reshetki dlja protokolov bezopasnosti [The use of the Gram-Schmidt orthogonalization in lattice basis reduction algorithms for security protocols] // Voprosy kiberbezopasnosti [Cybersecurity]. – 2016. – № 1(14). – P. 47–52 (in Russian).

УДК 004.056.55

### ТЕОРИЯ РЕШЕТОК В ПОСТКВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ

А.В. Пискова<sup>1</sup>, А.Г. Коробейников<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Информация, обрабатываемая в компьютерных сетях и скоростных телекоммуникационных системах, должна быть хорошо защищена. Это требует непрерывного совершенствования механизмов защиты информации. В работе освещены основные примитивы решеток. Кроме того, предложены будущие направления исследований, необходимые для дальнейшего развития криптографии на основе теории решеток.

**Ключевые слова:** постквантовая криптография, протокол безопасности, теория решеток, базис решетки, NP-полная задача.

**Проблемы современной криптографии.** В настоящее время в современной криптографии существуют следующие проблемы:

- ограниченность количества используемых схем. Каждая схема базируется на определенной «трудной» задаче. Количество таких задач ограничено, а значит, и число рабочих схем криптографии с открытым ключом весьма невелико;
- изменение размера блоков данных и ключей, обусловленное прогрессом математики и вычислительной техники;
- потенциальная ненадежность базиса. В настоящее время теорией вычислительной сложности исследуется вопрос о возможности решения задач данного типа за полиномиальное время. В рамках теории уже доказана связь большинства используемых вычислительно сложных задач с другими аналогичными задачами. Это означает, что, если будет взломана хотя бы одна современная криптосистема, многие другие также не устоят [1, 2];
- отсутствие стойкости против квантовых компьютеров. Согласно алгоритму Шора, с наступлением эры квантовых компьютеров, их огромная вычислительная мощность может вызвать сбой многих, используемых сегодня криптографических схем.

Из всего вышесказанного следует, что для современной криптографии актуальна проблема повышения стойкости путем модификации уже существующих криптосистем.

**Базовые положения теории решеток.** Решетка – это совокупность точек в  $n$ -мерном пространстве с периодической структурой [3]. Пусть базис решетки  $\mathbf{B} = \{\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_n\}$  задан линейно независимыми векторами, тогда под решеткой будем понимать множество целочисленных линейных комбинаций этих векторов

$$\mathbf{L}(\mathbf{b}_1, \dots, \mathbf{b}_n) = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i \mathbf{b}_i, \quad (1)$$

где  $\mathbf{a}_i \in \mathbb{Z} (i=1:n)$  и  $\mathbf{b}_i \in \mathbb{R}^n (i=1:n)$  – линейно-независимые вектора.

**Преимущества теории решеток.** История применения элементов теории решеток в компьютерных задачах берет начало еще на заре становления компьютеров, но применять их в криптографии стали относительно недавно. Созданием алгоритмов, устойчивым к атакам с помощью квантовых компьютеров, занимается особая отрасль криптографии – постквантовая криптография.

Криптостойкость алгоритмов с использованием решеток, как и современных алгоритмов асимметричной криптографии, основана на трудной математической задаче.

К трудным задачам теории решеток можно отнести следующие:

- задача поиска наикратчайшего вектора решетки (Shortest Vector Problem) (рисунок, а);

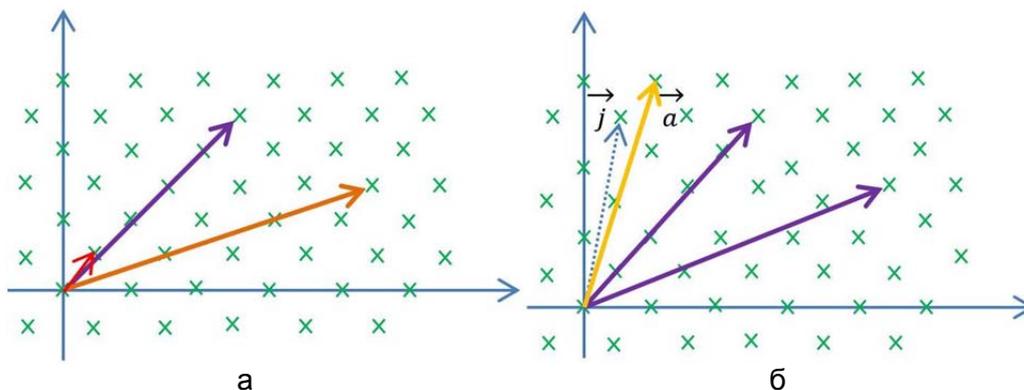


Рисунок. Поиск наикратчайшего (а) и ближайшего (б) вектора решетки

2. задача поиска ближайшего вектора решетки (Closest Vector Problem) (рисунок, б);
3. задача определения минимума длины наикратчайшего вектора решетки (Shortest Independent Vector Problem);
4. задача поиска кратчайшего расстояния между векторами в базисе решетки (GapSVP);
5. задача поиска уникального кратчайшего вектора (unique (Shortest Vector Problem));
6. задача проверки: существует ли вектор решетки для заданного  $E > 0$ , находящийся на расстоянии не более  $E$  (GapCVP);
7. задача нахождения минимума расстояния до ближайшего вектора (Bounded Distance Decoding).

SVP-задача является NP-полной задачей и является наиболее перспективной для использования в протоколах безопасности [4].

**Промежуточные результаты.** Задача нахождения наикратчайшего вектора в решетке (SVP-задача) является NP-полной задачей и представляется наиболее перспективной для использования в протоколах безопасности [4]. Задачи теории решеток лежат в основе целого класса криптографических примитивов и протоколов «постквантовой криптографии», таких как системы шифрования, протоколы аутентификации, электронные цифровые подписи, криптографические хэш-функции.

**Заключение.** В данной работе рассматривались подходы для будущего развития постквантовой криптографии, а именно направление криптографии на основе теории решеток. В связи с тем, что в настоящее время неизвестен ни один полиномиальный алгоритм нахождения кратчайшего вектора в решетке, т.е. решения задачи Shortest Vector Problem [5], использование ее в качестве основы для построения схем электронной цифровой подписи является интересным перспективным направлением для дальнейших исследований.

### Литература

1. Пискова А.В. Усиление стойкости схемы аутентификации информации путем решения нескольких вычислительно сложных задач // Научные работы участников конкурса «Молодые ученые НИУ ИТМО» 2015 года. – 2016. – С. 234–237.
2. Пискова А.В., Коробейников А.Г. Разработка алгоритма электронной цифровой подписи, основанного на задачах факторизации и дискретного логарифмирования на эллиптических кривых // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 322–326.
3. Пискова А.В., Менщиков А.А., Коробейников А.Г. Использование ортогонализации Грама–Шмидта в алгоритме приведения базиса решетки для протоколов безопасности // Вопросы кибербезопасности. – 2016. – № 1(14). – С. 47–52.
4. Пискова А.В., Коробейников А.Г. Особенности применения теории решеток в схемах электронной цифровой подписи // Кибернетика и программирование. – 2016. – № 2. – С. 8–12.
5. Пискова А.В. Теория решеток и ее применение в постквантовой криптографии // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/3345/3345.pdf>, своб.

УДК 004.56

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ  
СИСТЕМАХ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ РЕГУЛЯТОРА****И.Ю. Попов<sup>1</sup>****Научный руководитель – к.т.н., доцент Б.А. Крылов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

Предлагается метод оценки соответствия обеспечения безопасности персональных данных в информационных системах согласно требованиям регулятора. Под оценкой соответствия понимается правильность и полнота выполненных мероприятий по обеспечению безопасности персональных данных в информационных системах. Метод обеспечивает поэтапную проверку имеющийся информационной системы персональных данных на наличие ошибок при проектировании безопасности данной системы.

**Ключевые слова:** информационная система персональных данных, персональные данные, оценка соответствия, экспертная система, информационная безопасность.

**Введение.** В настоящее время установление определенного режима защиты персональных данных представляется весьма актуальным. В деятельности органов внутренних дел, например, образуется много информационных ресурсов, содержащих персональные данные, как официальных (фонды информационных центров, паспортной и визовой служб, разрешительной системы и др.), так и неофициальных [1]. Выполнение требований к защищенности персональных данных при их обработке в информационных системах устанавливается Федеральным законом № 152-ФЗ «О персональных данных» [2]. При создании соответствующих информационных систем обработки и хранения персональных данных (ИСПДн) следует предпринимать меры по предотвращению угроз от несанкционированного доступа, в том числе и по техническим каналам, а также от специальных воздействий на такую информацию в целях ее уничтожения, искажения или блокирования доступа к ней [3]. Для достижения требуемой защиты ИСПДн необходимо провести комплекс мер по оценке защищенности информационной системы в целом. Вследствие этого возникает необходимость проведения оценки защищенности разработанной информационной системы. Основные мероприятия, которые направлены на оценку защищенности, являются сложной и очень трудоемкой работой, объединяющей множество факторов, при которой стоит оценивать множество рисков, угроз безопасности ИСПДн.

В настоящей работе предложено решение задачи обеспечения процедуры выставления оценки соответствия выполненных мер организации информационной безопасности информационной системы согласно нормативно-правовым актам по защите персональных данных Российской Федерации (РФ).

**Описание метода.** Под оценкой соответствия понимается выполнение обязательных мероприятий и требований согласно нормативным актам РФ в области защиты персональных данных.

Осуществляется проверка разработанной информационной системы персональных данных, осуществляющей автоматизированную обработку персональных данных.

Разработанный метод включает в себя пять этапов проверки (рисунок). Проводится оценка соответствия следующих мер защиты:

- уровень защищенности (УЗ) ИСПДн;
- требования по защищенности в соответствии с Постановлением Правительства № 1119;

- организационные и технические меры по обеспечению безопасности персональных данных (ПД);
- оценка соответствия средств защиты по УЗ;
- оценка соответствия средств криптографической защиты информации (СКЗИ).

Входными данными является информация об обрабатываемых персональных данных в информационной системе.

Выходными данными являются оценка защищенности по 3-х бальной шкале «Низкая», «Средняя», «Высокая» и список действий для повышения оценки защищенности.

При неправильном выборе УЗ – оценка соответствия «Низкая», так как смысла в дальнейшей проверке нет.

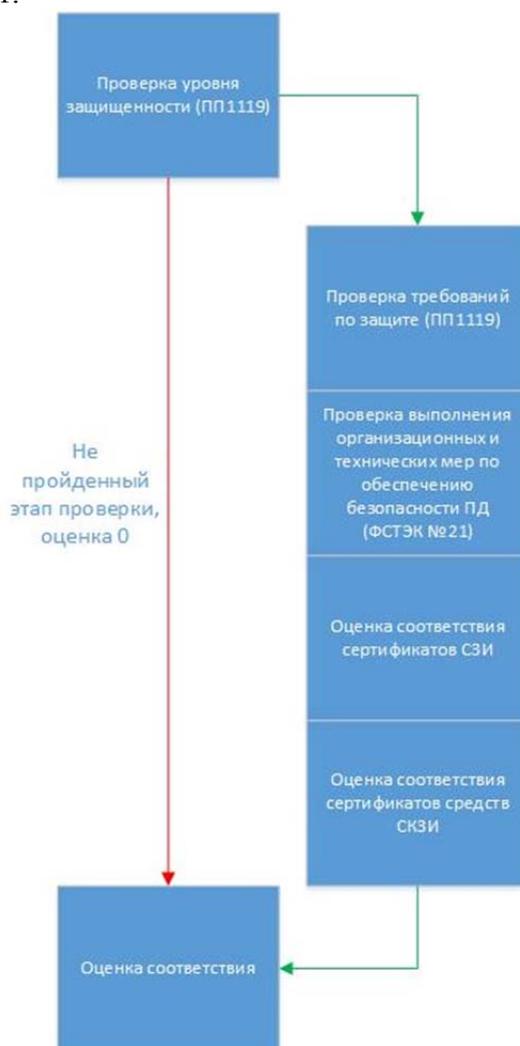


Рисунок. Метод оценки соответствия

**Расчет оценки соответствия.** Расчет оценки соответствия осуществляется в пять этапов. Оценка высчитывается путем подсчета суммы пройденных этапов, после оценка дифференцируется.

$$C = k_1(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5),$$

где  $C$  – это сумма пройденных этапов;  $k_n$  – этап проверки.

Рассмотрим каждый этап проверки подробнее.

Этап 1. Проверка правильности выбора УЗ.

Для проверки УЗ на вход системы подаются параметры, в последствие которых определяется УЗ. Указываются следующие параметры:

1. тип актуальных угрозы (1 тип, 2 тип, 3 тип);

2. категория обрабатываемых данных (биометрические, специальные, иные);
3. число обрабатываемых субъектов (менее 100000, более 100000);
4. обработка персональных данных сотрудников (да/нет);
5. УЗ, определенный оператором (1, 2, 3, 4).

После этого происходит сравнение значения УЗ, определенного оператором, с выходными данными системы. Если значения совпадают, то происходит дальнейшая проверка информационной системы. В случае, если этап не пройден, то проверка дальше не продолжается, оценка соответствия «0».

$$k_1 = \begin{cases} k_1 \rightarrow 1, true \\ k_1 \rightarrow 0, false \end{cases}$$

Этап 2. При успешном прохождении первого этапа проверки, необходимо проверить информационную систему на выполнение обязательных требований по защищенности в соответствии с постановлением № 1119.

В зависимости от уровня защищенности количество обязательных требований по защите и обработке персональных данных в информационных системах свой. Например, для 4 уровня защищенности определяется лишь четыре требования, когда для первого уровня защищенности необходимо выполнение восьми обязательных требований по защите персональных данных.

Расчет оценки происходит исходя из выполнения тех или иных требований. При выполнении параметру  $U$  присваивается значение «1», в противном случае присваивается значение «0».

$$k_2 = \frac{U_1 + \dots + U_n}{n},$$

где  $U_n$  – обязательное к выполнению мероприятие.

Этап 3. Проверка выполнения организационных и технических мер по обеспечению безопасности ПД. Как и во втором этапе проверки, в зависимости от уровня защищенности, проверяется выполнение требований 21 приказа ФСТЭК. Проверка осуществляется по 15 мероприятиям по обеспечению безопасности персональных данных, таких как: идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа, управление доступом субъектов доступа, ограничение программной среды и другие.

Расчет оценки происходит аналогично второму этапу.

$$k_3 = \frac{U_1 + \dots + U_n}{n}.$$

Этап 4. Проверка правильности выбора сертификата средств защиты информации (СЗИ) согласно уровню защищенности. СЗИ проранжированы по классам в зависимости от входных условий, наличия подключения к глобальной сети Интернет, а также зависимости актуальных угроз безопасности информационной системы персональных данных.

Проверка следующих СЗИ сертифицированных по требованиям безопасности:

1. классы средств вычислительной техники;
2. классы систем обнаружения вторжения;
3. классы средств антивирусной защиты;
4. классы межсетевых экранов;
5. уровень контроля отсутствия недеklarированных возможностей.

Расчет оценки происходит исходя из правильности выбора сертификата СЗИ согласно требованиям регулятора. При правильном выборе сертификата, параметру  $U$  присваивается значение «1», в противном случае присваивается значение «0».

$$k_4 = \frac{U_1 + \dots + U_5}{5}.$$

Этап 5. В зависимости от уровня защищенности и типа актуальных угроз происходит проверка правильности выбора класса СКЗИ. На данный момент есть 6 классов СКЗИ: КС1, КС2, КС3, КВ1, КВ2, КА1.

Если класс выбран правильно, то параметру присваивается значение «1», в случае ошибки значение «0».

$$k_5 = \begin{cases} 1, & true \\ 0, & false \end{cases}$$

Выходными данными после проведения проверки является оценка соответствия и список мер, необходимых для повышения оценки соответствия.

Оценки дифференцированные, перевод оценок представлен в таблице.

Таблица. Оценки соответствия

C=	Оценка соответствия
[0, 3,9]	НИЗКАЯ
[4, 4,9]	СРЕДНЯЯ
[5]	ВЫСОКАЯ

**Реализация экспертной системы на основе разработанного метода.** Для разработки экспертной системы выбрана продукционная модель представления знаний [4, 5]. Для программной реализации использовалась оболочка экспертных системы Drools.

Оболочка Drools основана на продукционной модели представления знаний, язык программирования экспертной системы – Java [6].

Для реализации экспертной системы необходимо создать базу знаний, которая состоит из фактов (классов), полей фактов (переменные класса) и правил, где прописаны все действия с переменными.

Реализованная система имеет [7]:

- 24 факта;
- 91 поле фактов;
- 71 правило.

Опытная эксплуатация проводилась на двух автоматизированных системах, обрабатывающих персональные данные.

**Заключение.** Обеспечение безопасности персональных данных является сейчас одной из самых актуальных проблем. Обработкой персональных данных занимаются все предприятия, коммерческие, муниципальные организации, но правильностью организации безопасности персональных данных чаще всего пренебрегают или не создают таковую, ссылаясь на сложность проектирования. Предложенная методика способна выявить проблемы в спроектированной информационной системе персональных данных и получить оценку соответствия согласно требованиям проверяющих организаций.

Данный метод разработан для последующего применения в экспертных системах. В качестве примера разработана экспертная система на базе оболочки Drools.

Проведена опытная эксплуатация на автоматизированных системах обработки и хранения персональных данных.

## Литература

1. Фатьянов А.А. Проблемы защиты конфиденциальной информации, не составляющей государственную тайну // Информационное общество. – 1997. – № 1. – С. 49–56.
2. Миронова В.Г., Шелупанов А.А. Предпроектное проектирование информационных систем персональных данных как этап аудита информационной безопасности // Докл. Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2. – С. 22.

3. Емельяников М. Информационные системы персональных данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iso27000.ru/chitalnyi-zai/zaschita-personalnyh-dannyh/informacionnye-sistemy-personalnyh-dannyh>, своб.
4. Убейко В.Н. Экспертные системы. – М.: МАИ, 1992. – 150 с.
5. Сафонов В.О. Экспертные системы – интеллектуальные помощники специалистов. – СПб.: Общ-во «Знание», 1992. – 29 с.
6. Оливьери Р. Реализация бизнес-логики при помощи процессора правил Drools [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/j-drools/#ibm-pcon/>, своб.
7. Попов И.Ю. Разработка экспертной системы для оценки защищенности персональных данных в компьютерных системах // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 323–325.

УДК 004.75

## СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ, РАБОТАЮЩЕЙ СОВМЕСТНО С GPU

А.А. Пугачев<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.ф.-м.н. В.С. Менделев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрена архитектура, технологии и продукты, необходимые для настройки системы распределенных вычислений, работающей совместно с графическими процессорами, необходимыми для максимально эффективного распараллеливания алгоритмов для повышения скорости их работы.

**Ключевые слова:** системы распределенных вычислений, графический процессор, CUDA, grid engine, очереди, параллельность.

**Введение.** В последние годы появилась большая потребность в повышении скорости вычисления алгоритмов, причем, зачастую, бывает недостаточно оптимизации самого алгоритма. Для решения данной проблемы существует несколько технологий.

Для уменьшения времени работы алгоритма стали использоваться графические процессоры, которые имеют гораздо более большое количество ядер, по сравнению с центральными процессорами, что напрямую влияет на производительность. Для работы с графическими процессорами используется технология CUDA (Compute Unified Device Architecture) [1].

Другой технологией является объединение нескольких компьютеров в кластер, или в систему распределенных вычислений [2]. В данной технологии несколько компьютеров объединяются в единую систему, что позволяет имитировать более мощные компьютеры и, зачастую, даже превосходить их по производительности.

**Архитектура системы распределенных вычислений.** В данной системе существует несколько типов ролей у компьютеров (рисунок, а):

1. Master Host – главный компьютер, отвечающий за распределение задач на исполняющие компьютеры;
2. Execution Host – исполняющий компьютер;
3. Administration Host – компьютер, с которого ведется настройка всей системы;
4. Submission Host – компьютер, с которого осуществляется постановка задачи;
5. Shadow Master – компьютер, который заменит Master Host при возникновении проблем с последним.

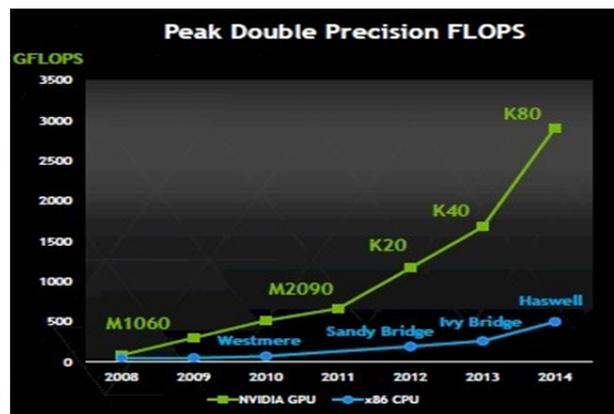
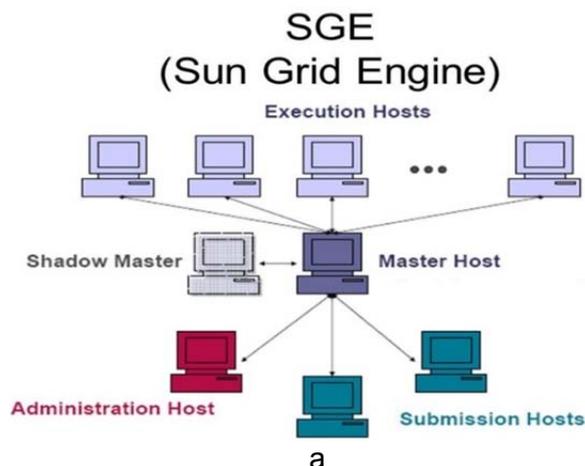


Рисунок. Схема системы распределенных вычислений (а); сравнение производительности CPU и GPU [1] (б)

Пример работы: компьютер, с которого осуществляется постановка задачи (Submission Host), отправляет задачу центральному компьютеру (Master Host), распределяющему задачу для процессоров, указанных в системе, которые принадлежат исполняющим компьютерам (Execution Hosts). Далее исполняющие компьютеры осуществляют выполнение алгоритма и отправляют результаты к центральному компьютеру, после этого центральный компьютер осуществляет компоновку результатов и отправляет конечный результат компьютеру, с которого была поставлена задача. В случае если, по каким-либо причинам, центральный компьютер окажется недоступен, его функции начнет выполнять Shadow Master.

Данная система может значительно повысить скорость вычислений, но есть возможность повысить скорость еще больше: для этого нужно добавить в систему информацию о графических процессорах.

**Рекомендации по настройке системы.** На данный момент наиболее удобным, дешевым, и поддерживаемым является продукт Sun of grid engine. Данный продукт имеет открытый код и поддерживается сообществом. Наиболее удобной операционной системой является Centos 6.7, так как Sun of grid engine разрабатывается именно на ядре этой системы. Для возможности работы с графическими процессорами необходимо установить на каждый исполняющий компьютер CUDA (рисунок, б).

В качестве Shadow Master можно назначить любой исполняющий компьютер – это не вызовет конфликтов при стабильной работе системы, а в случае проблем с центральным компьютером возникнет только снижение производительности. Центральный компьютер может исполнять роль исполняющего – для обработки информации для исполняющих компьютеров можно выделить одно ядро, но по мере возрастания нагрузки лучше выделить все ядра [3].

**Заключение.** В ходе данной работы была создана и протестирована система распределенных вычислений, работающая совместно с графическими процессорами. Система тестировалась на задаче обучения нейронной сети для распознавания речи. В ходе данных тестов было выявлено, что при расширении система не дает линейного прироста в производительности, в связи с тем, что связь между компьютерами осуществлялась с помощью протокола NFS, который и оказался узким местом данной системы. Но, несмотря на это прирост вычислительной мощности был существенен, это означает, что данная технология полностью справляется с возложенными на нее задачами.

## Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html>, своб.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kaldi-asr.org/doc/queue.html>, своб.
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arc.liv.ac.uk/trac/SGE>, своб.

УДК 535.317.2

### АНАЛИЗ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНЫМ УГЛОВЫМ ПОЛЕМ НА ПРИМЕРЕ МАКЕТА С ТРЕМЯ ОПТИЧЕСКИМИ КАНАЛАМИ

В.А. Репин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена описанию макета, являющегося единичным кластером разрабатываемой оптико-электронной системы с дискретным угловым полем, получающей сигнал посредством массива фотодатчиков. Описаны элементная база макета, экспериментальная установка для определения трехмерных энергетических характеристик фотоприемников, а также результаты экспериментов.

**Ключевые слова:** оптико-электронная система, фасеточное зрение, дискретное угловое поле.

Существует большое количество систем и методов наблюдения за объектами и измерения их параметров в широком угловом поле. Подобные системы находят применение в задачах позиционирования, аэрофотосъемке, дефектоскопии полостных объектов, в телескопических системах. Современные широкопольные системы наблюдения имеют свои преимущества и недостатки. Например, системы механического сканирования местности позволяют получать изображения высокого качества, но являются инерционными и требуют наличия механического привода. Объективы типа «рыбий глаз» дают широкое угловое поле, но при этом вносят большую дисторсию. Существуют системы с зеркально-линзовыми насадками, но они дают изображение кольцевой формы, к тому же имеют асферические поверхности (последнее увеличивает их стоимость) [1].

Альтернативным вариантом являются так называемые системы с дискретным угловым полем. Конструктивно данные устройства могут напоминать зрительный аппарат насекомых, поэтому данные системы можно называть фасеточными оптико-электронными системами. Проводя аналогию со зрительным аппаратом насекомых, можно выделить некоторые особенности их зрения, которые возможно воплотить в технической реализации. Известно, что вследствие малых размеров элементарных единиц глаз насекомых при малых смещениях объектов, восприятие переходит к соседним структурным единицам фасеточного глаза, тем самым сообщая особую чувствительность к подвижным телам. Также доказана стереоскопичность зрения насекомых [2]. Данные свойства фасеточных глаз, т.е. стереоскопичность, большие угловые поля и чувствительность к движениям можно попытаться воплотить на практике. Эти черты являются преимуществами технических воплощений фасеточного зрительного аппарата. Разумеется, что у глаз насекомых есть и другие особые черты: восприятие плоскости поляризации, зрение в ультрафиолетовом диапазоне, но эти уникальные особенности носят биохимический характер, и их реализация в технике крайне сложна. Располагая фотоприемные элементы на купольной поверхности, можно, получая сигнал с различных независимых каналов и обрабатывая информацию (например, «сшивая» части изображения наблюдаемого пространства в изображающих системах или сравнивая сигналы с разных принимающих каналов в системах, не дающих изображение), получать сведения о состоянии больших областей в

пространстве. При всем сказанном фасеточные оптико-электронные системы не лишены недостатков, к которым относятся сложность согласования каналов, сложность разработки купольной конструкции, высокая стоимость в случае использования микрооптики и сопряжения линзы с фотодатчиком с помощью оптоволокну, зависимость пространственного разрешения от угловой плотности принимающих каналов и от их числа [3].

После анализа существующих аналогов была поставлена цель: реализовать широкое угловое поле в оптико-электронной системе с дискретным угловым полем, которая будет решать задачу определения координат и скоростей объектов в пространстве, при этом конструктивно она будет выполнена как массив фотодиодов на купольной поверхности. Для этого было решено разработать макет данной системы, имеющий малое число приемных каналов, и с его помощью разработать алгоритм решения указанной задачи, протестировать различные варианты схем включения, а также различные фотоприемники, тем самым выбрав оптимальную по уровню полезного сигнала элементную базу. Также с помощью макета можно приближенно оценить оптимальное значение кривизны купольной поверхности. Таким образом, установка, описанная ниже, являлась единичным кластером разрабатываемой системы.

Для первых экспериментов были выбраны три фотодиода BPW34S производства компании Vishay Semiconductors с максимумом чувствительности на длине волны  $\lambda_{\max} = 900$  нм, работающие в диапазоне  $\lambda = 430-1010$  нм [4]. В качестве источника излучения был использован излучающий диод TSAL5100 с максимумом излучения на длине волны  $\lambda_{\max} = 940$  нм [5]. Диод подбирался таким образом, чтобы длина волны, при которой значение спектральной плотности потока излучения максимально, была близка к длине волны, при которой чувствительность фотодиода максимальна. Энергетический расчет показал, что значение сигнала с фотодиода при расстоянии 1 м от источника излучения и при номинальных параметрах питания источника излучения превышает пороговые шумовые параметры приемника излучения.

Непосредственно макет представлял собой три фотоприемных блока, закрепленных на уголке из алюминия. Каждый фотоприемный блок состоял из оправы, в которой резьбовым кольцом фиксируется линза с угловым полем  $18^\circ$  для ограничения углового поля каждого фотодиода. Предполагалось, что линза позволит выделить некоторую узкую область в угловом поле приемника излучения, таким образом, позволив позиционировать источник излучения более точно. С другой стороны в оправу вмонтирован фотодиод. Его выводы подсоединялись к микроконтроллеру на плате Arduino Uno, которая, в свою очередь, сообщалась с компьютером, являющимся блоком обработки и управления, через USB-кабель (рис. 1).

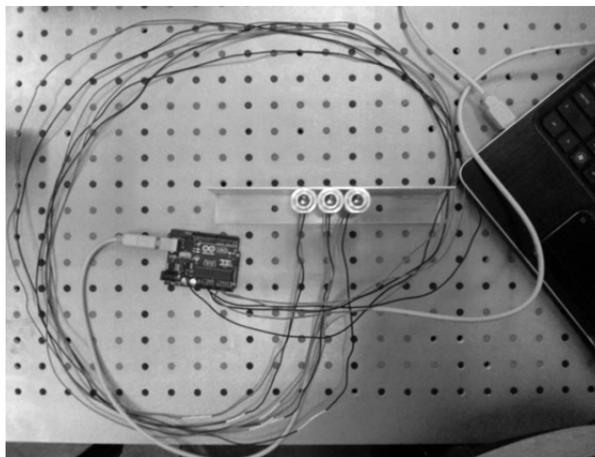


Рис. 1. Макет оптико-электронной системы с дискретным угловым полем

Данное устройство устанавливалось с помощью отверстий в основании уголка винтами на механический позиционер. На расстоянии приблизительно 25 см закреплялся излучающий диод, выводы которого подключались к источнику питания. Механический позиционер также был подключен к источнику питания и имел связь с блоком обработки и управления. Последний тоже подключался к источнику питания. В эксперименте столик подвижки перемещался вместе с макетом в плоскости, параллельной плоскости расположения излучающего диода, источник излучения при этом оставался неподвижным. Так было смитировано перемещение излучающего диода в поле зрения фотоприемных каналов.

В среде программирования LabVIEW была написана программа, которая позволяла снять вводимое число отсчетов с каждого фотоприемного канала, а также управляла движением механического позиционера. В программе предусматривалась возможность изменения скорости шаговых двигателей механического позиционера, а также изменение шага движения столика. Кроме того, вводились значения расстояний по двум координатам плоскости, в которых будут проходить точки поверхности столика в процессе измерений с задаваемым шагом (т.е. длина и ширина площадки, которую будут проходить точки поверхности подвижного столика).

Алгоритм позволял усреднять данные с каждого фотоприемного канала после снятия заданного числа измерений при определенном значении плоских координат, и сохранять данные в массив. После одного такого акта измерений столик перемещался на один шаг, и измерения повторялись. В конечном итоге было получено три двумерных массива данных, в каждой ячейке массива было среднее значение сигнала за заданное количество измерений в безразмерных единицах, соответствующее определенному значению координат столика с размещенным на нем макетом. 100 единиц (максимально допустимый сигнал для плат платформы Arduino Uno) соответствовали сигналу в 5 В.

Значения сигналов записывались в файл.

Была задана площадь «сканирования»  $100 \times 100$  мм с шагом 5 мм. В результате были получены трехмерные графические зависимости сигнала с каждого канала от положения источника излучения относительно установки, представленные на рис. 2.

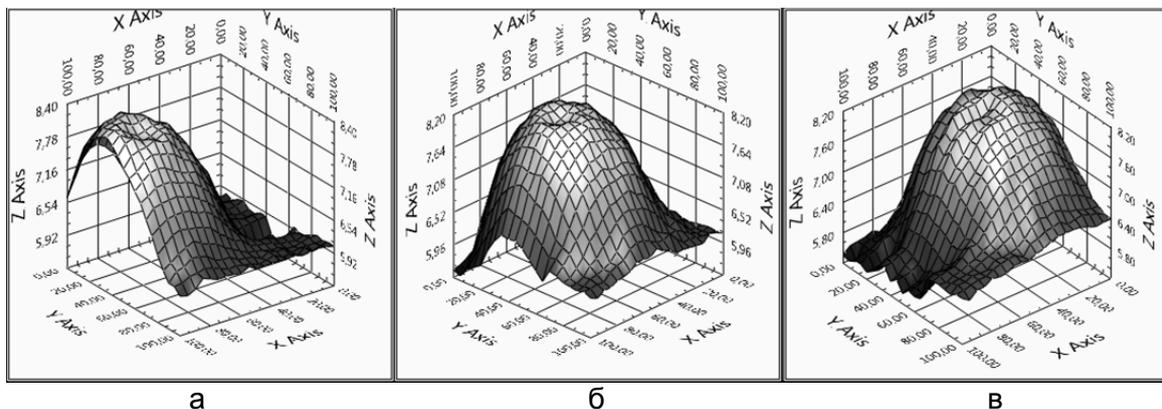


Рис. 2. Экспериментальные графики зависимости сигнала от взаимного расположения источника относительно установки для трех каналов

Проанализируем приведенные изображения. В центре – график сигнала для центрального канала. По графикам для боковых каналов видно, что их часть срезана. Это объясняется следующим образом: при данном расстоянии от установки до источника излучения (25 см) площадь сечения угловых полей каждого канала такова, что диапазон, в котором измерение проводится таким образом, чтобы полностью «захватить» угловые поля крайних каналов.

Если сравнить максимальный сигнал с уровнем фоновой засветки (эксперимент проводился в условиях дневного освещения), то можно сказать, что его значения

невелико по сравнению с уровнем фона, и для оптимального анализа сигнала системой необходима работа с более мощными источниками излучения, либо использование усилителей. При работе с источниками, уровень сигнала которых меньше или приблизительно равен уровню сигнала используемого излучающего диода, необходимы условия слабого стороннего освещения, либо использование определенных алгоритмов, позволяющих исключить влияние фоновых засветок. Описываемые графики можно использовать как градуировочные характеристики. Получив подобные энергетические характеристики приемников излучения, т.е. зная соответствие между сигналом и координатой источника излучения, можно, задаваясь значениями сигнала, определить координату, и, сравнивая полученное значение с экспериментальным, вводить поправку, т.е. калибровать систему. На этом принципе может быть основан алгоритм определения координат объекта в пространстве с помощью фасеточной оптико-электронной системы.

Планируются аналогичные эксперименты с использованием других приемников излучения для снятия энергетических характеристик, подобных рассмотренным, и с более мелким шагом для повышения точности. Также планируется совершенствование программы, описанной выше, разработка алгоритма определения координат объекта в пространстве, алгоритма калибровки системы по получаемым энергетическим характеристикам.

### Литература

1. Соломатин В.А., Иванова Н.В. Современные направления развития панорамных оптических и оптико-электронных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oop-ros.org/maket2012/part1/ref1\\_1/1.2.1.pdf](http://www.oop-ros.org/maket2012/part1/ref1_1/1.2.1.pdf), своб.
2. Захваткин Юрий Алексеевич. Курс общей энтомологии: учебник. – 4-е изд. – М.: ЛЕНАНД, 2015. – С. 140–146.
3. Фасеточные оптико-электронные системы: тенденции и перспективы: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.oop-ros.org/maket/part3/3\\_4.pdf](http://www.oop-ros.org/maket/part3/3_4.pdf), своб.
4. Чип и Дип. Приборы и электронные компоненты: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/277/DOC000277441.pdf>, своб.
5. Чип и Дип. Приборы и электронные компоненты: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/250/DOC000250735.pdf>, своб.

УДК 681.7.063

### ВЛИЯНИЕ НАГРЕВА ИМПУЛЬСНЫМ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРОМ НА ПАРАМЕТРЫ РЕШЕТОК БРЭГГА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ

С.С. Ригин<sup>1</sup>, Д.А. Паланджян<sup>1</sup>, С.В. Варжель<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Петров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе изучено влияние импульсной лазерной обработки СО<sub>2</sub>-лазером на параметры брэгговских решеток, записанных в одномодовом оптическом волокне с эллиптической напрягающей оболочкой. Показано, что результат воздействия на волокно зависит от ориентации эллипса напрягающей оболочки относительно луча лазера. В зависимости от нее характер изменения спектра отражения волоконных брэгговских решеток может быть различным.

**Ключевые слова:** оптическое волокно, брэгговская решетка, эллиптическая напрягающая оболочка.

В сфере оптических коммуникаций волоконные брэгговские решетки (ВБР) широко используются в оптических волокнах и планарных волноводах для оптической фильтрации сигналов, как сглаживающие фильтры в оптических усилителях, и для компенсации дисперсии в каналах связи. На свойстве отражения узкой части спектра на

периодической структуре в волокне основаны резонаторные зеркала в волоконных и полупроводниковых лазерах. С их помощью можно контролируемо изменять длину волны генерации в пределах контура усиления активной среды лазера, обеспечить стабильность генерации, уменьшить ширину усиления спектральной линии и т.д. [1]. В области измерительных систем на свойствах волоконных решеток Брэгга основаны датчики для регистрации изменений параметров окружающей среды, таких как температура, давление, деформация, содержание веществ [2]. Важным параметром при практическом использовании является также высокая термостойкость решеток.

При записи ВБР наведенная модуляция показателя преломления резко зависит от параметров записывающего импульса, и контролировать эту зависимость довольно сложно, поэтому актуальным вопросом являлся подбор режимов постобработки неразрушающим способом для прецизионного управления параметрами решеток, так как разные устройства требуют ВБР с различными параметрами. В работе [3] представлена техника обработки решеток с помощью  $\text{CO}_2$ -лазера, предварительно записанных в оптическом волокне (ОВ) с помощью фемтосекундного титан-сапфирового лазера. Данный метод позволяет получить сэмплированные решетки и подавлять центральный максимум отражения, увеличивая при этом интенсивность боковых максимумов.

В настоящей работе исследованы различные режимы обработки импульсным ТЕА (Transversely Excited Atmospheric)  $\text{CO}_2$ -лазером решеток, записанных в ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой. Исследовались решетки, записанные методом фазовой маски в волокнах диаметром 125 мкм. Для экспериментов использовалась установка, схема которой показана на рис. 1. Излучение с длиной волны  $\lambda=10,6$  мкм, длительностью импульса  $\tau=200$  нс и частотой следования  $f=18$  Гц фокусировалось объективом в область волокна, содержащую ВБР. Обработка производилась путем нанесения линий, перпендикулярно волокну, с заданным шагом вдоль волокна. Диаметр пятна на волокне составлял 60 мкм. Скорость сканирования была подобрана такой, чтобы коэффициент перекрытия пятна составил  $1/3$ . В процессе обработки использовались широкополосный источник излучения (ШИИ), излучение которого отражалось от ВБР и попадало в оптический спектроанализатор (ОСА), на котором фиксировался спектр отражения решетки. Для большей наглядности при наблюдении спектра в цепь параллельно обрабатываемой решетке была включена решетка сравнения, которая не подвергалась обработке и ее пик отражения можно было считать опорным.

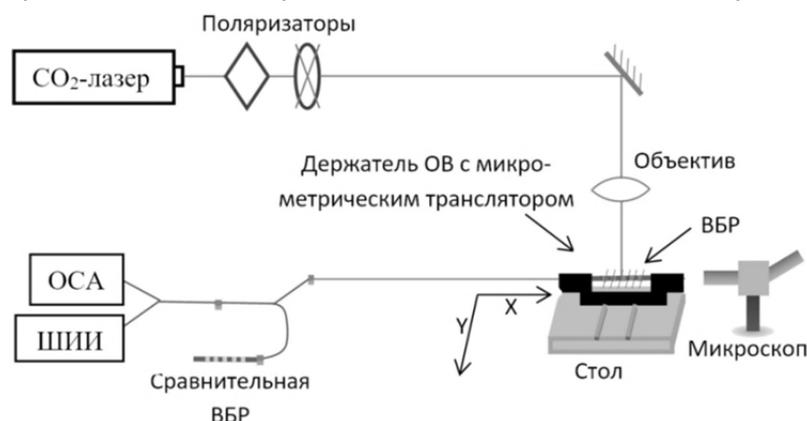


Рис. 1. Схема установки для обработки ВБР

На первые два образца было нанесено по 40 линий с шагом в 500 мкм при мощности импульса  $1,39 \cdot 10^4$  Вт, но результат обработки для каждого образца оказался разным: для одной решетки интенсивность отражения практически не изменилась, для другой – упала в 4 раза. Из чего было сделано предположение, что результат воздействия зависит от ориентации эллипса напрягающей оболочки волокна

относительно луча лазера, поэтому для следующих образцов ориентация эллипса определялась с помощью микроскопа и регулировалась вращателем волокна.

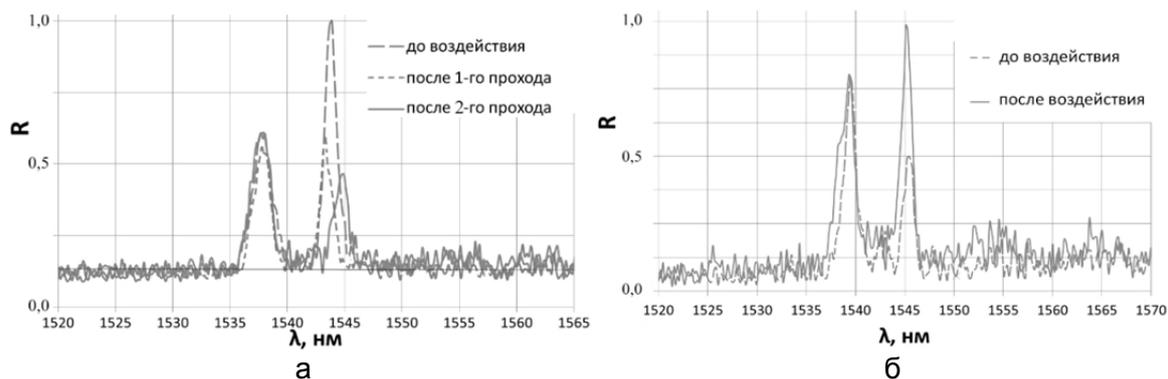


Рис. 2. Изменение спектра отражения при вертикальной (а) и горизонтальной (б) ориентациях эллипса напрягающей оболочки

Спектры отражения решетки, обработанной при вертикальной (большая полуось параллельна лучу) и горизонтальной (большая полуось перпендикулярна лучу) ориентациях эллипса с увеличением числа проходов по тем же линиям представлен на рис. 2. Мощность импульса была уменьшена до  $8,3 \cdot 10^3$  Вт. Левый пик в спектре соответствует опорной решетке, правый – обрабатываемой.

Как видно из спектров, с увеличением числа проходов интенсивность пика отражения при вертикальной ориентации падает: после первого прохода на 40%, после второго – еще на 15%. При горизонтальной ориентации интенсивность отражения возросла вдвое.

К достоинствам такого метода обработки решеток стоит отнести относительную простоту и высокую скорость обработки, а также отсутствие заметных повреждений оболочки волокна при обработке, что продемонстрировано на рис. 3.

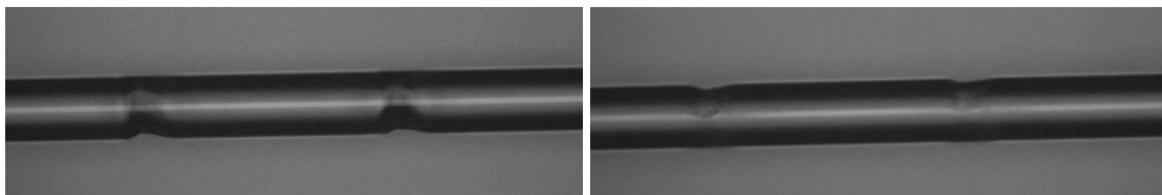


Рис. 3. Фотографии волокон с ВБР после обработки

**Заключение.** Исследован метод импульсной лазерной обработки брэгговских решеток, записанных в анизотропных волокнах с эллиптической напрягающей оболочкой. Показано, что ориентация напрягающей оболочки влияет на результат обработки, а именно: обработка в вертикальном положении способствует уменьшению коэффициента отражения решетки, в горизонтальном – увеличению отражения. Показано, что импульсная лазерная обработка может осуществляться без заметных механических повреждений оболочки волокна.

### Литература

1. Васильев С.А., Медведков О.И., Королев И.Г., Божков А.С., Курков А.С., Дианов Е.М. Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. – № 12. – С. 1085–1103.
2. Петров А.А., Варжель С.В., Куликов А.В., Паланджян Д.А., Грибаев А.И., Коннов К.А. Запись решеток брэгга в анизотропном оптическом волокне излучением эксимерного ArF лазера // Изв. вузов. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 6. – С. 31–36.

3. Fang X., He X.Y., Liao C.R., Yang M., Wang D.N., Wang Y. A new method for sampled fiber Bragg grating fabrication by use of both femtosecond laser and CO<sub>2</sub> laser // Opt. Express. – 2010. – V. 18. – № 3. – P. 2646–2654.

**УДК 336.767.3**

**РИСКИ ДОЛГОВЫХ ЦЕННЫХ БУМАГ КАК ФИНАНСОВОГО  
ИНСТРУМЕНТА**

**А.И. Ртищев<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.э.н., доцент Л.Ю. Ласкина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Деятельность, как компании, так и инвестора, на фондовом рынке всегда связана с определенным видом риска. В случае если инвестор пожелает приобрести ценную бумагу, краеугольным камнем принятия его решения, будет выступать соотношение доходности финансового инструмента и риска его приобретения. Риск с позиции эмитента будет выражаться в том, сможет ли он привлечь необходимый объем финансовых ресурсов и как источник такого вида заемного капитала будет отражаться на его финансовых результатах.

**Ключевые слова:** облигационный заем, риски ценных бумаг, источник финансирования, финансовые инструменты.

Началом существования современного рынка корпоративных облигаций в России можно считать период конца XX века. Начиная с 1999 г. компании начинают все чаще обращаться к рынку корпоративных облигаций как источнику финансирования крупных сумм на длительные сроки, который дает возможность обращаться ко всему рынку, и игнорировать ограничения, связанные с индивидуальными кредитными сделками и кредитными возможностями коммерческих банков.

В данной работе рассмотрены основные риски, с которыми столкнется эмитент в процессе привлечения финансовых ресурсов посредством использования облигационного займа. Определяются основные цели и задачи привлечения долговых ценных бумаг эмитентом. Анализируются состояние и тенденции рынка корпоративных долговых ценных бумаг в России [1].

Посредством возможностей, открывающихся для эмитента в процессе привлечения финансовых ресурсов путем обращения к рынку корпоративных облигаций, данный вид финансирования предприятия приобретает все большую популярность и в России.

Основной целью увеличения заемного капитала с помощью использования долговых ценных бумаг является привлечение инвестиций, через которые предприятие способно решить ряд следующих задач:

- покрытие краткосрочного дефицита денежных ресурсов, необходимых для финансирования оборотных средств;
- покрытие средне- и долгосрочного дефицита финансовых ресурсов, необходимых для финансирования капитальных вложений, включая проекты дочерних компаний.

Помимо привлечения инвестиций, целями, с которыми предприятие обратилось к долговому ценным бумагам, могут быть реструктурирование бизнеса и прочие.

Выпуск облигаций, связанный с реструктурированием бизнеса, служит решению следующих задач:

- изменение структуры собственности, а также использование ценных бумаг в качестве инструмента конкуренции;
- закрытие неперспективных компаний и их подразделений;
- финансовое реструктурирование.

В качестве прочих целей обращения к рынку долговых ценных бумаг можно выделить маркетинг предприятия, создание биржевой и кредитной истории для получения более льготных условий финансирования на зарубежных рынках и внутри страны, а также финансовый инжиниринг.

Таким образом, в случае если компании удастся разместить свои долговые ценные бумаги, возникает публичное событие, получающее определенный общественный резонанс, что способствует созданию позитивной кредитной истории корпорации и повышению уровня ее инвестиционной привлекательности. Впоследствии, созданная кредитная история и инвестиционный статус будут способствовать удешевлению займа посредством привлечения коммерческих банков.

Несмотря на ряд преимуществ, раскрывающихся для эмитента в процессе обращения к рынку долговых ценных бумаг, облигациям, как и любым другим финансовым инструментам, свойственны определенные риски.

Проанализировав информацию, предоставленную рядом коммерческих банков и СРО, был сделан вывод, что основными видами риска для эмитента в процедуре эмиссии долговых ценных бумаг являются следующие пункты:

1. необходимость публичного раскрытия. С одной стороны, данный пункт для эмитента выступает в качестве положительной характеристики, так как делает компанию более прозрачным для потенциальных инвесторов. Обратная сторона медали заключается в том, что компания-эмитент становится информационно более открытой, в том числе и для конкурентов;
2. высокие регулятивные издержки. Данное обязательство представляет для эмитента риск более тяжелой налоговой нагрузки в отличие от операций с векселями и банковскими кредитами, так как эмитенту необходимо платить налог на операции с ценными бумагами;
3. высокие переменные издержки. Одним из обязательных пунктов в процедуре эмиссии ценных бумаг согласно закону «О рынке ценных бумаг» является государственная регистрация выпуска (дополнительного выпуска) эмиссионных ценных бумаг или присвоение выпуску (дополнительному выпуску) эмиссионных ценных бумаг идентификационного номера [2]. Размер госпошлины, которую необходимо оплатить эмитенту, составляет 0,2% от номинальной суммы выпуска (дополнительного выпуска) но не более 200 тыс. рублей [3]. Помимо этого, существенные затраты эмитента складываются из подготовки, размещения и обслуживания облигационного займа, а также финансового посредничества;
4. риск «темной лошади». Плата за «вход на рынок» эмитента, который является относительно неизвестным и чьи финансовые инструменты не имеют биржевой истории, имеет более высокие процентные издержки и расходы по сравнению с действующими участниками рынка;
5. временные риски. По сравнению с индивидуальными кредитными сделками, обращение к рынку ценных бумаг имеет более длительный срок на подготовку привлечения заемных средств. Таким образом, перед эмитентом может возникнуть риск невостребованности его финансовых инструментов среди потенциальных инвесторов;
6. риск неразмещения займа или его привлечение под более высокие проценты. Данный риск непосредственно связан с предыдущим. Так, в процессе подготовки эмиссии облигаций спрос со стороны инвесторов на них может быть крайне мал, или вообще отсутствовать как таковой.

Что же касается риска привлечения заемного капитала под более высокие проценты, то тут имеет место быть «конкурс по ставке купона», в процессе которого потенциальные инвесторы определяют приемлемую для них величину купона ценной бумаги.

Следует отметить, что данные категории риска будут носить для эмитента регулярный характер. Однако в отношении последнего эмитентом могут быть предприняты следующие действия, а именно, принятие решения об отказе размещения ценных бумаг либо частичном размещении [4].

В случае успешного размещения эмитентом своих долговых обязательств среди инвесторов, перед первым возникает целый ряд новых рисков, которые можно классифицировать в две большие группы, такие как систематический и несистематический риск.

Систематический риск для эмитента будет выражаться в том, что падение цены его ценных бумаг будет спровоцировано ситуацией, на которые эмитент никак не в силах повлиять. В качестве таких обстоятельств можно выделить социальные волнения в стране либо введения санкций против страны, в который разместился эмитент.

Под несистематическим риском для эмитента будет раскрываться целый список, в отношении которого эмитент сможет применить определенного рода действия для минимизации последствий рисков в случае их реализации либо их избежание. Обязанность эмитента раскрывать свои действия в отношении предотвращения и минимизации последствий рисков находит отражение в ежеквартальном отчете эмитента.

В несистематической группе рисков эмитенту стоит обратить особое внимание на финансовую категорию риска, которая, как правило, отражается в формировании финансового левериджа эмитента. Наличие данного показателя – есть потенциальная возможность влиять на прибыль эмитента путем увеличения объема и структуры долгосрочных пассивов. Эффект финансового левериджа состоит в том, что чем выше его значение, тем более нелинейный характер приобретает связь между чистой прибылью предприятия и его валовым доходом. Следовательно, незначительное изменение валового дохода в условиях высокого финансового левериджа приводит к тому, что значительно изменяется чистая прибыль компании.

По итогам сентября 2015 года эмиссионная активность заемщиков на рынке корпоративных облигаций России существенно повысилась относительно предыдущих месяцев. Так, по состоянию на 1 сентября 2015 года темп роста показателя объема рынка корпоративных облигаций составил 0,5% по отношению к июлю 2015 года.

Структура РКО (рынка корпоративных облигаций) России по состоянию на начало сентября 2015 года выглядит следующим образом:

- 27,0% (2 070,9 млрд руб.) объема приходится на банковский сектор;
- 23,0% (1 768,6 млрд руб.) – на нефтегазовую отрасль;
- 18,5% (1 406,1 млрд руб.) – на другие финансовые институты;
- 31,5% (2 339,7 млрд руб.) – на выпуски остальных отраслей экономики Российской Федерации.

Таким образом, объема РКО России по итогам 1 сентября 2015 года составил 38,8% относительно аналогичного периода предыдущего года [5].

Высокий спрос на ценные бумаги со стороны негосударственных пенсионных фондов (НПФ), доверительных управляющих и банков позволил эмитентам разместить облигации в полном объеме и по доходности, не превышающей первоначально объявленные ориентиры. В октябре-ноябре 2015 г. объемы размещения корпоративных облигаций могли возрасти в связи с запланированными эмитентами на указанный период значительными объемами погашения и оферт.

Активность операций на вторичном рынке корпоративных облигаций возросла на фоне уменьшения оттока средств нерезидентов. Средний дневной объем вторичных торгов корпоративными облигациями на ФБ ММВБ в сентябре по сравнению с предыдущим месяцем увеличился с 15,8 до 18,3 млрд руб. При этом в обороте вторичных торгов корпоративными облигациями наибольшую долю по-прежнему составляли бумаги банков и финансовых институтов.

Таким образом, можно сделать вывод, что несмотря на ряд рисков, которые выступают перед эмитентами в процессе размещения ценных бумаг, а также после их размещения, российский рынок корпоративных облигаций продолжает рост.

### Литература

1. Nyborg K. The Use and Pricing of Convertible Bonds // Applied Mathematical Finance. – 2012. – V. 3. – P. 167–190.
2. Федеральный закон от 22.04.1996 № 39-ФЗ (ред. от 30.12.2015) «О рынке ценных бумаг».
3. «Налоговый кодекс Российской Федерации (часть вторая)» от 05.08.2000 № 117-ФЗ (ред. от 05.04.2016, с изм. от 13.04.2016).
4. Миркин Я.М., Лосев С.В., Рубцов Б.Б., Добашина И.В., Воробьева З.А. Руководство по организации эмиссии и обращения корпоративных облигаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mirkin.ru/\\_docs/corp\\_bonds.pdf](http://www.mirkin.ru/_docs/corp_bonds.pdf), своб.
5. Корпоративный сайт финансового информационного агентства «Cbonds» / Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cbonds.ru/news/>, своб.

УДК 330.34

## ВКЛАД ТВОРЧЕСКИХ ОТРАСЛЕЙ В ДИНАМИЧНЫЙ РОСТ ЭКОНОМИКИ ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИЙ

А.А. Рудович<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.э.н., доцент С.В. Мурашова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрен вклад творческих отраслей в динамичный рост экономики посредством создания инноваций. В процессе работы была выявлена особая инновационность творческих отраслей по сравнению с остальными отраслями экономики, отражены показатели экономического роста творческих отраслей, а также продемонстрированы значительные структурные и качественные изменения, которые требуют и создают возможности для инноваций в творческих отраслях экономики.

**Ключевые слова:** инновации, творческие отрасли, развитие экономики.

Творческие индустрии уже давно рассматриваются как инновационный сектор. Последние исследования утверждают, что творческая деятельность также является фундаментальным, но забытым драйвером инноваций. Результаты исследований в Великобритании подчеркивают, что фирмы творческих индустрий с большей охотой применяют собственные инновации при создании продукта, чем заимствованные. Творческие виды деятельности представляют собой более надежный основной драйвер инноваций.

**Цель работы** – изучение вклада творческой деятельности в развитие экономики путем создания инноваций, основываясь на данных передового мирового опыта. Данный вопрос был проанализирован в процессе исследования методов моделирования инновационной среды в креативной экономике.

Творчество считается весьма важным для инноваций и экономического успеха. Компании творческих отраслей, таких как: дизайн, издательское дело, программное обеспечение или искусство – как правило, рассматриваются как особенно инновационные.

Предполагаемая инновационность и динамичность творческих отраслей в странах с развитой экономикой привлекла значительное внимание в последние годы. Творческие индустрии представляют собой набор разнообразных отраслей, который по

определению Департамента по культуре, СМИ и спорту в Великобритании включает: рекламу; архитектуру; искусство и антиквариат; индустрию моды; видео, кино и фотографию; музыку и искусство; издательскую деятельность; программное обеспечение, компьютерные игры и электронные издания; радио и телевидение; ремесло и дизайн. Одна из причин их важности – инновации. В то время как существует значительное разнообразие инновационных отраслей экономики, творческие индустрии считаются особенно инновационными, поскольку они напрямую зависят от производства новых товаров и поэтому, вероятнее всего, производят больше инновационных продуктов. Кроме того, творческие отрасли функционируют в условиях быстро меняющейся среды, и их участники своевременно реагируют на потребности рынка, что приносит ощутимый результат в процессе создания инноваций [1].

Это привело к тому, что творческие индустрии в значительной мере встали на повестку дня политики правительства в области развития многих стран. Творческие сферы деятельности характеризуются быстрым темпом роста: на сегодняшний день на долю креативных отраслей приходится уже около 10% глобального валового внутреннего продукта (ВВП). Ежегодный рост креативной экономики колеблется от 5 до 20%. По некоторым оценкам основной прирост ВВП в будущем на 85% обеспечится за счет развития креативных отраслей, а темпы роста всей креативной экономики превысят темпы роста экономики отдельных стран. В то время как занятость в творческих отраслях выросла на 40% в период между 1995 г. и 2007 г., число работников творческих профессий выросло более чем на 70%. Большинство исследований в этой области рассматривали идеи Ричарда Флориды о творческом классе, ряде работников «творческих профессий» в экономике. Некоторые исследования проверили связь между творческими сферами деятельности и инновациями. Они считают, что в регионах Европейского Союза (ЕС) высокообразованные люди творческих профессий оказывают важное влияние на общую эффективность производства [2].

Согласно основного доступного источника статистических данных по инновациям, Innovation Survey Community, данные которого собираются государствами-членами ЕС, творческие предприятия в мире являются весьма инновационными:

- более половины оборота продукции предприятий творческой индустрии происходит за счет использования инноваций;
- более пятой части творческих предприятий сообщают о наличии соглашения о сотрудничестве по внедрению инноваций – почти вдвое больше, чем в других отраслях, где кооперация встречается гораздо реже;
- творческие индустрии сообщают, что продукториентированные инновационные эффекты являются самыми сильными;
- творческие предприятия также являются более активными при защите своих инноваций, чем другие компании;
- творческие предприятия также сталкиваются с более серьезными препятствиями на пути инноваций. Квалифицированный персонал труднее набирать, чем в других отраслях промышленности, но нормативные препятствия реже встречаются.

Алекс Уилкинсон также рассматривает творческие отрасли. Он приходит к выводу, что творческие индустрии имеют высокий уровень всех инновационных показателей: около 78% фирм регулярно разрабатывают инновации – это более высокий процент, чем в любых других сферах производства.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что компании творческих отраслей с большей вероятностью внедряют новые продукты и процессы, а также меняют и адаптируют свои структуры и подходы. Это, как отмечает Уилкинсон, может играть важное значение для получения максимальной отдачи от продукции и технологических инноваций [3].

По другим показателям фирмы, работающие в творческих отраслях приписывают 52% своего оборота разработке новых или усовершенствованных продуктов по сравнению с 40% оборота фирм в других отраслях промышленности. К тому же фирмы творческих индустрий более склонны рассматривать правовые вопросы защиты интеллектуальной собственности – в том числе авторского права и патентования – как источника сохранения инноваций.

Таким образом, творческие отрасли являются инновационными, и их инновации выходят далеко за рамки технологических новшеств.

Инновационная деятельность в креативной экономике делится на несколько типов. Во-первых, инновационная деятельность в творческих отраслях включает в себя научные исследования и разработка новых продуктов. Исследование вкусов и предпочтений людей играет жизненно важное значение в формировании новых продуктов и услуг. Другая форма инновационной деятельности касается инноваций в организационных формах или бизнес-моделях. Третий тип инноваций – новые комбинации существующих технологий и процессов – является обычным явлением: в творческих индустриях существующий контент часто используется в новых целях. Для ТВ программ создаются форматы для мобильных телефонов или интернет-загрузчиков; музыка делается доступной для MP3-плееров.

И, наконец, существуют многочисленные инновации, которые появляются на рабочем месте в процессе создания новых продуктов и которые не могут быть воспроизведены. Творческие индустрии требуют инновационные решения проблем, но многие из новых решений являются одноразовыми. Бизнесу нелегко воспроизвести такие новые подходы, хотя некоторые технические разработки (например, полезные строки кода в видеоиграх) могут систематически архивироваться.

Творческие индустрии претерпевают значительные структурные и качественные изменения, которые требуют и создают возможности для инноваций. Эти изменения включают в себя: новые технологические платформы – новые информационные технологии, связанные с оцифровкой большого творческого контента, изменяют способы, которыми продукты создаются, поставляются и продаются. Это особенно видно в развитии видеоигр, но характерно для всех творческих отраслей.

Потребители, как частные лица, так и фирмы, становятся все более изощренными в своих вкусах и выборе. Потребители с большей готовностью делятся своим мнением между собой и с производителями, что приводит к еще большей вовлеченности всех участников рынка в процесс создания и модификации творческих продуктов.

Институциональные изменения, такие как: новые нормативные требования и глобализация отраслей и рынков труда. Многие компании и творческие работники предоставляют услуги аутсорсинга за границей или даже меняют место жительства, распространяя инновации в глобальном масштабе. Кроме того, творческие работники, вовлеченные в другие «нетворческие» сектора экономики, например, дизайнеры в производстве, зачастую становятся частью инновационной стратегии фирмы.

Новые продукты генерируются на новые рынки сбыта. Например, творческие фирмы выходят на образовательные рынки с новыми типами образовательных видеоигр, таким образом, фирм-производители становятся поставщиками услуг, меняя свои бизнес-модели.

Разработки передовых инноваций в творческих отраслях стимулируются тем, что конкуренты, в свою очередь, также используют инновации, чтобы получить долю рынка и выйти на новые рынки [3].

Исходя из вышесказанного, рассмотрены данные тенденции как основные драйверы инноваций в секторе креативной экономики.

Новые информационные технологии оказывают глубокое влияние на формирование для бизнес-среды и цепочек поставок творческой продукции. Новые

информационные технологии продолжают применяться все более широко и интенсивно как на потребительском рынке, так и рынке для бизнеса, а также в цепочке поставок и бизнес-среде творческих фирм. Особенно важным здесь является: оцифровка контента; ожидания вокруг цифровой доставки контента; расширение широкополосной связи и вычислительной техники (и возможностей со стороны клиентов и деловых партнеров); разработка различного прикладного программного обеспечения; новые каналы для доставки или использования контента. Это создают возможности использования новых путей разработки, воспроизведения и распространения знакомых продуктов; новые комбинации знакомых продуктов; и создание совершенно новых продуктов. Также появляется перспектива новой конкуренции в результате «цифровой конвергенции» (размывание границ между творческими отраслями, а также между такими отраслями, как телекоммуникации и компьютерная индустрия). Эти технологические драйверы инноваций имеют большое влияние на все творческие отрасли, но наибольшее – в развитии видеоигр. Промышленность должна адаптироваться к развитию технологий, обеспечивая возможности для расширения опыта, новых возможностей, функциональности и возможностей подключения. Широкополосная связь позволяет онлайн-игры, в то время как мобильные телефоны представляют собой не только новые платформы, но и влияют на разработку новых концепций для игр. Другие отрасли также чувствуют давление меняющейся технологической среды, в рекламе, например, с помощью технологий не только создается обеспеченность новыми маркетинговыми каналами, но создается фрагментация аудитории на нескольких носителях. Новые информационные технологии влияют на характер продукта (за счет обогащения содержания или возможностей доставки). Это позволяет также производить более сложные исследования рынка и стимулировать маркетинг инноваций (интеллектуальный анализ данных, а также прямой маркетинг с помощью электронной почты и веб-среды). И это меняет то, как проводится инновационная деятельность и практически все мероприятия, связанные с инновационной деятельностью, в которых могут быть применены новые технологии обработки информации.

Частично отражает эти технологические тенденции распространение новых механизмов доставки контента, ведущие к применению новых медиа, новым каналам сбыта и новым механизмам доставки. Цифровое вещание, мобильная связь и интернет-доставка контента являются особенно важными явлениями в этом контексте. Сектор развития видеоигр во многом зависит от последовательности конкурирующих игровых консолей. Даже в секторе проектирования изделий, где распространение платформ не является таким важным фактором, сталкиваемся с дизайнерами, которые работают над особенностями устройств, таких как мобильные телефоны [4].

Текущие и сложные изменения в нормативно-правовой среде имеют распространяющиеся последствия для инноваций в творческих секторах. Существует постоянная и сложная эволюция нормативно-правовой среды: это связано с либерализацией рынка, цифровой конвергенцией и применением новых технологий, а также новым взглядом на социальные проблемы и проблемы окружающей среды. Влияние нормативно-правовой среды хоть и повсеместно, но различно для каждой отрасли. Например, опасения по поводу конфиденциальности и насилия в первую очередь затрагивают рекламные и видеоигровые отрасли, а в отрасли онлайн-игр вызывает вопросы контроль доступа несовершеннолетних игроков. Дизайн противостоит требованиям технического соответствия. Правила, ограничивающие рекламу во время детских программ, влияют как на рекламные, так и вещательные отрасли [5].

Потребители творческих товаров и услуг становятся все более изощренными, более разборчивыми и более опытными в оценке товаров. Они обмениваются мнениями – критическими замечаниями, рекомендациями – и могут распространять информацию

между собой, а также выходить на обратную связь с поставщиками. Это растущее давление со стороны клиентов приводит к производству большего количества «альтернативных версий» продукта, заставляя производителей мыслить творчески и инновационно. Для рекламы характерно увеличение интенсивности построения отношений с клиентами, установление тесного взаимодействия при проведении исследований. В то же время ориентация на клиентов (зачастую под давлением конкуренции) фокусируется на стоимости, стремясь минимизировать затраты при сохранении качества. Бизнес-клиенты сами меняются, отражая более широкие экономические изменения (например, снижение роли производства и повышение роли услуг в Великобритании). Появление новых предприятий, связанных с новыми каналами и платформами – с новыми потребностями и перспективами – могут вызвать активную разработку инновационных подходов в творческих отраслях, которые их обслуживают.

Творческие индустрии функционируют на все более международных рынках. Это может обеспечить возможности для экспорта своей продукции или для создания торговых точек на новых зарубежных рынках. Интернет-экспорт творческих товаров в цифровой форме может позволить даже небольшим компаниям достичь глобальной аудитории. Кроме того, некоторые творческие предприятия сталкиваются с конкуренцией со стороны зарубежных участников на внутренних рынках. В то время, как усиление конкуренции, связанное с глобализацией, является обычным явлением, существуют ниши, где местный резерв на местный спрос остается особенно эффективным, обеспечивая некоторое укрытие для локализованных творческих отраслей и ограничение экспортных возможностей (например, из-за языковых различий, различных вкусовых пристрастиях, тесных связей между творческим продуктом и элементами местной среды или культурного контекста). Глобализация также приносит с собой международное финансирование, а также возможности трансграничных слияний и поглощений. Хотя трудовые ресурсы далеки от совершенной мобильности, международный обмен стал намного проще, а новые информационные технологии предлагают широкие возможности удаленной работы.

Однако несмотря на активное использование и разработку инноваций, многим творческим предприятиям сложно формализовать свои инновационные процессы и управлять ими на систематической основе. Инновации часто остаются спонтанными, хотя в последнее время участники креативных рынков стремятся опираться на научные исследования [2].

Инновационный потенциал творческих индустрий должен поддерживаться рядом внутренних и внешних мер:

- творческие фирмы должны быть нацелены на приобретение и развитие необходимых навыков и возможностей для инноваций – особенно с помощью своих потребителей. Зачастую творческая инновационная промышленность базируется на понятии «совместного производства» со значительной отдачей со стороны клиента. Сети, партнерские отношения и сотрудничество также являются важными источниками инноваций. В то время как обычные проектные и управленческие инновационные навыки остаются важными, менеджеры в области развития инноваций должны продемонстрировать все больше навыков совместной работы с профессионалами различных типов и взаимодействия с потребителями и другими фирмами, таких как: создание команды, разрешение конфликтов и решения проблем;
- должна быть разработана политика, которая может помочь развитию и поддержанию инновационного процесса в творческих отраслях;
- целевые инновационные программы должны быть доступны для творческих отраслей. Творческие индустрии приветствуют целевую поддержку инновационной

деятельности, где она предусмотрена. Существующие программы общей поддержки инновационной деятельности зачастую не имеют отношения к их работе. Такие инициативы, как установление налоговых льгот и правительственного субсидирования для поддержки инноваций деятельности, осуществляемых в творческих отраслях;

- знание о наилучших практиках и новых инновациях должны быть более эффективно совмещены с политикой. Новые формы инноваций быстро появляются. Идти в ногу с этими изменениями – имеет решающее значение. Это обеспечивается адекватным сбором разведывательных данных, разработкой новых подходов к обучению, организацией совместных мероприятий, направленных на глубокое изучение всей творческой индустрии и обмен опытом;
- кроме того, всесторонняя поддержка и консультирование творческих фирм, отраслей, промышленности и профессиональных сообществ занимает центральное место дальнейшего роста и успеха творческих отраслей.

### Литература

1. Хокинс Дж. Креативная экономика. – М.: Классика XXI, 2011. – 256 с.
2. Creative Economy Report 2008: The challenge of assessing the creative economy towards informed policy-making. – United Nations, 2008. – P. 12–13.
3. Wilkinson A. An Assessment of Productivity Indicators for the Creative Industries. – London: DCMS, 2007. – 74 p.
4. Grantham A., Kaplinsky R. Getting the Measure of the Electronic Games Industry: Developers and the Management of Innovation // International Journal of Innovation Management. – 2005. – V. 9. – № 2. – P. 183–213.
5. Freeman A. London's Creative Sector: 2007 Update. – London: GLA Economics, 2007. – 61 p.

УДК 681.785.5:681.7.067.26

#### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВХОДНОГО ОБЪЕКТИВА

Л.В. Рыбакова<sup>1</sup>, Г.В. Карпова<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент Г.В. Карпова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе представлены две модели разработанного объектива. Объектив, используемый в данной работе, определяет светосилу фильтрового полихроматора и служит для сопряжения апертуры входного оптоволоконного кабеля, по которому рассеянное излучение от плазмы передается на вход полихроматора, с апертурой последующей системы.

**Ключевые слова:** Глобус-М, токамак, токамак Глобус-М, сферический токамак, фильтровой полихроматор, полихроматор, спектральный комплекс, входной объектив.

Токамак – это тороидальная камера с магнитными катушками, в этой установке плазма удерживается магнитным полем и имеет форму тороидального шнура, по которому пропускается электрический ток. Сферический токамак Глобус-М – первый в России сферический токамак мегаамперного диапазона. Находится он в ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Установка (рис. 1) предназначена для исследования физических процессов и отработки технологий и инженерных рекомендаций, удержания и нагрева субтермоядерной плазмы в сферической конфигурации плазмы с дивертором. В настоящее время Глобус-М является единственной установкой в России, где осуществляется исследование плазмы в конфигурации термоядерного реактора (диверторной конфигурации) [1–5].

Глобус-М – это современный исследовательский комплекс, входящий наряду с NSTX (National Spherical Torus Experiment) (США) и MAST (Mega Amp Spherical Tokamak) (Великобритания) в тройку лидирующих установок, предназначен для изучения поведения плазмы в лабораторных условиях, а не в реакторном режиме.

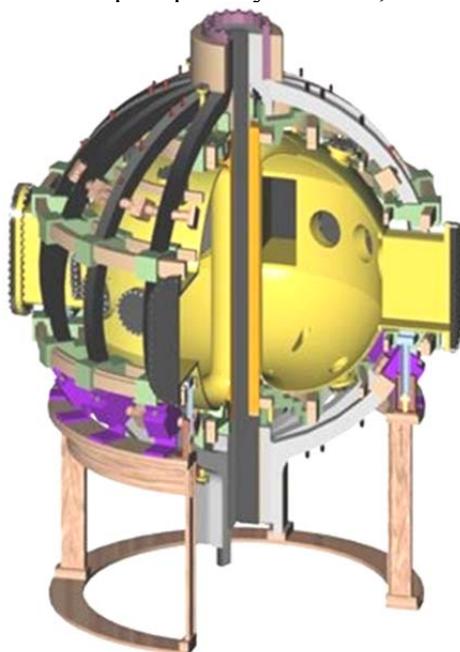


Рис.1. Токамак Глобус-М

Основной задачей работы являлась разработка конструкции входного объектива фильтрового полихроматора, предназначенного для диагностики излучения томсоновского рассеяния плазмы термоядерного реактора (токамака). Фильтровой полихроматор, в который входит объектив, является частью спектрального комплекса и разрабатывается для использования на токамаке Глобус-М.

Входной объектив полихроматора служит для сопряжения апертуры входного оптоволоконна с апертурой последующей оптической системы и определяет светосилу прибора. Объектив состоит из двух положительных линз, конструктивные параметры которых представлены в табл. 1. В табл. 2 приведены параксиальные характеристики входного объектива для длины волны 1064 нм.

Таблица 1. Конструктивные параметры

№	Радиусы, мм	Осевые расстояния, мм	Высоты, мм	Марки стекла	Показатели преломления	
					L1=1,0640	L0=0,4000
0				Воздух	1,000000	1,000000
1	-61,383	4,5	10,91	К8	1,506198	1,530425
2	-20,560	0,1	11,56	Воздух	1,000000	1,000000
3	79,800	4,0	12,44	К8	1,506198	1,530425
4	-45,810		12,53	Воздух	1,000000	1,000000

Таблица 2. Параксиальные характеристики

$F'$ , мм	$S_F$ , мм	$S'_F$ , мм	$S$ , мм	$S'$ , мм
29,33	-24,82	28,18	-29,25	222,85

На рис. 2 представлены элементы, входящие в состав узла входного объектива. Разрабатываемая конструкция входного объектива должна предусматривать крепление линз в соответствии с правилами крепления оптических деталей.

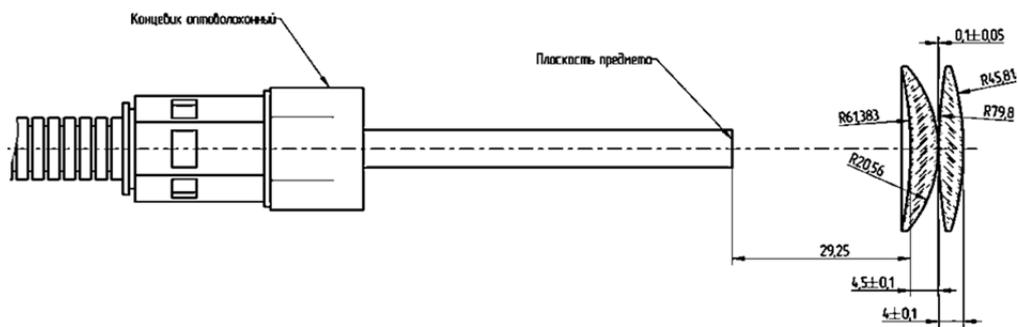


Рис. 2. Оптическая схема

На данный момент разработаны две модели крепления объектива (рис. 3), входящего в узел входного объектива фильтрового полихроматора. В разработанных моделях линзы или линзы в оправе установлены в корпус, между линзами установлено промежуточное кольцо необходимой толщины, и все компоненты закреплены резьбовым кольцом. Также сейчас проводятся исследования по выбору лучшей модели из разработанных. В будущем планируется разработать конструкцию крепления концевика оптоволоконного.

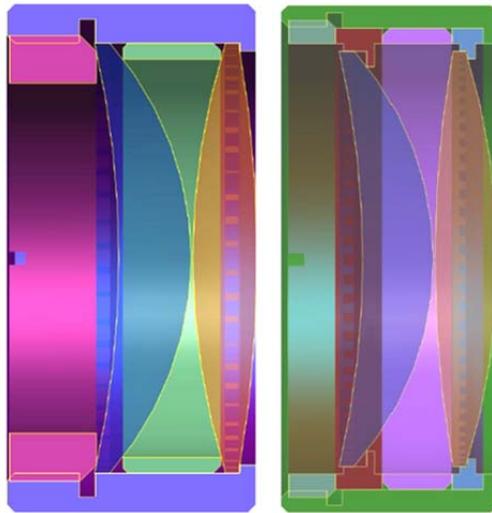


Рис. 3. Модели объектива

### Литература

1. Гусев В.К., Толстяков С.Ю., Варфоломеев В.И., Воронин А.В. и др. Исследование электронного компонента плазмы на сферическом токамаке Глобус-М в условиях предельных плотностей с помощью диагностики томсоновского рассеяния // ВАНТ Серия термоядерный синтез. – 2007. – В. 1. – С. 39–56.
2. Минаев В.Б. Разработка методики нагрева плазмы нейтральным пучком для достижения предельных параметров на сферическом токамаке Глобус-М: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.08. – СПб.: Физ.-техн. Ин-т им. А.Ф. Иоффе РАН, 2008. – 18 с.
3. Романычева Э.Г., Иванова А.А., Куликова А.С., Новикова Т.П. Разработка и оформление конструкторской документации: справочное пособие. – М.: Радио и связь, 2004. – 266 с.
4. Панов В.А., Кругер М.Я., Кулагин В.В. и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1980. – 742 с.
5. Левин И.Я. Справочник конструктора точных приборов. – М.: Машиностроение, 1967. – 744 с.

УДК 004.021

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ВИДЕОПРИЗНАКОВ  
ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ РУК**Д.А. Рюмин<sup>1</sup>Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Карпов<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены морфологические понятия и методы, необходимые для определения признаков в изображении. Представлен метод вычисления информативных видеопризнаков жестов рук. Приведена подробная реализация метода с пояснением ключевых особенностей его применения. Проиллюстрированы результаты описания кистей и пальцев рук. Предложено дальнейшее использование в системах распознавания статических жестов рук человека.

**Ключевые слова:** распознавание, жесты, Microsoft Kinect, дилатация, эрозия, структурный элемент, замыкание, размыкание, дескрипторы объектов, выделение рук.

**Введение.** Распознавание языка жестов является одной из основных проблем в современном мире. Мировые исследования автоматического распознавания жестов включают в себя такие области, как распознавание образов, компьютерное зрение и т.д. Несмотря на сложность визуального анализа, жесты рассматриваются как очень важная функция во многих практических интерактивных приложениях для взаимодействия человек-компьютер.

По типу показа все жесты делятся на статические и динамические. При воспроизведении статического жеста не возникает необходимости в непрерывном движении рук, так как положение кисти и пальцев рук неизменно в пространстве по истечении времени. Динамические жесты, в свою очередь, воспроизводятся путем движения какой-либо части человеческого тела, в большинстве случаев кистью руки во времени и пространстве.

Задачи по распознаванию жестовой речи любого языка характеризуются многими параметрами, в первую очередь – это характеристики канала передачи жестовой речи, размер словаря распознавания, вариативность жестов и т.д. Границы слов в потоке жестовой речи могут быть определены лишь в процессе распознавания (декодирования знаков), посредством подбора оптимальной последовательности жестов, наилучшим образом согласующейся с входным потоком жестов по математическим моделям.

Точность работы систем автоматического распознавания жестового языка существенно ухудшается с увеличением размера словаря жестов, который может содержать в себе множество повторений одного и того же жеста. Малый словарь содержит единицы и десятки слов. Такой словарь подходит для распознавания цифр, которые входят в номера телефонов, показаний приборов, а также систем управления подвижными техническими объектами, например, такими как машина, робот, вертолет, и систем управления различным оборудованием, например, бытовой техникой.

**Цель исследований** заключалась в разработке метода, способного вычислять информативные видеопризнаки жестов, в основе которого находится алгоритм выделения рук человека на изображениях, получаемых с сенсора Microsoft Kinect 2.0.

**Методы дилатации и эрозии изображений.** Многие алгоритмы и методы морфологической обработки цифровых изображений основаны на двух операциях (дилатации и эрозии) [1].

Дилатация позволяет «расширять» необходимые объекты на двоичном изображении. Под двоичным изображением подразумевается матрица со значениями 0 (черный) и 1 (белый). Для контролирования степени, а также способа «расширения» следует использовать форму, которую принято называть структурным элементом. Структурный элемент – это матрица с двоичными значениями, которая способна образовывать геометрические фигуры в соответствии с рис. 1.

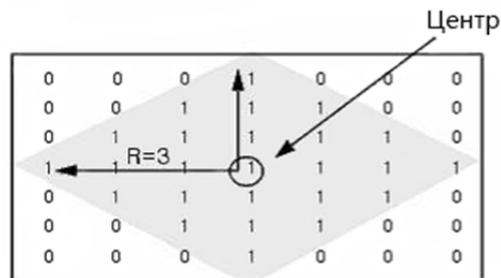


Рис. 1. Структурный элемент в виде ромба

Процесс дилатации выглядит следующим образом. Начиная с начала координат цифрового изображения, происходит цикличное наложение структурного элемента, который должен быть существенно меньше самого изображения, с шагом сдвига, равным 1. В случае если центральный пиксель накладываемого геометрического элемента находится в пределах области некоторого объекта, то происходит объединение объекта со структурным элементом, как показано на рис. 2, б.

Эрозия, в отличие от дилатации, производит «утончение» объектов, присутствующих на двоичном изображении, в соответствии с рис. 2, в.

Как и в случае с дилатацией размер «утончения» определяется с помощью структурного элемента.

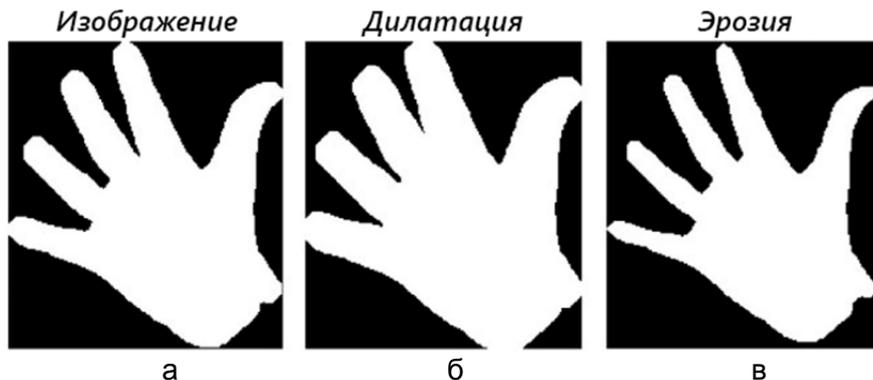


Рис. 2. Процесс дилатации и эрозии: бинарное изображение 1 (а); дилатация изображения 1 (б); эрозия изображения (в)

При решении задач по предварительной обработке изображений рекомендуется использовать дилатацию и эрозию совместно. Иными словами, изображение необходимо подвергнуть нескольким операциям дилатации и эрозии. Для таких целей применяются комбинации замыкания, замыкания. Перечисленные комбинации относятся к морфологическим операциям.

Размыкание позволяет осуществить сглаживание объектов, удалить тонкие соединения объектов и острые углы за счет выполнения эрозии с последующей дилатацией полученного ранее результата, проиллюстрированного на рис. 3, б. Данную процедуру можно представить в виде [2]:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B, \quad (1)$$

где  $A$  – исходное бинарное изображение;  $B$  – структурный элемент;  $\ominus$  – эрозия;  $\oplus$  – дилатация.

Замыкание как и размыкание, производит сглаживание объектов, однако также выполняет соединение узких разрывов с заполнением мелких отверстий в объекте, которые по своему радиусу уступают структурному элементу, что и отображено на рис. 3, г. Замыкание имеет вид в соответствии с выражением [2]:

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B. \quad (2)$$

Как можно заметить из выражения (2), сначала следует применить дилатацию, а затем полученный результат подвергнуть эрозии.

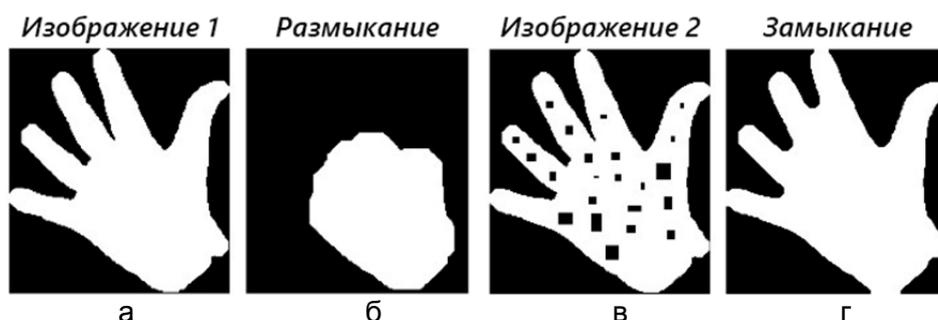


Рис. 3. Процессы размыкания и замыкания: бинарное изображение 1 (а); размыкание изображения 1 (б); бинарное изображение 2 (в); замыкание изображения 2 (г)

**Дескрипторы границ и областей объектов.** Одним из наиболее простых дескрипторов границ объектов является длина. В случае если граница состоит из 4-х связанных пикселей, то ее длина будет равна количеству пикселей, формирующих границу. Подсчет длины 8-ой связанной границы осуществляется путем добавления единицы к общей сумме горизонтальных и вертикальных перепадов (соседей) и  $\sqrt{2}$  к диагональным перепадам.

Следующий дескриптор границы – это ее диаметр. Подсчет его основан на определении Евклидова расстояния между точками границы, которые максимально отдалены друг от друга [3]. Отрезок, который соединяет эти точки, является большой осью границы. В свою очередь, малая ось границы – это отрезок, проходящий перпендикулярно большой оси с длиной, которая в совокупности с большой осью образует прямоугольник, полностью накрывающий границу объекта. Такой прямоугольник принято называть определяющим. Эксцентриситетом (англ. «*e*» или «*ε*») границы является значение, которое получается путем деления длины большой оси на длину малой оси [4].

Важным дескриптором является и определение ориентации. Данное значение является углом между осью  $x$  абсцисс координатной плоскости и большой осью объекта. Данный угол показан на рис. 4.

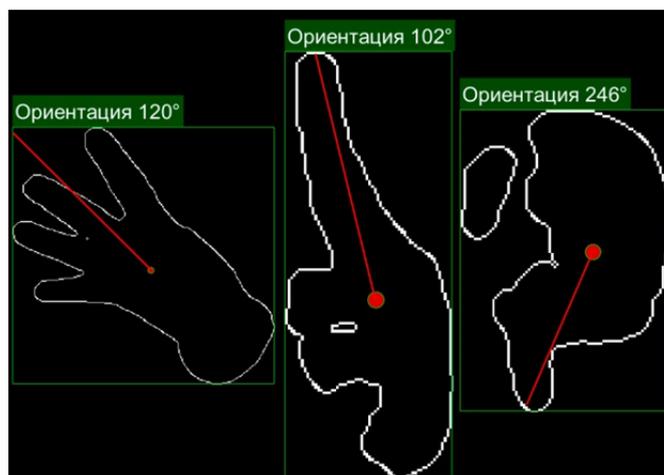


Рис. 4. Угол между осью  $x$  абсцисс и максимальной осью объекта

Практика показывает, что следует использовать комбинированное описание объектов, которое состоит из дескрипторов границ и областей. Наиболее простой дескриптор области – это площадь. Такой дескриптор применяется исключительно только в тех случаях, когда эталонная область неизменна.

Более надежным подходом является определение текстуры объекта. Имеются три функции, способные определить внутреннюю текстуру интересующей области. Они основаны на статистической, спектральной и структурной характеристиках.

Статистическая характеристика характеризует текстуру объекта как: мягкую, гладкую, зернистую, грубую, твердую и т.д. Определяется с помощью гистограммы яркости всего изображения или необходимой области.

В свою очередь, спектральная характеристика основана на спектре (вычисляемом преобразованием Фурье) и, прежде всего, применяется в обнаружении некоторых глобальных периодичностей на изображении. Такая периодичность определяется по большей энергии узких выбросов на спектре.

Структурная характеристика направлена на определение положений простых элементов изображения: линий, прямоугольников, кругов, квадратов, треугольников, повторяющихся с некоторой периодичностью.

В некоторых случаях полезно использование топологических дескрипторов (топология – изучение свойств фигур, на которые не влияет непрерывная деформация).

Одним из топологических свойств является количество отверстий внутри объекта. Как можно предположить, такое свойство будет инвариантно относительно поворота и растяжения. Также к топологическим свойствам относится и число Эйлера (вычитание от количества объектов суммы их внутренних отверстий) [5].

**Вычисление информативных видеопризнаков жестов рук.** С помощью скелетных данных, которые получены от сенсора Kinect 2.0, возможно представить отдельно взятую руку или руки демонстратора при условии, что они образуют один объект – в виде эллипса, как показано на рис. 5, большая полуось которого проходит через точки, находящиеся в области начала кисти, центра, а также вершин среднего и безымянного пальцев. Малая полуось также проходит перпендикулярно большой оси через точку с координатами центра руки.

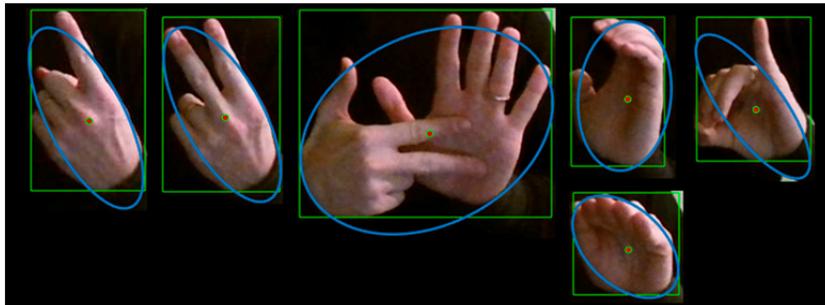


Рис. 5. Представление рук в виде эллипса

В случае нахождения эллипса можно определить первый геометрический информативный признак в виде ориентации рук. Значением будет угол между осью  $x$  абсцисс координатной плоскости и большой осью объекта (руки), что проиллюстрировано на рис. 6.

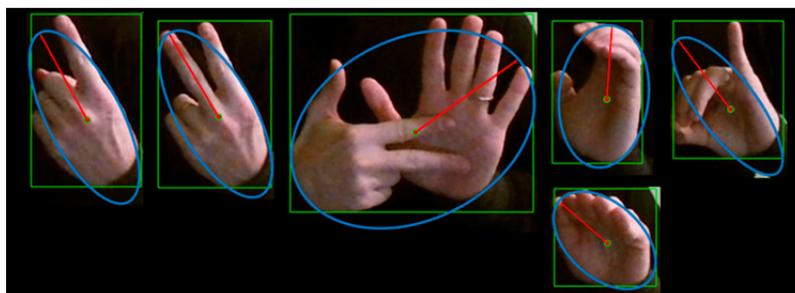


Рис. 6. Ориентации рук (угол между осью  $x$  абсцисс и максимальной осью объекта)

Следующие взаимосвязанные признаки, которые необходимы, – это длины осей эллипса. Однако сенсор Kinect 2.0 не позволяет с высокой точностью определить координаты вершин, что может отразиться в ошибочных значениях. В связи с этим

предварительно с помощью разработанного алгоритма выделения рук нужно получить бинарное изображение руки, что позволит отделить фон от руки и получить оптимальные значения длин как малой, так и большой осей эллипса.

Далее необходимо определить эксцентриситет путем деления длины большой оси на длину малой и добавить полученное значение к уже найденным признакам.

Следующими признаками следует считать топологические свойства бинарного объекта, такие как количество отверстий внутри объекта и число Эйлера, которое вычисляется на основании разности количества объектов и их внутренних отверстий на изображении.

Затем, продолжая анализировать бинарный объект, можно найти его площадь и коэффициент выпуклости, который определяется как отношение площади объекта к площади четырехугольника, который полностью вмещает в себя объект.

На следующем этапе при помощи детектора Собеля получаем границу руки (примеры проиллюстрированы на рис. 7, а), находим ее длину и диаметр. Затем необходимо дополнить массив признаков полученными значениями.

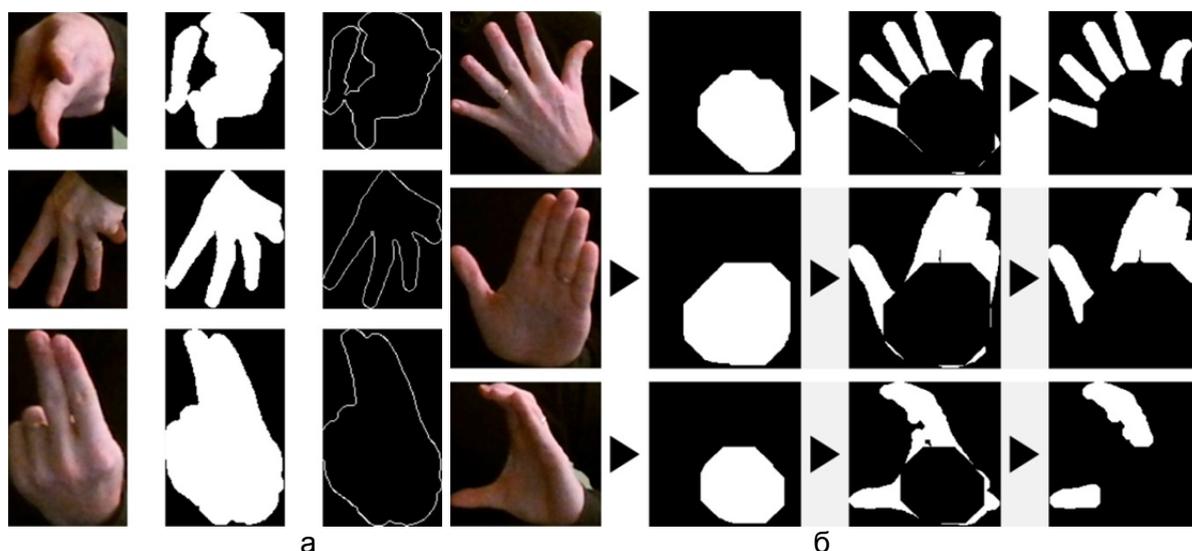


Рис. 7. Примеры: определения контура руки (а); процесса отсечения пальцев от центральной области руки на изображении (б)

В совокупности, найденные информативные признаки будут характеризовать руку в общем представлении, не имея возможности с высокой вероятностью определить показываемый жест. По этой причине необходимо осуществить процесс размыкания с использованием структурного элемента в виде круга с диаметром  $1/5$  от длины малой оси эллипса. Именно такой диаметр позволит отсечь пальцы от центральной области руки, как показано на рис. 7, б, во втором вертикальном ряду слева. Затем следует вычистить из бинарной матрицы с объектом в виде руки, матрицу, подвергнутую размыканию. Такая процедура приведет к отсечению центральной области от пальцев руки, что проиллюстрировано на рис. 7, б (второй столбец справа).

**Заключение.** В итоге можно получить пальцы в виде объектов с предварительным удалением незначительных шумов, как показано на рис. 7, б, в правом столбце, у которых определить те же самые признаки, что и для руки. Такая процедура позволит иметь представление как о руке в целом, так и о ее составляющих в виде пальцев. Значения признаков хранятся в идентификаторах, наименование которых не совпадает между собой. Это позволяет использовать при распознавании признаки в любой последовательности.

Описанные этапы позволяют получить информативные видеопризнаки жестов рук человека, пригодные для дальнейшей компьютерной обработки.

Результаты данных научных исследований являются промежуточным этапом в разработке автоматизированной системы распознавания отдельных жестов рук человека с применением сенсора Kinect.

### Литература

1. Айсманн К., Дугган Ш., Грей Т. Цифровая фотография. Профессиональные методы цифровой фотосъемки и обработки изображений. – 3-е изд. – М.: Вильямс, 2011. – С. 76–77.
2. Огнев И.В., Сидорова Н.А. Обработка изображений методами математической морфологии в ассоциативной осцилляторной среде // Изв. вузов. Поволжский регион. – 2007. – № 4. – С. 88–89.
3. Макаров М.А., Берестнева О.Г., Андреев С.Ю. Решение задачи описания и классификации контуров движущихся объектов на видео // Изв. ТПУ. – 2014. – № 5. – С. 79–80.
4. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – С. 156–157.
5. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976. – С. 368–377.

УДК 004.931

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Р.З. Саблин<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., ассистент П.В. Балакшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены различные подходы к организации компонентов системы классификации текста. Анализируются сильные стороны каждого подхода, определяется возможный спектр задач, для решения которых применение подхода наиболее рационально. Исходя из данных, полученных при исследовании, проектируется модель автоматически конфигурируемой классификационной системы для русскоязычных текстов.

**Ключевые слова:** классификация текста, нейронные сети, машинное обучение.

Непрекращающийся рост цифровой текстовой информации ставит перед нами такие задачи как упорядочивания, фильтрации, организации информационного поиска. Одним из инструментов решения подобных задач являются алгоритмы классификации текста, среди которых можно выделить алгоритмы, основанные на применении нейронных сетей. Нейронные сети являются достаточно перспективным направлением среди алгоритмов машинного обучения. Их гибкость и простота концептуализации модели снискали неугасающий интерес исследователей на протяжении последних десятилетий. Однако многообразие моделей нейросетей и способов организации компонентов системы классификации текста в целом, в виду отсутствия стандартизированного подхода, осложняет работу исследователя и проектировщика. Большинство научных работ на тему классификации текста поверхностны и узконаправленны, так, например, работа *A Convolutional Neural Network for Modelling Sentences* [1] и *Convolutional Neural Networks for Sentence Classification* [2] оставляет без внимания такой важный процесс как предобработка текста. Однако классификация текста является процессом, эффективность которого зависит в разной степени от каждого компонента системы в равной степени. Также, несмотря на многообразие программных библиотек, реализующих нейронные сети, абсолютное большинство из

них предлагают лишь набор инструментов, предназначенный для самостоятельного проектирования системы классификации для каждой отдельной задачи, что не всегда удобно пользователю.

**Целью исследования** явился анализ различных подходов к организации системы классификации текста на каждом из этапов (обработка исходного текста, создание векторного представления, классификация) и создание модели автоматически конфигурируемой классификационной системы (для русскоязычных текстов).

Первым этапом классификации текста является предобработка. Так как большинство методов векторного представления текста используют в своей основе работу со словарем, основной задачей предобработки текста является уменьшение размера словаря, а также повышение доли ключевых особенностей текстов относительно общего числа слов.

Среди методов предобработки рассматривается: удаление чисел, приведение к одному регистру, исключение шумовых слов и стемминг.

Стемминг – получение неизменяемой основы слова, очень мощный инструмент уменьшения многообразия словоформ в тексте за счет приведения к одной форме. Существует множество различных алгоритмов стемминга, среди которых по критерию применимости к русскоязычным текстам можно выделить следующие: стеммер Портера, N-граммный стеммер, НММ-стеммер, YASS-стеммер. Среди них как наиболее пригодный для использования в системах классификации текстов можно отметить стеммер Портера – легковесный алгоритм, основанный на усечении слов в соответствии с набором правил – в отличие от остальных стеммеров он не требует использования словаря форм, что упрощает проектировку системы. Именно он и был использован в оценке эффективности методов предобработки текста.

Основными критериями оценки являлись: влияние на число уникальных слов (как параметр, определяющий размер словаря) и суммарное число слов (как параметр, влияющий на число итераций при создании векторного представления текста). Исследование эффективности проводилось на коллекции русскоязычной классической литературы объемом в 1183704 слов. В качестве шумовых слов использовались 30 наиболее часто употребляемых слов по списку частотности национального корпуса русского языка (НКРЯ) [3]. Результат исследования представлен в табл. 1.

Таблица 1. Влияние предобработки на число уникальных термов и общее число слов для русскоязычного текста

	Уникальных слов			Всего слов		
	Число	Δ	Т	Число	Δ	Т
Без обработки	208290			1183704		
Удаление чисел	205822	1%	1%	1174820	1%	1%
Игнорирование регистра	183181	11%	12%	1174820	0%	1%
Исключение шумовых слов (30)	183151	>0,01%	12%	982067	16%	17%
Стемминг (Портера)	80586	56%	61%	982067	0%	17%

Исходя из полученных данных, можно отметить, что все методы показали свою эффективность, за исключением удаления чисел, что может объясняться жанром текстов в коллекции. Особенно эффективным по критерию уменьшения уникальных слов оказался стемминг, что объясняется обилием словоформ в русском языке. Удаление чисел в виду слабого эффекта применять нерационально, и рекомендуется

использовать иной подход: замены чисел на одно, единое обозначение. Таким образом, достигается уменьшение размера словаря с сохранением доли чисел в тексте, что может быть полезно при определении, например, бухгалтерской документации.

Следующим после предобработки текста этапом является создание векторного представления. Среди различных способов векторного представления, с учетом классификации текста как отдельной сущности, можно выделить следующие подходы: унитарный код, Bag-of-Words, Bag-of-N-grams (табл. 2).

При унитарном кодировании каждое слово представляется как вектор размерности  $N$ , равной размеру словаря, а текст представляется как набор векторов каждого слова.

При Bag-of-Words вместо последовательного набора как в унитарном кодировании все вектора суммируются.

Bag-of-N-grams – частный случай подхода Bag-of-Words. Вместо слов используется отображение на многомерное пространство  $n$ -грамм. Словарь при таком подходе также содержит множество уникальных  $n$ -грамм.

Основными критериями оценки методов представления являются: сохранение порядка слов, размер векторного представления текста, размер словаря.

Таблица 2. Характеристики различных методов кодирования исходного текста

	Учитывается порядок слов	Размер вектора	Размер словаря
Последовательный унитарный	Да	$N \cdot K$	$N$
Bag-of-Words	Нет	$N$	$N$
Bag-of-2-grams	Да	$N^2$	$N^2$
Bag-of-3-grams	Да	$N^3$	$N^3$
Bag-of-4-grams	Да	$N^4$	$N^4$

Среди представленных подходов можно выделить унитарное кодирование, как наиболее гибкий метод, сочетающий в себе оптимальный размер словаря и гибкость размера вектора в зависимости от размера текста. Сравнительно с кодированием 2-грамм, размер векторного представления при использовании унитарного кода начинает превышать 2-граммный при размере текста от 80586 слов, т.е. при размере текста, равному размеру словаря. Унитарный код больше всего подходит для сравнительно небольших текстов с большим многообразием уникальных слов, в то время как  $n$ -граммы – для больших текстов с небольшим числом уникальных слов. Bag-of-Words является самым простым методом и подходит лишь для достаточно тривиальных задач, где принадлежность к классу легко определить через распределение слов в тексте.

Следующим этапом является классификация текста. Для этого нужно выбрать классификатор. Наиболее важными критериями классификатора, иначе говоря, нейронной сети, осуществляющей классификацию, является нефиксированность размера окна, что позволяет применять унитарный код, а также точность классификации (в данной работе рассматривалась точность классификации при 5 классах и точность бинарной классификации).

Среди рассмотренных моделей:

- NBoW (Neural Bag of Words) – классическая модель, использующая в качестве входных данных BoW-подобные вектора и 2 слоя для классификации [1];
- CNN (Convolutional Neural Network) – модель, использующая слой сверточных фильтров для составления карт ключевых особенностей. Характерной чертой является возможность выучивания вложений слов в процессе обучения [1];
- MV-RNN (Matrix Vector Recursive Neural Network) – модель рекурсивной нейросети, основанной на векторных матрицах. Отличительной особенностью является точная интерпретация отрицательного контекста [4];

- DCNN (Dynamic Convolutional Neural Network) – сверточная нейронная сеть на основе динамического объединения с несколькими шагами свертки [2];
- LSTM (Long Short-Term Memory) – другая рекурсивная модель, основанная на принципе управления «краткосрочной памяти» рекурсивной нейросети [5].

Таблица 3. Характеристики различных моделей нейронных сетей

	Фиксированный размер окна	Асс (5 классов)	Асс (2 класса)
NBoW	Да	42,4%	80,5%
CNN (нестатичная)	Нет	48,0%	87,2%
MV-RNN	Нет	44,4%	82,9%
LSTM	Нет	46,6%	86,6%
DCNN	Нет	48,5%	86,8%

Наиболее высокие результаты показывают (табл.3) модели DCNN и CNN, использующие механизм «свертки» векторных представлений. Стоит отметить, что CNN обладает существенно более простой архитектурой, имея в своей основе лишь один слой сверточных фильтров, что существенно упрощает конфигурацию сети. Данные архитектуры имеют нефиксированный размер окна, используя объединяющий слой на составленных картах особенностей для получения вектора фиксированного размера. Высокая точность достигается способностью фильтров выучивать вложения  $n$ -грамм в ходе обучения, вплоть до аппроксимации по контексту (например, сверточный фильтр выдает высокое значение на биграмме «я люблю» и он также способен выдать высокое значение для «мы любим», не взирая на отсутствие подобной биграммы в обучающей выборке).

Важным моментом при проектировании сверточной нейронной сети являются конфигурация фильтров. Несмотря на то, что можно ожидать большую точность при использовании фильтров разной размерности (что позволяет использовать особенности  $n$ -грамм разной размерности), результаты исследования [2], приведенные на рис. 1, показывают, что наибольшую точность дает конфигурация с использованием фильтров одинакового размера – 3 слова.

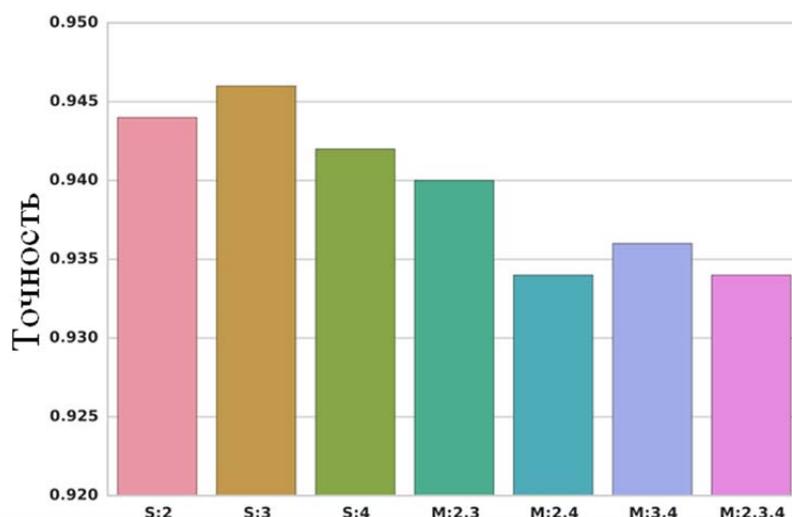


Рис. 1. Точность классификации при использовании различных конфигураций сверточных фильтров: S – один слой с фильтрами одинакового размера; M – несколько параллельных слоев с фильтрами различного размера

В состав системы входит:

1. токенизация с использованием пробелов/табуляций в качестве специальных знаков и удалением всех прочих символов, кроме цифр и букв;

2. предобработка, включающая в себя:
  - приведение к одному регистру (нижнему);
  - замена всех чисел на условное обозначение числа – как было упомянуто ранее, такой подход позволяет сохранить информацию о доле присутствия чисел в тексте, не нагружая словарь множеством возможных числовых комбинаций, присутствующих в обучающей выборке;
  - удаление шумовых слов (30 самых часто употребляемых слов по списку частотности НКРЯ);
  - стемминг по алгоритму Портера (с наименьшей длиной слова 3). Ограничение по длине призвано помочь избежать случаев излишнего усечения (например: «кий» → «к»). В стандартной реализации для русского языка минимальная длина слова равняется 1 букве. Выставление ограничения в 3 буквы позволяет сохранение подобных ситуаций;
3. словарь, формируемый на основе обучающей выборки. При дальнейшей классификации слова, отсутствующие в словаре, обозначаются нулевым вектором;
4. модуль, осуществляющий формирование векторного представления унитарным кодом – как дающим наиболее точное отображение исходного текста на многомерное пространство;
5. сверточная сеть следующей конфигурации:
  - один слой;
  - фильтры размерностью 3;
  - число фильтров равно размеру словаря (N);
  - шаг длиной 1;

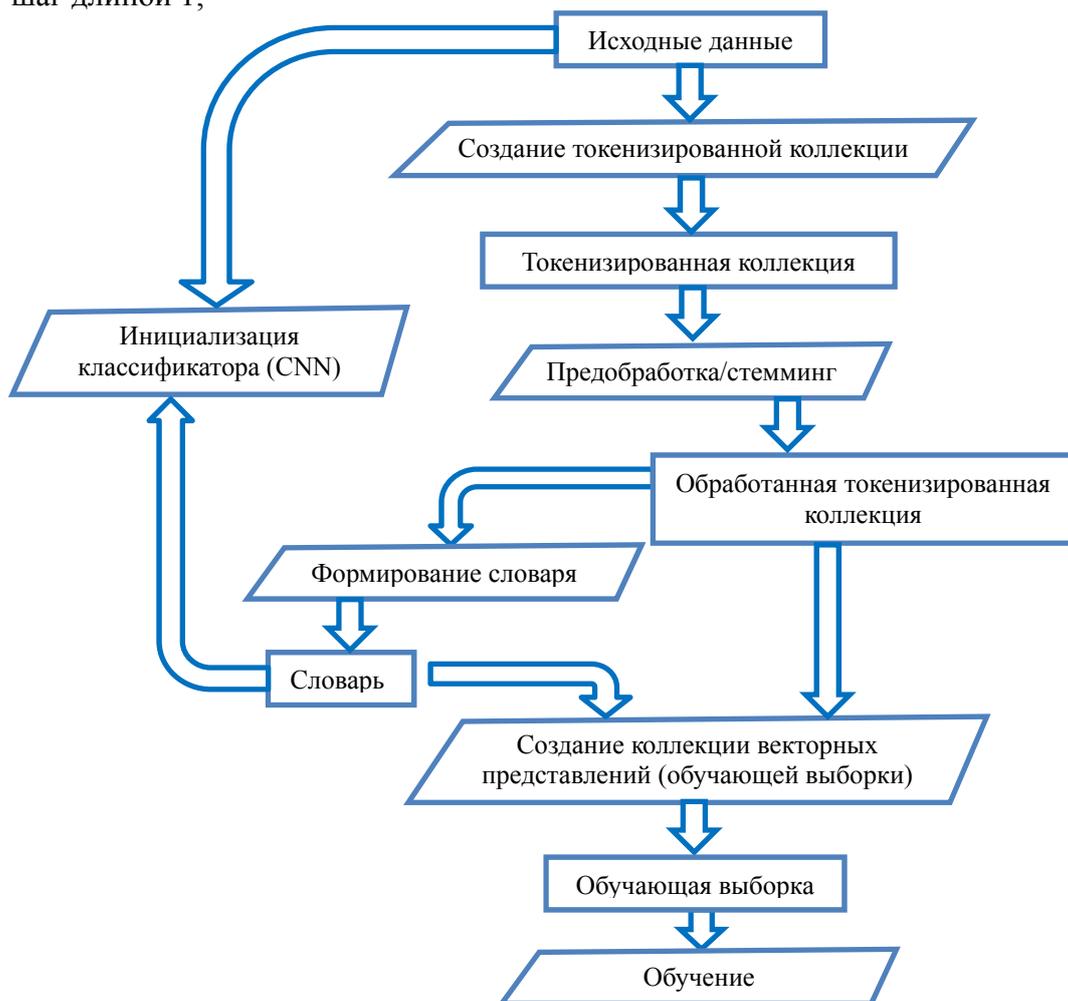


Рис. 2. Схема процесса инициализации системы

- объединяющий слой по максимальному значению с формированием итогового вектора путем соединения отобранных;
- полносвязный слой с числом нейронов, равным числу классов;
- активационная функция нейронов полносвязного слоя – сигмоид, как удовлетворяющая требованию дифференцируемости на всем промежутке алгоритма обратного распространения.

Схема процесса инициализации такой системы представлен на рис. 2.

После инициализации система работает как конвейер данных, осуществляющий преобразование текста, создание векторного представления и выдачу результата классификации.

Многообразие моделей нейросетей позволяет конфигурировать совершенно различные системы, в том числе такую систему, как разработанная модель. Опираясь на произведенные исследования можно сделать следующие заключения:

- предобработка текста является важным и незаменимым компонентом классификационной системы, позволяющим существенно уменьшить размеры потребляемой памяти, и осуществить первичное выделение особенностей;
- среди существующих методов создания векторного представления, каждый имеет свои сильные стороны: *BoW* отличается простотой и легковесностью, *N*-граммы – точностью и эффективностью при небольшом объеме словаря и классифицируемых текстов, унитарный – гибкостью и точностью;
- одной из самых точных моделей нейросетей является сверточные сети – очень эффективный алгоритм, осуществляющий выделение особенностей за счет обучения выделению ключевых для классификации *n*-грамм;
- разработанная модель системы в дальнейшем будет реализована и может быть использована для классификации текстов с минимальным конфигурированием – для функционирования системы необходимо предоставить лишь обучающую выборку и приемлемый процент ошибки при обучении;
- данную систему возможно дорабатывать, заменив полносвязный слой, используемый в сверточной сети для классификации, на более эффективный классификатор, например, два полносвязных слоя, позволяющих осуществлять нелинейное разделение или SVM (Support Vector Module). Однако это существенно усложнит процесс обучения, поэтому необходимы дальнейшие исследования прироста точности, и как следствие, обоснованности изменения, а также способов оптимизации обучения.

### Литература

1. Kalchbrenner N., Grefenstette E., Blunsom P. A Convolutional Neural Network for Modelling Sentences [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/1404.2188v1.pdf>, своб.
2. Yoon K. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aclweb.org/anthology/D14-1181>, своб.
3. Ляшевская О.Н., Шаров С.А. Частотный словарь современного русского языка. – Изд-во: Азбуковник, 2009. – 1112 с.
4. Socher R., Huval B., Manning C.D., Ng A.Y. Semantic Compositionality through Recursive Matrix-Vector Spaces [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://nlp.stanford.edu/pubs/SocherHuvalManningNg\\_EMNLP2012.pdf](http://nlp.stanford.edu/pubs/SocherHuvalManningNg_EMNLP2012.pdf), своб.
5. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97\\_lstm.pdf](http://deeplearning.cs.cmu.edu/pdfs/Hochreiter97_lstm.pdf), своб.

УДК 004.056

## РЕЙТИНГ УЯЗВИМОСТЕЙ В WEB-ПРИЛОЖЕНИЯХ. XSS-УЯЗВИМОСТИ. ЗАЩИТА И ОБНАРУЖЕНИЕ

Р.А Садоян<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Оголюк<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена защите и обнаружению XSS-уязвимостей в web-приложениях. Проанализированы результаты исследований исследовательского центра Positive Technologies, выявлены самые популярные уязвимости в web-приложениях. Приведены способы обнаружения XSS-уязвимостей. Приведен список рекомендаций по защите от XSS-уязвимостей в web-приложениях.

**Ключевые слова:** XSS-уязвимости, XSS, web-приложения, cookie, безопасность.

На сегодняшний день Cross-Site Scripting (XSS, межсайтовое выполнение скриптов) является общей уязвимостью, которая эксплуатируется в web-приложениях с помощью инъекции HTML-тегов и вредоносного кода JavaScript. Недостаточная проверка входных данных ведет за собой кражу cookies из браузера жертвы. Если злоумышленник может украсть настоящие cookie сессии жертвы, то может использовать сессию жертвы и, следовательно, может получить доступ к закрытой части web-приложения, выдавая себя за другое лицо.

На рис. 1 показан рейтинг уязвимостей в web-приложениях по данным последнего исследования, проведенным и опубликованным компанией Positive technologies в 2015 году [1].

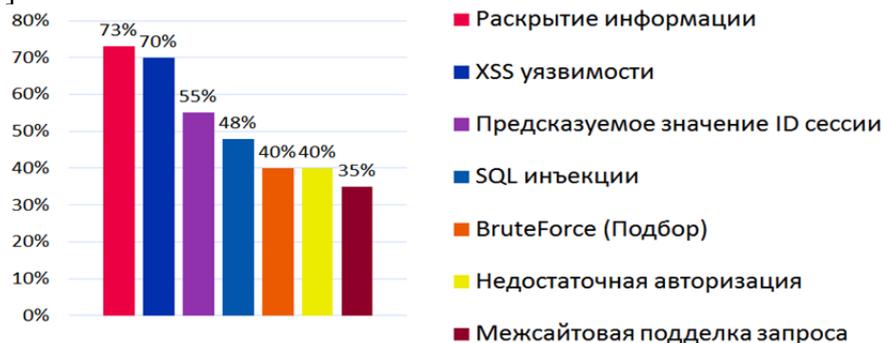


Рис. 1. Рейтинг уязвимостей в web-приложениях

Более того, по данным OWASP (The Open Web Application Security Project) [2] XSS занимает лидирующие позиции в рейтинге уязвимостей за последние 10 лет. XSS – уязвимость, позволяющая осуществить атаку на web-систему, с целью похищения данных пользователя путем внедрения вредоносного кода на страницу. Опасность реализации данной атаки заключается в том, что на странице или в HTTP-cookie могут быть конфиденциальные данные, такие как идентификатор сессии администратора web-ресурса или же платежные данные. Получив такие данные, злоумышленник может получить полный доступ к системе или же похитить конфиденциальную информацию пользователя.

Для более правильного понимания XSS-уязвимостей верным будет разделить XSS-уязвимости на два типа: по вектору атаки и каналам внедрения. Схема классификации XSS-уязвимостей отображена на рис. 2.

В свою очередь, по вектору атаки уязвимости делятся на:

1. отраженные или пассивные XSS – уязвимость не содержится на странице, а передается по ссылке;
2. сохраненные или активные XSS – жертва посещает страницу сайта, на котором уже опубликован вредоносный код, в результате недостаточной фильтрации входных данных;
3. DOM-based XSS – частный случай, когда атака совершается без участия сервера.

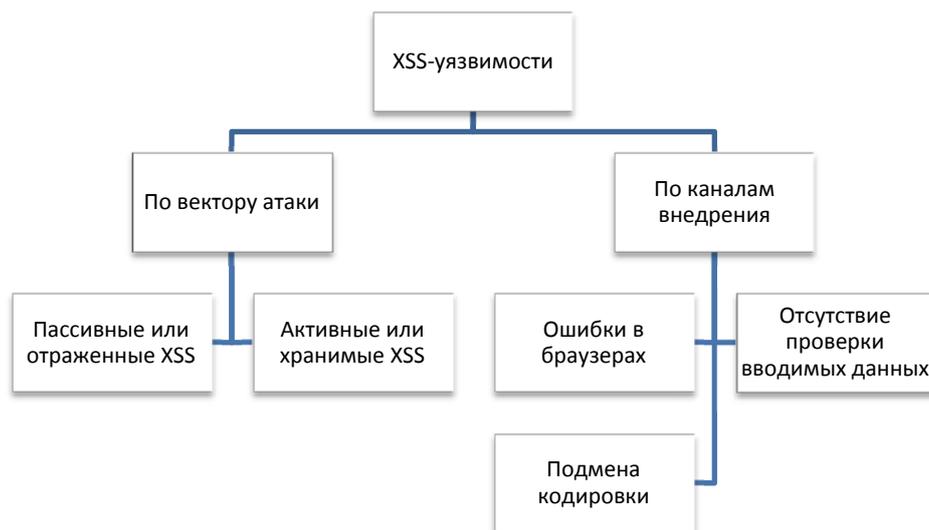


Рис. 2. Классификация XSS-уязвимостей

По каналам внедрения XSS-уязвимости делятся следующим образом:

1. ошибки в браузерах – вредоносный код выполняется при неправильной обработке данных браузером;
2. отсутствие проверки вводимых данных. В данном случае проверка вводимых данных недостаточна либо на стороне клиента при помощи JavaScript и HTML5, либо на стороне сервера, или вовсе отсутствует;
3. подмена кодировки страницы – страница и валидация данных рассчитаны на использование одной кодировки, в результате подмены кодировки на странице, валидация перестает верно обрабатывать, в результате чего можно реализовать XSS-атаку.

С развитием информационной безопасности в сети доступно большое количество утилит для поиска уязвимостей на web-ресурсах. В данной работе представлены несколько популярных утилит в произвольном порядке.

Xenotix – OWASP Xenotix XSS Exploit Framework. Это фреймворк для обнаружения и эксплуатации XSS-уязвимостей.

Особенности данного фреймворка:

- проект OWASP;
- активная разработка + поддержка продукта.

Xenotix по существу, является утилитой для тестирования на проникновение в систему, используемой для пост-эксплуатации XSS-уязвимостей. В его базе есть более 450 полезных нагрузок, включая даже такие, которые могут обойти основные XSS-фильтры, используемые для защиты web-разработчиками. Полезные нагрузки можно использовать как в ручном, так и в автоматическом режиме.

w3af – Web Application Attack and Audit Framework – сканнер уязвимостей web-приложений с открытым исходным кодом.

Основные особенности:

- мощная утилита для поиска уязвимостей;
- графический и консольный интерфейсы;
- большое количество плагинов;
- подробный отчет с указанием URL и примером вредоносного кода;
- открытый исходный код;
- кроссплатформенное приложение.

По заявлениям разработчиков сканер способен обнаружить более 200 различных уязвимостей, например, SQL Injection и XSS, а также незапланированные ошибки приложения и ошибки, допущенные при конфигурации PHP.

Для предотвращения XSS-уязвимостей рекомендуется обеспечить ряд организационных мер на сервере.

Основополагающим требованием является использование флага HttpOnly для всех cookies [3], которые используются в приложении. HttpOnly cookie – это cookie, которые невозможно прочитать с помощью JavaScript, но доступные серверным скриптам, как и любые другие. Несмотря на то, что это совсем не новая технология (HttpOnly cookie появились в браузере Internet Explorer 6 SP1), далеко не все разработчики знают, что это является фундаментом для обеспечения сохранности пользовательских данных. Помимо этого, не рекомендуется хранить конфиденциальные данные в cookies (например, номер платежного документа или личные данные пользователя).

Для обеспечения безопасной передачи данных между клиентом и сервером, а также для защиты не только от XSS-атак, но и от других уязвимостей, рекомендуется использовать защищенное HTTPS-подключение.

Основополагающим способом обеспечения предотвращения XSS-уязвимостей является кодирование HTML-символов, JavaScript и CSS, полная проверка входящих данных, включая cookies и базу данных с использованием библиотек для кодирования входных данных, таких как HTML-Purifier или Htmllawed, PHP Anti-XSS Library, AntiSamy API, XSS-HTML-Filter и других, а также использовать PHP-функции (filter\_sanitize\_encoded, htmlentities, filter\_sanitize\_magic\_quotes и др.).

Для противодействия XSS-уязвимостям на стороне клиента рекомендуется использовать набор плагинов для браузера, например, NoScript, Privacy Badger, uBlockOrigin и т.д. Однако использование плагинов Privacy Badger, uBlockOrigin – не обеспечит максимальную защиту от XSS-атак, а лишь отключит загрузку скриптов с вредоносных сайтов. Использование плагина NoScript полностью отключает JavaScript, что делает невозможным реализацию XSS-атаки, однако практически все современные web-сайты используют JavaScript, поэтому при использовании данного дополнения на незнакомом web-сайте можно нарушить его функциональность.

Схема способов и средств противодействия XSS-уязвимостям отображена на рис. 3.



Рис. 3. Способы и средства противодействия XSS-уязвимостям

**Заключение.** Все перечисленные способы противодействия по отдельности не смогут предоставить максимальной защиты от XSS-уязвимостей. Настройки сервера подготовят неплохой фундамент для противодействия, однако не обеспечат должной защиты. Использование скриптов и библиотек, также не гарантирует полного обеспечения безопасности, важным критерием в данном случае следует считать постоянно обновление кодовой базы. Использование утилит сканирования и эксплуатации зависит от базы уязвимостей программного продукта, сканеры не смогут

обнаружить неизвестные им уязвимости. Для обеспечения максимальной защиты от XSS-уязвимостей, в зависимости от разрабатываемого приложения, необходимо комбинировать использование скриптов и утилит обнаружения XSS-уязвимостей.

Полное отключение JavaScript в браузере пользователя способно защитить его от XSS-атак, однако в данном случае значительно снижается наглядность и удобство пользования web-приложением.

### Литература

1. Статистика уязвимостей веб-приложений (2014 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[http://www.ptsecurity.ru/download/WEB\\_APP\\_VULNERABILITY\\_2014.A4.RUS.242465.14.OCT.2015.pdf](http://www.ptsecurity.ru/download/WEB_APP_VULNERABILITY_2014.A4.RUS.242465.14.OCT.2015.pdf), своб.
2. Category: OWASP Top Ten Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа  
[https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP\\_Top\\_Ten\\_Project](https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP_Top_Ten_Project), своб.
3. Fogie S., Grossman J., Hansen R., Rager A., Petkov P.D. XSS Attacks. Cross Site Scripting Exploits and Defense. – Syngress, 2007. – 464 p.

УДК 681.7, УДК 378.14

### НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ОБРАЗОВАНИЕ В СТУДЕНЧЕСКОЙ НАУЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ОПТОТЕХНИКИ

А.К. Сайтгалина<sup>1</sup>, Н.Д. Толстоба<sup>1</sup>, П.А. Абдула<sup>1</sup>, Д.В. Бутова<sup>1</sup>, М.К. Орехова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Подготовка кадров и вовлечение молодежи в глобальное образование – ключевая цель каждого университета. Так и студенческая научная лаборатория оптотехники Университета ИТМО ставит перед собой целью профориентацию студентов и школьников, а также популяризацию световых и фотонных технологий. В работе описаны цели студенческой научной лаборатории оптотехники, способы их реализации, новый взгляд на образование.

**Ключевые слова:** световые технологии, популяризация науки, студенческая научная лаборатория оптотехники, СНЛО.

Неклассическое образование – это значит работа не по шаблону, которую навязывают тенденции классического образования, а создание своей линии обучения, способной устоять в быстро меняющемся мире и опирающейся на инновационные принципы развития. Это возможность выходить за рамки и дать молодежи более творческую атмосферу для реализации проектов. Инновационность заключается в том, чтобы опираться на возможности решения практических задач и развивать их до серьезных научных проектов, базируясь на энергии интереса и энтузиазма по вопросам профессии.

Студенческая научная лаборатория оптотехники (СНЛО) поддерживает неклассическое образование своим существованием и деятельностью.

Главные цели и задачи СНЛО:

- профориентация студентов и школьников;
- помощь студентам в обучении посредством накопления практического опыта;
- привлечение внимания студентов к обучению;
- привлечение абитуриентов в университет;
- налаживание связей между разными сферами технической деятельности как внутри Российской Федерации, так и на международном уровне;
- вовлечение студентов в практическую и научную деятельность.

Успех лаборатории заключается в том, что, в отличие от классического образования, здесь студент:

- не испытывает давления со стороны преподавателей;
- у него есть возможность изучать то, что ему нравится;
- из большого числа других студентов он может найти соратников;
- перед студентом открыта возможность создания из выдумки реальных вещей.

Главным инструментом лаборатории являются сами студенты. Студенты обучают, когда учатся сами. Это значит, что для каждого проекта создана своя группа, в которой есть студент, передающий свои знания, и студенты, которые работают над предложенным проектом или работают над воплощением собственной идеи в жизнь. Такие команды называются «мастерские» [1]. Это позволяет не только передавать накопленные знания, но и способствует закреплению полученных знаний в процессе обучения. Важным этапом в развитии лаборатории является сотрудничество с другими студенческими лабораториями, такими как, например, объединение ОЛИМП и ФабЛаб Технопарка ИТМО.

В таблице приведены некоторые проекты лаборатории и комментарии к ним.

Таблица. Проекты лаборатории СНЛО

Описание проекта	Задачи проекта
Оптический лабиринт – интерактивный, мобильный проект для изучения геометрической оптики. Световой сигнал является индикатором прохождения лабиринта, который поступает от узкого лазерного пучка на фотоприемник. Задача игрока обойти препятствия при помощи призм и лазерной указки, установленных на игровом поле.	Использование элементной оптической базы: разработка оправ для призм, конструирование которых производится с учетом габаритов лабиринта. Производится поиск удовлетворительного источника, приемника излучения.
Бластер – два игрушечных оружия, снабженных инфракрасными (ИК) источниками, и двумя ИК приемниками. Располагаются на жилете: образуют снаряжение игрока, задача которого – устранить своего противника.	Расчет оптической системы для формирования параллельного пучка с учетом подобранной оптики; сборка плат; разработка систем попадания; разработка корпуса и дальнейшая его модернизация.
Оборудование для демонстрации фундаментальных законов оптики – камера-обскура; серия опытов оптических явлений; портативное крепление для телескопических систем.	Наглядное представление основ оптики.
Сладкая линза – использование пищевых материалов и изготовление оптических элементов, выполненных из карамели.	Достижение минимальной пузырности, свильности, максимально возможной прозрачности.
Мобильный микроскоп – универсальное и доступное всем устройство для смартфонов и планшетов с возможностью получения увеличенных изображений.	Создание крепления для увеличительной линзы, соединяющее ее с любым мобильным устройством.
Комиксы об оптике – объяснение базовых оптических законов и явлений в формате комикса о мистере Лайтмене.	Выбор материалов и тем для представления в графическом варианте; упрощенное их изложение.

Описание проекта	Задачи проекта
Выставка оптических эффектов	Популяризация оптики с помощью демонстрации и объяснения различных оптических явлений, таких как полное внутреннее отражение (ПВО), интерференция, непостоянство показателя преломления среды.
Глюкометр – неинвазивная процедура измерения уровня сахара в крови, не требующая прокалывания кожи, позволяет сделать процедуру безболезненной и безопасной.	Разработка портативного глюкометра; освоение принципа его работы.
Эндокапсула – замена эндоскопа в одной капсуле.	Разработка комфортного прибора для эндоскопии; расчет оптической схемы.
Модернизация оверхед-проектора – электронная проекционная система из старого проектора.	Поиск электронной матрицы, способной заменить прозрачные пленки; создание необходимых креплений; подбор таких габаритов матрицы и настроек проектора, при которых не происходит урезания пучка.

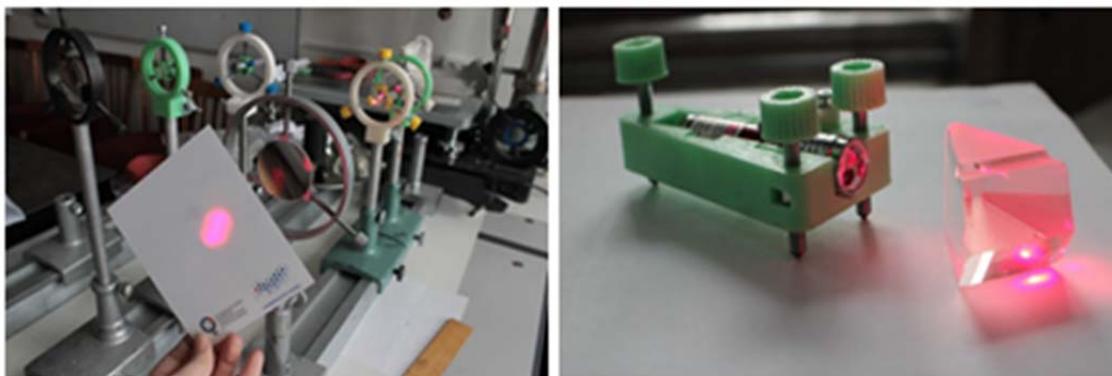


Рисунок. Примеры проектов лаборатории

Опыт СНЛО показал, что можно создавать подобные лаборатории на кафедрах университета:

- открытость лабораторий для студенческих инициатив;
- кооперация между структурными подразделениями и лабораториями;
- ясность понимания своего места в профессиональной сфере;
- расширение компетенций студентов;
- повышение уровня трудоустройства по профессии;
- повышение уровня интереса к специальности;
- развитие научных коллективов и продолжение проведения объемных;
- неоценимый опыт ведения проектов, а также повышение управленческих навыков.

Привлечение внимания студентов к науке и качественному самостоятельному образованию является ключевой целью лаборатории. Профориентация школьников, абитуриентов, студентов младших курсов явится заметным вкладом в привлечении лучших кадров в университет. Создание комфортного пространства для работы студенческого научно-технического потенциала является стимулом для студентов. Подобные лаборатории развивают практические и теоретические компетенции обучающихся [2–4].

## Литература

1. Tolstoba N.D., Saitgalina A.K., Abdula P.A., Butova D.V. Student research laboratory for optical engineering // Proceedings of SPIE. – 2015. – V. 9793. – P. 97931Y.
2. Абдула П.А., Бутова Д.В., Вялых М.А., Кочнев К.А., Орехова М.К., Саитгалина А.К., Самаркин Г.М., Толстоба Н.Д. Развитие студенческой научной лаборатории оптотехники // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 7–10.
3. Curticean D. University for Children – The Magic of Light // Proc. of SPIE. – 2009. – V. 9666. – P. 966604-1.
4. Townes C.H. How the Laser Happened, Adventures of a Scientist. – Oxford University Press, 1999. – 200 p.

УДК 004.031.6

### АРХИТЕКТУРЫ С ЛОГИЧЕСКИМ ПЕРЕПЛЕТЕНИЕМ В РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БОРТОВОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Л.В. Савкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПАО «Радиофизика», г. Москва

Работа посвящена разработке и исследованию эффективных способов повышения надежности функционирования ранее предложенной реконфигурируемой системы контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата. Исследован подход, связанный с построением в составе диагностических каналов избыточных архитектур с логическим переплетением. Показано, что наиболее целесообразными для построения архитектур с логическим переплетением являются фрагменты единого реконфигурируемого вычислительного поля системы контроля и диагностики, реализующие выходные буферные устройства каналов обработки диагностической информации.

**Ключевые слова:** бортовой комплекс управления, контроль, диагностика, диагностический канал, избыточность, реконфигурируемое вычислительное поле, логика с переплетением, аппаратная архитектура.

**Введение.** Важной особенностью ранее предложенной [1] реконфигурируемой системы контроля и диагностики (СКД) является преимущественно аппаратная реализация контрольно-диагностических алгоритмов бортового комплекса управления космического аппарата (БКУ КА) на базе выделенных фрагментов реконфигурируемого вычислительного поля (РВП). В реконфигурируемой СКД БКУ КА также предусмотрена возможность восстановления вышедших из строя контролируемых промежуточных участков (архитектур) обработки вектора управляющей информации БКУ  $Y$  путем формирования «замещающей» аппаратной архитектуры непосредственно в РВП СКД. Реализация РВП, в свою очередь, основана на различных способах формирования единой составной архитектуры, выполненной на базе нескольких ПЛИС класса FPGA: мультимикроконвейерные и мультимакроконвейерные архитектуры [2, 3], принцип вложенных матричных наборов, открытые масштабируемые архитектуры и др.

В настоящей работе исследовались аппаратно-программные подходы по повышению надежности функционирования реконфигурируемой СКД БКУ КА. Ввиду того, что все основные функциональные подсистемы СКД реализуются преимущественно аппаратным образом в составе единого РВП СКД, то вполне естественным шагом в дальнейшем усовершенствовании СКД БКУ является использование низкоуровневой избыточности на уровне конфигурируемых логических

блоков (КЛБ) [4] с целью построения отказоустойчивых архитектур непосредственно в РВП. В качестве одного из возможных вариантов повышения отказоустойчивости СКД рассматривается подход, основанный на применении в едином РВП избыточных архитектур с логическим переплетением [5].

**Цель работы** – разработка и исследование способов повышения надежности реконфигурируемой СКД, основанных на построении локальных архитектур РВП СКД с логическим переплетением.

Основные задачи, решаемые в настоящей работе для достижения поставленной цели:

- рассмотреть возможности применения аппаратно-программных подходов по повышению надежности реконфигурируемой СКД БКУ КА, связанных с использованием в составе единого РВП локальных архитектур (функциональных фрагментов) с логическим переплетением;
- произвести общий анализ достоинств и недостатков рассматриваемого подхода в целом;
- оценить целесообразность применения данного подхода в рамках реконфигурируемой СКД БКУ КА;
- выделить области применимости данного подхода в составе функциональных архитектур РВП СКД с указанием конкретных базовых фрагментов РВП, реализующих контрольно-диагностическое обеспечение БКУ КА.

**Избыточные архитектуры с логическим переплетением.** Архитектуры с логическим переплетением могут быть получены за счет введения слоев из избыточных дублирующих элементов (в данном случае – КЛБ), связи между которыми устанавливаются в соответствии с определенными правилами. На рис. 1 приводится пример преобразования исходной комбинационной схемы в схему с логическим переплетением, за основу которого был взят чуть более сложный пример, приводившийся в пособии [5].

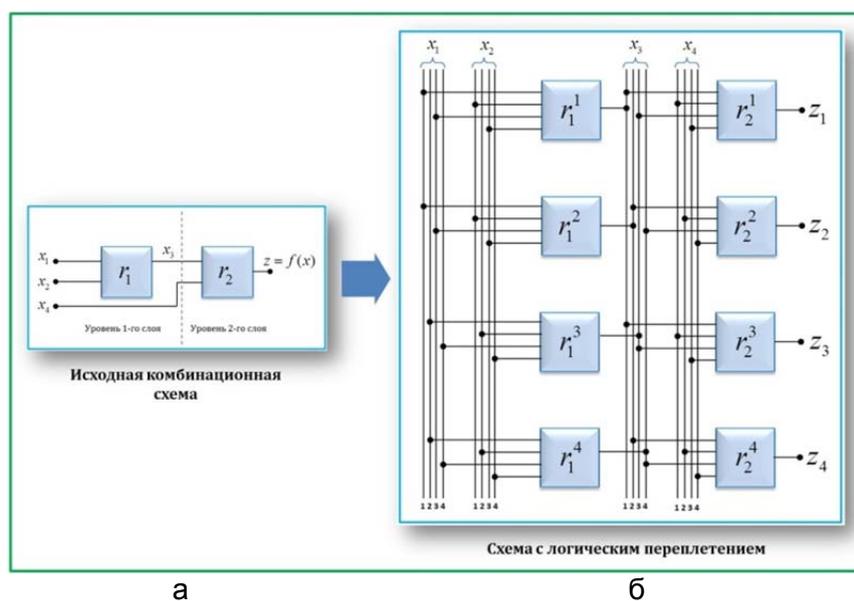


Рис. 1. Принцип формирования схемы с логическим переплетением

Из рисунка видно, что на предварительном этапе составления схемы с логическим переплетением, в исходной схеме (рис. 1, а), реализующей булеву функцию  $z = f(x) = f(x_1, x_2, x_4)$ , выделяются два уровня, которые затем будут преобразованы в слои (рис. 1, б). Наиболее распространенным способом формирования логики с переплетением является «четверенная логика, способная исправить однократные

ошибки и часть ошибок более высокой кратности» [5]. При этом, в пособии [5] также отмечается, что от каждого элемента слоя сигналы поступают только на два элемента последующего слоя (а не на четыре!), что в общем случае является отличительной чертой данного подхода от применения многослойных мажоритарных схем, использующих в основном полносвязные схемы соединения элементов между слоями. В данном случае правила, по которым были назначены связи между элементами архитектуры с логическим переплетением, представлены в таблице.

Таблица. Правила назначения связей для межслойных логических переплетений (для рис. 1)

Порядковый номер вывода	Связи с первым слоем		Связи со вторым слоем	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	1, 2	1, 2	1, 3	1, 3
2	3, 4	3, 4	2, 4	2, 4
3	1, 2	1, 2	1, 3	1, 3
4	3, 4	3, 4	2, 4	2, 4

Даже из данного простейшего примера видно, что процесс формирования схемы (или архитектуры) с логическим переплетением в целом является довольно трудоемким и всегда зависит от особенностей исходной комбинационной схемы, т.е. от ее изначальной структурно-функциональной сложности.

Формально данную процедуру можно описать следующим образом. Пусть имеется исходная комбинационная схема  $K$ , которая реализует аппаратным образом в составе РВП СКД некоторую функцию  $z = f(x) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ . Этой функции всегда можно поставить в соответствие некоторый граф  $G = G(X, R)$ , в котором  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k (\doteq z)\}$  – множество ребер графа  $G$ ,  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$  – множество КЛБ-вершин, реализующих базовые логические или арифметические операции  $r_i, i = \overline{1, n}$ .

Для исходной комбинационной схемы это соответствие можно записать как

$$z = f(x) = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) \Leftrightarrow G(X, R),$$

причем, характер направленных связей  $x_j, j = \overline{1, k}$  нас в данном случае не интересует, и именно поэтому речь здесь идет о графе  $G$ , а не об орграфе. Четырехкратную избыточность обозначим символом  $\overset{|4}{\square}$ , тогда граф архитектуры с логическим переплетением может быть представлен зависимостью вида

$$G^{\overset{|4}{\square}} = G(X^{\overset{|4}{\square}}, R^{\overset{|4}{\square}}),$$

где  $X^{\overset{|4}{\square}}$  – четырехкратное множество ребер графа  $G^{\overset{|4}{\square}}$ , а  $R^{\overset{|4}{\square}}$  – четырехкратное множество его КЛБ-вершин.

В этом случае значение функции на выходе архитектуры с логическим переплетением  $\overset{|4}{f}(x)$ , будет определяться графом  $G^{\overset{|4}{\square}}$ , что, в свою очередь, можно записать как

$$\overset{|4}{f}(x) \Rightarrow G(X^{\overset{|4}{\square}}, R^{\overset{|4}{\square}}) = G \left( \begin{array}{cccc} r_1^1 & r_2^1 & r_3^1 & \dots & r_n^1 \\ r_1^2 & r_2^2 & r_3^2 & \dots & r_n^2 \\ r_1^3 & r_2^3 & r_3^3 & \dots & r_n^3 \\ r_1^4 & r_2^4 & r_3^4 & \dots & r_n^4 \end{array} \right) \times \left( \begin{array}{cccc} \lambda_{11} \cdot x_1^1 & \lambda_{12} \cdot x_2^1 & \lambda_{13} \cdot x_3^1 & \dots & \lambda_{1k} \cdot x_k^1 \\ \lambda_{21} \cdot x_1^2 & \lambda_{22} \cdot x_2^2 & \lambda_{23} \cdot x_3^2 & \dots & \lambda_{2k} \cdot x_k^2 \\ \lambda_{31} \cdot x_1^3 & \lambda_{32} \cdot x_2^3 & \lambda_{33} \cdot x_3^3 & \dots & \lambda_{3k} \cdot x_k^3 \\ \lambda_{41} \cdot x_1^4 & \lambda_{42} \cdot x_2^4 & \lambda_{43} \cdot x_3^4 & \dots & \lambda_{4k} \cdot x_k^4 \end{array} \right)^T,$$

(2)

где символ  $\times$  определяет произведение матриц, связанное с установлением только двух связей между элементами  $\alpha$ -го слоя и  $(\alpha+1)$ -го слоя по правилу, задаваемому матрицей  $\lambda = \|\lambda_{pj}, p = \overline{1,4}, j = \overline{1,k}\|$ , элементы  $\lambda_{pj}$  которой могут принимать значение только нуля или единицы.

Иногда архитектуру с логическим переплетением удобно описывать с помощью объединенного графа (или уже орграфа)  $G^{l4}$  вида

$$G^{l4} = G_1(X_1^{l4}, R_1^{l4}) \cup G_2(X_2^{l4}, R_2^{l4}) \cup \dots \cup G_w(X_w^{l4}, R_w^{l4}) = \bigcup_{\alpha=1}^w G_\alpha(X_\alpha^{l4}, R_\alpha^{l4}),$$

где  $G_\alpha(X_\alpha^{l4}, R_\alpha^{l4})$  – граф, описывающий  $\alpha$ -ый слой архитектуры с логическим переплетением,  $\alpha = \overline{1, w}$  – порядковый номер слоя в архитектуре с логическим переплетением.

В пособии [5] также приводится формула для приближенной оценки вероятности безотказной работы избыточных схем с логическим переплетением, учитывающая одновременно максимальное число ошибок, которые могут исправляться в данного типа схемах.

Этот подход в целом вполне эффективен при реализации сравнительно простых комбинационных схем на базе подходящих с точки зрения архитектуры (островная, иерархическая, асимметричная и др.) ПЛИС класса FPGA. Недостатком в данном случае является значительная сложность в предварительных расчетах схемы, связанных как с выбором правил организации межслойных связей, так и способов декомпозиции исходной архитектуры. В то же время в процессе усложнения исходной комбинационной схемы наиболее предпочтительным вариантом построения избыточной отказоустойчивой архитектуры является реализация многослойных мажоритарных схем резервирования, также требующих предварительной декомпозиции базовой архитектуры. Однако в последнем случае сами принципы декомпозиции исходной архитектуры являются довольно универсальными по сравнению с процедурами, требуемыми при организации логики с переплетением для конкретных комбинационных схем.

**Формирование диагностических каналов в РВП СКД.** Ввиду высокой степени конфигурационной сложности базовых архитектур РВП СКД, самым предпочтительным вариантом, дающим возможность практически реализовать архитектуру в РВП с логическим переплетением, является буферное устройство (БУ) (рис. 2).

БУ входит в состав каналов обработки диагностической информации (КОДИ) области реконфигурируемых измерительных каналов (РИК) РВП СКД и отводится для согласования данных о результатах диагностирования БКУ  $h$  с внешним (относительно РВП СКД) входным устройством базы данных (БД) классификатора аппаратно-программных неисправностей БКУ КА, которое на рис. 2 не представлено.

Такое решение обусловлено, прежде всего, сравнительно простой комбинационной схемой БУ, в состав которого, как представлено на рис. 2, введен еще и дополнительный мажоритарный орган (МО), реализующий правило «три из четырех». Применение такого МО также советуется применять и в [5] с целью получения одного выходного сигнала  $z = f(x)$  от четырехканальной архитектуры с логическим переплетением.

Каждый независимый КОДИ через БУ осуществляет сопоставление регистрируемых данных с эталонными данными, хранящимися в пополняемой БД классификатора аппаратно-программных неисправностей подсистем БКУ КА. На

основе оценки параметров вектора данных  $W$  определяются как глубина неисправности или отказа той или иной подсистемы БКУ КА, так и эффективность выбранного алгоритма обработки диагностической информации в КОДИ [1, 6].

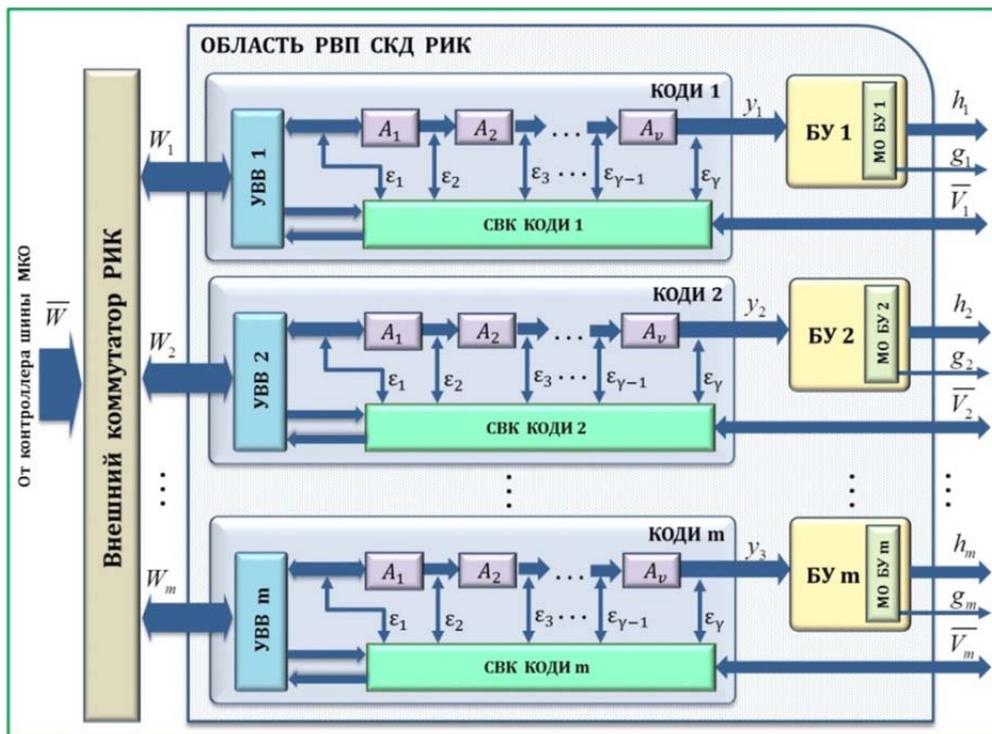


Рис. 2. Область РИК, в которой задействованы архитектуры БУ с логическим переплетением

Рис. 2 иллюстрирует также и каскадную структурную организацию общей архитектуры каждого КОДИ, обеспечивающую доступ к промежуточным архитектурам (или участкам) цифровой обработки информации  $A_1, A_2, \dots, A_v$  с помощью схемы встроенного контроля (СВК) через постоянный набор каналов двустороннего (контроль и тест) доступа  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_\gamma$ . Вся совокупность данных, используемых при организации двустороннего доступа к СВК представляют собой вектор  $V$ . По набору параметров  $\{g_1, g_2, \dots, g_m\}$  осуществляется оценка загруженности МО каждого из КОДИ области РИК РВП, а также регистрируются ошибки, возникающие при реализации логики «три из четырех». Все данные в совокупности  $\langle h, g, V \rangle$  определяют общую конфигурацию  $Q = f\langle h, g, V, t \rangle$  единого РВП СКД в моменты времени  $t$ .

Для регистрации сбоев и любых несоответствий в идентичных фрагментах РВП СКД в большинстве каналов обработки информации попарно в соответствии с алгоритмом очередности реализуется простейшая операция

$$F_{A_1} | F_{A_2} = F_{A_1}(x, t) \oplus F_{A_2}(x, t),$$

которая в автоматическом режиме запускает режим «временного снятия» архитектур с зарегистрированной ошибкой идентичности из функционального состава РВП СКД и включает углубленное (вплоть до определения порядкового номера КЛБ) самотестирование [7] «подозрительных» функциональных фрагментов РВП.

Таким образом, повышение надежности функционирования реконфигурируемой СКД, основанное на применении архитектур с логическим переплетением в составе единого РВП, может быть целесообразным только при реализации архитектур БУ с МО на выходах каждого КОДИ. В остальных случаях данный подход является крайне нежелательным ввиду приведенных ранее аргументов.

**Выводы.** В работе были рассмотрены вопросы, связанные с повышением надежности функционирования ранее предложенной реконфигурируемой СКД БКУ КА. В качестве основного способа повышения надежности СКД исследовался подход, связанный с построением в составе диагностических каналов избыточных архитектур с логическим переплетением.

Из поставленной цели и сформулированных для ее достижения основных задач можно заключить следующее:

1. рассмотрена возможность повышения надежности функционирования реконфигурируемой СКД БКУ КА, связанная с использованием в составе единого РВП штатных функциональных архитектур с логическим переплетением;
2. произведен общий анализ достоинств и недостатков предложенного подхода. В качестве основного достоинства данного подхода необходимо отметить его эффективность при реализации простых комбинационных схем. В качестве существенных недостатков подхода необходимо подчеркнуть значительную сложность и трудоемкость, связанные с проведением предварительных расчетов исходных комбинационных схем: выбор правил организации межслойных связей, декомпозиция исходной архитектуры и т.п. Также в качестве важного недостатка применения архитектур с логическим переплетением является (в большинстве случаев) необходимость введения дополнительного МО, что в итоге делает данное решение крайне нерациональным с точки зрения возможности применения классической многослойной схемы с мажоритарным резервированием;
3. произведена оценка целесообразности применения данного подхода в рамках реконфигурируемой СКД БКУ КА. Был проведен сравнительный анализ возможных вариантов аппаратного построения в РВП СКД каналов обработки диагностической информации, использующих многослойную логику с переплетением. Показано, что наиболее целесообразными для построения архитектур с логическим переплетением являются фрагменты единого РВП СКД, реализующие выходные БУ КОДИ области РИК РВП.

В настоящее время продолжаются исследования, связанные с применением других подходов по повышению надежности функционирования реконфигурируемой СКД БКУ КА.

### Литература

1. Савкин Л.В., Ширшаков А.Е., Новичков В.М. Построение реконфигурируемой системы функционального контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2015. – № 6. – С. 8–13.
2. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
3. Nauck S. Reconfigurable computing. The theory and practice of FPGA-based computation. – Morgan Kaufmann Publ., 2007. – 944 p.
4. Уваров С.С. Проектирование реконфигурируемых отказоустойчивых систем на ПЛИС с резервированием на уровне ячеек // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 9. – С. 176–189.
5. Ибүду К. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 216 с.
6. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем. – М.: Академия, 2009. – 352 с.

7. Savkin L.V. Self-testing fixed topology of basic diagnostic models in the reconfigurable computing field of system the functional monitoring and diagnostics an onboard complex to control of the spacecraft // The First European Conference on Informational Technology and Computer Science. – 2015. – P. 64–69.

УДК 004.031.6

**БОРТОВЫЕ РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ  
КОСМИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ: АНАЛИЗ МЕТОДОВ НИЗКОУРОВНЕВОГО  
РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ АРХИТЕКТУР И ОДИНОЧНОЙ  
ЛОГИКИ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
СХЕМАХ**

**Л.В. Савкин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>ПАО «Радиофизика», г. Москва

В работе проводится анализ известных методов низкоуровневого резервирования аппаратных архитектур программируемых логических интегральных схемах класса FPGA и CPLD, включая схемы мажоритарного резервирования, схемы с самоконтролем, парные архитектуры с двухсторонним тестированием и другие. Особое внимание уделено методам низкоуровневого резервирования комбинированных архитектур и одиночной логики, направленных на реализацию ранее предложенных аппаратно-программных платформ бортовых регенеративных электронных систем космических аппаратов.

**Ключевые слова:** низкоуровневое резервирование, конфигурируемый логический блок, комбинированная архитектура, графоаналитическая модель.

**Введение.** Развитие большинства известных на сегодняшний день концепций реконфигурируемых вычислительных систем (РВС) [1–3] во многом определяется непрерывным совершенствованием электронной компонентной базы, в которой наиболее значимую роль играют программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Технические возможности ПЛИС последнего поколения позволяют качественно пересмотреть традиционные подходы по построению отказоустойчивой электронной аппаратуры космического применения, фундаментальным принципом аппаратно-программного построения которых является резервирование микропроцессорных аппаратных подсистем на высоком аппаратном уровне (вычислительные комплексы, модули, блоки и т.п.). Новые подходы с использованием ПЛИС направлены сегодня на построение бортовых отказоустойчивых электронных систем космического применения нового типа, реализующих широкий набор методов низкоуровневого резервирования комбинированных логико-арифметических архитектур вплоть до уровня отдельных конфигурируемых логических блоков (КЛБ) [4].

Исследование способов практической реализации данных подходов позволяет провести грубую аналогию с явлениями регенерации, наблюдаемыми во многих формах биологических систем, что, в свою очередь, позволяет в конечном итоге говорить о новом классе отказоустойчивых электронных систем не микропроцессорной архитектуры – регенеративных электронных системах (РегЭС) [5].

Ввиду того, что ключевой особенностью всех типов РегЭС является возможность низкоуровневого резервирования аппаратных архитектур, то в настоящей работе предлагается рассмотреть ряд наиболее распространенных способов низкоуровневого резервирования комбинированных логико-арифметических архитектур, включая конфигурируемые логические блоки (для ПЛИС класса FPGA). Рассматриваемые далее способы могут быть вполне успешно реализованы в современных ПЛИС как FPGA-класса, так и класса CPLD.

**Цель работы** – анализ и сравнительная оценка методов низкоуровневого резервирования комбинированных архитектур и одиночной логики в ПЛИС, которые могут быть использованы при аппаратно-программной реализации бортовых РегЭС космических аппаратов (КА).

### **Методы низкоуровневого резервирования и отказоустойчивые архитектуры на базе ПЛИС**

1. Мажоритарные схемы резервирования. Применение мажоритарных схем резервирования аппаратуры [6] является одним из самых распространенных способов построения отказоустойчивых бортовых систем КА, которые в большинстве случаев реализуются на высоком аппаратном уровне.

При реализации мажоритарного резервирования на низком аппаратном уровне в РегЭС всегда ставится вопрос о том, каким образом наиболее эффективно будет реализовано ключевое звено любой мажоритарной схемы резервирования – мажоритарный орган (МО).

Самым распространенным ответом на этот вопрос является построение многоуровневых цифровых компараторов, реализующих сопоставление поступающих на их вход данных от, как правило, нечетного числа каналов обработки информации (идентичных аппаратных архитектур в ПЛИС).

Распространенность применения именно этого подхода в качестве МО обуславливается, прежде всего, тем, что благодаря компараторным схемам сравнения можно выявлять наличие неидентичности между входными данными сразу же во всех каналах обработки информации, а не только относительно доминирующих (с точки зрения большинства одинаковых параметров входных данных) потоков.

К примеру, для классической трехкратной мажоритарной схемы резервирования, реализующей правило «два из трех», т.е.

$$z = \begin{cases} y_1 \& y_2 \& y_3, \\ y_1 \& y_2 \mid (\neq y_3), \\ y_1 \& y_3 \mid (\neq y_2), \\ y_2 \& y_3 \mid (\neq y_1), \end{cases} \quad (1)$$

где  $z$  – выходные данные МО, а  $y_1, y_2, y_3$  – данные от трех идентичных аппаратных каналов (архитектур), поступающие на вход МО, именно благодаря многоуровневому цифровому компаратору удается не только зарегистрировать случай  $y_1 \neq y_2 \neq y_3$ , но и идентифицировать параметрические различия между потоками данных на входе МО.

В тех случаях, когда необходимо повысить надежность архитектуры, реализующей в едином реконфигурируемом вычислительном поле (РВП) РегЭС МО, удобно применять многослойные схемы мажоритарного резервирования [6], исправляющие ошибки (при их возникновении) по мере прохождения распараллеленных сигналов через мажоритарные слои и подсистемы исходных вычислительных каналов (ВК). Последние, в свою очередь, образуются путем предварительной структурной декомпозиции исходных архитектур ВК в РВП РегЭС. В ряде случаев в архитектуре РВП можно также предусмотреть возможность «снятия» потоков данных с промежуточных участков обработки информации в ВК, не прибегая при этом к процедуре декомпозиции их архитектуры.

Достоинством данных методов является устойчивость практически ко всем видам отказов составных частей идентичных ВК, сравнительная простота их практической реализации в составе функциональных архитектур РВП РегЭС с одновременным повышением достоверности обрабатываемой информации. В основном все недостатки в реализации данных способов резервирования на базе ПЛИС определяются

трудностями, связанными с особенностями архитектуры составного РВП РегЭС, определяемого, в свою очередь, типом ПЛИС.

2. Квазиавтономные архитектуры. Под квазиавтономными архитектурами РВП РегЭС понимаются такие архитектуры, которые помимо функциональных алгоритмов, требуемых для решения штатных задач обработки информации в РегЭС, реализуют еще и два типа задач контроля фрагментов РВП.

Первый тип задач относится к контролю соседних фрагментов РВП по отношению к каждому из рассматриваемых фрагментов. Как правило, эта задача в самом общем случае заключается в том, чтобы каждый выделенный фрагмент РВП, помимо возложенных на него основных функций, контролировал еще и группу окружающих его в определенной области РВП отдельных фрагментов.

Кроме того, каждый фрагмент должен осуществлять еще и самоконтроль, который относится уже ко второму типу задач контроля. Данная концепция обеспечивает своеобразную функциональную автономность каждой аппаратной архитектуры РВП, которая при оптимальных соотношениях избыточности фрагментов РВП, довольно эффективно реализует отказоустойчивость РВП РегЭС в целом.

Идея квазиавтономных архитектур является вариативным следствием развития и обобщения идей систолических вычислительных систем и самоконтролируемых аппаратных архитектур. Она направлена, прежде всего, на применение универсальной, отказоустойчивой и максимально однородной архитектуры РВП РегЭС для решения сравнительно широкого класса задач простой и средней сложности, что в общем случае является ее достоинством. Существенным недостатком подобного рода концепций является сложность аппаратной организации памяти внутри фрагментов РВП, требуемой как для выполнения операций с запоминанием данных, так и для хранения данных (к примеру, эталонных) об исправных состояниях собственной архитектуры и архитектур контролируемых фрагментов единого РВП РегЭС.

3. Парные архитектуры с двухсторонним (взаимным) тестированием. В данного типа архитектурах низкоуровневая коммутация (реконфигурация РВП РегЭС) с отказавшей архитектуры на исправную осуществляется после регистрации неисправности на основе встречных по отношению друг к другу аппаратных тестов каждой из двух полностью идентичных архитектур  $A_1$  и  $A_2$ , образующих парную архитектуру РВП.

Если, к примеру, в качестве взаимного теста используется метод булевых производных, то в каждой из архитектур  $A_1$  и  $A_2$ , реализующих соответственно булевы функции  $f_{A_1}(x) = f_{A_1}(x_1, x_2, \dots, x_n)$  и  $f_{A_2}(x) = f_{A_2}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , вычисляются соответствующие им значения булевых производных

$$\frac{df_{A_1}(x)}{dx_i^{(A_1)}} = f_{A_1}(x_i^{(A_1)}) \oplus f_{A_1}(\overline{x_i^{(A_1)}}), \quad (2)$$

$$\frac{df_{A_2}(x)}{dx_i^{(A_2)}} = f_{A_2}(x_i^{(A_2)}) \oplus f_{A_2}(\overline{x_i^{(A_2)}}), \quad (3)$$

где  $x_i^{(A_1)}$  и  $x_i^{(A_2)}$ ,  $i = \overline{1, n}$  – двоичные переменные, по которым во взаимном тестировании архитектур  $A_1$  и  $A_2$  берутся значения булевых производных, после чего на основе индикаторных функций  $Q_{A_1}$  и  $Q_{A_2}$  вида

$$Q_{A_1}(x_i^{(A_1)}) = x_i^{(A_1)} \times \frac{df_{A_1}(x)}{dx_i^{(A_1)}} = \begin{cases} 0, \text{ Исправно} \\ 1, \text{ Неисправно} \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_{A_2}(x_i^{(A_2)}) = x_i^{(A_2)} \times \frac{df_{A_2}(x)}{dx_i^{(A_2)}} = \begin{cases} 0, \text{ Исправно} \\ 1, \text{ Неисправно} \end{cases} \quad (5)$$

можно однозначно зафиксировать наличие неисправности в  $i$ -ом канале обработке информации любой из архитектур  $A1$  и  $A2$ .

Низкоуровневое резервирование, выполняемое по результатам процедуры периодического сопоставления индикаторных функций  $Q_{A1} \Leftrightarrow Q_{A2}$  парной архитектуры РВП, относится к резервированию с замещением, достоинством которого является сравнительная простота его реализации в составе функциональных фрагментов РВП РегЭС. Недостатком в общем случае здесь является необходимость использования дублирующих парных архитектур  $A3$  и  $A4$ , которые также будут замещать отказавшую полностью парную архитектуру « $A1-A2$ ».

4. Архитектуры скользящего резервирования. В составе РВП РегЭС также может быть реализовано скользящее резервирование как фрагментов РВП, так и отдельных КЛБ. С этой целью в составе РВП можно выделить фрагмент, содержащий избыточную группу требуемых для функционального замещения отдельных фрагментов РВП (либо КЛБ).

Реализация метода скользящего резервирования в этом случае будет заключаться в перепоключении (с помощью реконфигурации РВП) одного из фрагментов резервной группы фрагментов РВП к фрагменту, вышедшему из строя [7]. Наиболее удобно использовать данный метод резервирования в архитектурах ПЛИС класса FPGA иерархического типа.

О достоинствах низкоуровневого скользящего резервирования можно говорить лишь в зависимости от той модели (или архитектуры) РегЭС в рамках которой его будет целесообразно использовать. Вместе с тем основным недостатком данного метода в большинстве случаев будет выступать сложность его практической реализации, связанная с топологической (т.е. конфигурационной) ограниченностью архитектур ПЛИС при их реконфигурации.

5. Архитектуры с логическим переплетением. Применение архитектур с логическим переплетением довольно удобно применять при четырехкратном резервировании сравнительно простых комбинационных схем [6]. Вместе с тем довольно сложно представить себе пример, где использование именно архитектуры с логическим переплетением было бы эффективнее, чем, к примеру, мажоритарное резервирование ВК в едином РВП РегЭС. Важным доводом в пользу этого аргумента является хотя бы тот факт, что выход архитектуры с логическим переплетением всегда является многоканальным. Это обстоятельство, в свою очередь, часто наводит разработчика архитектуры отказоустойчивой архитектуры на мысль о необходимости использования арбитражного устройства на выходе архитектуры с логическим переплетением.

К примеру, в том же пособии [6] в качестве варианта арбитражного устройства упоминается возможность применения МО. Однако на практике данное решение в большинстве случаев выливается в колоссальное усложнение всей отказоустойчивой архитектуры в целом. Можно только себе представить во сколько раз еще усложнится подобная архитектура, если возникнет необходимость в резервировании самого МО, а точнее построения комбинированной архитектуры с логическим переплетением (в том варианте, о котором говорится в вышеупомянутом пособии) одновременно сочетающей в себе и многослойное мажоритарное резервирование. Хотя, безусловно, всегда можно подобрать такой частный пример, где данное решение будет наиболее оптимальным по сравнению с той же отказоустойчивой архитектурой, реализующей одно лишь мажоритарное резервирование. И понятно также, что в целом этот подход требует очень детального предварительного рассмотрения особенностей исходной комбинационной схемы, в рамках которой планируется реализовать отказоустойчивую архитектуру с логическим переплетением.

Таким образом, о достоинствах данного способа можно говорить в основном при реализации сравнительно простых с точки зрения булевых функций логических схем, при этом сам метод может быть использован как в ПЛИС FPGA-класса, так и класса CPLD. Недостатком данного подхода в рамках РегЭС является то, что данный подход в целом рассчитан на стационарные архитектуры, не требующие коррекции в процессе своей эксплуатации. В связи с этим в рамках любой модели РегЭС данный подход не имеет серьезного практического интереса, поскольку вся идеология РегЭС базируется на идее адаптивной (по отношению к любым типам неисправностей РВП) реконфигурации, причем динамической.

6. Резервирование с замещением за счет реконфигурации. Этот метод полностью основан на свойствах реконфигурации РВП РегЭС. Пусть до момента возникновения неисправности в КЛБ выделенный фрагмент РВП РегЭС описывался орграфом  $G_1(R, W)$ , где  $R = \{r_i\}, i \in I = \{1, 2, \dots, k\}$  – множество функциональных КЛБ-вершин РВП, реализующих требуемые логические и арифметические операции посредством КЛБ, а  $W = \{w_j\}, j \in J = \{1, 2, \dots, m\}$  – множество дуг, описывающих направленные связи между КЛБ-вершинами и полностью определяющих топологию (конфигурацию) архитектуры фрагмента РВП [1, 8, 9].

Если один из КЛБ в процессе функционирования РегЭС вышел из строя, то РегЭС остается не что иное, как восстановить целостность орграфа  $G_1(R, W)$ . А для этого необходимо путем реконфигурации либо перенести орграф на другой участок РВП, либо с помощью той же реконфигурации осуществить замещение вышедшего из строя КЛБ за счет переподключения двух дуг к другому исправному КЛБ из избыточной группы КЛБ РВП. В обоих случаях орграф  $G_1(R, W) \neq G_2(R, W)$ , где  $G_2(R, W)$  – орграф, описывающий восстановленный фрагмент РВП.

С точки зрения всех моделей РегЭС данный подход в целом является наиболее предпочтительным из ранее перечисленных. Сложности его во многом обусловлены необходимостью решения чисто комбинаторных задач, которые соответствуют той или иной комбинационной схеме и которые всегда можно представить в виде соответствующей графоаналитической модели  $G(R, W)$ .

7. Модулярные архитектуры. В рамках концепции РегЭС этот метод построения отказоустойчивых архитектур и соответствующих ему методов резервирования открывает довольно много интересных и, безусловно, перспективных исследовательских направлений, связанных с построением аппаратных архитектур, реализующих одну из разновидностей непоозиционных систем счисления – системы остаточных классов (т.е. модулярную арифметику).

Практический интерес к подобным архитектурам связан, прежде всего, с тем, что реализация в РВП РегЭС той или иной операции, основанной на использовании систем остаточных классов, требует естественного введения избыточных наборов КЛБ. При этом не редко данные избыточные архитектуры группируются оптимальным образом и с точки зрения конфигурационных, и с точки зрения комбинаторных ограничений орграфа  $G(R, W)$ .

### **Функциональная и контролирующая среды в РВП РегЭС**

1. Проблема динамической реконфигурации. Ключевой проблемой в реализации двух взаимодействующих между собой аппаратных сред (функциональной и контролирующей) РегЭС является крайне узкая номенклатура ПЛИС с возможностями динамической реконфигурации архитектуры. На сегодняшний день, помимо большого числа работ зарубежных исследователей по тематике низкоуровневой динамической реконфигурации, уже существует ряд ПЛИС ведущих

производителей Xilinx и Altera с возможностями локальной динамической реконфигурации. Исследования по вопросу полной динамической реконфигурации ПЛИС также активно ведутся.

2. Проблема организации памяти в различных моделях РегЭС. Данная проблема в рамках реализации любой из моделей РегЭС по масштабу своей сложности является второй после проблемы динамической реконфигурации. Одним из выходов в решении данной проблемы является реализация запоминающих устройств, хранящих память о переходных процессах в соседних и примыкающих друг к другу фрагментах РВП, на базе самих фрагментов РВП (т.е. на базе КЛБ). Такой подход может быть использован в моделях РегЭС с архитектурами квазиавтономного типа.

Исследования данного вопроса активно ведутся как в рамках различных моделей РегЭС, так и в рамках различного рода отказоустойчивых самоконтролируемых систем с памятью.

3. Критерии выбора методов низкоуровневого резервирования. Выбор конкретного метода низкоуровневого резервирования аппаратных архитектур РегЭС всегда полностью определяется рассматриваемой моделью РегЭС. Во многих случаях критериями выбора того или иного метода низкоуровневого резервирования фрагментов РВП РегЭС являются конфигурационные и комбинаторные ограничения орграфов  $G(R, W)$ , соответствующих той или иной комбинационной схеме (булевой функции, схеме функциональной целостности и т.п.).

Вместе с тем, окончательный выбор того или иного метода низкоуровневого резервирования аппаратных архитектур РВП РегЭС всегда будет зависеть от платформы ПЛИС, отведенной для реализации единого РВП со свойствами динамической реконфигурации.

Важным аспектом всех вышеперечисленных проблем является еще и то, что в данном случае речь идет об использовании ПЛИС с парированием отказов на уровне одного КЛБ. Именно такого рода технологии служат сегодня основой построения радиационнотойких ПЛИС космического применения.

**Заключение.** В работе с целью исследования возможностей аппаратно-программной реализации ранее предложенных бортовых РегЭС космического применения проведен анализ известных методов низкоуровневого резервирования аппаратных архитектур ПЛИС. Рассмотрены следующие методы низкоуровневого резервирования архитектур ПЛИС: мажоритарные схемы резервирования, включая схемы с одним МО и многослойные мажоритарные схемы резервирования, квазиавтономные архитектуры, парные архитектуры с двухсторонним тестированием, архитектуры со скользящим резервированием, низкоуровневое резервирование КЛБ и фрагментов РВП РегЭС с замещением за счет реконфигурации РВП. Упомянуто также о перспективном направлении, связанном с построением отказоустойчивых систем на ПЛИС с использованием модулярных архитектур. Отмечены достоинства и недостатки каждого из рассмотренных методов, каждый из которых может быть успешно реализован в ПЛИС классов FPGA и CPLD.

Особое внимание в работе было уделено разработке методики выбора ПЛИС с той или иной базовой аппаратной архитектурой (островной, иерархической, асимметричной) для реализации конкретного метода низкоуровневого резервирования.

В настоящее время продолжаются исследование и разработка эффективных способов графоаналитического описания структурных и функциональных особенностей резервируемых архитектур РВП РегЭС, учитывающих временные задержки при выполнении логико-арифметических операций, рассинхронизацию сигналов в процессе динамической реконфигурации РегЭС, а также комбинаторные свойства и ограничения орграфов, описывающих данные аппаратные архитектуры.

## Литература

1. Каляев И.А., Левин И.И., Семерников Е.А., Шмойлов В.И. Реконфигурируемые мультиконвейерные вычислительные структуры. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. – 344 с.
2. Хорошевский В.Г. Архитектура вычислительных систем: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 520 с.
3. Nauck S. Reconfigurable computing. The theory and practice of FPGA-based computation. – Morgan Kaufmann Publ., 2007. – 944 p.
4. Уваров С.С. Проектирование реконфигурируемых отказоустойчивых систем на ПЛИС с резервированием на уровне ячеек // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 9. – С. 176–189.
5. Савкин Л.В. Регенеративные электронные системы в космических системах и комплексах // Вестник кибернетики. – 2015. – № 2(18). – С. 3–32.
6. Иьуду К. Надежность, контроль и диагностика вычислительных машин и систем: учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 216 с.
7. Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.
8. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы. Модели вычислений. Структуры данных: Учебник. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – 307 с.
9. Савкин Л.В. Графоаналитическое моделирование бортовых регенеративных электронных систем космических аппаратов // Материалы XIII конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». – 2016. – С. 84.

**УДК 658.512.26, УДК 53.08**

### РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ТЕСТОВЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПЛАСТИКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ СТЕНДОВ

А.К. Саитгалина<sup>1</sup>, Н.Д. Толстоба<sup>1</sup>, А.В. Митюшкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

На сегодняшний день существует несколько методов 3D-печати, и все они являются производными аддитивной технологии производства деталей. Успех конструирования в каждом конкретном случае определяется не столько выбором 3D-принтера, сколько тем, насколько удачно и точно рассчитаны погрешности, определена логика ее развития, поскольку построение заготовки осуществляется путем послойного добавления сырья.

**Ключевые слова:** 3D-технологии, трехмерная печать, аддитивные технологии, пластиковое крепление, оптическое приборостроение, держатели для линз, студенческая научная лаборатория оплотехники.

**Введение.** На протяжении полувековой истории развития оптического приборостроения ведутся исследования и разработка конкурентоспособного, дешевого оборудования, которое отвечает требованиям качества, точности. Разработка моделей креплений для достаточно широкого класса оптических систем явится заметным вкладом в достижения научной школы композиции оптических систем. Опыт практической разработки новых оптических креплений для оптики на протяжении последних десятилетий показал, что производство креплений для оптики – процесс не только дорогостоящий, но и трудоемкий, и поиск новых методов и новых, достаточно простых и элегантных решений, необходим [1].

Актуальность работы состояла в необходимости разработки правил для проектирования моделей оплотехники методом прототипирования с учетом известных

параметров оборудования для достижения требуемого результата. На сегодняшний день аддитивные технологии позволяют сократить традиционные затраты на инструмент и моделирование; определить ошибки разработки до процесса изготовления; сократить количество поездок на предприятия производителя оптического оборудования; предоставить реалистичные трехмерные модели и макеты перспективным клиентам; быстро, просто и доступно по цене и срокам производить оборудование для широкого круга применений; создавать документацию, методику работы, рекомендации к разработке моделей в области оптического приборостроения.

С недавнего времени в студенческой научной лаборатории (студенческая научная лаборатория оптотехники) реализовываются образовательные проекты [2]. Задача самостоятельной разработки деталей и изучения возможностей современного оборудования трехмерной печати выполняется в совместном сотрудничестве с лабораторией ОЛИМП. Задача настоящей работы – определить границы применимости такого способа изготовления креплений для оптики 3D-принтера.

**Технологии 3D-печати.** 3D-технологии особенно повлияли на развитие высокотехнологичных отраслей – авиационной и аэрокосмической области, атомной индустрии, медицине и приборостроении, в отраслях, где характерным является мало серийное, зачастую штучное производство. Именно здесь уход от традиционных технологий, применение новых методов получения литейных синтез-форм и синтез-моделей за счет технологий послойного синтеза дало возможность радикально сократить время на создание новой продукции, а также сократить финансовые расходы.

Точность изготовления креплений зависит от многих параметров: метода и технологии трехмерной печати; воздействия окружающей среды на процесс изготовления модели; программного обеспечения и способа задания печати по координатам; марки и компании, производящей пластик; точности позиционирования; условий, влияющих на гладкость поверхности; степени сложности моделей; скорости печати объекта; времени печати. Все эти параметры влияют на точность и подлежат рассмотрению.

Исследование проводилось на принтере RepRap Prusa Mendel 2, рабочее поле которого составляет 180×180×80 мм. Погрешность определения примерно равна толщине сопла и равна 0,3 мм, прошивка Marlin. В качестве материала был взят пластик ABS. При этом высота слоя составляла 0,2 мм, процент заполнения 30%, диаметр филамента:  $D = 1,75$ . Настройка скорости печати принтера и настройка температуры представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Настройка скорости печати на RepRap Prusa Mendel 2

Perimeters:	50	mm/s
Small perimeters:	40	mm/s or %
External perimeters:	50%	mm/s or %
Infill:	40	mm/s
Solid infill:	40	mm/s or %
Top solid infill:	30	mm/s or %
Support material:	40	mm/s
Support material interface:	70%	mm/s or %
Bridges:	30	mm/s
Gap fill:	30	mm/s

Таблица 2. Настройка температурного режима на принтере RepRap Prusa Mendel 2

Extruder:	First layer: 240	Other layers: 235
Bed:	First layer: 110	Other layers: 110

Для изготовления креплений (рис. 1, а) и оправ для оптических элементов с требуемой точностью был разработан комплект образцов и подвергнут измерениям и контролю (рис. 1, б).

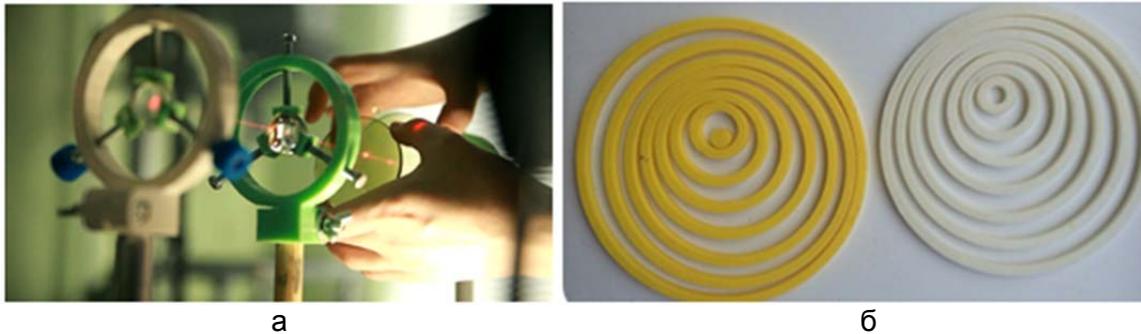


Рис. 1. Макеты оправ для оптики (а); образцы для исследования валов и отверстий (б)

На принтере RepRap Prusa Mendel 2 были исследованы следующие параметры образца:

- вал,  $D_{\text{вал}} = 20, 40, 60, 80, 100, 120$  мм;
- отверстие,  $D_{\text{отв.}} = 10, 30, 50, 70, 90, 110$  мм;
- бобышка  $h = 1, 2, \dots, 15$ ;
- квадратное отверстие со стороной  $a = 1, 2, \dots, 15$ .

Валы и отверстия были изготовлены с учетом процента на термическое расширение изделия: 100%, 102%, 103%, динамику изменения абсолютных погрешностей валов и отверстий можно наблюдать на рис. 2.

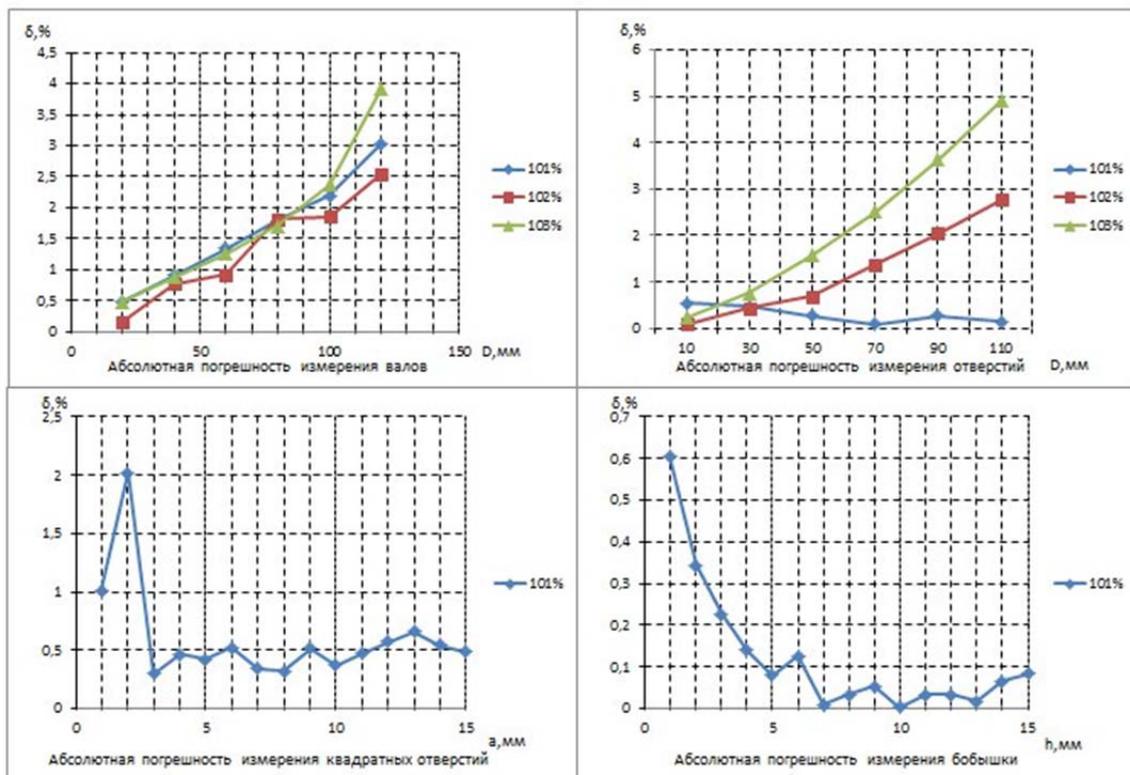


Рис. 2. Графики изменения погрешностей

Результаты измерений показали, что с учетом термической усадки изделия для точного изготовления изделий в условиях 10% заполнения следует устанавливать коэффициенты, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Коэффициенты с учетом термического расширения изделия

№	Вид	$k$ , %
1	Вал	102
2	Отверстие круглого сечения	103
3	Бобышка	102
4	Отверстие прямоугольной формы	102

Таким образом, на термическую усадку следует учитывать коэффициент в 102%, с заполнение структуры в 30%. В дальнейшем планируется исследование структур с различным заполнением. На данном этапе произведено теоретическое исследование влияния заполняемости структуры на прочность. Испытания были связаны со стандартами ГОСТ и ASTM [3]. Проверялись модели с заполняемостью на 15%, 30% и 90%. По итогу моделирования были сформированы следующие выводы:

1. прочность при заполняемости на 15% ниже литого образца на 15–20%;
2. структуры с заполняемостью на 30% и 75% не показывают линейного роста с увеличением заполняемости;
3. прирост заполняемости не сходится с теоретической массой.

**Заключение.** На сегодняшний день изготовление изделий, деталей посредством трехмерной печати открывает широкие возможности и перспективы. Аддитивные технологии, или технологии послойного синтеза, сегодня одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Они позволяют на порядок ускорить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и решение задач подготовки производства, а в ряде случаев уже активно применяются и для производства готовой продукции. Рынок аддитивных технологий в России развивается, но происходит это очень медленно. При должном внимании к внедрению аддитивных технологий они могут значительно повысить скорость реагирования на потребности рынка и экономическую эффективность многих отраслей промышленности [4].

Исследование возможностей и создание на доступных 3D-принтерах креплений для оптики и разработка моделей решают ряд задач в процессе обучения и помогают усвоить базовые знания в физике, оптике и приборостроении. Разработка и изготовление подобных моделей в лабораториях, в школах и обучающих центрах позволят повысить качество образования и помогут углубить практические навыки и наряду с тем дать возможность бюджетного изготовления необходимого оборудования.

На настоящем этапе разработки был проведен анализ результатов печати на термическое расширение изделий на рабочем принтере RepRap Prusa Mendel 2. Теоретически изучены возможные дефекты производства оборудования и определен список параметров, влияющих на точность. Разработаны трехмерные модели тестовых вариантов оправ и образцов для исследования. Проведены измерения изготовленных образцов и определены параметры для дальнейших исследований. Планируется разрабатывать новые модели и проводить испытания образцов на жесткость и на остаточные напряжения в материале, исследовать различные зависимости точности трехмерной печати. Внедрять разработанное пластиковое оборудование в процесс обучения в университетах, школах и образовательных центрах.

## Литература

1. Saitgalina A.K., Mitiushkin A.V., Tolstoba N.D. Research of limits of applicability of an open-source equipment for development the optical equipment kit // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9889. – P. 98891W.
2. Tolstoba N.D., Saitgalina A.K., Abdula P.A., Butova D.V. Student research laboratory for optical engineering // Proceedings of SPIE. – 2015. – V. 9793. – P. 97931Y.
3. Панин С. 3D Today: 3D-печать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru>, своб.
4. Willis K.D.D., Brockmeyer E., Hudson S.E., Poupyrev I. Printed Optics: 3D Printing of Embedded Optical Elements for Interactive Devices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=ED7AE48B6227DD5D7C04DBB4649EADA2?doi=10.1.1.297.1610&rep=rep1&type=pdf>, своб.

УДК 535.361.2: 004.942

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МНОГОСЛОЙНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЯХ ПРИ ПОМОЩИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.С. Салогубова<sup>1</sup>, А.Е. Пушкарева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Разработана комплексная модель шестислойной биологической ткани на примере кожи человека. Модель позволяет оценить интенсивность отраженного излучения, глубину проникновения в ткань, построить распределение поглощенного излучения в интересующей плоскости. Получены спектры отражения для разной пигментированности кожи. Оценена доля диффузного отражения в зависимости от максимальной глубины проникновения детектированного излучения.

**Ключевые слова:** численное моделирование, метод Монте-Карло, оптический расчет, кожа человека.

Для конкретных применений лазерного излучения в медицине необходимо осуществлять выбор оптимальных спектральных, временных и энергетических характеристик лазерного излучателя. Однако процессы, происходящие в биологических тканях под действием лазерного излучения, имеют сложный характер и зависят друг от друга. Исходя из этого, обычно практически невозможно предсказать результат воздействия с необходимой точностью. Эта непредсказуемость повышает длительность и трудоемкость экспериментов. Также сложность проведения экспериментов по взаимодействию с биологическими тканями заключается в многоэтапности процесса: прежде чем провести эксперимент на живом человеке (животном) необходимо провести исследования на модельных средах и на образцах биологических тканей вне человека (животного). При этом оптимизация характеристик лазерного излучения необходима на каждом новом этапе. Моделирование позволяет упростить подбор характеристик лазерного излучения. Так, при помощи математической модели, описывающей какой-либо конкретный процесс, можно, последовательно изменяя исходные параметры, произвести их оптимизацию для достижения необходимого эффекта. Причем нет надобности в обладании реальным оборудованием и проведении многочисленных экспериментов. В связи с этим исследование особенностей распространения лазерного излучения в тканях кожи человека при помощи численного моделирования является актуальным. Обычно модели нацелены на некоторую конкретную задачу, а не на комплексное исследование, что является их недостатком. В основном используют

довольно простые модели с точки зрения геометрии: кожа обычно состоит из 2–3 слоев. Таким образом, нарушается пространственное распределение концентраций поглощающих центров. Почти во всех моделях показатель преломления является постоянным для всех слоев и длин волн. Таким образом, не учитывается раздвоение пучка на границе слоев или возможность полного внутреннего отражения. Фактор анизотропии, который отвечает за угол рассеяния, тоже почти всегда не зависит ни от слоя, ни от длины волны. Эти допущения ведут к искажению пространственного распространения излучения в коже.

В настоящей работе для проведения оптического расчета методом Монте-Карло в пакете Mathcad разработана комплексная модель шестислойной биологической ткани на примере кожи человека. В модели присутствует возможность изменять параметры лазерного излучения: длину волны в диапазоне 440–800 нм, закон распределения энергии, диаметр пучка, угол его падения. Модель состоит из следующих слоев: роговой слой, эпидермис, дерма с поверхностными сосудами, дерма, дерма с глубинными сосудами, гиподерма. Так как параметры кожи человека имеют большой разброс в зависимости от разных факторов, возможно изменение толщины слоев и их состава: концентраций меланина, воды и крови (при учете ее оксигенации и гематокрита). Параметры использованной в данной работе шестислойной модели биологической ткани представлены в таблице [1].

Таблица. Параметры модели кожи предплечья

	$h$ , мкм	$C_{\text{вода}}$	$C_{\text{кровь}}$	$S$	$H$
Роговой слой	20	0,05	–	–	–
Эпидермис	50	0,02	–	–	–
Поверхностные сосуды	100	0,6	0,08	0,6	0,45
Дерма	700	0,7	0,05	0,6	0,45
Глубинное сплетение сосудов	200	0,7	0,14	0,6	0,5
Гиподерма	остальное	0,65	0,06	0,6	0,45

В таблице введены следующие обозначения:  $h$  – толщина слоя;  $C_{\text{вода}}$  – объемная концентрация воды;  $C_{\text{кровь}}$  – объемная концентрация крови;  $S$  – оксигенация (насыщенность крови кислородом);  $H$  – гематокрит (объемный процент эритроцитов в цельной крови).

На основании спектров основных компонентов кожи и их концентраций определяются значения коэффициента поглощения, рассеяния и показателя преломления для каждого слоя кожи. Фактор анизотропии зависит от длины волны и слоя биологической ткани. В работе учитывается, что на границе раздела двух слоев или границе кожа-воздух, в зависимости от угла падения на границу, происходит либо разделение падающего пучка на отраженный и преломленный, либо полное внутреннее отражение.

Оптический расчет методом Монте-Карло осуществлялся следующим образом: энергия, падающая на кожу, разделяется на части, на группы фотонов. Каждая точка поверхностной сетки является источником дальнейшего распространения групп фотонов. Чем больше число узлов поверхностной сетки, тем точнее будет полученный результат. Для каждой группы фотонов генерируется траектория, где величина свободного пробега и угол рассеяния зависят не только от оптических параметров биологической ткани, но и от случайной составляющей. Модель позволяет для каждой рассчитанной траектории получить информацию о координатах изломов траектории, энергии, с которой группа фотонов пришла в эту точку, и энергии, оставленной в ней. Таким образом, можно получить различную информацию о пространственном распределении излучения: спектры отражения излучения, максимальную глубину проникновения по заданному уровню энергии, распределение поглощенного излучения

в интересующей плоскости, долю интенсивности отраженного излучения в зависимости от угла детектирования и т.д.

На рис. 1, а, представлен рассчитанный для нормального падения излучения спектр полного отражения кожи внутренней области предплечья для разного содержания меланина в эпидермисе. Меланин отвечает за цвет кожи. Так, для светлой кожи концентрация меланина составляет 1,3–6,3%, для смуглой кожи 11–16%, для темной кожи 18–43% [2]. Схожесть с экспериментальными данными (рис. 1, б) говорит об адекватности модели [3].

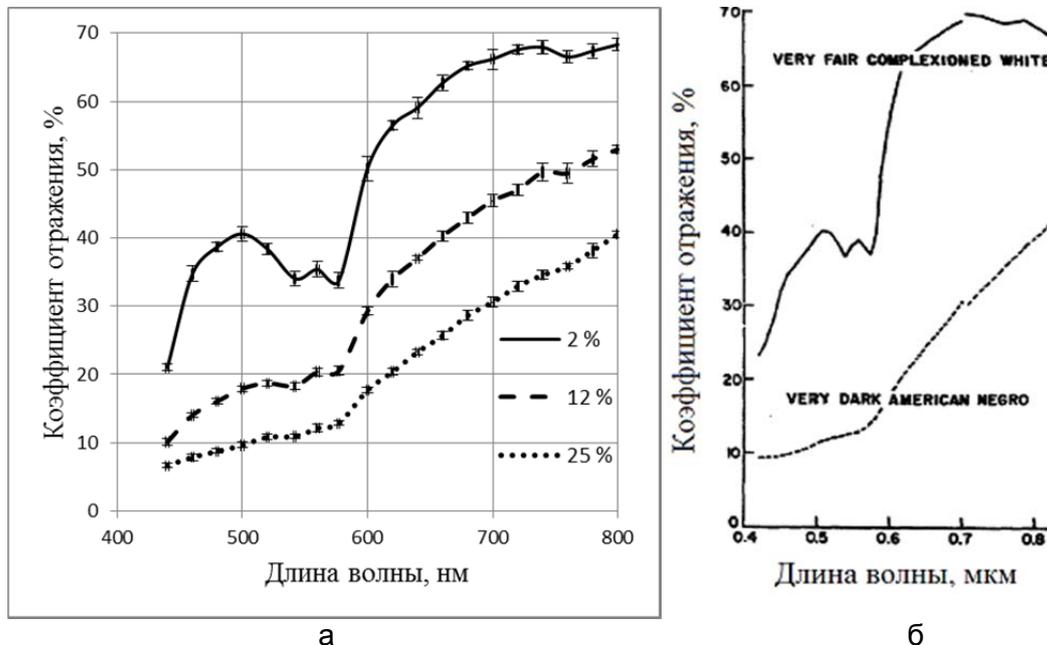


Рис. 1. Смоделированный спектр отражения для разных типов кожи, согласно указанной концентрации меланина (а); экспериментально полученный спектр отражения внутренней зоны кожи предплечья [3] (б)

Из рис. 1 видно, что чем больше меланина и соответственно темнее кожа, тем большая доля излучения поглощается и тем меньшая диффузно отражается (выходит обратно из кожи в воздух). При этом зависимость отражения от пигментированности кожи является ярко выраженной. Это связано с тем, что меланин является одним из основных хромофоров кожи в диапазоне длин волн 440–800 нм. Вторым наиболее значимым поглотителем в этом диапазоне длин волн является кровь, а точнее, такие ее составляющие как гемоглобин и оксигемоглобин. В отличие от меланина, спектр поглощения которого в видимом диапазоне имеет затухающий характер без скачков, спектры поглощения крови имеют пики, обусловленные пиками поглощения гемоглобина (432, 556, 758 нм) и оксигемоглобина (414, 542, 576 нм) [2, 4]. Как видно из рис. 1, пики поглощения крови соответствуют провалам в спектре отражения кожи.

При исследовании определенного слоя кожи не весь детектированный сигнал является полезным. Так, сигнал, не дошедший до интересующего слоя, не несет полезную информацию, т.е. является шумовым сигналом. В связи с этим чтобы корректно оценить, допустим, толщину кровоизлияния на заданной глубине, необходимо знать, какая доля детектированного сигнала достигла кровоизлияния, т.е. какая доля отраженного сигнала несет информацию о кровоизлиянии. Так, при одной и той же толщине кровоизлияния, чем будет больше глубина его залегания, т.е., чем будет толще поглощающий и, соответственно, ослабляющий излучение слой биологической ткани над исследуемым объектом, тем меньше кровоизлияние повлияет на спектр отражения.

Оценка глубины проникновения детектированного излучения осуществлялась следующим образом. Модель кожи делилась на слои, толщиной по 10 мкм. Для каждой группы фотонов, вышедшей из кожи в воздух, известна максимальная глубина проникновения, т.е. максимальная глубина, информация о которой будет содержаться в детектированном сигнале. В зависимости от того, какому 10 мкм слою кожи соответствует максимальная глубина проникновения группы фотонов, и какую долю сигнала диффузного отражения вносит эта группа фотонов, строились зависимости, представленные на рис. 2 (концентрация меланина 2%).

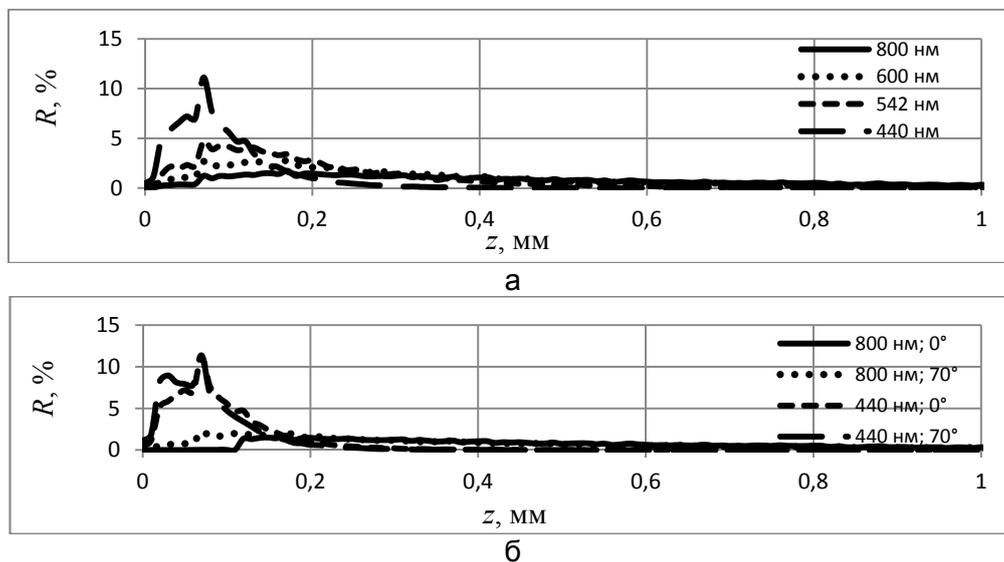


Рис. 2. Доля детектированного излучения в зависимости от максимальной глубины проникновения для четырех длин волн при нормальном падении (а) и для двух длин волн при нормальном падении излучения и под углом  $70^\circ$  (б)

Из рис. 2, а, видно, что, если необходимо получить информацию о верхних слоях кожи, то целесообразно использовать короткие длины волн, допустим, 440 нм, так как значительная доля детектированного излучения проникала не глубже эпидермиса из-за высокого поглощения. Использование длин волн, соответствующих малому поглощению кожи (600–800 нм), уравнивает количество информации от эпидермиса и дермы, позволяя тем самым получить более сильный сигнал-информацию о дерме. Границы эпидермис-дерма и дерма-гиподерма являются отчетливо различимыми при гистологических исследованиях [5]. Соответственно на них изменение параметров кожи является ярче выраженным по сравнению с другими границами слоев, т.е. ведет к большему значению френелевского отражения от этих границ. Этим объясняется пик на границе эпидермис-дерма, соответствующий глубине 0,07 мм. Однако на глубине 1,07 мм, соответствующей границе дерма-гиподерма, пик отсутствует, это связано с тем, что доля детектированной интенсивности, максимально проникавшая на такую глубину, пренебрежимо мала по сравнению с приповерхностными слоями кожи. Проведенное сравнение максимальной глубины проникновения для нормального угла падения излучения и под углом  $70^\circ$  (рис. 2, б) показало, что увеличение угла падения излучения ведет к смещению зависимости ближе к поверхности. Иначе говоря, при той же длине волны можно получить большую долю сигнала о поверхностных структурах.

Таким образом, в настоящей работе был проведен оптический расчет, учитывающий сложную геометрию кожи человека. Адекватность разработанной модели подтверждается сходством экспериментальных данных и смоделированного спектра отражения для разной пигментированности кожи. Исследована зависимость доли детектированного излучения от максимальной глубины проникновения. Точный оптический расчет, проведенный методом Монте-Карло, помимо получения

информации о распространении излучения в биологической ткани, является основой для проведения в дальнейшем теплового расчета, который нацелен на исследование температурного распределения и применяется для оценки зон некроза при конкретных временных, спектральных и энергетических параметрах лазерного излучателя.

### Литература

1. Меглинский И.В. Моделирование спектров отражения оптического излучения от случайно-неоднородных многослойных сильно рассеивающих и поглощающих свет сред методом Монте-Карло // Квантовая электроника. – 2001. – Т. 31. – № 12. – С. 1101–1107.
2. Jacques S. Skin Optics Summary [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://omlc.ogi.edu/news/jan98/skinoptics.html>, своб.
3. Jacquez J.A., Huss J., McKeehan W., Dimitroff J.M., Kuppenheim H.F. Spectral reflectance of human skin in the region 0.7–2.6  $\mu\text{m}$  // J. Appl. Physiol. – 1955. – № 8(3). – P. 297–299.
4. Prahl S. Optical Absorption of Hemoglobin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://omlc.ogi.edu/spectra/hemoglobin/>, своб.
5. Cagle P.E., Dyson M., Gajewski B., Lukert B. Can dermal thickness measured by ultrasound biomicroscopy assist in determining osteoporosis risk? // Skin Research and Technology. – 2007. – № 13. – P. 95–100.

УДК 334.7

### ПРОЕКТ «SOLUTION LAB» КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИЙ

Ю.А. Семенова<sup>1</sup>, Д.Ю. Миронова<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.э.н. Д.Ю. Миронова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В нашей стране на данный момент отсутствие эффективных механизмов коммерциализации инноваций является одной из главных проблем в инновационной сфере. Как следствие, возникает необходимость развития новых механизмов коммерциализации технологий и повышения их эффективности. Таким принципиально новым и не имеющим аналогов в нашей стране механизмом является проект «Solution Lab».

**Ключевые слова:** инновации, коммерциализация инноваций, партнерство университетов и бизнеса, «Solution Lab».

Коммерциализация инноваций – процесс извлечения прибыли от реализации инновационного продукта на рынке. Для создания наиболее эффективных механизмов коммерциализации инноваций требуется вначале наладить процесс интеграции науки и бизнеса. Кооперация компаний и университетов сулит последним следующие преимущества:

- получение прибыли от коммерциализации результатов проводимых научно-исследовательских разработок;
- дополнительный источник финансирования фундаментальных и прикладных исследований [1];
- возможность трудоустройства аспирантов и выпускников.

В Европейском Союзе на сегодняшний день насчитывается порядка тридцати моделей такого делового сотрудничества [2], но, к сожалению, львиная доля из них не может эффективно функционировать в России. Причиной этому является специфика локальной организации инновационной деятельности и российского законодательства.

«Solution Lab» – это новый формат работы компаний со студентами, аспирантами и университетами. Данный проект стимулирует инновационное развитие бизнеса путем создания прототипов новых продуктов командами из числа студентов и аспирантов по заказу предприятий. Участие в проекте «Solution Lab» позволяет компаниям выбирать лучшие кадры из числа молодых специалистов для дальнейшего трудоустройства. «Solution Lab» помогает строить свою карьеру студентам и аспирантам, решая задачи, поставленные компаниями, создавая новые продукты и приобретая бесценный опыт и связи. У организаторов проекта «Solution Lab» есть опыт реализации международного проекта Demola в Санкт-Петербурге (осень 2014 – лето 2015 г.) [3].

Основная задача Demola – установление эффективной кооперации между университетским и бизнес-сообществом, вовлекая студентов в работу над созданием инновационных технологических решений, по заказу компаний. Сеть Demola – международная платформа открытых инноваций, которая:

- позволяет компаниям получить за короткие сроки готовые решения: демоверсию или прототип нового продукта под конкретную задачу;
- дает студентам возможность применить теоретические знания на практике и получить опыт работы над проектами компаний и трудоустроиться;
- помогает преподавателям вузов наладить контакты с бизнесом [4].

Несмотря на вышеперечисленные преимущества в процессе реализации проекта были выявлены определенные факторы, сдерживающие развитие проекта Demola как в инновационном и промышленно-развитом городе Санкт-Петербурге, так и в других российских регионах. Вот некоторые из них:

1. существенные различия между законодательством в области интеллектуальной собственности и налоговым законодательством в России и Финляндии делают невозможным использование большей части документов;
2. государственные или городские гранты на развитие финского проекта получить крайне затруднительно;
3. обнаружены серьезные уязвимости в финской модели Demola по работе со студентами, что привело к недостаточно эффективной работе студенческих команд над проектами;
4. франшиза Demola лишена коммерческой бизнес-модели, а плата за использование модели в условиях экономического кризиса и колебания курса валют делает реализацию проекта невозможной;
5. неблагоприятная внешнеполитическая ситуация и политика импортозамещения отталкивают от сотрудничества с зарубежным брендом;
6. в Финляндии денежное вознаграждение студентам за решенные задачи и комиссия проекту гораздо больше, нежели в России.

Вышеперечисленные трудности, возникшие перед командой, реализующей данный проект в Санкт-Петербурге, во многом свидетельствуют о том, что адаптация финской модели в Российской Федерации в том виде, в котором она успешно работает в других странах, нежелательна. По результатам осенней и весенней сессий появилось видение того, что необходимо создать собственную новую модель, которая будет тиражируема в России и будет учитывать, экономическую, юридическую и политическую обстановку – модель «Solution Lab».

На данный момент «Solution Lab» успешно реализуется малым инновационным предприятием ООО «Демола СПб», учрежденным Университетом ИТМО и Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого.

По сравнению с механизмом Demola механизм «Solution Lab» имеет целый перечень существенных различий и улучшений, позволяющих данному проекту эффективно функционировать в России. Кейс, который компания ставит в «Solution

Lab», должен иметь четкое техническое задание, в результате работы над которым достигаются конкретные результаты, и команда студентов и аспирантов получает конечный продукт и гарантированное вознаграждение.

В модели Demola компания ставит кейс без конкретного технического задания, рассчитывая на креатив проектной группы, однако результаты, полученные по итогам решения данного кейса, зачастую не удовлетворяют компанию, а команда исполнителей не получает финансовое вознаграждение.

В «Solution Lab» появился новый механизм отбора студентов и аспирантов для решения кейса, который позволяет исключить факторы риска, способствующие некачественному решению поставленной задачи, например, некомпетентность и недостаточность знаний студентов, нежелание и безответственное отношение к работе в проекте, неумение работать в команде. Согласно новому механизму компания-заказчик ставит в проект две задачи – тестовую и основную. На решение тестового задания студенческой команде дается одна неделя. По итогам решения тестовой задачи заказчик выбирает команду «победителя», техническое решение которой данную компанию больше всего устроило. Далее команда, прошедшая отбор, приступает к решению основной задачи.

В проекте «Solution Lab» вся интеллектуальная собственность принадлежит компании, предоставившей кейс. А в модели Demola результаты интеллектуальной деятельности, полученные студентами и аспирантами в результате работы над проектом, принадлежат студентам, а компания-заказчик, имеет право выкупить только неисключительную лицензию на продукт. Существуют и другие серьезные отличия в моделях «Solution Lab» и Demola.

В целом, за весь период работы команды проекта (с осени 2014 г.) через него прошло большое количество участников (подано более 1000 заявок от студентов и аспирантов) из 29 вузов Санкт-Петербурга и было реализовано 84 кейса от компаний. Многие технические решения были успешно выкуплены заказчиками.

Кроме того, до 2016 года проект давал возможность компаниям ставить задачи в осеннем и весеннем сезоне, однако по просьбам партнеров проекта была разработана концепция, позволяющая без привязки к сезону и по запросу от компаний привлекать участников к решению новых задач [3].

С 2016 г. планируется распространить модель «Solution Lab» в другие регионы, поскольку она показала свою результативность и привлекательность для ведущих российских и международных компаний (в числе партнеров проекта такие компании, как Bosch, EMC, Oracle, Ростелеком, Мегафон и другие), вузов-участников проекта, и, конечно, студентов и аспирантов.

Используя в своей работе такие формы коммерциализации технологий, как исследовательские контракты [5], проект «Solution Lab» является эффективным инструментом коммерциализации инноваций.

Приводя примеры успешных проектов, которые были реализованы в рамках проекта «Solution Lab» можно сказать о кейсе под названием «Исключение обледенения палуб ледокола на путях эвакуации» [3], заказчиком которого выступила внедренческая фирма в области приборостроения и судостроения из Санкт-Петербурга. Задача была разработать 3D-модель универсальной конструкции для различных типов судов, предназначенной для исключения обледенения палуб на путях эвакуации, а также выбрать материалы для изготовления конструкции и провести тепловой расчет. Команда из числа студентов и аспирантов успешно реализовала поставленную перед ними задачу, а компания была полностью удовлетворена результатами. Данной технологии на сегодняшний день нет аналогов на российском рынке. Выкупив готовое решение, фирма-заказчик теперь занимается практическим воплощением в жизнь разработанной 3D-модели по заказу других компаний в области судостроения.

Таким образом, проект «Solution Lab» помогает компаниям получить новые технологические решения за короткий промежуток времени, тем самым расширяя возможности в развитии своей инновационной деятельности, а также содействуя вовлечению талантливой молодежи в решение научно-технических задач российского бизнеса. Для студентов и аспирантов Санкт-Петербурга – это отличная возможность реализовать на практике приобретенные теоретические знания и навыки, получить опыт работы в реальных проектах российских и международных компаний, расширить круг деловых контактов, необходимых молодым специалистам для дальнейшего успешного профессионального роста [3].

### Литература

1. Максимова Е.Н. Механизм взаимодействия высших учебных заведений и промышленных предприятий региона // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия «Экономика и право». – 2012. – № 3. – С. 21–26.
2. Davey T., Vaaken T., Deery M., Muros V.G. 30 good practice case studies in university-business cooperation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ub-cooperation.eu/pdf/casestudyreport.pdf>, своб.
3. Официальный сайт проекта «Solution Lab» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solutionlab.cf>, своб.
4. Миронова Д.Ю., Семенова Ю.А. Международный проект Demola как инструмент интеграции науки и бизнеса // Инновации. – 2015. – № 10. – С. 53–59.
5. Миронова Д.Ю., Евсеева О.А., Алексеева Ю.А. Инновационное предпринимательство и трансфер технологий. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 93 с.

УДК 621.315.592

### МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ $\text{Si}_{nc}\text{-SiO}_2\text{-Si}_{monocr}$

А.М. Тампер<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.М. Скворцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Полупроводниковые нанокристаллы и нанокластеры, включенные в матрицу диэлектрика, представляют собой перспективные структуры, находящие широкое применение в нанoeлектронике. Рассмотрены различные методы формирования нанокристаллов кремния в слоях диоксида кремния на подложках из монокристаллического кремния. Отмечены достоинства и недостатки методов.

**Ключевые слова:** нанокомпозит, нанокристаллы кремния, аморфные нанокластеры, диоксид кремния.

Полупроводниковые нанокристаллы и аморфные нанокластеры, встроенные в диэлектрические матрицы, зарекомендовали себя в качестве структур, которые находят широкое применение в нано- и оптоэлектронике. Квантовые эффекты в таких гетероструктурах явно наблюдаются уже при комнатной температуре. Наблюдается яркая фотолюминесценция нанокристаллов кремния ( $\text{Si}_{nc}$ ), встроенных в матрицу диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ). В некоторых случаях у отдельных нанокристаллов наблюдается спектр фотолюминесценции, схожий с дельта-функцией, что позволяет их называть квантовыми точками. Гетероструктуры на основе полупроводниковых нанокристаллов, включенных в матрицу диэлектрика, интересны и в качестве предмета фундаментальных исследований, и с точки зрения прикладного применения. Структуры

на основе нанокристаллов Si обладают эффективной электролюминесценцией, поэтому у них есть перспективы распространения в оптоэлектронных устройствах. Так как нанокристаллы в матрице диэлектрика также являются ловушками для носителей зарядов, то структуры на основе нанокристаллов также являются перспективным материалом для производства энергонезависимых запоминающих устройств [1].

Рассмотрены следующие методы формирования нанокompозитных материалов на основе структуры  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  с включенными в нее нанокристаллами кремния:

- ионная имплантация кремния в  $\text{SiO}_2$ ;
- формирование нановключений между диэлектрическими нанослоями;
- создание на поверхности кремниевой пластины нестехеометрического оксида кремния  $\text{SiO}_x$  ( $x < 2$ ) и ее последующий отжиг;
- абляция кремния в жидкой среде и последующий лазерный отжиг.

1. Ионная имплантация. Ионная имплантация – процесс внедрения в мишень ионизированных атомов с энергией, достаточной для проникновения в ее приповерхностные области. Метод ионно-лучевого синтеза нанокластеров и нанокристаллов включает в себя две стадии: имплантация ионов синтезируемого вещества ( $\text{Si}^+$ ,  $\text{Ge}^+$ , и др.) в диэлектрическую матрицу (стекло, кварц, термически выращенные на кремнии пленки  $\text{SiO}_2$ , осажденные пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{SiO}_x\text{N}_y$  и др.) и последующий отжиг с целью восстановления структуры имплантированной матрицы и обеспечения диффузионного стягивания внедренных атомов и последующей кристаллизации. Основным преимуществом технологии ионной имплантации является возможность контроля количества внедренных атомов примеси. Кроме того, можно легко управлять профилем распределения внедренных ионов по глубине подложки. Свойства синтезируемых объектов легко контролируются дозой внедренных ионов, а также температурой и длительностью последующего отжига. Этот метод позволяет модифицировать как структуру нанобъекта (атомные димеры, нанокластеры, нанокристаллы), так и их размеры, концентрацию и распределение по глубине. Существует возможность варьировать в широком диапазоне толщину синтезируемых пленок: от нескольких нанометров до нескольких микрометров. К недостаткам данного метода относится в первую очередь генерация дефектов в имплантируемой матрице в результате воздействия высокоэнергетичных ионов. Устранение этих дефектов требует пост-имплантационных отжигов. С другой стороны, высокотемпературные отжики являются необходимым шагом в процессе диффузионного стягивания внедренных атомов с целью формирования нанокластеров и нанокристаллов. Это означает, что процесс устранения структурных нарушений не является самостоятельной операцией и происходит параллельно с процессом формирования нанобъектов. Другим недостатком метода является неоднородность распределения сформированных нанокластеров и нанокристаллов по размерам из-за гауссианоподобного распределения имплантированных атомов. Одним из путей решения этой проблемы является мультиэнергетичная имплантация ионов. Это означает, что имплантация в диэлектрик проводится ионами с различными энергиями и соответствующими дозами, необходимыми для создания однородного профиля распределения внедренных атомов.

Ионную имплантацию можно использовать не только для создания, но и для модификации нанокристаллов [2].

2. Формирование нановключений между слоями диэлектрика. Существует большое количество методов для создания нанокристаллов кремния и ультратонких слоев диоксида кремния. Для приготовления нанокристаллов существует локальное окисление в нанометровых масштабах, химическое вакуумное осаждение при низких давлениях (LPCVD) и другие. Для создания оксида – химическое окисление, различными методами сращивания подложек, термическое окисление и другие.

В частности, существует готовый технологический процесс изготовления структур  $\text{SiO}_2/\text{nc-Si}/\text{SiO}_2$  в установке для плазмохимического осаждения. Нанокристаллы кремния создаются разложением силана  $\text{SiH}_4$ , а ультратонкие слои  $\text{SiO}_2$  формируются при низкотемпературном плазменном окислении (при температуре  $250^\circ\text{C}$ ). В зависимости от температуры последующего отжига изменяются электрические свойства структур. В качестве подложек используется кремний  $p$ -типа с ориентацией (100). Перед загрузкой в камеру установки подложки проходят стандартную процедуру чистки и травли естественного оксида в растворе плавиковой кислоты. Сначала изготавливается ультратонкий туннельный слой  $\text{SiO}_2$ . На этот слой осаждается слой нанокристаллов кремния методом послойного осаждения. Затем плазменным окислением осажденного слоя нанокристаллов формируется верхний ультратонкий слой  $\text{SiO}_2$ . После этого полученная структура отжигается в атмосфере азота при  $900^\circ\text{C}$  или  $1000^\circ\text{C}$ . Схематичное изображение полученной структуры приведено на рис. 1. При данном техпроцессе нанокристаллы кремния обладают почти сферической формой, а выращенные слои  $\text{SiO}_2$  являются стехиометрическими и высококачественными [3]. Основным преимуществом многослойных нанопериодических структур (МНС), несмотря на техническую трудоемкость производственного процесса, по сравнению с обычными методами, является возможность создания структур с большим количеством нанокристаллов кремния единого размера и формы, что в конечном итоге позволяет получать более узкие и интенсивные люминесцентные пики на необходимой длине волны излучения [4].

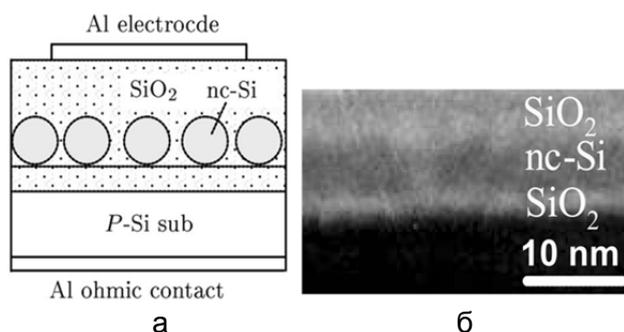


Рис. 1. Схематичное изображение структуры  $\text{SiO}_2/\text{nc-Si}/\text{SiO}_2$  (а); ПЭМ-изображение среза образца (б)

3. Абляция кремния в жидкой среде и последующий лазерный отжиг. Метод заключается в облучении поверхности мишени короткими лазерными импульсами, приводящими к ее разрушению и выбросу материала с последующим формированием нанокластеров. Данный способ значительно расширил рамки получения наночастиц. Он позволяет контролировать их размер путем изменения параметров излучения и состава буферной среды [5]. С помощью лазерной абляции можно формировать коллоидные растворы наночастиц из полупроводников (в том числе кремния) и металлов в жидкой среде. Преимущества абляции в жидкостях: относительная простота процесса, возможность получения готовых коллоидных растворов, удобных для транспортировки и хранения наночастиц, а также получения наночастиц малого размера (несколько нанометров) с узким распределением. Кроме того, данный метод дает возможность изменять химический состав изготавливаемых наночастиц только путем подбора буферной жидкости. Интересна лазерная абляция полупроводников в жидких средах (рис. 2) и в первую очередь из-за возможности получения полупроводниковых квантовых точек. Получены наночастицы кремния в дистиллированной деионизованной воде. Полученные коллоидные растворы отличались стабильностью. Средний размер сформированных наночастиц составлял 2,4 нм. Экспериментально обнаружено, что такие наночастицы способны передавать

энергию при их облучении (посредством резонансного механизма передачи энергии) близко расположенным молекулам кислорода и тем самым переводить их из триплетного состояния в синглетное.

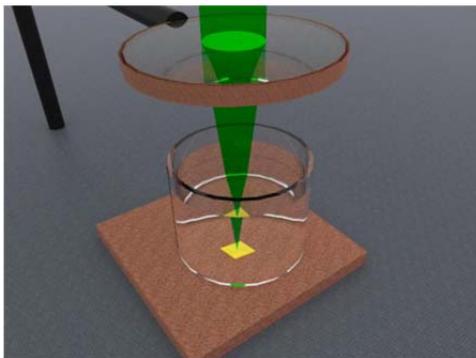


Рис. 2. Схема эксперимента по лазерной абляции твердой мишени в жидкости

4. Создание на поверхности кремниевой пластины нестехеометрического оксида кремния  $\text{SiO}_x$  ( $x < 2$ ) и ее последующий отжиг. Лазерное, ионное, электронное или магнетронное распыление из различных мишеней и осаждение распыленного материала на холодную подложку является одним из самых простых методов формирования светоизлучающих нанокристаллов кремния. Осаждение  $\text{SiO}_x$ -слоев путем совместного распыления разнесенных в пространстве  $\text{SiO}_2$ - и Si-мишеней позволяет получать слои, толщина и состав которых зависят от координат на подложке:

- в методе лазерного испарения пары кремния создаются за счет испарения кремниевой мишени лазерными импульсами. Большой температурный градиент между кремниевым испарителем и подложкой создает конвекционные потоки, которые позволяют удалять мелкие частицы из области нуклеации в сторону подложки. Параметры сформированных нанокластеров варьируются от атомных димеров до кластеров в несколько сотен нанометров. К недостаткам этого метода следует отнести высокую плотность оборванных связей на поверхности сформированных нанокристаллов, а также низкое качество границы раздела между пленкой и подложкой;
- метод электронно-лучевого испарения использовался для создания нестехиометрического оксида и нитрида кремния с нанокластерами кремния. Обогащенный кремнием оксид и нитрид кремния формируются испарением кремния в атмосфере кислорода, в потоке ионов азота и водорода. В аморфных и кристаллических структурах наблюдалась люминесценция в видимом диапазоне при комнатной температуре, при этом интенсивность люминесценции больше в кристаллической структуре, чем в аморфной структуре;
- метод ионно-лучевого испарения представляет собой то же, что и метод электронно-лучевого испарения, только вместо электронного пучка применяют ионный.

У трех перечисленных методов одни и те же достоинства и недостатки. К основным недостаткам можно отнести малую производительность метода.

В статье были рассмотрены основные методы формирования нанокompозитных материалов на основе структуры  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  с включенными в нее нанокристаллами кремния. У каждого из приведенных выше методов есть свои преимущества и недостатки, но однозначно выбрать оптимальный метод не представляется возможным, так как единственным качественным показателем, характеризующим сформированный в результате технологического процесса по определенному методу нанокompозитный материал, является интенсивность люминесценции нановключений. Не был рассмотрен

метод формирования нанокompозита при абляции кремния без использования буферной жидкости – на воздухе. Это связано с тем, что при экспериментальной проверке данного метода при обработке поверхности кремниевой пластины лазером количество нанокристаллов кремния крайне мало из-за слишком высокой реакционной способности газов воздуха и вылетающих частиц кремния в виду высокой температуры (более 1200°C). Дальнейшие исследования будут направлены на улучшение данного метода, а именно созданию условий, при которых количество нанокристаллов кремния увеличится, а их размер уменьшится.

### Литература

1. Korchagina T.T., Gutakovsky A.K., Fedina L.I., Neklyudova M.A., Volodin V.A. Crystallization of Amorphous Si Nanoclusters in SiO<sub>x</sub> Films Using Femtosecond Laser Pulse Annealings // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2012. – V. 12. – P. 1–6.
2. Овсяк Н.Н., Mankad V., Gupta S.K., Jha P.K., Качурин Г.А. Особенности формирования нанокристаллов кремния при отжиге слоев SiO<sub>2</sub>, имплантированных ионами Si // Изв. РАН. Серия физическая. – 2011. – Т. 75. – № 5. – С. 644–647.
3. Wu Liang-Cai et al. Electronic properties of Nanocrystalline-Si embedded in asymmetric ultrathin SiO<sub>2</sub> by in-situ fabrication technique // Chinese Physics Letters. – 2005. – V. 22. – № 3. – P. 733–736.
4. Silicon J.H. et al. Nanocrystals: Size Matters // Advanced Materials. – 2005. – V. 17. – № 7. – P. 795–803.
5. Заботнов С.В., Головань Л.А., Остапенко И.А., Рябчиков Ю.В., Червяков А.В., Тимошенко В.Ю., Кашкаров П.К., Яковлев В.В. Фемтосекундное наноструктурирование кремниевых поверхностей // Письма в ЖЭТФ. – 2006. – Т. 83. – № 2. – С. 76–79.

УДК 004.056

### ИССЛЕДОВАНИЕ УЯЗВИМОСТЕЙ В ДИСТАНЦИОННОМ БАНКОВСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

Е.Е. Тауекел<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Ю. Щеглов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Работа посвящена исследованию уязвимостей систем дистанционного банковского обслуживания, поскольку система дистанционного банковского обслуживания представляет собой программный комплекс, позволяющий клиентам оперативно управлять личными финансовыми средствами, производить операции по счету, получать электронные документы. На фоне таких операций данная система может быть подвержена угрозам, и безопасность системы является актуальной задачей. Исследованы наиболее актуальные угрозы систем, произведен анализ уязвимостей и классификации уязвимостей.

**Ключевые слова:** уязвимость, безопасность ДБО, система дистанционного банковского обслуживания, утечка информации, угроза.

Современный мир становится сложнее представить без информационных технологий. Они являются частью наших повседневных реалий, окружая нас во всех сферах жизнедеятельности человека. С быстрым развитием информационных технологий растет актуальность защиты информационных систем, а также информации, протекающей в них. Круговорот обмена информацией становится масштабнее и выходит на глобальный уровень и таит опасность.

Виды атак и уязвимостей бывают разного характера: одни направлены на нарушение целостности, конфиденциальности данных, другие делают систему некомфортной или недоступной для нормальной работы пользователей.

Тема безопасности систем дистанционного банковского обслуживания (ДБО) является одной из актуальнейших тем. Ведь ДБО – это доступ к «реальным деньгам» для злоумышленников, да и количество атак на эти системы растет с каждым годом. Хотя сами финансовые институты не афишируют данные факты, так как это негативно отображается на репутации банка и может повлечь отток клиентов [1].

Система ДБО приходится одним из ключевых ресурсов банка, для безопасности которого необходимо уделять особенное внимание. При этом системы ДБО также являются уязвимыми, как другие банковские системы. Даже принимая во внимание факт, что они разработаны специально для банков, вовсе не означает, что они безопасны. С большим ростом преступлений, имеющих связь с системами интернет-банкинга, необходимо со вниманием относиться к безопасности и качеству используемого программного обеспечения (ПО). Задача обеспечения должной безопасности лежит именно на ПО системы ДБО, любые уязвимости в котором могут скомпрометировать счета клиентов и систему в целом. Очень часто ПО систем ДБО помимо серверной части содержит компоненты и для клиентов. Важно убедиться в безопасности и этой составляющей, так как клиенты систем ДБО – наиболее вероятные цели злоумышленников.

**Целью работы** являлось рассмотрение различных типов уязвимостей и угроз, самых актуальных уязвимостей в информационной системе, показано краткое описание последовательного обнаружения уязвимости и его устранения.

После детального исследования получен вывод, что с точки зрения злоумышленника, пользователь интернет-банкинга является более простой и удобной целью атаки, чем сам банк:

- пользователь защищен слабее банка;
- пользователей гораздо больше, чем банков;
- у одного пользователя может быть клиентское ПО от разных банков.

Понятие уязвимости нельзя рассматривать в отдельности от таких терминов, как угроза и атака. Угроза – это потенциально возможное событие, явление или процесс, которое посредством воздействия на компоненты информационной системы может привести к нанесению ущерба. Уязвимость – это свойство информационной системы, которая может быть использована нарушителем при проведении атаки и может привести к реализации угрозы. Атакой в данном контексте является любое действие нарушителя, которое приводит к реализации угрозы путем использования уязвимостей информационной системы.

Основным результатом работы явилось то, что системы ДБО содержат большое количество критичных уязвимостей разных классов, большая часть которых была свойственна системам, разработанным еще в 1990-е годы.

Ниже приведены уязвимости, которые встречаются в ДБО-системах:

1. программные ошибки:

- переполнение буфера в стеке/куче;
- использование памяти после освобождения;
- целочисленное переполнение.

В худшем случае такие уязвимости приводят к угрозе произвольного кода на хосте с правами учетной записи, из-под которой запущено атакуемое ПО системы ДБО. В иных случаях это может приводить к отказу в обслуживании, так как атакуемый процесс аварийно завершает свою работу;

2. наличие различных уязвимостей, обнаруженных в ПО веб-сервисов систем ДБО:

- межсайтовый скриптинг;

- инъекция SQL-кода;
- ошибки авторизации;
- межсайтовые запросы;
- внутренние архитектурные проблемы.

Кроме вышеперечисленных недостатков в ряде отечественных систем ДБО были выявлены глобальные ошибки архитектуры. Так, в некоторых системах ДБО отсутствуют повторные проверки электронно-цифровой подписи на платежных поручениях при выгрузке их в автоматизированную банковскую систему [2].

В настоящий момент в мире разработано множество стандартов, рекомендаций и других нормативных документов, содержащих как методологии управления рисками, так и основные подходы к этому важному процессу. Самые распространенные мировые практики управления рисками информационной безопасности определены в NIST 800-30, ISO/IEC 27005, COBIT, ITIL, OCTAVE и др. Но, тем не менее, в соответствии с этими стандартами, основой для проведения анализа рисков информационной безопасности и важнейшей стороной определения требований к системе защиты является формирование модели потенциального нарушителя, а также идентификация, анализ и классификация угроз с последующей оценкой степени вероятности их реализации.

Доля систем, содержащих уязвимости высокой степени риска, продолжает расти. Процент веб-приложений, в ходе анализа которых были обнаружены уязвимости низкой степени риска, также увеличился и составляет 80%. Доля веб-приложений, подверженных уязвимостям средней степени риска, чуть снизилась и достигла значения 2012 года. На рис. 1 представлена доля уязвимых систем в зависимости от степени риска уязвимостей.

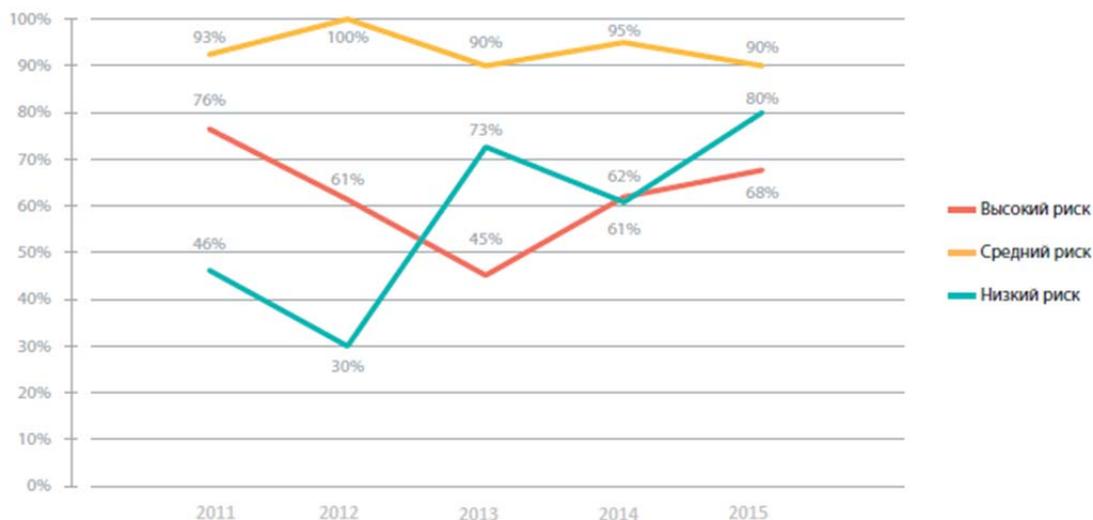


Рис. 1. Доли уязвимых систем в зависимости от степени риска уязвимостей

В соответствии с ГОСТ Р 50922-2006 «Угроза безопасности информации» представляет собой совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации. Для того чтобы правильно определить возможные угрозы, в первую очередь необходимо определить защищаемые объекты. К таким объектам могут относиться как материальные, так и абстрактные ресурсы, например, документы и другие носители информации, помещения, оборудование системы, а также сотрудники и клиенты.

В целом классификация угроз может быть проведена по множеству признаков, но, как в зарубежных (Harmonized Threat and Risk Assessment Methodology, CSE), так и в отечественных стандартах (ГОСТ Р ИСО/МЭК 1335-1-2006) угрозы принято разделять по природе возникновения. В частности, на угрозы, обусловленные человеческим

фактором, и на угрозы среды (естественные), к которым относятся угрозы, возникшие в результате явлений, не зависящих от человека, к примеру, природных и стихийных. Здесь необходимо отметить, что самой неприятной особенностью таких угроз является невозможность их прогнозирования.

В зависимости от расположения источника угроз принято выделять внутренние и внешние угрозы, т.е. угрозы, расположенные внутри контролируемой зоны (порча оборудования, инсайдерские угрозы) или за ее пределами (утечки по техническим каналам, по оптическим или ПЭМИН). В большинстве стандартов по-своему также осуществляется и классификация возможных источников угроз. Например, в «Базовой модели угроз безопасности ПДн при их обработке в ИСПДн» ФСТЭК России, помимо угроз, связанных с внешним или внутренним нарушителем, дополнительно выделяют угрозы, возникающие в результате внедрения аппаратных закладок и вредоносных программ. А в Рекомендациях в области стандартизации Банка России (РС БР ИББС-2.2-2009), выделено шесть независимых классов источников угроз информационной безопасности.

Дополнительно можно классифицировать угрозы по степени воздействия на системы (характеру угрозы, в соответствии с базовой моделью угроз ФСТЭК) и по способу доступа к защищаемым ресурсам. По степени воздействия различают пассивные и активные угрозы. Пассивные, в случае реализации не вносят каких-либо изменений в состав и структуру системы, к примеру, копирование и хищение конфиденциальной информации. Активные же угрозы оказывают влияние на работу системы, в частности, примером такой угрозы является «Отказ в обслуживании». По способу доступа к защищаемым ресурсам принято разделять на угрозы, использующие стандартный доступ, например, незаконное получение учетных данных путем подкупа, шантажа законного обладателя, либо угрозы, использующие нестандартный (скрытый) доступ – использование недеklarированных возможностей средств защиты и программных закладок в ПО в обход имеющихся в системе средств защиты информации. К тому же часто встречается классификация по использованию нарушителями физического и технического доступа, как, например, указано в методике OSTAVE [3].

**Защита веб-приложений становится критически важной для безопасности бизнеса.** Большинство недостатков (54%) связаны с ошибками, позволяющими проводить атаки на клиентов веб-приложений. Как и в 2015 году, среди уязвимостей, позволяющих проводить атаки на пользователей, наиболее распространены межсайтовое выполнение сценариев (Cross-Site Scripting) и SQL-инъекция (SQL-injection). На рис. 2 представлен процент уязвимостей на архитектуру данных систем.

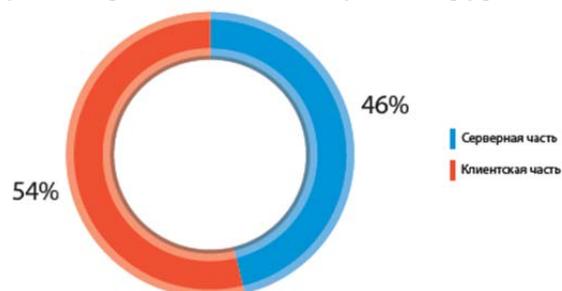


Рис. 2. Уязвимости приложений (по объекту атаки)

Ниже был проанализирован топ актуальных уязвимостей.

1. Injection (внедрение кода). Возможность инъекции возникает, когда веб-приложение посылает недостаточно проверенные данные из запроса клиента на вход интерпретатору команд смежной функциональной системы – в общий информационной. Целью атаки могут быть следующие смежные системы: СУБД, операционная система, LDAP-сервер, XPath-интерпретатор и прочие. Это позволяет злоумышленникам манипулировать смежными функциональными системами.

2. Broken Authentication and Session Management (некорректная аутентификация и управление сессиями). Возможность нарушения управления сессиями возникает вследствие неправильной разработки данного функционала в веб-приложении. Позволяет злоумышленникам компрометировать идентификаторы сессий (например, cookies) с целью получить несанкционированный доступ к веб-приложению с правами другого пользователя.
3. Cross-Site Scripting (XSS, межсайтовое выполнение сценариев). Возможность межсайтового выполнения сценариев возникает, когда веб-приложение формирует свой ответ из недостаточно проверенных данных из запроса клиента. Межсайтовое выполнение сценариев позволяет злоумышленнику красть идентификаторы сессий клиентов, производить дефейс веб-страниц, перенаправлять клиентов на другие ресурсы.
4. Insecure Direct Object References (небезопасные прямые ссылки на объекты). Возможность незащищенного прямого обращения к объектам возникает, когда веб-приложение не имеет системы управления доступом для публикуемых объектов. Данная атака позволяет злоумышленникам получить несанкционированный доступ к информации.
5. Sensitive Data Exposure (утечка уязвимых данных) Возможность утечки критичных данных появляется в случае, когда разработчики веб-приложения не закладывают выделенные для критичных сведений меры по защите информации: сильная криптография, дополнительная аутентификация, управление доступом. Злоумышленник, проэксплуатировавший такую уязвимость, получает доступ к критичной информации.
6. Missing Function Level Access Control (отсутствие контроля доступа к функциональному уровню). Отсутствие управления к различным функциональным уровням появляется, когда в веб-приложении недостаточно безопасно реализована авторизация пользователей. Недостаточное разделение доступа позволяет злоумышленникам получить несанкционированный доступ.
7. Cross-Site Request Forgery (CSRF, подделка межсайтовых запросов). Возможность проведения атаки на клиента путем подделки межсайтовых запросов появляется в том случае, если веб-приложение не проверяет источник запроса. При успешной реализации атаки злоумышленник получает возможность сформировать запросы от имени жертвы.
8. Using Components with Known Vulnerabilities (использование компонентов с известными уязвимостями). Возможность произвести атаку на базе известной уязвимости возникает, когда администраторы и разработчики веб-приложения не следят за обновлениями используемых таких программных компонент, как: операционная система, веб-сервер, системы управления контентом, сторонние приложения и библиотеки. Данная атака способна полностью компрометировать систему.
9. Unvalidated Redirects and Forwards (непроверенные перенаправления и переходы) Возможность проведения атаки с использованием непроверенных перенаправлений возникает, когда веб-приложение недостаточно тщательно контролирует переходы клиентов из веб-приложения на внешние ресурсы. Данная атака способна перенаправить клиента на ресурсы злоумышленника, что впоследствии может обернуться кражей информации и компрометацией клиентского ПО.

89% выявленных уязвимостей вызваны ошибками в программном коде, допущенными разработчиками. Оставшиеся 11% связаны с некорректной конфигурацией веб-приложений. Для снижения количественного показателя уязвимостей необходимо осуществлять многократную проверку и аудит программного кода на каждом этапе разработки.

**Заключение.** В результате проведенного исследования был сделан вывод, что для нормального функционирования ДБО нужно знать все актуальные уязвимости, а также их модифицированные версии. Необходимо проводить тестирования на взлом системы, создав образ модели нормального функционирования системы, для обнаружения несанкционированных действий нарушителя. Рекомендовано применять системы обнаружения атак, позволяющие сигнатурным методом, а также методом обнаружения аномалий выявлять текущие уязвимости, определять «бреши» в системе для скорейшей отладки текущих проблем.

При обнаружении злоупотреблений формируется сигнатура на основе тех же входных данных, что и при использовании обнаружений аномалий, а именно значения параметров оценки. Сигнатуры проникновений определяют окружение, условия и родство между событиями, которые приводят к проникновению в систему или любым другим злоупотреблениям. Они нужны не только при обнаружении проникновений в информационную систему, но и при обнаружении попыток совершения неправомерных действий.

Системный аудит позволяет оценить уровень защищенности системы по критериям, а также выявлять ошибки при разработке системы, которые могут повлиять на возникновение новых видов уязвимостей. Также информированность с актуальными уязвимостями и их модифицированными версиями позволяет обезопасить систему дистанционного обслуживания.

### Литература

1. Щеглов А.Ю. Модели, методы и средства контроля доступа к ресурсам вычислительных систем. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2014. – 95 с.
2. Клиент банка под атакой [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dsec.ru/upload/medialibrary/5e6/5e60f717c533b087ff272231fe02521e.pdf>, своб.
3. Информационная безопасность ДБО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pcweek.ru/security/article/detail.php?ID=148306>, своб.

УДК 681.515

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА РЕГУЛЯТОРОВ К МОБИЛЬНЫМ LEGO РОБОТАМ

Н.Г. Тен<sup>1</sup>, Б.Р. Андриевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрен мобильный робот на базе конструктора LEGO Mindstorms NXT для решения задачи следования по линии. Проведен анализ существующих технических решений, применяемых в школьной программе, построена математическая модель робота, произведено моделирование системы и синтезированы модальные регуляторы. Описана методика расчета и вычисления коэффициентов регулятора по полиному Баттерворта, Ньютона. Результаты подтверждены серией экспериментов.

**Ключевые слова:** мобильный робот, LEGO роботы, алгоритмы управления, робототехника в школе.

Робототехника в наши дни является одним из самых распространенных направлений для занятия школьников в нашем городе. С каждым годом число отделений дополнительного образования стремительно увеличивается, а количество детей, увлеченно занимающихся инженерией, преумножается. Самым востребованным набором, который используется для обучения детей робототехнике, на данный момент является конструктор LEGO Mindstorms NXT [1]. Одной из основных изучаемых задач

является следование по линии: робот, оснащенный одним или несколькими датчиками освещенности должен автономно за минимальное время преодолеть обозначенную дистанцию. Для ее решения школьники пишут программы с использованием регуляторов (релейный, пропорциональный, пропорционально-дифференциальный и прочие) [2]. Дети, не имея глубоких знаний в области теории автоматического управления, методом проб и ошибок подбирают коэффициенты и достигают больших успехов на различных соревнованиях. Обычно половины всей подготовки роботов затрачивается на отладку, и именно подбор коэффициентов ключевым образом влияет на результативность того или иного робота. К сожалению, готовых разработанных материалов или учебно-методических комплексов по настройке регуляторов не существует. Между тем актуальность решения задачи настройки регуляторов является очевидной, так как в каждом качественном робототехническом проекте используется множество регуляторов [3]. Предлагаемая работа посвящена разработке методов расчета регуляторов с целью внедрения элементов теории автоматического управления в школьную робототехнику.

В данной работе рассмотрена система, изображенная на рис. 1.

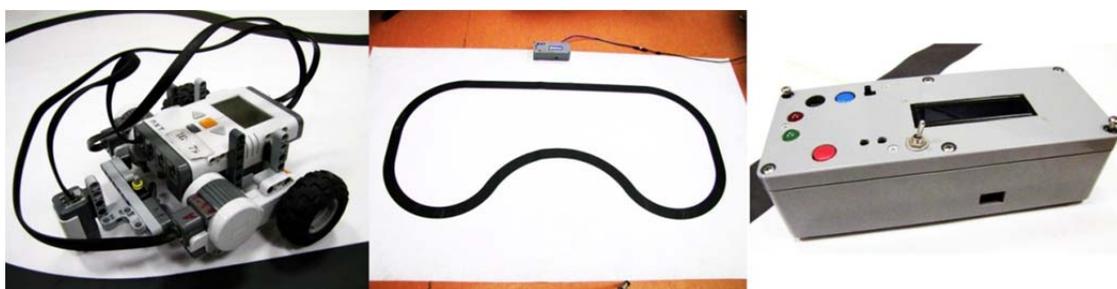


Рис. 1. Вид рассматриваемой системы

Поле для линии представляет собой белый баннер с нарисованной на нем черной линией 5 см шириной. Робот фиксирует линию с помощью одного датчика освещенности, установленного на него. В процессе движения робот будет стремиться ехать вдоль границы линии, ориентируясь на показания данного датчика. Данный робот оснащен двумя независимыми колесами, расположенными на одной оси и способен передвигаться в неподвижной двухмерной системе координат  $OXY$ . Третьей точкой опоры робота является шарнир, который в рассматриваемой модели не влияет на движение. Точка  $C$  – центр масс робота и середина расстояния между колесами робота. Координаты  $(x, y)$  точки  $C$  и направляющий угол  $\varphi$  позволяют однозначно определить положение и ориентацию робота в заданной системе координат.

Построим кинематическую модель робота. Введем вектор обобщенных координат.

$$q = [x, y, \varphi]^T.$$

Допустим, что робот движется без проскальзывания, т.е. движение происходит за счет действия силы трения качения. В таком случае данная модель может быть сведена к модели одноколесного мобильного робота. Неголономные ограничения на движения робота, выражающие невозможность мгновенного движения в стороны могут быть записаны в виде:

$$\dot{x} \sin \varphi - \dot{y} \cos \varphi = 0.$$

Выражение может быть переписано в следующей форме:

$$A^T(q)\dot{q} = [\sin \varphi \quad -\cos \varphi \quad 0] \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = 0.$$

Обозначим величины линейной и угловой скоростей робота в точке  $C$ , как  $v$  и  $\omega$  соответственно. Тогда кинематическая модель робота может быть записана в виде:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix}.$$

Выведенная модель абсолютно справедлива для центра масс робота. Но стоит учесть, что датчик фиксирует положение не центра масс робота, а точки, находящейся на некотором расстоянии от него. В связи с этим стоит в модель добавить смещение, которое это отразит. Кроме того, в данном случае не совсем удобно задавать линию движения робота в неподвижной системе координат. Исходя из этого, стоит рассматривать «замороженную» систему, которая в каждый момент времени перемещает систему координат вместе с роботом так, что не существует отклонения по оси  $OY$ , а целью управления является минимизация отклонения по оси  $OX$ .

Таким образом, получаем следующую систему:

$$\begin{cases} \dot{x} = v \sin \varphi + l\dot{\varphi} \cos \varphi \\ \dot{y} = v \cos \varphi + l\dot{\varphi} \sin \varphi, \\ \dot{\varphi} = \omega \end{cases}$$

где  $l$  – расстояние от центра масс робота до датчика.

Стоит перейти от реальных значений скоростей робота к программным значениям скоростей в процентах. Пусть  $v = c_1 v$  и  $\omega = c_2 u$ , где  $c_1$  и  $c_2$  – константы, отражающие эту зависимость.

Тогда получим следующее:

$$\begin{cases} \dot{x} = c_1 v \sin \varphi + l\dot{\varphi} \cos \varphi \\ \dot{y} = c_2 v \cos \varphi + l\dot{\varphi} \sin \varphi. \\ \dot{\varphi} = c_2 u \end{cases}$$

Стоит заметить, что единственным элементом обратной связи, который определяет положение робота относительно линии, является датчик освещенности, который тоже выдает значения в процентах от максимальной яркости. В этой связи стоит учитывать, что существует коэффициент связи между реальным перемещением робота и показаниями датчика  $k_{sens}$ . В результате получена следующая схема моделирования (рис. 2).

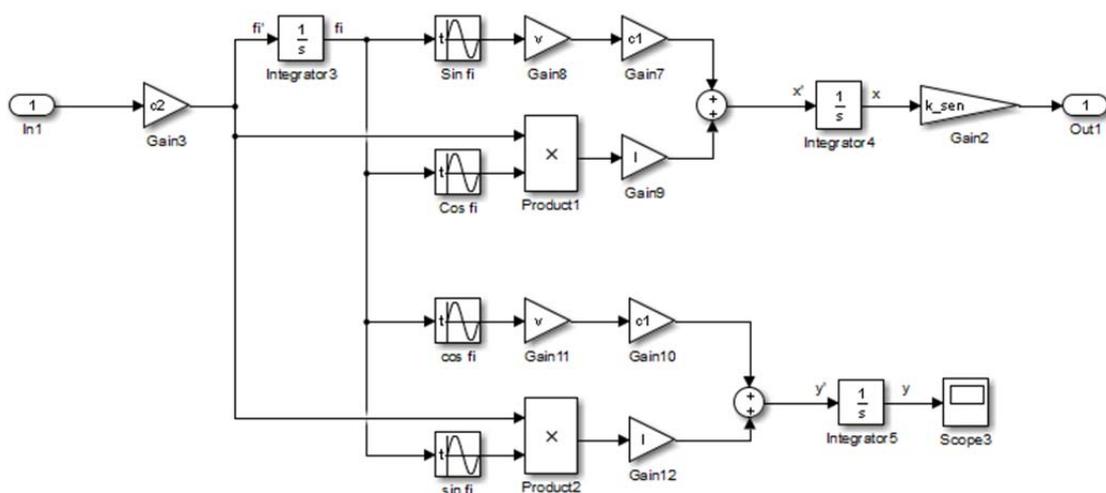


Рис. 2. Схема моделирования в пакете программ MATLAB/Simulink

В ходе синтеза математической модели появилась потребность в экспериментальном нахождении некоторых параметров робота. Отсюда были

проделаны следующие эксперименты.

Эксперимент 1. Поиск показания датчика изменения угла при прокрутке мотора на один оборот.

Мотор NXT является сервоприводом. С механической точки зрения он представляет собой коллекторный электродвигатель постоянного тока, редуктор (набор шестеренок), микросхема управления и энкодер. Оптический энкодер, расположенный внутри мотора, при вращении двигателя способен считать количество рисок, которые прошли сквозь поток света между оптопарой. Таким образом, можно узнать количество рисок, которые зафиксирует энкодер при прохождении мотором 1 оборота.

В ходе выполнения эксперимента необходимо несколько раз запускать установку для совершения одного полного оборота и фиксировать информацию об изменении показания энкодера.

Эксперимент 2. Поиск значения коэффициента связи скоростей мотора.

Целью данного эксперимента являлось построение зависимости угловой скорости робота под нагрузкой от программно задаваемого значения скорости.

Известно, что двигатель объект нелинейный. Таким образом, нет пропорциональной зависимости угловой скорости робота под нагрузкой от программно задаваемого значения скорости в процентах в средах программирования Robolab, RobotC и пр. Для упрощения будем считать, что эта функция линейна и рассчитаем пропорциональный коэффициент связи скоростей мотора  $k_{motor}$ .

Для этого необходимо запустить робота с различными значениями скоростей (от 0 до 100%) и фиксировать реальную скорость робота в м/с, рассчитывая ее через показания энкодеров с учетом геометрии системы. Проведя операцию несколько раз (для увеличения точности измерения) и построив графики данной зависимости, получим значение данного коэффициента  $k_{motor}$ .

Эксперимент 3. Поиск связи показания датчика и расстояния отклонения робота от линии.

Единственным элементом обратной связи, который определяет положение робота относительно линии является датчик освещенности. Он расположен в точке  $S$  робота и представляет собой оптопару. Датчик выдает значения освещенности в процентах, т.е. от 0 до 100. При этом малые значения говорят о низкой отражающей способности поверхности, а большие – о высокой. Однако нельзя сказать, что на черном датчик выдает 0, а на белом 100. Диапазон выдаваемых показаний зависит от его внутреннего устройства и особенностей сборки, а также от высоты, на которую он поставлен. Ввиду этого стоит производить данный эксперимент при строго одинаковых внешних условиях для получения достоверных результатов. В ходе эксперимента необходимо на полигоне для запуска робота замерять кратчайшее расстояние от центра датчика (центр ярко-красного пятна) до ближайшей границы линии. Далее необходимо производить ощутимые для датчика поперечные смещения робота. В результате данного эксперимента получен коэффициент связи показания датчика в окрестности границы линии и реального смещения робота. Для произведения дальнейших численных вычислений произведем линеаризацию модели в пакете программ MATLAB и получим матрицы **ABC** представления модели.

Целью синтеза регулятора является удержание робота на линии и при этом минимальное время прохождения линии. Уменьшение времени прохождения линии будем обеспечивать за счет уменьшения колебания робота на линии. Таким образом, задача заключалась в том, чтобы минимизировать величину отклонения робота от линии, т.е. обеспечить, чтобы величина  $\delta x$  в каждый момент времени стремилась бы к нулю. Данную задачу можно решить с использованием метода модального управления.

В теории автоматического управления есть метод, который называется методом модального управления. Согласно нему, сначала строится дифференциальное

уравнение, характеризующее систему. Это уравнение можно преобразовать в простое линейное уравнение. А затем, пожелав иметь определенные корни этого уравнения, можно найти коэффициенты регулятора из этого уравнения. В результате синтеза нашей системы в ходе ее линеаризации получены матрицы **A** и **B**, описывающие систему. Введем матрицу **K**, матрицу коэффициентов модального регулятора. Система без регулятора – разомкнутая система. При добавлении регулятора система становится замкнутой, так как два коэффициента регулятора добавляют две обратные связи. Матрица, которая описывает систему с регулятором, называется матрица **F**. Она определяется следующим образом:

$$\mathbf{F} = \mathbf{A} - \mathbf{BK}.$$

Запишем в общем виде нахождение данной матрицы

$$\mathbf{F} = \mathbf{A} - \mathbf{BK} = \begin{pmatrix} a_1 - b_1 k_1 & a_2 - b_1 k_2 \\ a_3 - b_2 k_1 & a_4 - b_2 k_2 \end{pmatrix}.$$

Найдем определитель матрицы  $\lambda I - \mathbf{F}$ . В нашей системе 1, 3 и 4 элементы матриц нулевые, поэтому уравнение упрощается до вида

$$\lambda^2 + (b_1 k_1 + b_2 k_2) \lambda + (-k_1 a_2 b_2).$$

Синтезируем регулятор с использованием полинома Баттерворта. Введем параметр  $\omega_0$ , который позволяет задаваться необходимым временем переходного процесса. Уравнение Баттерворта для системы второго порядка имеет вид:

$$\lambda^2 + 1,4\omega_0 \lambda + \omega_0^2 = 0.$$

Отсюда, сопоставляя коэффициенты уравнений, получаем коэффициенты модального регулятора по состоянию:

$$k_1 = \frac{-\omega_0^2}{a_2 b_2}, \quad k_2 = \frac{1,4\omega_0 + \frac{b_1 \omega_0^2}{a_2 b_2}}{b_2}.$$

Стоит напомнить, что параметр  $\omega_0$  выбран, исходя из желаемого времени переходного процесса. Потому задавшись параметром  $t_n$  можно по данным формулам получить коэффициенты регулятора.

Также в ходе данной работы синтезирован регулятор методом модального управления для вычисления коэффициентов в пакете программ MATLAB. С помощью решения матричного уравнения Сильвестра получены коэффициенты регулятора, посчитанные с использованием полиномов Баттерворта и Ньютона. Данная система представляется следующими уравнениями:

$$\begin{cases} \mathbf{MG} - \mathbf{AM} = \mathbf{BH} \\ \mathbf{K} = -\mathbf{HM}^{-1}, \end{cases}$$

где **G** и **H** – матрицы, задающиеся исходя из желаемого распределения корней, а матрица **M** – решение уравнение Сильвестра; матрица **K** – искомая матрица коэффициентов регулятора.

Таким образом, получаем вычисленные коэффициенты регулятора, которые при подстановке в программу следования по линии показывают свою работоспособность в ходе проводимых испытаний.

В ходе данной работы была построена математическая модель движения мобильного LEGO робота для следования по линии. Получены параметры данной модели, синтезированы модальные регуляторы. Проведены испытания на рассматриваемом роботе. Результатом их проведения является подтверждение правильности составления модели и работоспособность разработанных алгоритмов управления судном.

## Литература

1. Filippov S.A., Fradkov A.L., Andrievsky B. Teaching of robotics and control jointly in the University and the high school based on LEGO Mindstorms NXT // Proc. 18th IFAC World Congress on Autom. – 2011. – P. 9824–9829.
2. Филиппов С.А. Робототехника для детей и родителей. – 3-е изд., доп. и испр. – СПб.: Наука, 2013. – 319 с.
3. Filippov S.A., Fradkov A.L. The Elements of Control Theory in School [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.239.ru/userfiles/file/The\\_elements\\_of\\_control\\_theory\\_in\\_school\\_full\\_paper\\_en\\_15.pdf](http://www.239.ru/userfiles/file/The_elements_of_control_theory_in_school_full_paper_en_15.pdf), своб.

УДК 004.414.23

### ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ NS3

А.В. Тихомиров<sup>1</sup>, В.А. Захаров<sup>1</sup>

Научный руководитель – ассистент Д.Н. Шинкарук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В ходе изучения фреймворка Direct Code Execution были рассмотрены его возможности и преимущества. Данное программное решение является первым в своем роде и решает главную задачу последних десятилетий – возможность тестирования и воспроизведения сценариев работы с реальными сетями, используя дискретность времени. В работе определены причины сложности исследования компьютерных сетей и рассмотрены некоторые возможности фреймворка на практике.

**Ключевые слова:** сетевой симулятор, моделирование, дискретность времени, фреймворк.

Direct Code Execution (DCE) является фреймворком с открытым исходным кодом, который базируется на использовании сетевого симулятора NS3, обеспечивает увеличение количества доступных для моделирования сетевых протоколов и большую реалистичность симуляции.

Помимо воспроизведения функционирования реальных сетей, DCE преследует следующие цели:

1. поддержка модели дискретного времени;
2. масштабируемость, обеспечиваемая гибкостью модельного времени;
3. улучшенная возможность отладки путем исполнения в едином адресном пространстве.

О необходимости воспроизведения исследований в вычислительных науках говорилось не раз в течение последних десятилетий [1]. Несмотря на это, ученым, изучающим компьютерные сети, не всегда предоставлялось возможным повторить исследования, описанные в литературе, по ряду причин:

1. нехватка деталей в документации по сценариям;
2. сложность воспроизведения идентичных сценариев;
3. отсутствие доступа к исходному коду и скриптам;
4. сложность воспроизведения сценариев в реальных условиях.

Только недавно исследователи компьютерных сетей начали облегчать решение этой проблемы, подробно описывая детали экспериментальных сценариев, делая свой код и скрипты доступными сетевому сообществу и иногда используя средства, улучшающие воспроизводимость экспериментов.

В идеале каждый ученый должен иметь возможность повторить эксперимент своего коллеги, оценить и отладить его на других сценариях в различных масштабах,

сравнить его с другими подходами и, возможно, предложить улучшения, а не только посмотреть опубликованные в журналах результаты.

В настоящей работе полная воспроизводимость определялась, как способность обеспечить все вышеупомянутые требования. Следующие требования являлись наиболее сложными при обеспечении воспроизводимости:

1. реализм эксперимента. Это требование удовлетворяется, когда обеспечиваются три свойства:
  - функциональный реализм, т.е. программная реализация тестируемой системы является аналогом реальной системы;
  - временной реализм, т.е. временное поведение тестируемой системы схоже с поведением реальной;
  - реализм маршрутизации, т.е. источники трафика повторяют поведение аналогов в реальных системах;
2. гибкость топологии. Экспериментальное окружение и входные параметры должны быть настраиваемыми вплоть до мелочей, благодаря чему обеспечивается возможность исследования любых топологий;
3. простой интерфейс и низкая стоимость. Должна обеспечиваться возможность повторения эксперимента с низкими затратами.

Таким образом, обеспечение этих требований также является важной задачей в дополнение к упомянутым ранее;

4. масштабируемость экспериментов. Возможность расширения сценариев не должна быть ограничена ресурсами вычислительного комплекса, запускающего эксперименты;
5. простота отладки. Это свойство обеспечивает поиск возможных проблем тестируемой системы, в частности, при наличии распределенной системы, функционирующей на нескольких узлах.

**Цель работы** – описать обеспечение пяти вышеизложенных требований с помощью фреймворка DCE, который позволяет сделать эксперименты полностью воспроизводимыми. DCE использует библиотеку операционной системы LibOS и ядро как основу своей архитектуры с целью возможности запуска и оценки реализаций протоколов реальных сетей. Так как DCE использует единственный процесс в модели, необходимо большое количество дополнительного кода для поддержания совместимости. Тем не менее, тесная интеграция с симулятором на основе дискретных событий NS3 позволяет полностью воспроизводить опыты.

**Архитектура DCE.** Архитектура фреймворка представлена на рис. 1.

**Ядро ресурсов.** DCE выполняет каждый моделируемый процесс как часть процесса хоста. Эта модель поведения, базирующаяся на использовании единственного процесса, позволяет синхронизировать и планировать выполнение процессов без использования механизмов межпроцессного взаимодействия. Более того, она позволяет пользователям проследить за несколькими процессами в течение эксперимента используя общий отладчик.

Минусом такого подхода является усложнение программной реализации за счет контроля доступа к ресурсам, в частности, отдельным областям памяти.

**Программное ядро.** Программное ядро является подмножеством ядра операционной системы. Данный уровень взаимодействует с остальными посредством системных структур данных. Например, кадры канального уровня обрабатываются на уровне ядра, используя программно реализованную структуру `net_device`, которая, в свою очередь, контактирует непосредственно с C++ эквивалентом в NS3 – `ns3::NetDevice` [2].



Рис. 1. Архитектура фреймворка Direct Code Execution

Пользователь может использовать стандартные утилиты командной строки операционной системы Linux для настройки конфигурации уровня маршрутизации – `ip`, `iptables`, устанавливая нужные параметры для IP-адресов, таблиц маршрутизации и сетевых экранов.

**POSIX-уровень.** Поскольку спецификация POSIX достаточно обширная, реализация функций стандартной библиотеки во фреймворке представлена подмножеством, используемым приложениями, тестируемыми с помощью DCE. И хотя предоставлены не все возможности, фреймворк позволяет запускать большинство Си-приложений, представляющих интерес для изучения.

Системные вызовы и функции, связанные со временем, возвращают модельное время вместо реального и существует поддержка системных вызовов, таких как `fork()` и `vfork()`.

**Эксперимент.** Для проведения эксперимента на языке C++ (используется фреймворком) была создана модель сети, состоящая из пяти узлов, и замерено время выполнения утилиты `ping` с различными параметрами числа пакетов. Следует отметить, что указание ключей для запуска приложения обеспечивается с помощью единственной строки в скрипте, которая легко может быть изменена, тем самым обеспечив моделирование совершенно другого эксперимента [3]. По результатам проведенного эксперимента (рис. 2), при моделировании отправки 100000 пакетов, модельное время составило около 64 с, а реальное – 100000 с. Очевидно, что разница колоссальная. Получившиеся значения модельного и реального времени с указанием доверительного интервала при значении доверительной вероятности 95%, отображены в таблице.

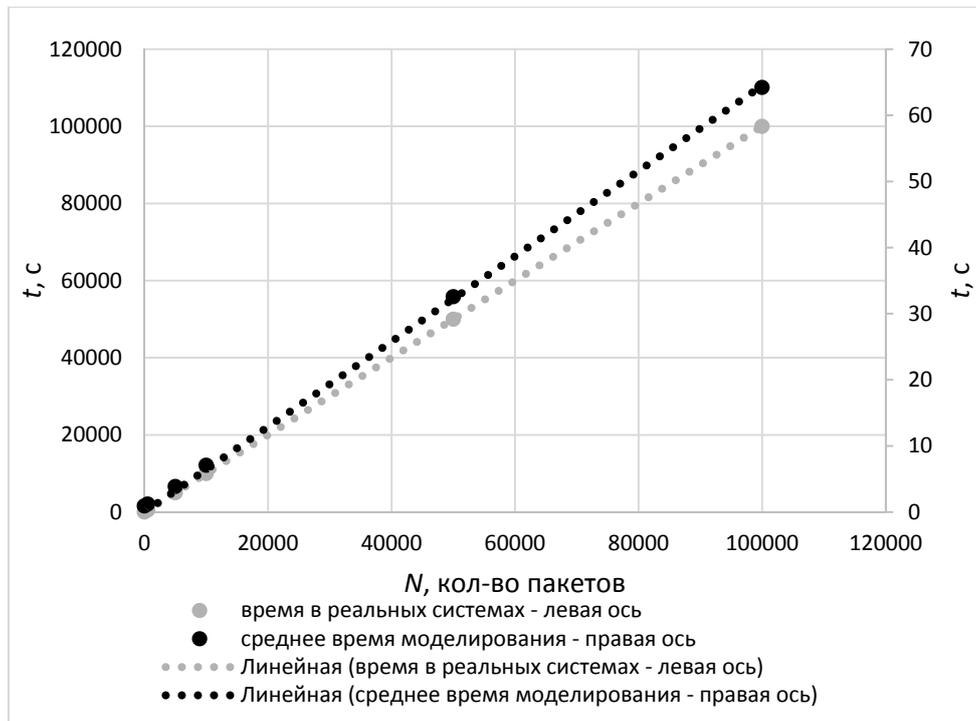


Рис. 2. Сравнение модельного и реального времени

Таблица. Сравнение модельного и реального времени

Кол-во пакетов	Модельное время, с	Среднее значение реального времени, с	Нижняя граница доверительного интервала реального времени при доверительной вероятности 95%, с	Верхняя граница доверительного интервала реального времени при доверительной вероятности 95%, с
0	0	0,934	0,893	0,975
500	500	1,203	1,143	1,263
5000	5000	3,864	3,824	3,904
10000	10000	7,08	7,035	7,125
50000	50000	32,562	32,365	32,759
100000	100000	64,213	64,057	64,369

**Выводы.** Подводя итоги, можно отметить, что Direct Code Execution:

- обеспечивает полную воспроизводимость экспериментов;
- предоставляет простой интерфейс для изменения входных параметров и экспериментального окружения;
- не требует наличия дополнительных ресурсов при расширении модели, за счет чего обеспечивается низкая стоимость проведения экспериментов;
- сокращает время тестирования сетевых приложений.

### Литература

1. Tazaki H., Urbani F., Mancini E., Lacage M., Câmara D., Turletti T., Dabbous W. Direct code execution: revisiting library OS architecture for reproducible network experiments // Proceedings of the ninth ACM conference on Emerging networking experiments and technologies. – 2013. – P. 217–228.
2. NS-3 Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org>, своб.

3. Ns-3 Direct Code Execution (DCE) Manual Release 1.7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsnam.org/docs/dce/release/1.7/manual/ns-3-dce-manual.pdf>, своб.

УДК 571.27/. 577.29

## ИЗУЧЕНИЕ ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ РАЗЛИЧНЫХ СЫВОРОТОЧНЫХ АЛЬБУМИНОВ

И.В. Троценко<sup>1</sup>, Л.В. Плотникова<sup>1</sup>, М.В. Успенская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе поднимается вопрос возможности использования альбуминов различных происхождений с целью создания лекарственных препаратов вместо человеческого сывороточного альбумина. Для первичного анализа возможности взаимозаменяемости альбуминов был использован метод инфракрасной спектроскопии, как экспресс-способ установления строения соединений.

**Ключевые слова:** сывороточный альбумин, ИК спектроскопия.

Альбумины – водорастворимые глобулярные белки, входящие в состав сыворотки крови, цитоплазмы клеток животных и растений, молока. Альбумин сыворотки крови составляет 50% от массы всех содержащихся в ней белков [1]. Он выполняет важные для организма функции: поддерживает осмотическое давление, является одним из основных транспортных белков крови, связывает и адсорбирует вещества, а также выполняет энергетическую функцию [2]. В медицине человеческий сывороточный альбумин (ЧСА) применяется для лечения кровопотери, печеночной или почечной недостаточности, при ожогах и пр. В связи с трудоемкостью и проблематичностью приготовления ЧСА, зачастую его стоимость оказывается слишком высока для применения препарата в больших масштабах. К тому же до 2007 года данное вещество производилось исключительно за пределами Российской Федерации. Технологии приготовления препаратов на основе ЧСА остаются и по сей день неизменными, а потому себестоимость препарата не изменяется.

Для ученых встает задача о возможности использования других видов альбуминов вместо ЧСА. Человеческий альбумин, созданный искусственно, называется рекомбинантным (рЧСА). В работе [3] исследуется возможность создания рЧСА на основе рисового и посевного зерна. Однако до сих пор не было проведено исследование по созданию рЧСА из альбуминов яичного белка. **Целью исследования** стало изучение и сравнение сывороточных альбуминов других биологических видов с человеческим для дальнейшего возможного использования в медицине. Чтобы проверить гипотезу авторов, был проведен ряд измерений лиофилизированных сывороточных альбуминов крови быка, лошадиного, человеческого и яичного альбумина. Лиофилизация проводилась с целью упрощения процедуры снятия спектра, а так как этот метод является мягким способом возгонки воды из вещества, без изменения его структурной целостности и в отсутствие процесса денатурации, то полученные спектрограммы имели менее выраженные пики –ОН групп. Измерения проводились на инфракрасном Фурье-спектрометре Bruker Tensor 37 с НПВО приставкой. Лиофилизированные и предварительно растертые в ступке образцы помещались на кристалл и снимались один за другим. На рисунке представлены получившиеся в результате измерений спектрограммы, наложенные друг на друга для установления наглядных различий. На рисунке синей линией обозначен спектр яичного альбумина, красной – бычий, розовым – лошадиный, зеленым – человеческий.

Таким образом, была получена дифференцированная картина спектров, которые можно сравнить между собой, наглядно и качественно установить различия между структурным и количественным составом сывороток. Отметим, что среди «больших» пиков (в области, большей  $1900\text{ см}^{-1}$ ) особой разницы не оказалось, наибольшие расхождения наблюдались только в области отпечатков пальцев.

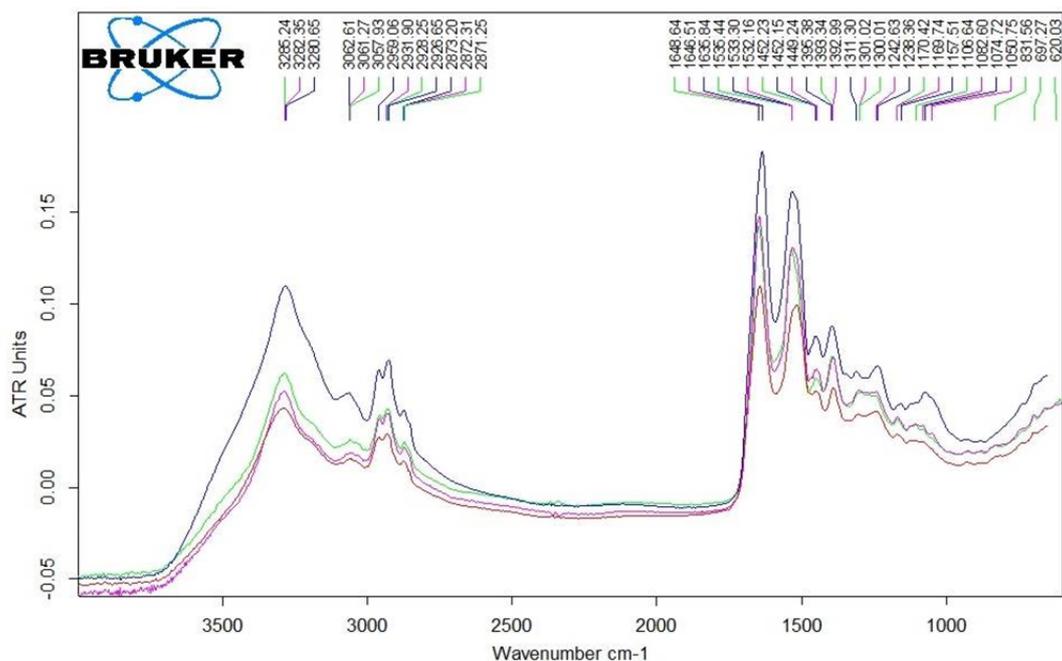


Рисунок. Инфракрасные спектры сывороточных альбуминов человека, лошади, бычий и яичный

В перспективе результаты работы могут пригодиться для создания новых или разновидностей старых лекарств на основе не только человеческих альбуминов, но и альбуминов других биологических видов, а возможно, даже на основе яичного белка. Дальнейшее изучение вопроса следует проводить с учетом нынешней расстановки сил на фармацевтической арене, учитывая целесообразность создания нового препарата, простоту и дешевизну его производства.

### Литература

1. Луйк А.И., Лукьянчук В.Д. Сывороточный альбумин и биотранспорт ядов. – М.: Медицина, 1984. – 224 с.
2. Пшенкина Н.Н. Сывороточный альбумин: структура и транспортная функция (обзор литературы) // Фармакология. – 2011. – Т. 12. – С. 1067–1091.
3. Wilken L.R. Recovery of recombinant and native proteins from rice and corn seed. Dissertation. – 2009. – 182 p.

УДК 004.622

### СЕГМЕНТАЦИЯ ДЛИННЫХ АУДИОЗАПИСЕЙ

Д.С. Убский<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.ф.-м.н. В.С. Менделев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе на примере аудиокниг описан способ разделения длинных аудиозаписей на короткие (приблизительно 15 с) фрагменты, пригодные для обучения системы распознавания речи. Основой алгоритма служило редакционное предписание.

**Ключевые слова:** сегментация, расстояние Левенштейна, редакционное предписание.

**Введение.** Для обучения систем распознавания речи желательна большая база размеченных транскрибированных данных. Так как не всегда возможно собрать такую базу своими силами, имеет смысл обратиться к свободной базе размеченных аудиозаписей, таких как аудиокниги и новостные сюжеты, разметкой к которым служит текст книги или транскрипция, предоставленная новостной компанией соответственно.

Однако при таком подходе возникает иная проблема: длительность таких записей, как правило, превышает оптимальную для обучения систему распознавания (10–30 с). В таких случаях необходимо разделить аудиозапись на короткие сегменты, сохранив при этом разметку [1–3].

Описанный в работе алгоритм использует существующую систему распознавания как направляющий механизм для определения границ слов в аудиозаписи. Таким образом, результирующие сегменты сохраняют границы слов, сохраняя совместимость с языковой моделью.

Первым шагом алгоритма является разбиение исходной аудиозаписи на равные по длительности отрезки с перекрытием. Полученные отрезки затем декодируются с использованием некоторой существующей системы распознавания речи.

Результаты декодирования хранятся следующим образом:

<Начало, с>	<Длительность, с>	<Слово>
3,39	0,23	SELL
3,62	0,18	OFF
3,80	0,03	<eps>
3,83	0,45	ASSETS,

где <eps> – спецсимвол для заполнения тишины.

Склеивание результатов декодирования разных сегментов производится следующим образом: интервал перекрытия делится пополам, и все слова после этой точки в первом по времени сегменте и до точки во втором по времени сегменте отбрасываются. Оба сегмента затем конкатенируются.

В следующем шаге алгоритма результаты декодирования и исходная разметка записи выравниваются по Левенштейну. Для этого сначала строится редакционное предписание для исходной разметки.

Редакционное предписание представляет собой последовательность действий, необходимых для получения второго текста из первого кратчайшим образом. Под действиями понимаются:

- *M* – совпадение, нет действия;
- *I* – вставка, в первый текст необходимо вставить некоторое слово, встречающееся во втором тексте;
- *D* – удаление, из первого текста необходимо удалить соответствующее слово;
- *S* – замена, в первом тексте необходимо заменить соответствующее слово на слово, встречающееся во втором тексте.

Здесь следует отметить, что спецсимвол для заполнения тишины (<eps>) не считается словом при вычислении редакционного предписания Левенштейна. Он служит только для упрощения вычисления временных рамок в последнем шаге алгоритма.

Выравнивание Левенштейна строится из редакционного предписания следующим образом:

- в месте вставки (*I*) в исходной разметке в исходную разметку вставляется спецслово;
- в месте удаления (*D*) в исходной разметке в результаты декодирования вставляется спецслово с длительностью 0;
- замены (*S*) и совпадения (*M*) остаются неизменными.

Таким образом, каждому слову (включая спецслова) исходного текста ставится в соответствие слово и временные рамки, полученные при декодировании.

После выравнивания текстов выполняется собственно сегментация. Используя временные данные, полученные при декодировании, результат декодирования разделяется по словам на отрезки не менее заданной длительности (например, 15 с). По временным данным определяются временные рамки в исходной аудиозаписи, из которой вырезается соответствующий отрезок, которому в соответствие ставится

транскрипция, состоящая из слов исходного текста, сопоставленным этому отрезку времени.

Данный алгоритм был апробирован на аудиокнигах свободной библиотеки Librivox на испанском языке. В качестве системы распознавания была использована гауссова смесь, обученная на телефонных разговорах, в связке с биграммной языковой моделью, построенной на тех же разговорах. Ручная проверка показала, что реализация такого алгоритма дает хорошие результаты, сохранив практически полный текст исходной аудиозаписи, разбитый на сегменты длиной 15–20 с.

### Литература

1. Левенштейн В.И. Двоичные коды с исправлением выпадений и вставок символа 1 // Проблемы передачи информации. – 1965. – Т. 1. – Вып. 1. – С. 12–25.
2. Peiszer E., Lidy T., Raube A. Automatic Audio Segmentation: Segment Boundary and Structure Detection in Popular Music [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat\\_170403.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/PubDat_170403.pdf), своб.
3. Rybach D., Gollan C., Schluter R., Ney H. Audio Segmentation for Speech Recognition Using Segment Features // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2009. – С. 4197–4200.

УДК 004.075

### МЕТОДИКА ГЕНЕРАЦИИ ТЕСТОВ ДЛЯ СРАВНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАНИЙ

М.К. Федореева<sup>1,2</sup>, А.Н. Кононов<sup>2</sup>

Научный руководитель – А.М. Грузликов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО; <sup>2</sup>АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

В настоящей работе предложен алгоритм формирования тестовых примеров для сравнения алгоритмов планирования заданий, представленных ациклическими графами. Проведена апробация разработанного алгоритма. Получены оценки оптимальных значений критерия для 1000 примеров задач для различных вариантов числа работ, машин и конфигураций графа.

**Ключевые слова:** flow-shop планирование, бенчмарк, оптимизация, генерация тестов, эффективность алгоритмов планирования.

Проблема flow-shop планирования заданий является NP-трудной, поэтому для ее решения разработано значительное число различных эвристических методов, например, алгоритм разрешимых классов, алгоритм муравьиных колоний и т.д. Очевидно, что выбор тестовых примеров для проверки эвристических алгоритмов, как правило, осуществляется субъективно. Традиционно для сравнения алгоритмов используются тесты, предложенные Тейлардом в 1989 г. для заданий конвейерного типа. Одной из проблем формирования тестов является вычисление оптимального значения критерия, необходимого для определения эффективности исследуемого эвристического алгоритма. Для примеров большой размерности этот результат не может быть получен непосредственно, поэтому исследователями предложены оценки для значения оптимального результата [1].

Рассматриваются задачи flow-shop планирования  $F_m|prec|C_{\max}$ . Имеется  $n$  работ и  $m$  машин. Каждая работа состоит из  $m$  операций, которые выполняются только на соответствующих им машинах. Порядок выполнения операций в каждой работе одинаков и определяется ориентированным ациклическим графом. Определено время выполнения каждой операции для каждой работы  $d_{ij} > 0$ ,  $i = 1 \dots m$ ,  $j = 1 \dots n$ . Требуется

найти такой порядок выполнения работ, чтобы время их завершения  $C_{\max}$  было минимальным.

Общее число возможных порядков выполнения работ, среди которых осуществляется поиск наилучшего, равняется  $n!$ .

По критерию значения целевой функции методы между собой можно сравнивать на тестовых примерах задач планирования. Для оценки качества примера можно использовать величину, равную процентному превышению наилучшего известного на данный момент времени решения над оценкой точного оптимального решения. При этом тестовый пример считается тем хуже, чем известное на данный момент времени решение ( $UB$  – верхняя граница), ближе к оценке точного решения ( $LB$  – нижняя граница). Пример, для которого оказывается легко за небольшое время найти оптимальное решение, большого интереса для сравнения методов не представляет.

В работе Тейларда был предложен алгоритм генерации тестовых примеров задач планирования. Он заключался в следующем:

1. разыграть 100 случайных примеров;
2. вычислить для каждого примера нижнюю границу  $LB$ ;
3. для каждого примера найти верхнюю границу  $UB$ , используя существующий метод поиска наилучшего решения;
4. отобрать из 100 случайных примеров 10 тех, у которых отношение  $UB$  к  $LB$  наибольшее.

Тейлардом приводится следующий способ определения нижней границы  $LB$  для задач flow-shop планирования:

$$b_i = \min_j \left\{ \sum_{k=1}^{i-1} d_{kj} \right\}, \quad (1)$$

$$a_i = \min_j \left\{ \sum_{k=i+1}^m d_{kj} \right\}, \quad (2)$$

$$T_i = \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad (3)$$

$$LB = \max_i \{ b_i + T_i + a_i \}, \quad (4)$$

где  $b_i$  – минимальное время простоя  $i$ -ой машины перед началом выполнения на ней операций;  $a_i$  – минимальное время простоя  $i$ -ой машины после завершения выполнения на ней операций;  $T_i$  – суммарное время выполнения операций  $i$ -ой машиной. Данный способ определения нижней границы пригоден только для тех задач, у которых порядок выполнения операций на машинах задается простой последовательностью, т.е. задач конвейерного типа.

В рассматриваемой задаче порядок выполнения операций задается произвольным ациклическим графом, поэтому значения  $b_i$  и  $a_i$  не могут вычисляться простым суммированием времени выполнения операций на предшествующих и последующих машинах по формулам (1) и (2). Обобщение алгоритма заключается в разработке способа вычисления времени простоя каждой машины до и после выполнения на ней операций. Для определения значения  $a_i$  следует использовать следующий алгоритм (рис. 1):

1. выполнить пп. 2–5 для всех работ  $j = 1 \dots n$ ;
2. каждому ребру присвоить вес, равный времени выполнения вершины, в которую данное ребро входит;
3. выделить подмножество вершин «out», из которых не исходит ни одно ребро;
4. найти значение критического пути от  $i$ -ой вершины до каждой вершины множества «out»;
5. запомнить значение максимального из найденных критических путей для текущей  $j$ -ой работы;

6. присвоить  $a_i$  значение минимального из найденных максимальных критических путей.

Значение  $b_i$  находится аналогично, предварительно обратив ориентацию всех ребер. Суммарное время выполнения  $T_i$  и нижняя граница  $LB$  находятся согласно (3) и (4). При использовании алгоритма Флойда–Уоршелла для нахождения критических путей сложность данного алгоритма определения нижней границы составит  $O(m^4 n)$ .

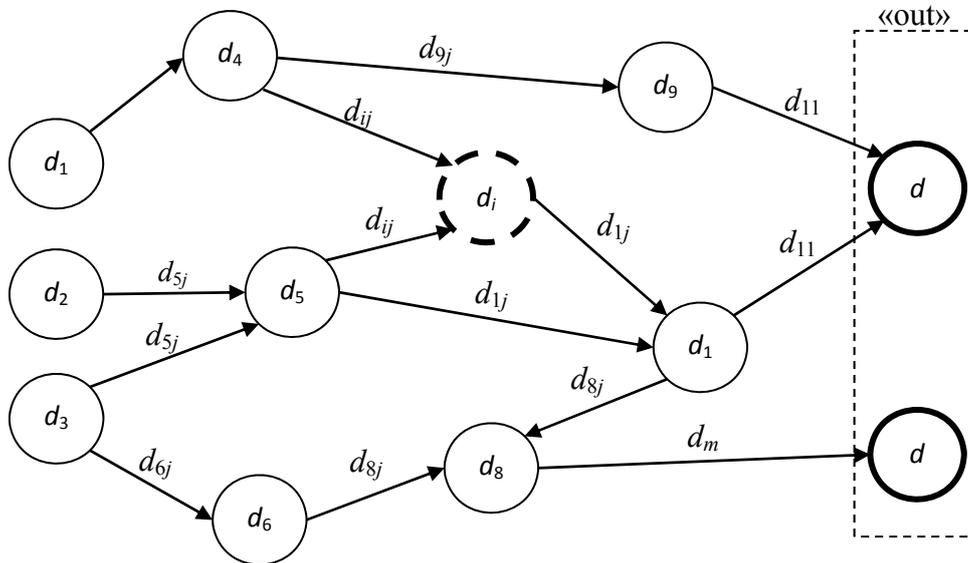


Рис. 1. Пояснение к алгоритму нахождения  $a_i$

Для оценки  $UB$  в данной работе тестовый пример решался двумя существующими алгоритмами: НЕН и РКС [2]. В качестве значения  $UB$  брались наименьшие из времен выполнения расписания, полученные этими двумя методами.

Для работы метода необходимо разработать алгоритм генерации случайного ациклического графа, у которого каждое ребро нарушает отношения предшествований, т.е. не является избыточным, дублирующим другие ребра.

Для генерации случайного дерева глубиной  $d$  и с числом машин  $m$  использовался следующий алгоритм [3].

1. пронумеровать множество узлов  $m$  от 0 до  $m-1$ ;
2. разыграть целые числа  $s_i \in [2, m-1]$ ,  $i = 0 \dots d-3$ , такие, что  $s_0 < s_1 < \dots < s_{d-3}$ . Таким образом, разыгрывается  $d$  множеств узлов, обозначающих уровни дерева. Известен уровень  $u$  узла  $i$ :

$$u(i) = \begin{cases} 0, & \text{если } i = 0 \\ 1, & \text{если } 1 \leq i < s_0 \\ j + 2, & \text{если } s_j \leq i < s_{j+1}, j = 0 \dots d-4 \\ d-1, & \text{если } s_{d-3} \leq i < m. \end{cases}$$

Также известен первый  $a$  и последний  $b$  узел уровня  $u$ :

$$a(u) = \begin{cases} 0, & \text{если } u = 0 \\ 1, & \text{если } u = 1 \\ s_{u-2}, & \text{если } 1 < u \leq d-1 \end{cases}$$

$$b(u) = \begin{cases} 0, & \text{если } u = 0 \\ s_{u-1} - 1, & \text{если } 1 \leq u < d-1 \\ m-1, & \text{если } u = d-1; \end{cases}$$

3. выполнить пп. 4–5 для узлов  $i = 1 \dots m - 1$ ;
4. разыграть целое число  $j \in [a(u(i) - 1), b(u(i) - 1)]$ ;
5. добавить ребро, идущее от узла  $i$  к узлу  $j$ .

Сложность данного алгоритма генерации случайного дерева составляет  $O(m)$ .

Для проверки наличия у графа ребер, не нарушающих отношения предшествования, был разработан следующий алгоритм:

1. сгенерировать случайное дерево с числом машин  $m$ ;
2. повторять пп. 3–8, пока не будет добавлено  $c$  ребер;
3. разыграть два целых числа  $i \in [0, m - 1]$  и  $j \in [0, m - 1]$ , таких, что  $i \neq j$ ;
4. найти путь от узла  $i$  к узлу  $j$ . Если путь найден, то перейти к п. 3. Наличие пути от узла  $i$  к узлу  $j$  означает, что добавление ребра, ведущего от узла  $i$  к узлу  $j$ , не нарушает отношение предшествований;
5. найти путь от узла  $j$  к узлу  $i$ . Если путь найден, то перейти к п. 3. Наличие пути от узла  $j$  к узлу  $i$  означает, что добавление ребра, ведущего от узла  $i$  к узлу  $j$ , приведет к образованию цикла;
6. добавить ребро, ведущее узла  $i$  к узлу  $j$ ;
7. присвоить всем ребрам единичный вес и найти наибольший путь между всеми узлами, соединенными ребрами;
8. если найден хотя бы один наибольший путь, превосходящий единицу, то удалить добавленное ребро и перейти к п. 3.

Если для нахождения наибольших путей между узлами использовать метод Флойда–Уоршелла, то сложность данного алгоритма генерации случайного графа составит  $O(m^3 c)$ .

Доработанный алгоритм вычисления  $LB$  был апробирован на примерах, у которых отношения предшествований задаются конвейером, деревом или графом. Апробация заключалась в сравнении  $LB$  с точным решением, получаемым прямым перебором всех возможных порядков выполнения работ (рис. 2). Видно, что доработанный алгоритм работает не хуже, чем алгоритм Тейларда для задач конвейера.

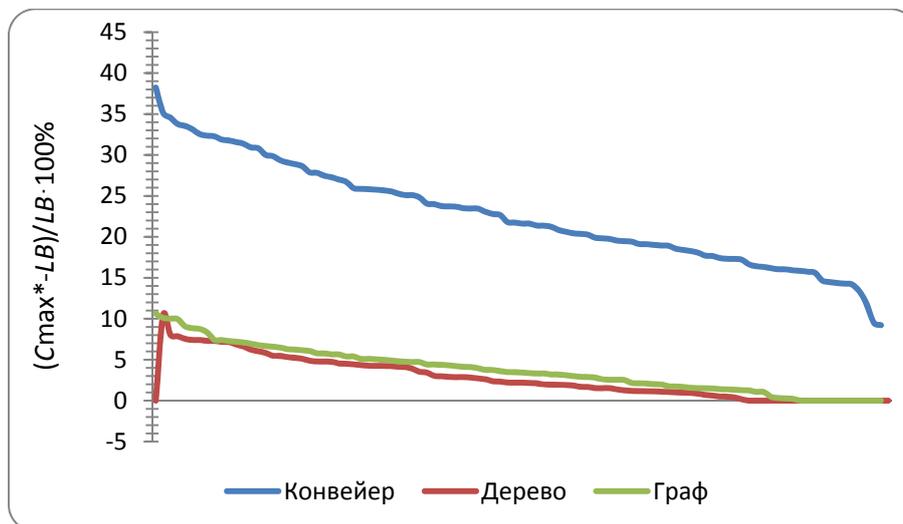


Рис. 2. Сравнение нижней границы с оптимальным решением

Предлагаются следующие конфигурации тестов.

1. Конвейер – число работ принимают значения  $n = \{10, 20, 30, 50, 100\}$ , число машин принимают значения  $m = \{5, 10, 15, 20\}$ . Число тестов – 100 для каждой комбинации  $(n, m)$ . Общее число тестов –  $100 \cdot 5 \cdot 4 = 2000$ .
2. Дерево – число работ принимают значения  $n = \{10, 20, 30, 50, 100\}$ , число машин

принимают значения  $m=\{5, 10, 15, 20\}$ . Глубина дерева –  $d(m)=\{2\}$  при  $m=5$ ,  $\{2, 3\}$  при  $m=10$ ,  $\{3, 5\}$  при  $m=15$ ,  $\{5\}$  при  $m=20$ . Число тестов – 100 для каждой комбинации  $(n, m, d(m))$ . Общее число тестов –  $100 \cdot 5 \cdot 6 = 3000$ .

3. Ациклический граф – число работ принимают значения  $n=\{10, 30, 100\}$ , число машин принимают значения  $m=\{10, 20\}$ . Глубина дерева для машин –  $d(m)=\{3\}$  при  $m=10$ ,  $\{5\}$  при  $m=20$ . Число базовых циклов для машин –  $l(m)=\{1, 2\}$  при  $m=10$ ,  $\{2, 3\}$  при  $m=20$ . Число тестов – 100 для каждой комбинации  $(n, m, d(m), l(m))$ . Общее число тестов –  $100 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 2 = 1200$ .

В итоге по полученной методике генерации тестов для сравнения алгоритмов планирования были разыграны 1000 примеров задач для различных вариантов числа работ, машин и конфигураций графа и отобраны 10 лучших примеров из каждой 1000.

### Литература

1. Taillard E. Benchmarks for basic scheduling problems // European journal of operational research. – 1991. – № 64(2). – P. 278–285.
2. Ladhari T., Haouari M. A computational study of the permutation flow shop problem based on a tight lower bound // Computers and operations research. – 2005. – V. 32. – P. 1831–1847.
3. Кормейн Т., Лейзерстон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ. – М.: Вильямс, 2005. – 1290 с.

UDC 681.5.015

### ALGORITHMS FOR MARINE ROBOT

M.A. Fedorova<sup>1</sup>, V.S. Gromov<sup>1</sup>, O.I. Borisov<sup>1</sup>, Y.V. Ryabukhina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ITMO University

In this work we studied mathematical models of a surface vessel and chose First-Order Nomoto Model for further research. We got estimated parameters of the robotic model of surface vessel using algorithms for identification and synthesized three control algorithms for surface vessel: proportional-derivative, proportional-integral-derivative and consecutive compensator. Research trials were conducted and they confirmed the efficiency of these algorithms.

**Key words:** surface vessel, identification, control algorithms.

Automated motion control for ships is very important. It can help to improve the quality of operation of marine vehicles and reduce the number of the crew. Moreover, automated motion control helps to reduce the consumption of fuel that is good from the economic point of view as well as from the environmental point of view. Another great advantage of automation is that it helps to avoid accidents, accordingly it saves lives of people, provides safety of the equipment and prevents pollution that happens when a vessel sinks [1–5].

When we want to design a control system for marine vessel we have to choose a mathematical model that describes its motion. Today there are a lot of such kinds of models. They can be linear and nonlinear. Linear models are easy to design and implement, but nonlinear are more accurate. We normally use linear reduced-order models to design our controller. So I chose one that refers to as the First-order Nomoto model. This model is fairly accurate, simple for the research and today heading controllers are usually based on the Nomoto model.

My main goal was to synthesize control algorithms but to accomplish that I should know the parameters of a surface vessel. That is why I studied algorithms for identification and chose two of them: the least square method and gradient algorithm.

According to this method we can find the estimated parameters using this equation:

$$\hat{\theta} = (X^T X)^{-1} X^T Y.$$

Where  $\theta$  – is a vector that contains unknown parameters;  $X$  and  $Y$  – are given and observed values.

The least square method is one of the main algorithms. It provides accurate estimated parameters but it has a drawback: you have to have a complete set of measurements. That's why the second algorithm-gradient algorithm was implemented. It can provide estimated parameters online and update them when new measurements appear.

In this method we have the following equation for estimated parameters:

$$\dot{\hat{\theta}}(t) = -\gamma \varphi(t)(y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta}(t)).$$

This algorithm provides the convergence of the parameter error to zero, but doesn't provide the convergence of the estimated parameter to its nominal value. However, if a vector  $\varphi(t)$  is persistently exciting then  $\hat{\theta}(t)$  is globally exponentially stable and estimated parameter converges to its nominal value.

We say that a vector is persistently exciting if for all  $t$  there exist  $T > 0$ ,  $\alpha > 0$  such as

$$\int_t^{t+T} \varphi(\tau)\varphi^T(\tau)d\tau \geq \alpha I.$$

In this work we got the estimated parameters of the First-order Nomoto model.

$$\ddot{x}(t) = -\frac{1}{T} \dot{x}(t) + \frac{k}{T} u(t).$$

Here we can measure only the input and the output of the model. So in order to get estimated parameters we have to apply a filter with the following transfer function:  $\frac{\lambda^n}{(s + \lambda)^n}$ .

In our case  $n = 2$ .

After we got the estimated parameters we synthesized three control algorithms: proportional-derivative, proportional-integral-derivative and consecutive compensator.

Proportional term is the main one that returns vessel to its course. The higher the parameter, the faster the system will try to reach the set-point, but also high proportional gain turns the system unstable and it oscillates around the set-point.

Integral term helps to eliminate the error that occurs because of wind, waves and current.

Derivative term helps to make the system more stable and avoid oscillations.



Fig. 1. Robotic system

PD and PID algorithms are the most common and easy to design and implement but the main advantage of the consecutive compensator is that we can use it even if we don't know the parameters of the plant. We can make the system stable by tuning to coefficients:  $k, \sigma$ .

In this work we tested out the efficiency of control algorithms on a robotic system that is shown in fig. 1.

It consists of the pool with black bottom, white robotic vessel with a red mark on a bow, vision system and computer.

First we implemented identification algorithms and got the estimated parameters of the robot. Using the least square method we got the following estimations:

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} -0.1542 \\ -0.4489 \end{bmatrix}.$$

The result of implementing gradient algorithm is shown in fig. 2, a.

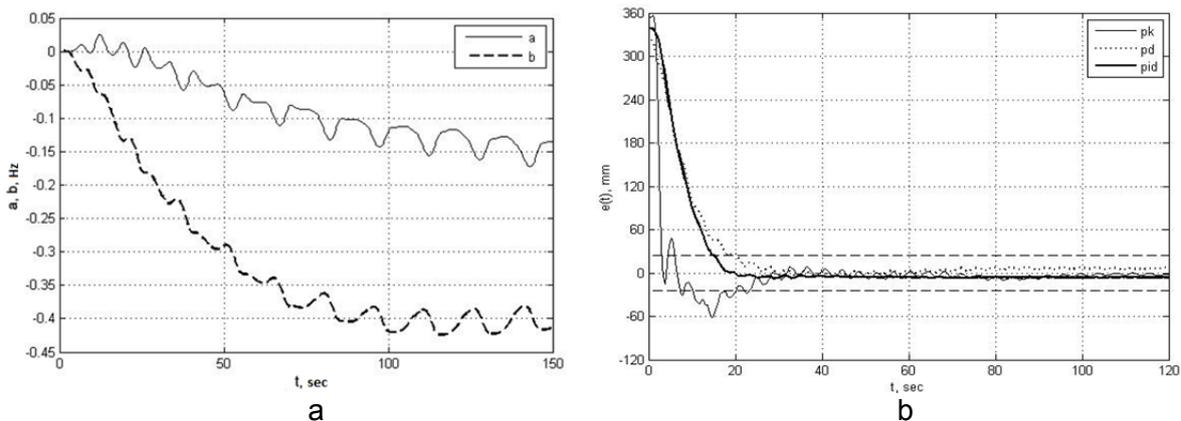


Fig. 2. Estimated parameters (a); simulation results (b)

We conducted research trials of control algorithms. In fig. 2, b, we present simulation of these algorithms. This figure shows the error graphs.

PID algorithm has the lowest response time 15 sec and consecutive compensator has the biggest response time, but on the other hand it has the smallest stable-state error.

In this work we chose First-Order Nomoto Model for further research. We got estimated parameters of the robotic model of surface vessel using algorithms for identification and synthesized three control algorithms for surface vessel: proportional-derivative, proportional-integral-derivative and consecutive compensator. And conducted research trials that confirmed the efficiency of these algorithms.

## References

- 1 Fossen Thor I. Marine Control Systems: Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles. – Trondheim: Marine Cybernetics, 2002. – 560 p.
- 2 Rigatos Gerasimos G. Modelling and control for intelligent industrial systems: adaptive algorithms in robotics and industrial engineering. – Berlin: Springer, 2011. – 379 p.
- 3 Fossen Thor I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. – Trondheim: Wiley, 2011. – 582 p.
- 4 Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Феникс, 2007. – 328 с.
- 5 Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.

УДК 681.5.015

## СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ МАКЕТОМ НАДВОДНОГО СУДНА

М.А. Федорова<sup>1</sup>, В.С. Громов<sup>1</sup>, О.И. Борисов<sup>1</sup>, А.А. Пыркин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе были идентифицированы параметры модели Номото первого порядка методом наименьших квадратов и градиентным алгоритмом. Синтезированы пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный алгоритмы управления, а также последовательный компенсатор, которые удовлетворяют заданным показателям качества. Проведены исследовательские испытания на робототехническом макете надводного судна.

**Ключевые слова:** надводное судно, идентификация, алгоритмы управления.

В настоящее время надводные суда широко используются для транспортных, военных, научных и других целей. Надводное судно является примером сложной технической системы, функционирующей в условиях нестационарной внешней среды, которой является открытое море. На движение судна влияют волны и течения, воздействие которых необходимо минимизировать. Существует множество различных алгоритмов управления движением судна, которые обеспечивают движение судна по заданному курсу, стабилизацию судна в точке, поддержание заданной скорости. Системы управления движением занимают особое положение среди судовых автоматических систем. Для них управляемым объектом оказывается корабль в целом. Автоматическое управление движением существенно повышает качество функционирования морского подвижного объекта и позволяет сократить численность экипажа. Определяющими факторами являются возможность успешного выполнения целевого назначения морского подвижного объекта, обеспечение безопасности плавания и повышение мореходности. Во многих случаях этого нельзя достичь без автоматического управления движением. Предлагаемая работа посвящена синтезу алгоритмов управления робототехническим макетом надводного судна [1–5].

В работе для описания движения судна была выбрана модель Номото первого порядка. Для синтеза алгоритмов управления необходимо знать параметры модели, поэтому была проведена идентификация этих параметров. В работе рассматривался метод наименьших квадратов и градиентный алгоритм.

В работе необходимо выполнить оценку параметров модели Номото.

$$\ddot{x}(t) = -\frac{1}{T} \dot{x}(t) + \frac{k}{T} u(t).$$

Представим данную модель в виде:

$$\ddot{\varphi} = -a\dot{\varphi} + bM,$$

где  $\varphi$  – выходная координата судна;  $M$  – управляющее воздействие;  $a = \frac{1}{T}$ ,  $b = \frac{k}{T}$ .

Перейдем к изображению Лапласа:

$$s^2\varphi(s) = -as\varphi(s) + bM(s) + D(s).$$

В данной модели измеряемыми являются только управляющее воздействие и выходная координата. Так как у данной модели производные не измеряются, то для того, чтобы выполнить оценку параметров, необходимо применить фильтр переменных состояний, имеющий передаточную функцию  $\frac{\lambda^n}{(s+\lambda)^n}$ . В данном случае  $n=2$ . Тогда,

применяя фильтр, получаем:

$$s^2 \frac{\lambda^2}{(s+\lambda)^2} \varphi(s) = -as \frac{\lambda^2}{(s+\lambda)^2} \varphi(s) + b \frac{\lambda^2}{(s+\lambda)^2} M(s) + \frac{\lambda^2}{(s+\lambda)^2} D(s).$$

Обозначим:

$$\xi_{\varphi}(s) = \frac{\lambda^2}{(s + \lambda)^2} \varphi(s)$$

$$\xi_M(s) = \frac{\lambda^2}{(s + \lambda)^2} M(s).$$

Тогда получаем:

$$s^2 \xi_{\varphi}(s) = -as \xi_{\varphi}(s) + b \xi_M(s) + \frac{\lambda^2}{(s + \lambda)^2} D(s).$$

Произведем обратное преобразование Лапласа:

$$\ddot{\xi}_{\varphi}(t) = -a \dot{\xi}_{\varphi}(t) + b \xi_M(t) + \varepsilon_{\delta}(t),$$

где  $\varepsilon_{\delta}(t)$  – является экспоненциально затухающей функцией, поэтому в дальнейших расчетах ей можно пренебречь.

Таким образом, получена модель в виде линейной регрессии:

$$\ddot{\xi}_{\varphi} = \begin{bmatrix} -\dot{\xi}_{\varphi} & \xi_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}.$$

Данный метод является методом постобработки, т.е. необходимо иметь набор измерений, по которому строится оценка параметров. Это не всегда удобно, поэтому также был рассмотрен другой метод, который позволяет получить оценку параметров в реальном времени – градиентный алгоритм, который относится к методам динамической идентификации.

Как правило, методы динамической идентификации строятся как минимизация некоторого критерия качества  $J(\hat{\theta})$ . Наибольшее распространение получили квадратичный и интегральный квадратичный критерии.

Рассмотрим квадратичный критерий:

$$J(t) = \frac{1}{2} (y(t) - \varphi^T(t) \hat{\theta}(t))^2.$$

На основе этого критерия вводится градиентный алгоритм, построенный на идее движения в направлении против градиента  $\nabla_{\hat{\theta}} J$ .

$$\dot{\hat{\theta}}(t) = -\gamma \nabla_{\hat{\theta}} J(t) = \gamma \varphi(t) e(t) = \gamma \varphi(t) (y(t) - \varphi^T(t) \hat{\theta}(t)).$$

Данный алгоритм при условии ограниченности регрессора обеспечивает асимптотическую сходимость сигнала ошибки к нулю, однако это не обеспечивает сходимости оценки параметров к истинным значениям. Для обеспечения схождения оценки к истинным значениям достаточно, чтобы регрессор удовлетворял условию неисчезающего возбуждения. Ограниченная функция  $\varphi(t)$  удовлетворяет условию неисчезающего возбуждения, если в любой момент времени существуют  $T > 0$ ,  $\alpha > 0$  такие, что:

$$\int_t^{t+T} \varphi(\tau) \varphi^T(\tau) d\tau \geq \alpha \mathbf{I},$$

где  $\mathbf{I}$  – единичная матрица.

На основе полученных оценок можно синтезировать пропорционально-дифференциальный и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД)-алгоритмы управления.

Рассмотрим влияние каждой компоненты ПИД-алгоритма управления.

Пропорциональная углу рыскания составляющая в ПИД-алгоритме является основной. При отклонении судна от курса она вызывает кладку руля, возвращающую

судно на курс. Увеличение уменьшает время возвращения судна к курсу при отклонениях от него, но увеличивает колебательность системы.

Дифференциальная составляющая служит для сведения к нулю погрешности угловой скорости. Результатом воздействия является демпфирование собственных колебаний системы. Для нестабильных на курсе судов сигнал обеспечивает устойчивость системы и требуемое качество переходного процесса. Для устойчивых на курсе судов он выполняет только вторую функцию. В системе, в которой при стабилизации курса используется только П-регулятор, возникают колебания судна относительно курса, обусловленные инертностью судна. Причина этих колебаний состоит в следующем. Вырабатываемая в ответ на отклонение от курса перекладка руля начинает возвращать судно к курсу. Но при движении к курсу судно приобрело инерцию, поэтому судно придет на заданный курс и перейдет линию курса. Это и является причиной собственных колебаний системы.

Интегральная составляющая служит для устранения статической погрешности, вызываемой медленно меняющейся компонентой момента внешних сил, стремящейся развернуть судно в какую-то одну сторону. Этот момент обусловлен действием ветра, асимметрией обводов корпуса, упора винта, медленно меняющейся составляющей действия волн и т.д.

Основным отличием последовательного компенсатора от рассмотренных выше алгоритмов управления является то, что его можно применять, если параметры системы неизвестны. Он позволяет стабилизировать систему при задании двух коэффициентов  $k$ ,  $\sigma$ .

Проверку правильности работы системы автоматического управления судном вначале лучше проводить на специальной робототехнической установке, чтобы не подвергать опасности оборудование и жизни, и здоровье людей. В данной работе исследование алгоритмов управления судном производилось на робототехнической установке, в состав которой входят: бассейн, модель надводного судна и персональный компьютер с подключенной видеокамерой. Объем бассейна – 120 л, дно бассейна окрашено в темный цвет для облегчения обнаружения судна средствами технического зрения. Для построения макета робототехнического судна за основу был взят российский траулер «Росвик». Корпус корабля окрашен в белый цвет, на носу модели закреплена красная метка, необходимая для определения угла ориентации судна.

Вначале были получены оценки параметров. По методу наименьших квадратов получили:

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} -0,1542 \\ -0,4489 \end{bmatrix}.$$

Результаты эксперимента по градиентному алгоритму представлены на рисунке, а.

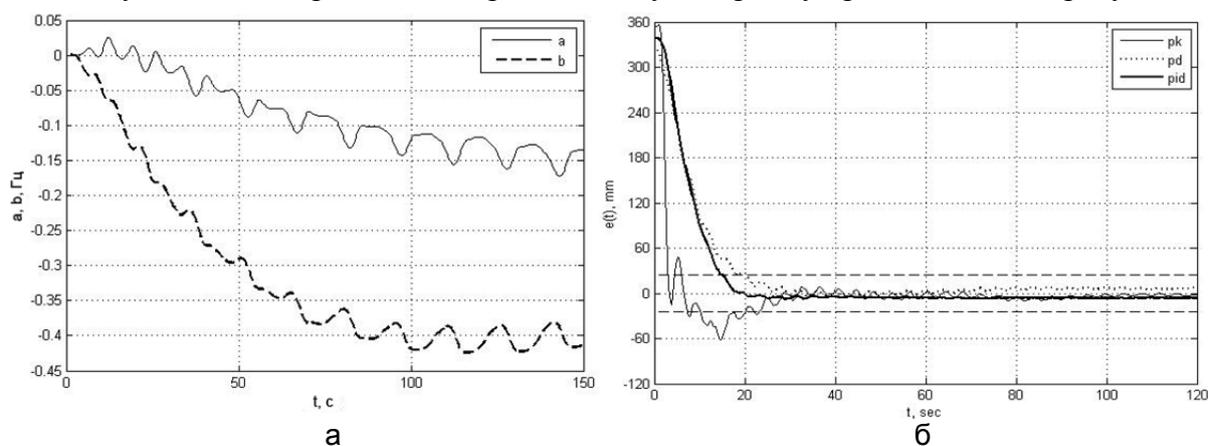


Рисунок. Графики оценки параметров модели (а); результаты экспериментальных исследований (б)

Исследование алгоритмов управления проводилось на робототехническом комплексе, рассмотренном выше. Для корабля была задана желаемая координата, где он должен стабилизироваться. Каждый эксперимент проводился в течение двух минут. По полученным данным были построены графики ошибки, которые представлены на рисунке, б, и определены показатели качества.

Проведенные эксперименты подтвердили работоспособность разработанных алгоритмов, причем наименьшим временем переходного процесса обладает ПИД закон управления, а наименьшую установившуюся ошибку обеспечивает последовательный компенсатор.

В ходе данной работы была выбрана математическая модель движения надводного судна, выбраны и исследованы алгоритмы оценивания параметров модели надводного судна. Рассмотрены два алгоритма оценивания: метод наименьших квадратов и градиентный алгоритм. Произведено моделирование алгоритмов оценивания, в результате чего получены параметры модели, на основании которых можно синтезировать регуляторы. Синтезированы алгоритмы управления: пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный и последовательный компенсатор. Проведены исследовательские испытания на робототехническом макете надводного судна. Результатом проведения исследовательских испытаний является подтверждение работоспособности разработанных алгоритмов управления судном.

### Литература

1. Fossen Thor I. Marine Control Systems: Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles. – Trondheim: Marine Cybernetics, 2002. – 560 p.
2. Rigatos Gerasimos G. Modelling and control for intelligent industrial systems: adaptive algorithms in robotics and industrial engineering. – Berlin: Springer, 2011. – 379 p.
3. Fossen Thor I. Handbook of marine craft hydrodynamics and motion control. – Trondheim: Wiley, 2011. – 582 p.
4. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп. – Одесса: Феникс, 2007. – 328 с.
5. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.

УДК 338.48

### ОБЗОР ИННОВАЦИЙ В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В.Н. Федотова<sup>1</sup>, С.А. Олехнович<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.э.н., доцент С.А. Олехнович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено понятие термина «инновации», ее сущность и основные особенности в туризме. Приведены отличительные черты характеристики инноваций в туризме. Определены основные функции инноваций в туризме. Раскрыта с использованием отечественных и зарубежных исследований роль инноваций в социально-культурном туризме.

**Ключевые слова:** инновации, туризм, инновационная деятельность в туризме, инновации в туристической отрасли, функции инноваций.

В научно-методической литературе довольно редко рассматриваются особенности инновационных процессов и внедрение инноваций в туристическую отрасль, отсутствуют точные определения и понятия, размыты критерии систематизации и типологии инноваций. В связи с этим **целью работы** являлось понятие определения

инновации в туризме, обзор и выявление ведущих типов инноваций, используемых в практике внутреннего и международного туризма. Термин «инновация» будет рассматриваться как – внедрение, введение достижений науки, передового опыта в областях управления, организации труда, технологий. Туризм – одна из важных отраслей экономики любой страны. Во многих государствах он входит в число основных источников дохода. Сфера туризма влияет на любой континент, государство или город, поскольку туризм является межотраслевой сферой экономики, которая охватывает не только средства размещения, но и транспорт, связь и многое другое. При условии успешного развития, туризм приносит определенные преимущества, с которыми связано его значение для экономик разных стран [1].

Инновации в туристической отрасли в основном рассматриваются как системные мероприятия, имеющие качественную новизну и приводящие к позитивным сдвигам, обеспечивающим устойчивое функционирование и развитие отрасли. Так, идея создания и реализации туристских проектов, даже не приносящих вначале существенной прибыли, может дать толчок развитию туризма и тем самым активно способствовать созданию дополнительных рабочих мест и росту доходов населения.

В дополнении к вышесказанному термин «инновация» подразумевает создание или применение нового продукта, изделия, оказание новой услуги или действие на рынке (организации), целью которого является привлечение потребителя, удовлетворение его потребностей и одновременно обеспечивает доход предпринимателю. Основные функции инноваций представлены на рисунке [2].

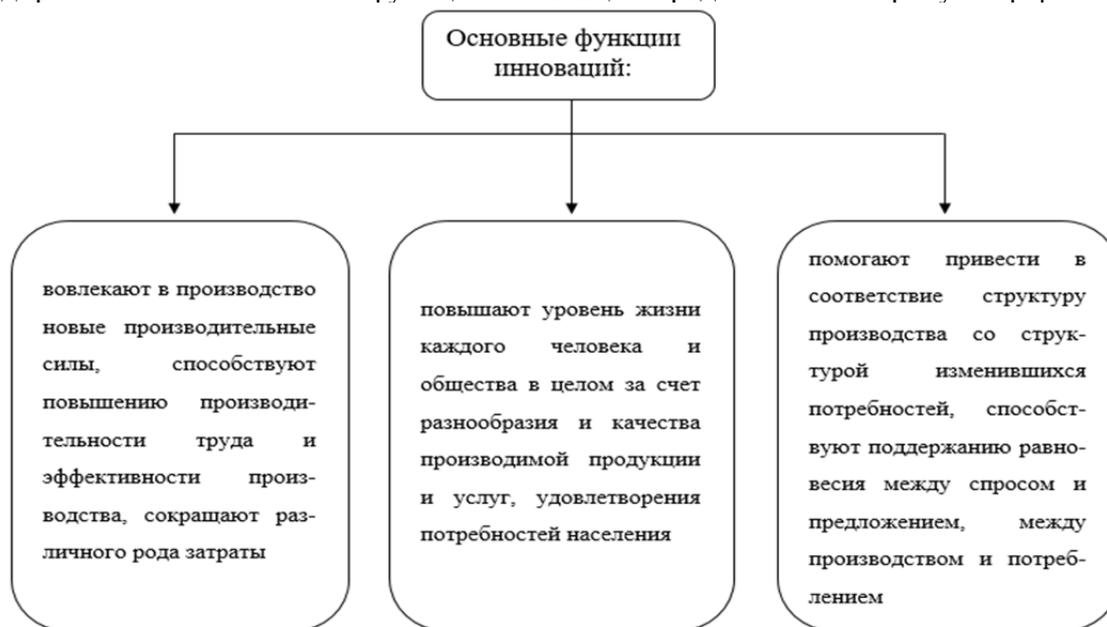


Рисунок. Основные функции инноваций

Туристическая отрасль осталась относительно незатронутой мировым экономическим кризисом. В странах организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) около 4,1% от ВВП и 6% рабочих мест приходится на туризм. Ежегодно в этих странах насчитывается более 1 млрд туристов, хотя популярные туристические направления постепенно теряют свои лидирующие позиции. Туристская деятельность оказывает значительное влияние на ключевые сектора экономики, такие как торговля, транспорт, строительство, и служит основным источником дохода некоторых государств. В связи с этим туристическую отрасль не следует рассматривать только как сферу оказания услуг организации путешествий, ведь данная отрасль служит катализатором социально-экономического развития страны.

Для того чтобы обеспечить рентабельность и эффективность данного сектора экономики, необходимо постоянно идти в ногу со временем, внедряя и используя

инновационные технологии и разработки, применение которых оказывает непосредственное влияние на развитие современного туризма, и направлено на увеличение сервисных туристических продуктов и совершенствование обслуживания клиентов.

Основную роль в инновационной деятельности всех секторов экономики составляет реализация достижений научно-технического прогресса, и туризм не является исключением. В современном мире развитие туристической отрасли во многом зависит от разработки и внедрения инновационных технологий, которые непосредственно направлены на совершенствование обслуживания клиентов (потребителей) и расширение сервисных туристических услуг.

Инновационная деятельность в сфере туризма направлена на создание нового или изменение существующего продукта, на совершенствование транспортных, гостиничных и других услуг, освоение новых рынков, внедрение передовых информационных и телекоммуникационных технологий и современных форм организационно-управленческой деятельности. На практику нового туризма влияют такие факторы, как демографические изменения (старение населения), стиль жизни, характер работы, частота и продолжительность отпусков. Люди стремятся к новым и нестандартным путешествиям. Их растущая осведомленность, новые потребности стимулируют туристский бизнес, побуждают к инновациям и нововведениям. Большинство инновационных туристских продуктов имеют свои ниши на рыночном пространстве (например, экологический, приключенческий, экстремальный туризм). Устойчиво популярен и культурно-познавательный туризм, в котором появились инновационные продукты.

Основные цели, которые преследуют инновации в туризме, – это способность реагирования на изменения, происходящие в отрасли, а также постоянное совершенствование качества продукта. Предложение путешественникам новых маршрутов пусть и связано с определенными рисками, однако в большинстве случаев может принести прибыль. Конкуренция в сфере бизнеса достаточно высокая, поэтому небольшим агентствам достаточно сложно «устоять на плаву». Для того чтобы не только удержаться, но и укрепить свои позиции, необходимы нововведения в работе, привлекающие новых клиентов. Способность заинтересовать путешественников своей деятельностью является гарантией стабильного дохода и развития бизнеса. Возможно это, лишь применяя инновации, которые выделяют компанию среди других.

Внедрение инновационных технологий в сферу туризма направлено на улучшение туристического продукта, создание новых предложений, выход на новые рынки, применение последних достижений техники в повседневной деятельности для уменьшения трудозатрат [3].

Современный туризм сильно зависит от качества и стиля жизни населения, от количества и продолжительности отпусков, достатка населения и демографических изменений, происходящих как внутри страны и так в мире. Все больше население привлекают нестандартные, ранее не традиционные путешествия. Данные потребности стимулируют туристическую отрасль внедрять различные инновационные решения.

Во все времена сфера туризма являлась пионером в вопросах, касающихся внедрения новых технологий. Бурное развитие в сфере информационных, телекоммуникационных технологий и электронный маркетинг дают новые возможности для туристической отрасли. Инновационный подход в туризме увеличивает рентабельность организаций [4].

Туризм – это локомотив социально-экономического развития. В России туриндустрия недооценена, и туристический потенциал страны не используется должным образом, что приводит к застою. На данном этапе развития отрасли необходимо кардинально улучшить оснащение турфирмы для получения должного

уровня отдачи. Качественное техническое оснащение позволит кардинально улучшить ситуацию в будущем, благодаря разработке и внедрению новых методов и технологий предоставления услуг [5].

Постоянное развитие туризма не останавливается даже несмотря на социальные, политические и экономические препятствия. Сферу туризма можно назвать первооткрывателем и экспериментатором в области внедрения современных инноваций во всех областях ее деятельности, будь то организация отдыха, методы предоставления услуг, способы реализации туристических продуктов и т.д.

На пути инновационного развития Российской Федерации остается проблема дефицита кадров. В настоящее время в нашей стране недостаточно людей, квалифицированных в области внедрения инноваций, что приводит к нерациональному использованию имеющихся ресурсов. Мировой опыт наглядно демонстрирует необходимость наличия специалистов, обладающих знаниями, навыками и опытом в области эффективного использования имеющейся ресурсной базы и качественного управления инновационной деятельностью на предприятиях.

В процессе становления на инновационный путь развития важную роль играют не только люди, принимающие участие в самой инновационной деятельности, но и те, кто связан с этой деятельностью инфраструктурными связями (например, государственные служащие).

Развитие туризма связано с внедрением новых идей по реализации туристических продуктов и услуг. В этом процессе важную роль играют работники отрасли, которые кроме выполнения своих должностных обязанностей должны делиться набираемым опытом, общаться с клиентами и выявлять их потребности, с целью последующего совершенствования предлагаемого турпродукта, делать выводы о необходимости оптимизации процессов, основываясь на собственных наблюдениях. Все это позволит рационально использовать достижения интеллектуальной деятельности человека и научно-технического прогресса в вопросе повышения эффективности труда и увеличении показателей качества и количества реализуемых товаров и услуг.

Индустрия туризма представляет собой непрерывно меняющуюся и развивающуюся систему, в которой внедрение инноваций является необходимостью. По этой причине инноватика в сфере туризма имеет большое значение. Большую роль в этом процессе играют государственные структуры, в частности, их позиция в вопросах, связанных с поддержкой инновационной деятельности на предприятиях туристической отрасли.

### Литература

1. Каурова А.Д. Организация сферы туризма: учебное пособие. – СПб.: Герда, 2008. – 368 с.
2. Тайгибова Т.Т. Инновации в туризме – как один из важнейших факторов повышения уровня социально-экономического развития Республики Дагестан // Проблемы современной экономики: материалы междунар. науч. конф. – 2011. – С. 153–156.
3. Малахова Н.Н., Ушаков Д.С. Инновации в туризме и сервисе. – Ростов н/Д: МарТ, 2008. – 224 с.
4. Швец Ю.Ю. Инновационная деятельность как средство укрепления экономического потенциала сферы туризма в регионе // Вестник ЮРГТУ (НПИ). – 2013. – № 2. – С. 85–94.
5. Калитвинцева М.В. Основные направления инновационной деятельности в туризме // Научные труды sworld. – 2011. – Т. 11. – № 3. – С. 81–85.

УДК 004.891.2

**АДМИНИСТРИРОВАНИЕ И ТЕСТИРОВАНИЕ ТЕКСТОВОЙ ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ****Е.А. Фельдина<sup>1</sup>****Научный руководитель – д.т.н. Ю.Н. Матвеев<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Университет ИТМО

В последнее время задачи естественного языка и искусственного интеллекта получают все большее распространение. Диалоговые системы, которые могут вести полноценное взаимодействие с людьми, очень давно востребованы во многих отраслях.

В работе рассмотрена текстовая диалоговая система, предназначенная для автоматизации центров поддержки, использующих любые формы текстового интерфейса. Система позволяет получить автоматическую консультацию посредством передачи коротких текстовых сообщений в режиме, близком к реальному времени.

На основании запросов пользователя система ведет уточняющий диалог и отвечает на вопросы в рамках вложенных в базу знаний тематик. База знаний содержит коммуникационные темы (приветствие, прощание), а также темы о личности виртуального консультанта. Если система не может классифицировать вопрос, как принадлежащий к одной из известных ему тематик, то она либо предлагает уточняющие вопросы из известных ей тематик, либо просит переформулировать вопрос.

Система предоставляет функции разработки и исполнения сценариев, а также возможность переключить взаимодействие с пользователем с автоматизированного на ручной режим.

Сценарий диалога представляет собой иерархический конечный автомат (Hierarchical Finite State Machine, HFSM) [1], в котором каждое состояние представляет предположение системы о намерениях пользователя. Состояние включает в себя именованный набор, состоящий из шаблонов фразы и реакции системы. Исходя из предположения о намерениях пользователя автомат переключает правила обработки наиболее приоритетных конкретных шаблонов. Например, ответы да/нет имеют разный смысл в зависимости от состояния автомата и будут обрабатываться по-разному также, как и фразы с неполным набором данных имеют смысл только в определенном контексте беседы, и реакция на них зависит от предыдущей истории диалога. HFSM позволяет корректно и гибко обрабатывать такие ситуации.

Шаблон – регулярное выражение, на основании которого обрабатывается фраза пользователя.

Сценарий состоит из следующих основных элементов:

1. граф перехода между состояниями;
2. шаблоны обработки фраз пользователя, которые могут быть как абсолютными, так и зависимыми от конкретного состояния диалога;
3. скриптовые расширения, позволяющие гибко обрабатывать различные условия, корректно интерпретировать данные, полученные от пользователя и от внешних систем, подготавливать данные для ответа;
4. набор реакций системы для каждого состояния;
5. набор текстовых данных для автоматизированной проверки корректности каждого отдельного состояния.

Шаблоны обработки фраз клиента бывают именованными. Именованные шаблоны – это регулярные выражения, обладающие именем и которые можно использовать при описании других шаблонов. Это позволяет упростить сценарий, так как обращаться к определенной группе слов (это как правило синонимы) можно по названию именованного шаблона и не дублировать всю последовательность слов. Именованный шаблон может ссылаться на другие шаблоны, однако циклические ссылки между шаблонами запрещены.

Приоритет шаблона определяется двумя параметрами:

1. количество букв, совпавших во фразе пользователя и в регулярном выражении;
2. количество букв во фразе пользователя, попавших под «\*» регулярного выражения.

Каждому шаблону соответствует реакция системы, в совокупности они образуют состояние. Состояние идентифицируется уникальным именем и путем, так как состояния могут быть вложенными.

Реакция системы – это блок описания действий, которые необходимо выполнить для данного состояния. Состояние может включать только блок реакции системы, если переход в это состояние возможен только по условию выполнения другого состояния, где указан путь до текущего состояния. Блок реакции системы может присутствовать в корневом состоянии, в этом случае он определяет действия, которые необходимо выполнить при инициализации сценария, например, сказать приветственную фразу или получить данные о пользователе из внешней системы.

К реакциям системы можно отнести:

1. вывод ответа пользователю;
2. таймаут на бездействие пользователя. Например, пользователь перестал вести диалог, система ждет некоторое заданное время, затем спрашивает: «Вы здесь?»;
3. анимация персонажа. Так как база знаний включает темы о личности консультанта, то в случае если пользователь затронет тему внешности консультанта, реакция системы будет состоять из вывода ответа и демонстрацию соответствующей анимации;
4. вывод формы для оценки ответа. Необходим для начальной разработки и анализа системы.

В работе проведен анализ архитектуры текстовой диалоговой системы, раскрыты понятия основных элементов такой системы [2, 3].

### Литература

1. Harel D. Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems // Science of Computer Programming. – 1987. – V. 8(3). – P. 231–274.
2. McTear M.F. Spoken Dialogue Technology: Toward the Conversational User Interface. – Изд-во Springer, 2004. – 431 p.
3. Jokinen K. Constructive Dialogue Modelling: Speech Interaction and Rational Agents. – Изд-во John Wiley, 2009. – 181 p.

### УДК 62-52

#### АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОТЛОАГРЕГАТА

Н.А. Фролков<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.Л. Лазарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Рассмотрены особенности технологического процесса производства пара с заданными параметрами для подогрева сетевой воды, которая поступает в систему отопления. Проведен анализ системы управления процессом производства насыщенного пара. Предложены перспективные рекомендации по модернизации системы управления технологическим процессом, направленные на повышение эффективности функционирования котлоагрегата.

**Ключевые слова:** котлоагрегат, система управления, эффективность.

При наладке и эксплуатации котлоагрегата необходимо обеспечить оптимальное соотношение между производимой и потребляемой энергией с учетом потерь. Вследствие этого задачи управления процессом производства пара сводятся в основном к необходимости поддержания материального и энергетического баланса в котле.

В данной работе анализировался единый комплекс, состоящий из котлоагрегата типа ДКВр и его системы управления. Эффективность котлоагрегата в значительной мере зависит от функционирования системы управления.

Рассматриваемый котлоагрегат является объектом управления и относится к широко распространенной серии котлов типа ДКВр – это двухбарабанный котел, вертикально-водотрубный, реконструированный. Эти котлы могут потреблять разнообразное топливо, обладают естественной циркуляцией воды и вырабатывают тепловую энергию в виде пара с заданными параметрами в зависимости от модификации котла. Данный котлоагрегат является продукцией ЗАО «ТЭП-Холдинг» и установлен во многих автоматизированных котельных [1–3].

Для осуществления решений, принятых в государственной программе «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» [4], необходимо проводить работу по организации и внедрению технологических процессов и оборудования, направленных на повышение эффективности использования топливно-энергетических природных ресурсов.

При наличии материального и энергетического баланса котлоагрегат работает в стационарном режиме, который характеризуется постоянством во времени технологических параметров. Переменные или переходные процессы возникают при различных нарушениях стационарного режима работы. При этом меняются все или некоторые показатели работы котлоагрегата. Для стабилизации параметров необходимо подать такие управляющие воздействия, чтобы в более короткий срок восстановить в котлоагрегате материальный и энергетический баланс [5, 6].

В котлоагрегатах ДКВр на заданном значении необходимо поддерживать четыре основных технологических параметра: уровень воды в верхнем барабане, соотношение топлива и воздуха, разрежение в топочной камере, давление пара. Для управления уровнем воды необходимо воздействовать на подачу питательной воды. В процессе горения топлива необходимо осуществлять управление соотношением топлива и воздуха, разрежением в топке, давлением пара. Таким образом, существуют две основные задачи управления котлоагрегатом: управление уровнем воды и процессом горения топлива [7, 8].

Надежность работы котельного агрегата во многом определяется качеством управления уровнем воды в барабане котла. Снижение уровня ниже допустимых пределов приводит к нарушению циркуляции воды в экранных трубах, в результате чего происходит повышение температуры стенок обогреваемых труб и возможен их пережог. Значительное повышение уровня воды в барабане также может привести к аварии, так как при этом возможен заброс воды в паровую магистраль. Паровым котлам с естественной циркуляцией воды присуща значительная аккумулирующая способность, которая проявляется в переходных режимах. Если в стационарном режиме положение уровня в барабане котла определяется состоянием материального баланса, то в переходных режимах на положение уровня воды влияют возмущающие воздействия:

- изменение расхода питательной воды;
- изменение паропроизводительности котла при изменении нагрузки потребителем;
- изменение паропроизводительности котла при изменении нагрузки топки;
- изменение температуры питательной воды.

Возмущение расходом питательной воды может происходить как при управляющем воздействии, так и при изменении давления в питательной магистрали. При нанесении возмущения расходом питательной воды в первоначальный момент времени наблюдается изменение уровня в сторону, не соответствующую знаку возмущающего воздействия. Это происходит потому, что увеличение подачи холодной питательной воды вызывает понижение температуры всей пароводяной смеси и соответственное уменьшение объема пара в барабане и циркуляционной системе. С

увеличением разности температуры воды, поступающей в котел, и температуры насыщения такое отклонение проявляется в большей степени.

Возмущение нагрузкой потребителем при стабильном расходе топлива приводит к изменению давления в барабане котла. При увеличении нагрузки потребителем давление в барабане падает, что вызывает соответствующее увеличение удельного объема пара в пароводяной смеси. Кроме того, при уменьшении давления снижается температура кипения воды в циркуляционном контуре, и за счет тепла аккумуляции происходит дополнительное парообразование, что приводит к увеличению паросодержания. Увеличение объема пара в циркуляционном контуре вследствие увеличения паросодержания и удельного объема вызывает повышение уровня воды в барабане. При увеличении давления в котле повышается температура кипения. В связи с этим часть тепла, воспринятая экранными трубами, расходуется на дополнительный подогрев воды до температуры кипения. Парообразование при этом уменьшается, соответственно снижается паросодержание в экранных трубах и в барабане, и, кроме того, уменьшается удельный объем пара. Все это вызывает падение уровня воды. Таким образом, изменение паровой нагрузки при неизменном расходе питательной воды и топлива в начальный момент времени вызывает повышение уровня. Через некоторое время уровень начинает изменяться в сторону, определяемую знаком материального небаланса, и в дальнейшем устанавливается постоянная скорость изменения уровня воды.

Характер переходного процесса по уровню воды при возмущении расходом топлива и неизменном расходе питательной воды аналогичен характеру переходного процесса при возмущении нагрузкой потребителем. Однако здесь отмечены существенные особенности. Дело в том, что при увеличении нагрузки потребителем за счет аккумулированного тепла происходит дополнительное парообразование и одновременно увеличение удельного объема пара, т.е. оба эти фактора влияют на изменение уровня воды в одном направлении. В случае же изменения расхода топлива изменяется парообразование и одновременно идет процесс аккумуляции тепла, при этом воздействие этих факторов на изменение уровня проявляется по-разному. Так, увеличение парообразования в испарительном контуре при увеличении расхода топлива вызывает повышение уровня. В то же время увеличивается давление, сопровождаемое уменьшением удельного объема пара и повышением температуры кипения и, как следствие, уменьшением парообразования, что вызывает снижение уровня. Таким образом, при возмущении расходом топлива в испарительном контуре котла протекают одновременно два противоположных процесса, и повышение уровня проявляется в несколько меньшей степени, чем в случае возмущения нагрузкой потребителем.

При увеличении температуры питательной воды и постоянном обогреве увеличивается парообразование в испарительном контуре котла. В результате этого уровень воды в барабане повышается. В дальнейшем увеличение парообразования при постоянном расходе пара потребителем приводит к повышению давления в барабане котла и, как следствие этого, к уменьшению удельного объема пара и сокращению парообразования, что вызывает снижение уровня воды. Таким образом, реакция объекта управления на изменение температуры питательной воды аналогична его поведению при изменении расхода топлива.

Котлоагрегат как объект управления давлением пара упрощенно можно представить в виде двух последовательно соединенных частей системы: топки и испарительного контура котла. Управляемым параметром является давление пара в барабане, а управляющим воздействием является изменение подачи топлива в топку и воздуха, необходимого для горения. При изменении расхода топлива и воздуха изменяется количество тепла, которое воспринимается котельным агрегатом. При изменении давления изменяются термодинамические свойства воды и пара. Увеличение давления сопровождается повышением температуры кипения воды и соответственно

увеличением теплосодержания, и наоборот. По этой причине с повышением давления происходит аккумуляция тепла в рабочем теле и уменьшение количества вырабатываемого пара. При падении давления расход пара увеличивается за счет аккумулярованного тепла. Скорость изменения давления пара в барабане при нарушении материального баланса пропорциональна разности между воспринятым теплом и теплом, ушедшим с паром.

Управление процессом горения топлива, происходящего в котлоагрегате, должно обеспечивать непрерывную подачу тепла топливом в количестве, необходимом для покрытия расхода тепловой энергии с паром, выработанным котлом, и восполнения потерь, появляющихся при работе котельной установки. Для выделения тепла при сжигании топлива в топку должно быть подано определенное количество воздуха, содержащего кислород. Подача избыточного количества воздуха приводит к увеличению потерь с уходящими газами, а недостаток воздуха может вызвать появление химической неполноты сгорания топлива. Задача управления процессом горения состоит в поддержании на заданном значении соотношения расхода топлива и давления воздуха, при котором обеспечиваются оптимальные условия эффективного использования топлива.

Управление процессом горения в топке котельного агрегата осуществляется не только при регулировании расхода топлива и расхода воздуха, но и при поддержании разрежения в топке на оптимальном значении. При оптимальном значении разрежения снижаются избыточные притоки воздуха в топку, и уменьшается выбивание дымовых газов из топки в пространство котельного цеха. Как объект управления разрежением топка обладает значительным самовыравниванием и малым запаздыванием в системе управления котлоагрегатом.

Повышению эффективности котлоагрегата может способствовать организация вспомогательных систем управления дополнительными параметрами, которые могут оказывать влияние на технологический процесс.

С точки зрения повышения коэффициента полезного действия котлоагрегата при различных климатических условиях его эксплуатации предлагается организация и внедрение системы управления температурой и влажностью воздуха, который направляется в топку котла с помощью дутьевого вентилятора для процесса горения топлива. В этом случае можно достигнуть улучшения химической полноты сгорания топлива в топке для повышения эффективности функционирования котлоагрегата.

Предложенная рекомендация может благотворно повлиять на экологическую эффективность предприятия, так как концентрации загрязняющих веществ, которые могут возникать при неполном сгорании топлива, в городском воздухе часто превосходят предельно допустимые значения, становятся опасными для здоровья человека, наносят материальный ущерб зданиям и сооружениям. В этом случае можно порекомендовать организацию и внедрение системы экологического мониторинга с использованием специальных фильтров и технических средств автоматизации для осуществления контроля и обеспечения минимизации выбросов вредных веществ в окружающую среду.

### Литература

1. Официальный сайт ЗАО «ТЭП-Холдинг» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tep-holding.ru>, своб.
2. Официальный сайт ОАО «Бийский котельный завод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bikz.ru>, своб.
3. Официальный сайт ГУП «ТЭК СПб» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gptek.spb.ru>, своб.
4. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minenergo.gov.ru>, своб.
5. Сергеев А.В. Топливное хозяйство котельных. – СПб.: ДЕАН, 2007. – 319 с.
6. Сергеев А.В. Тепломеханическое оборудование котельных. Справочное учебное

- пособие для персонала котельных. – СПб.: ДЕАН, 2012. – 255 с.
7. Соколов Б.А. Котельные установки и их эксплуатация. – М.: Академия, 2005. – 429 с.
  8. Соколов Б.А. Основы теплотехники. Теплотехнический контроль и автоматика котлов. – М.: Академия, 2013. – 128 с.

УДК 681.786

## ПРИМЕНЕНИЕ КВАТЕРНИОНОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ОПТИМИЗАЦИИ ОТРАЖАТЕЛЯ

В.Ф. Хоанг<sup>1</sup>, И.А. Коняхин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрено применение кватернионов для расчета параметров отражателя. Кватернионный способ имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами описания вращательного движения отражателя автоколлимационной измерительной системы, установленного на контролируемом твердом теле.

**Ключевые слова:** кватернионы, отражатель, автоколлиматор, вращательное движение.

**Введение.** В настоящее время зеркальные и зеркально-призмные системы (ЗПС) широко используются для космической измерительной техники, для создания оборачивающих систем в оптических системах, для расширения области применения зрительных труб и биноклей и т.д. Рассматриваются вопросы получения новых свойств ЗПС и методов их расчета. Для расчета параметров ЗПС применяются различные математические методы: сферическая тригонометрия, векторное и векторно-матричное исчисление, методы конечного поворота. Такие методы достаточно трудоемки, так как требуются для решения задачи пересчета операторов действия ЗПС из одной системы координат в другую. Более просто задачи такого типа решаются с помощью кватернионов без учета смены системы координат в пространстве [1].

Аппарат кватернионов – четырехмерные гиперкомплексные числа со специальными правилами умножения:

$$Q = \lambda_0 + \lambda_1 i_1 + \lambda_2 i_2 + \lambda_3 i_3, \quad (1)$$

где  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  – вещественные числа, а  $i_1, i_2, i_3$  – мнимые единицы со следующим свойством:  $i_1^2 = i_2^2 = i_3^2 = i_1 i_2 i_3 = -1$ .

Кватернион  $Q$  может записать в виде формальной суммы скалярной части  $\lambda_0$  и векторной части  $\vec{\lambda}$ :

$$Q = \lambda_0 + \lambda_1 \vec{i}_1 + \lambda_2 \vec{i}_2 + \lambda_3 \vec{i}_3 = \lambda_0 + \vec{\lambda}. \quad (2)$$

По аналогии с комплексными числами для кватерниона  $Q = \lambda_0 + \vec{\lambda}$  определяется сопряженный кватернион  $\tilde{Q}$  следующего вида:

$$\tilde{Q} = \lambda_0 - \vec{\lambda}. \quad (3)$$

Нормой кватерниона  $Q$  называется произведение этого кватерниона на его сопряженное значение  $\tilde{Q}$ :

$$\|Q\| = Q \circ \tilde{Q} = \lambda_0^2 + (\vec{\lambda}, \vec{\lambda}) = \sum_{k=0}^3 \lambda_k^2. \quad (4)$$

Кватернионом, обратным к  $Q$ , называется кватернион  $Q^{-1}$ , определяемый из условия:

$$Q \circ Q^{-1} = Q^{-1} \circ Q = 1. \quad (5)$$

**Применение кватернионов в задачах расчета ЗПС.** Кватернионы удобны для описания поворотов. Для этого используется его тригонометрическая форма.

Кватернион поворота на угол  $\varphi$  вокруг оси, заданной ортом  $\vec{\eta}$ , имеет вид:

$$Q = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \vec{\eta} \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right). \quad (6)$$

Рассмотрим задачу, подразумеваемую вращение ЗПС вокруг некоторой оси.

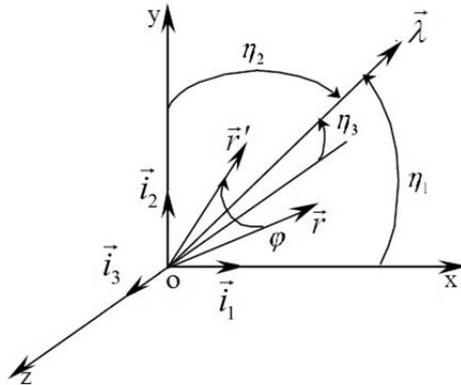


Рис. 1. Поворот вокруг произвольного вектора

При этом вращение вектора вокруг произвольной оси (рис. 1) может представить в кватернионном виде:

$$\vec{r}' = Q \circ \vec{r} \circ \tilde{Q}, \quad (7)$$

где  $\vec{r}'$  – вектор, полученный вращением вектора  $\vec{r}$  вокруг оси  $\vec{\lambda}$  на угол  $\varphi$ ,  $Q, \tilde{Q}$  – собственный кватернион поворота и его сопряженный кватернион [2].

Кватернион поворота  $Q$  имеет следующий вид:

$$Q = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \eta_1 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \vec{i}_1 + \eta_2 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \vec{i}_2 + \eta_3 \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) \vec{i}_3, \quad (8)$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – направляющие косинусы вектора поворота  $\vec{\lambda}$ ;  $\vec{i}_1, \vec{i}_2, \vec{i}_3$  – единичные векторы осей координат.

Кватернионы позволили получить формулу для угла поворота пространства и координат орта оси поворота для двух поворотов относительно пересекающихся осей. Для этого достаточно перемножить следующие кватернионы:

$$Q = \lambda_0 + \lambda_1 \vec{i}_1 + \lambda_2 \vec{i}_2 + \lambda_3 \vec{i}_3$$

$$M = \mu_0 + \mu_1 \vec{i}_1 + \mu_2 \vec{i}_2 + \mu_3 \vec{i}_3$$

и результат представляет как кватернион, имеющий вид:

$$N = Q \circ M = j_0 + j_1 \vec{i}_1 + j_2 \vec{i}_2 + j_3 \vec{i}_3$$

$$j_0 = \lambda_0 \mu_0 - \lambda_1 \mu_1 - \lambda_2 \mu_2 - \lambda_3 \mu_3$$

$$j_1 = \lambda_0 \mu_1 + \lambda_1 \mu_0 + \lambda_2 \mu_3 - \lambda_3 \mu_2$$

$$j_2 = \lambda_0 \mu_2 - \lambda_1 \mu_3 + \lambda_2 \mu_0 + \lambda_3 \mu_1$$

$$j_3 = \lambda_0 \mu_3 + \lambda_1 \mu_2 - \lambda_2 \mu_1 + \lambda_3 \mu_0. \quad (9)$$

В результате получают полные данные о результирующем положении оси и угле поворота пространства [3].

### Описание зеркального отражения с использованием кватернионов.

Кватернионы рассматриваются как суммы скалярного и трехмерного векторного значений. Можно использовать кватернионы для расчета отражений. При этом форма кватерниона для представления отражения имеет следующий вид: реальная часть равна нулю, а мнимая часть представляет нормаль к плоскости отражения (рис. 2):

$$Q_R = \eta_1 \vec{i}_1 + \eta_2 \vec{i}_2 + \eta_3 \vec{i}_3, \quad (10)$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – направляющие косинусы нормали  $\vec{n}$  к плоскости отражения.

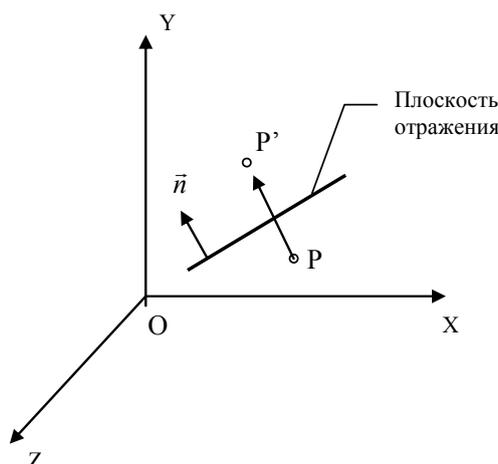


Рис. 2. Отражение точки

Получаем формулу для преобразования координат:

$$P' = Q_R \circ P \circ Q_R, \quad (11)$$

где  $P'$  – координата точки, полученной отражением точки  $P$ .

Результаты сравнения кватернионов для поворотов и отражений приведены в таблице.

Таблица. Сравнение кватернионов для поворотов и отражений

	Повороты	Отражения
Преобразование координат	$P' = Q_R \circ P \circ \tilde{Q}_R$	$P' = Q_R \circ P \circ Q_R$
Комбинация преобразования	$Q_1 \circ Q_2$ Перемножение определяет кватернион, представляющий собой комбинацию из двух отдельных вращений	В этом случае не может совместить отражения. Объединение двух отражений дает вращение, но нельзя сделать это путем простого умножения двух кватернионов
Реальная часть	Реальная часть определяется величиной (углом) вращения	Реальная часть равна нулю (не несет информации об отражении)
Сопряженный кватернион	Сопряженный кватернион определяется как обратный	Сопряженный кватернион эквивалентен самому себе

**Применение кватернионов в задачах расчета параметров зеркально-призмной системы.** Вид матрицы  $M_d$  действия зеркально-призмной системы определяется ориентацией, характерной собственной оси с ортом  $\mathbf{u}$  – основного неизменного направления (ОИН). В общем случае под неизменным направлением зеркально-призмной системы понимается направление свободного вектора  $\mathbf{U}$ , называемого также собственным вектором, которое не меняется (или меняется на противоположное) после преобразования вектора системой (рис. 3).

Изменение направления луча при отражении от зеркально-призмной системы может трактоваться как поворот орта луча на угол  $\omega = 180^\circ - \Delta$  ( $\Delta$  – малый угол) относительно оси с ортом  $\mathbf{u}$  ОИН [4]. Тогда кватернион преобразования направления имеет вид:

$$Q_r = \cos\left(\frac{\omega}{2}\right) + \sin(\alpha)\sin(\beta)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\vec{i}_1 + \cos(\alpha)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\vec{i}_2 + \sin(\alpha)\cos(\beta)\sin\left(\frac{\omega}{2}\right)\vec{i}_3, \quad (12)$$

где  $\alpha, \beta$  – зенитный и азимутальный углы основного неизменного направления [5].

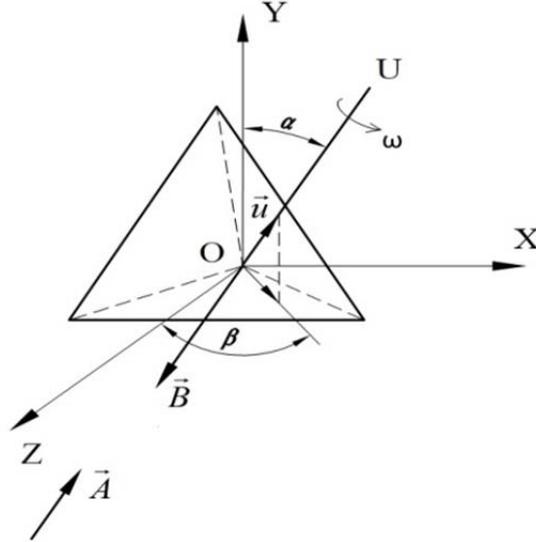


Рис. 3. Отражатель с ОНН

При нечетном числе отражений в ЗПС, отраженный луч имеет противоположное направление, т.е. в ЗПС имеется инверсия. Инверсия направления отраженного луча эквивалента отражению падающего луча от плоскости, нормаль к которой параллельна ОНН [6]. Согласно формуле (10), кватернион отражения имеет вид:

$$Q_p = \sin(\alpha)\sin(\beta)\vec{i}_1 + \cos(\alpha)\vec{i}_2 + \sin(\alpha)\cos(\beta)\vec{i}_3. \quad (13)$$

Таким образом, кватернион действия ЗПС полностью имеет следующий вид:

$$Q_d = Q_p \circ Q_r. \quad (14)$$

Скалярная и векторные части кватерниона  $Q_d$  вычисляются по формуле (9).

Согласно формулам (7), (11) и (14), отраженный луч определяется следующим выражением:

$$B = Q_p \circ Q_r \circ A \circ \tilde{Q}_r \circ Q_p, \quad (15)$$

где  $\tilde{Q}_r$  – сопряженный кватернион  $Q_r$ . Падающий и отраженный лучи при четном числе отражений в ЗПС – направленные, при нечетном числе отражений – противоположные [7].

Пусть падающий луч  $\vec{A}$  параллелен оси OZ, преобразование координат осуществляется при повороте относительно оси OX на угол  $\Theta_1$ , относительно оси OY – на угол  $\Theta_2$  и относительно оси OZ – на угол  $\Theta_3$ . Такой порядок преобразования координат эквивалент повороту относительно некоторой оси N с ортом  $\vec{n}$  на некоторый угол  $\varphi$  (рис. 4, а), который описывается кватернионом:

$$Q_R = \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) + \sin(\xi)\sin(\delta)\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\vec{i}_1 + \cos(\xi)\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\vec{i}_2 + \sin(\xi)\cos(\delta)\sin\left(\frac{\varphi}{2}\right)\vec{i}_3, \quad (16)$$

где  $\xi, \delta$  – зенитный и азимутальный углы оси поворота N.

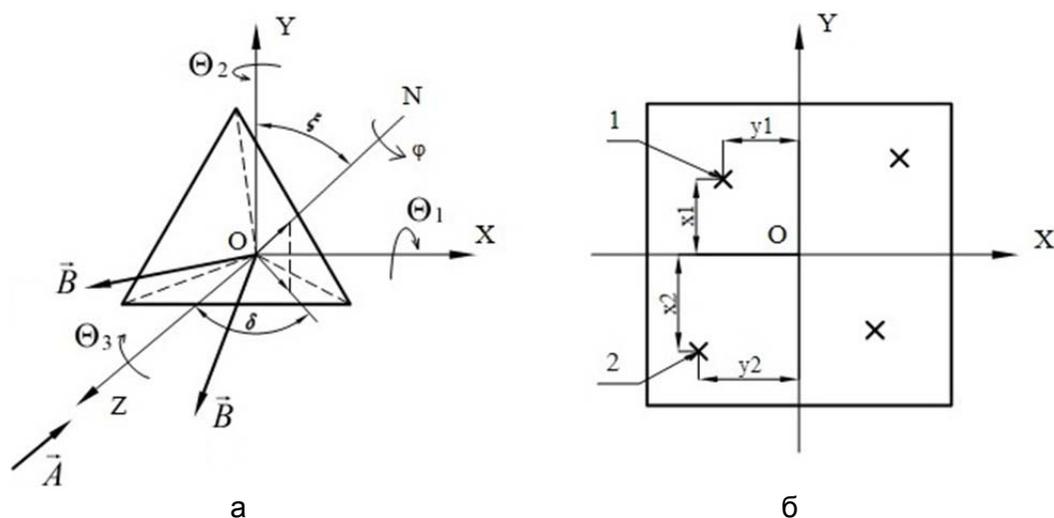


Рис. 4. Отражатель с поворотами относительно осей координат (а); изображение марки автоколлиматора в фокальной плоскости приемного объекта (б)

Отраженный луч после преобразования координат:

$$B = Q_R \circ Q_p \circ Q_r \circ \tilde{Q}_R \circ A \circ Q_R \circ \tilde{Q}_r \circ Q_p \circ \tilde{Q}_R, \quad (17)$$

здесь  $\tilde{Q}_R$  – сопряженный кватернион,  $Q_R$  – является кватернионом обратного преобразования.

Для измерений положения оси N и угла поворота  $\varphi$  используются два основных неизменных направления, которые лежат в одной плоскости и симметрично относительно оси координат. Отраженные пучки строят в фокальной плоскости объектива автоколлиматора изображения 1, 2 марки автоколлиматора (рис. 4, б) [8].

Координаты изображения 1, 2 марки автоколлиматора определяются по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} X &= f \operatorname{tg} \left[ \arcsin \sqrt{(Bx)^2 + (By)^2} \right] \frac{Bx}{\sqrt{(Bx)^2 + (By)^2}}, \\ Y &= f \operatorname{tg} \left[ \arcsin \sqrt{(Bx)^2 + (By)^2} \right] \frac{By}{\sqrt{(Bx)^2 + (By)^2}}, \end{aligned} \quad (18)$$

где  $Bx, By$  – координаты отраженного луча B по оси OX и оси OY;  $f$  – фокусное расстояние объектива.

Координаты  $Bx$  и  $By$  – функции зависимости от параметров положения оси N и угла поворота  $\varphi$ . Решив систему уравнений (18) с заданными значениями координат X и Y изображения 1, 2 марки, получаем параметры положения оси N и угла поворота  $\varphi$ . Таким образом, погрешность измерения параметров положения оси N и угла поворота  $\varphi$  зависит от погрешности измерения координат X и Y изображения 1, 2 марки, определяемых с помощью вычисленного блока.

**Вывод.** С помощью кватернионов более эффективно решаются задачи на определение параметров конечного поворота твердого тела и задачи сложения поворотов. Применение кватернионов позволяет уменьшить методическую погрешность вследствие смены системы координат при расчете параметров отражателя для автоколлимационных измерений. Это следует из того, что в известном алгоритме автоколлимационных измерений по измеренным величинам смещений изображений определяются три виртуальных угла эквивалентных последовательных поворотов объекта относительно трех координатных осей, в то время как по методу кватернионов вычисляются непосредственно координаты действующей оси поворота и угол поворота объекта относительно нее [9].

## Литература

1. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.: Наука, 1973. – 320 с.
2. Побегайло А.П. Применение кватернион в компьютерной геометрии и графике. – Минск: БГУ, 2010. – 216 с.
3. Грейм И.А. Зеркально-призменные системы. – М.: Машиностроение, 1981. – 125 с.
4. Коняхин И.А., Панков Э.Д. Трехкоординатные оптические и оптико-электронные угломеры: справочник. – М.: Недра, 1991. – 224 с.
5. Бронштейн Ю.Л. Крупногабаритные зеркальные системы (контроль геометрии, юстировка). – М.: ДПК Пресс, 2013. – 480 с.
6. Сивцов Г.П. Пространственные оптические системы: монография. – Новосибирск: СГГА, 2011. – 332 с.
7. Погарев Г.В., Киселев Н.Г. Оптические юстировочные задачи: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1989. – 260 с.
9. Коняхин И.А., Тургалиева Т.В. Трехкоординатный цифровой автоколлиматор // Оптический журнал. – 2013. – Т. 80. – № 12. – С. 74–81.

УДК 681.7.064.454

### ПОИСК УСЛОВИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПРОСВЕТЛЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ ВО ВСЕХ ТОЧКАХ СФЕРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ МАЛОГО РАДИУСА

Хоанг Тхань Лонг<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н., доцент Л.А. Губанова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе приведена методика поиска распределения геометрической толщины, позволяющего получить равномерное распределение энергетического коэффициента отражения просветляющего покрытия по сферической поверхности малого радиуса (2–12 мм).

**Ключевые слова:** просветляющее покрытие, зона просветления, оптическая деталь малого радиуса.

**Введение.** Развитие современного оптического приборостроения направлено на увеличение качества оптических систем, уменьшения их веса и, соответственно, габаритов. С этой целью разрабатываются системы, состоящие из малогабаритных оптических элементов, к которым предъявляются высокие требования по всем параметрам [1]. Обычно в состав микрооптических приборов входят до нескольких десятков оптических элементов малого (до 12 мм) радиуса кривизны. Развитие оптического приборостроения невозможно без новейших интерференционных покрытий. Для повышения эффективности микролинз, на их поверхностях обычно наносят просветляющие покрытия, задачей которых является не только увеличение коэффициента пропускания оптической системы, но и корректировка цветопередачи всей оптической системы [2]. В работе рассмотрена необходимость создания интерференционных слоев, у которых имеется некоторое распределение геометрической толщины, для максимального снижения коэффициента отражения на краю оптического элемента и увеличения относительного размера зоны просветления.

**Теоретический анализ.** Для решения поставленных задач использованы основные положения теоретических моделей, которые описывают спектральные характеристики многослойных интерференционных покрытий.

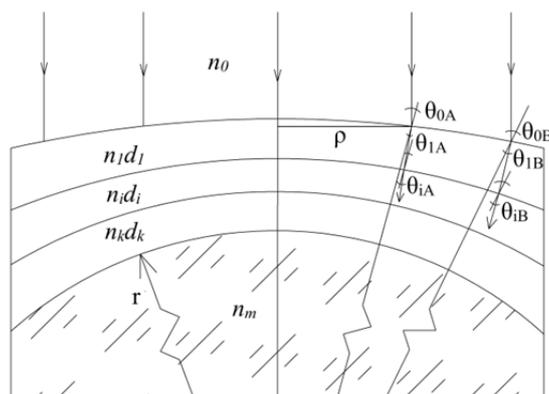


Рис. 1. Схема прохождения излучения через интерференционную систему

Рассмотрим схему прохождения излучения через интерференционную систему, расположенную на оптическом элементе малого радиуса  $r$  (рис. 1). Пусть слои на границе раздела двух сред характеризуются показателем преломления  $n_i$  и равномерной геометрической толщиной  $d_i$ , а показатель преломления оптического элемента, на котором расположено покрытие,  $n_m$ . Излучение падает из воздуха, т.е.  $n_0=1$ .

При нормальном падении светового излучения на оптический элемент фазовая толщина  $i$ -го слоя, например, как показано на рис. 1, для точек  $A$  и  $B$ , могут быть определены из следующих соотношений [1]:

$$\varphi_{iA} = 2\pi n_i d_i \lambda^{-1} \cos \theta_{iA},$$

$$\varphi_{iB} = 2\pi n_i d_i \lambda^{-1} \cos \theta_{iB},$$

где  $\theta_{iA}$ ,  $\theta_{iB}$  – углы падения излучения на поверхность оптического элемента;  $\lambda$  – длина волны. При этом  $\theta_{iA} \neq \theta_{iB}$ ,  $\theta_{iA} = \arcsin(\rho \cdot r^{-1})$ .

Если свет падает нормально на прозрачную среду, то угол падения излучения из воздуха для каждой точки с координатой  $\rho$ , расположенной на поверхности сферического элемента радиуса  $r$ , можно рассчитать с помощью схемы прохождения излучения, представленной на рис. 1:

$$\sin \theta_0 = \rho \cdot r^{-1} \rightarrow \theta_0 = \arcsin(\rho \cdot r^{-1}).$$

А углы распространения излучения в  $i$ -ом слое определяются из закона Снеллиуса:

$$\theta_i = \arcsin((n_0 \cdot \sin \theta_0) \cdot n_i^{-1}) = \arcsin((n_0 \rho r^{-1}) n_i^{-1}).$$

Если излучение распространяется в слоях, формирующих покрытие, под некоторым углом, то его фазовая толщина для каждой точки может быть определена из соотношения:

$$\varphi_i = 2\pi n_i d_i \lambda^{-1} \cos \theta_i.$$

Из формулы видно, что если  $n_i$ ,  $d_i$  и  $\lambda$  постоянны, то с увеличением угла преломления  $\theta_i$  значение фазовой толщины будет уменьшаться, и это нарушает условие просветления. Чтобы фазовая толщина оставалась неизменной необходимо создать меняющиеся слои, толщина которых различна в каждой точке детали. Изменение геометрической толщины слоев будет корректировать изменение значения угла падения излучения на поверхность оптического элемента.

Геометрическая толщина слоя может быть определена из отношения:

$$d_i = \varphi_i \lambda (2\pi n_i \cos \theta_i)^{-1}. \quad (1)$$

Для интерференционных покрытий эта величина определяется в зависимости от конкретной конструкции покрытия, показателя преломления оптического материала.

Если воспользоваться матричным методом расчета энергетических характеристик тонкослойных интерференционных систем, то следует учесть, что при падении

излучения в точку, удаленную от центра оптического элемента на некоторое расстояние  $\rho$ , для  $S$  и  $P$  компоненты матрицы интерференции будут отличаться [3]:

$$\mathbf{M}^S = \sum_{i=1}^k \mathbf{M}_i^S = \begin{bmatrix} m_{11}^S & m_{12}^S \\ m_{21}^S & m_{22}^S \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M}^P = \sum_{i=1}^k \mathbf{M}_i^P = \begin{bmatrix} m_{11}^P & m_{12}^P \\ m_{21}^P & m_{22}^P \end{bmatrix},$$

где  $\mathbf{M}_i^S$  и  $\mathbf{M}_i^P$  – матрицы интерференции для  $S$  и  $P$  компонентов  $i$ -го слоя:

$$\mathbf{M}_i^S = \begin{bmatrix} \cos \varphi_i & \frac{i \sin \varphi_i}{n_i^S} \\ in_i^S \sin \varphi_i & \cos \varphi_i \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M}_i^P = \begin{bmatrix} \cos \varphi_i & \frac{i \sin \varphi_i}{n_i^P} \\ in_i^P \sin \varphi_i & \cos \varphi_i \end{bmatrix},$$

где  $n^S$  и  $n^P$  – эффективные показатели преломления материалов, из которых изготовлены слои и оптический элемент. Эти величины могут быть определены следующим образом:

$$\begin{cases} n_i^S = n_i \cos \theta_i = n_i \arccos(n_0 \rho r^{-1} n_i^{-1}) \\ n_i^P = n_i (\cos \theta_i)^{-1} = n_i \arccos(n_0 \rho r^{-1} n_i^{-1})^{-1} \end{cases}$$

Энергетический коэффициент отражения для неполяризованного излучения, равен:

$$R = (|r_S|^2 + |r_P|^2) / 2,$$

где  $r_S$  и  $r_P$  – амплитудные коэффициенты отражения для  $s$  и  $p$  компонентов.

Проведенные выше зависимости позволяют утверждать, что распределение энергетического коэффициента отражения по поверхности оптического элемента определяется радиусом кривизны оптического элемента, показателем преломления материала, из которого изготовлен оптический элемент, и структурой просветляющего покрытия. В работе проведено исследование влияния указанных выше факторов на относительный размер зоны, в которой наблюдается оптимальный эффект просветления от использования просветляющих покрытий с заданным распределением геометрической толщины.

**Основные результаты.** Для определения влияния радиуса кривизны оптического элемента на характер распределения энергетического коэффициента отражения по его поверхности, рассмотрим распределение энергетического коэффициента отражения однослойного просветляющего покрытия по поверхности оптического элемента, изготовленного из оптического стекла с показателями преломления  $n_m=1,75$ , показатель преломления пленкообразующего материала  $n_1=1,35$ , рабочая длина волны  $\lambda_0=500$  нм, с разными радиусами кривизны.

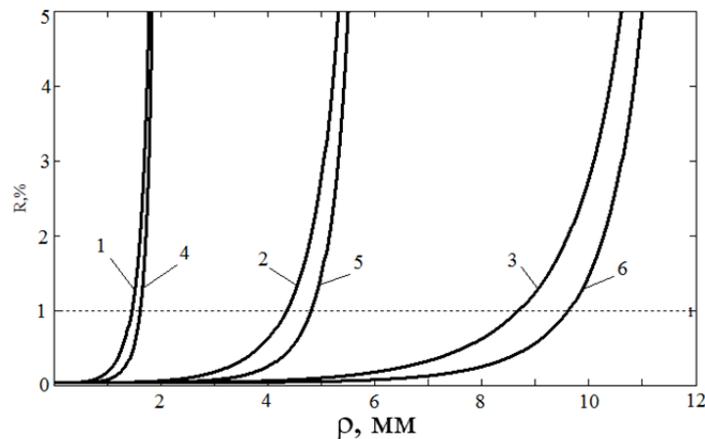


Рис. 2. Распределение энергетического коэффициента отражения однослойного просветляющего покрытия по поверхности оптического элемента разного радиуса

На рис. 2 представлено распределение энергетического коэффициента отражения однослойного просветляющего покрытия по поверхности оптических элементов разного радиуса. Кривые 1–3, соответствуют однослойному покрытию, сформированному на оптическом элементе с равнотолщинным покрытием  $d_1 = \lambda_0 / (4 \cdot n_1)$ , кривые 4–6 – покрытию с заданным распределением геометрической толщины по поверхности оптического элемента, описанной формулой (1), радиус кривизны 2, 4, 6 мм соответственно. В первом случае фазовая толщина меняется в зависимости от угла падения излучения (координаты) по поверхности оптического элемента, во втором случае фазовая толщина  $\varphi_1$  остается равной  $\pi/2$ , в этом случае меняется только геометрическая толщина. Из рисунка видно, что для оптических элементов различного радиуса кривизны наблюдается постоянная зона минимального коэффициента отражения в относительных единицах. Относительный размер зоны, в которой энергетический коэффициент отражения меньше одного процента (зона просветления) составляет  $\rho/r=73\%$  для равнотолщинного покрытия, а  $\rho/r=80\%$  для покрытия с заданным распределением геометрической толщины  $n_m=1,75$ . Вне этой зоны наблюдается существенное увеличение коэффициента отражения.

В работе также рассмотрено распределение энергетического коэффициента отражения многослойных просветляющих покрытий по поверхности оптического элемента разного радиуса: двухслойного просветляющего покрытия, сформированного из материала с показателями преломления  $n_1=1,45$  и  $n_2=1,90$  на оптическом элементе, изготовленном из материала с показателем преломления  $n_m=1,52$  и трехслойного просветляющего покрытия, сформированного из материала с показателями преломления  $n_1=1,35$ ,  $n_2=2,00$  и  $n_3=1,80$  на оптическом элементе, изготовленном из материала с показателем преломления  $n_m=1,52$ , рабочая длина волны  $\lambda_0=500$  нм. Результаты исследования показаны в таблице.

Таблица. Размер зоны просветления для разных типов покрытий

	Относительные размер зоны просветления ( $\rho/r$ ), $\lambda_0=500$ нм, $R \leq 1\%$ , $n_m=1,52$ , $r=2, 6, 12$ мм	
Тип покрытия	Равнотолщинные покрытия $d_i = \lambda_0 / (4 \cdot n_i)$	Покрытия с заданным распределением, описанной формулой (1)
Двухслойное	69,5%	82,5%
Трехслойное	76%	81%

Рассмотрим, как влияет показатель преломления материала, из которого изготовлен оптический элемент на размер зоны просветления при одинаковой конструкции просветляющего покрытия, геометрическая толщина которого меняется согласно зависимости, описанной формулой (1). Проанализируем распределение энергетического коэффициента отражения по поверхности оптического элемента радиусом кривизны  $r=2$  мм для однослойного просветляющего покрытия с показателем преломления материала, из которого изготовлен слой  $n_1=1,35$ , двухслойного:  $n_1=1,35$ ,  $n_2=1,65$  и трехслойного просветляющего покрытия:  $n_1=1,35$ ,  $n_2=1,90$ ,  $n_3=2,00$ , на длине волны  $\lambda=\lambda_0=500$  нм. Диапазон показателей преломления оптических материалов, используемых для работы в видимой области, лежит в интервале от 1,45 до 2,20. Для удобства исследования были выбраны оптические стекла с показателями преломления  $n_m=1,45$ ; 1,75 и 2,20.

Получено, что величина зоны просветления максимальна, относительный размер зоны просветления однослойного покрытия составляет  $\rho/r=80\%$  для оптического материала с показателем преломления  $n_m=1,75$ . Для двухслойного покрытия этот размер составляет  $\rho/r=82\%$  для  $n_m=1,45$  и  $\rho/r=78\%$  для  $n_m=2,20$ . Иначе говоря, с увеличением показателя преломления подложки относительный размер зоны просветления уменьшается на 4%. А для трехслойного покрытия зона просветления составляет 81%

для  $n_m=2,20$ ; 78,5% для  $n_m=1,75$ , а для  $n_m=1,45$  минимальный коэффициент отражения больше 1%.

**Заключение.** Представленный в работе анализ факторов, влияющих на зону минимального коэффициента отражения, показал, что относительная зона минимального коэффициента отражения постоянна в относительных единицах при изменении радиуса кривизны линзы. При формировании просветляющего покрытия с заданным распределением геометрической толщины слоя максимальное значение относительного размера зоны, при которой энергетический коэффициент отражения меньше 1%, составляет  $r/r=80\%$  для однослойных покрытий, 82,5% для двухслойных покрытий и 81% для трехслойных покрытий. По сравнению с формированием равнотолщинных покрытий размер зоны просветления увеличивается на 7% для однослойных покрытий, 13% для двухслойных покрытий и 5% для трехслойных покрытий.

Соотношение между показателями преломления материалов, из которых формируются слои и из которого изготовлен оптический элемент, влияет на увеличение зоны минимального энергетического коэффициента отражения. Относительный размер зоны просветления увеличивается на 20% для однослойных просветляющих покрытий, на 4% для двухслойных оптических покрытий и на 2,5% для трехслойных оптических покрытий. На увеличение зоны минимального энергетического коэффициента отражения влияет также структура интерференционной системы.

### Литература

1. Herzig H.P. Micro-Optics: Elements, Systems And Applications. – CRC Press, 1997. – 600 p.
2. Хрячков В.В., Федосов Ю.Н., Давыдов А.И., Шумилов В.Г., Федько Р.В. Эндоскопия. Базовый курс лекций. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 160 с.
3. Путилин Э.С. Оптические покрытия. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 227 с.

УДК 338.467

### АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО СПРОСА НА ИТ-ПРОДУКТЫ

О.В. Цыгулева<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.э.н. И.А. Кудинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе с помощью методологии Customer Development был проанализирован потенциальный спрос на рынке детских приложений. Данный подход позволил в короткие сроки протестировать жизнеспособность идеи и внести корректировки, отражающие реальный рыночный отклик. По итогам работы был определен практический спектр применения методов тестирования спроса – поиск и отбор масштабируемых бизнес-моделей.

**Ключевые слова:** стартап, Customer Development, спрос, глубинные интервью, опросы.

Россия сегодня стоит на пороге новой эпохи, эпохи глубоких институциональных трансформаций, а значит нуждается в принципиально иных подходах к науке и инновациям. Сложившаяся экономическая ситуация в стране вызвала массовый отток прямых иностранных инвестиций на венчурном рынке. На данный момент рынок инвестиций в ИТ-проекты упал в 2015 г. на 43% по отношению к 2014 г. и составил 34,2 млрд рублей. Число сделок сократилось с 280 до 225 [1]. Несмотря на возрастающие кризисные настроения, аналитики ожидают рост количества и качества отечественных стартапов в 2016 году, а также повышения интереса со стороны государства, которое неизбежно будет стимулировать развитие отечественной сферы венчурных инвестиций. Как известно, 9 из 10 стартапов терпят неудачу. Почему

стартапы проваливаются? Как говорил известный серийный предприниматель, автор «методики развития потребителей» (Customer Development methodology) Стив Бланк, главная причина провала – недостаточная клиентоориентированность. Стив Бланк предлагает использовать методологию Customer Development (CD), которая способна минимизировать риски стартапа на начальных этапах. В данном случае речь идет о рисках в сфере «рынок-потребитель», в то время как изобретательские риски можно учесть с помощью имитационного моделирования, а инвестиционные риски – с помощью показателей эффективности проекта [2–6].

Этапы Customer Development – выявление потребителей, верификация, расширение клиентской базы и выстраивание компании. Этапы «расширение клиентской базы» и «выстраивание компании» подразумевают масштабирование проекта и переход временной бизнес-структуры «стартапа» в новую форму – малое предприятие. Методология CD направлена на адаптацию стартапа под проблемы рынка до того, как будут привлечены инвестиции и набран штат сотрудников, особый интерес в рамках настоящего исследования представлял первый этап – первичное тестирование потребительского спроса. Его задача – тестирование и усовершенствование текущей бизнес-модели, а именно: определение основных характеристик продукта, выявление потребителей и поиск рынка.

**Целями исследования** являлся анализ востребованности образовательного приложения для детей дошкольного возраста на основе методологии CD, определение набора технических параметров и критериев принятия решения конечными пользователями об установке и использовании приложений. Предметом исследования являются инструменты тестирования спроса на IT-продукты. Объектом исследования являлось обучающее приложение для детей. В рамках исследования были применены такие методы определения спроса на IT-продукты, как глубинное интервью и опросы.

Для успешного развития стартапа предприниматель должен «выйти из офиса и лично пообщаться со своим потребителем» [7]. В рамках CD на этапе выявления потребителей, глубинные интервью (изучение) призваны исследовать предпочтения клиентов, масштаб и важность их проблем, а опросы – подтвердить или опровергнуть выдвинутые гипотезы о проблемах (валидация). Работы по проекту начались с проведения глубинных интервью. Было проведено 12 глубинных интервью с первыми потенциальными пользователями приложения – молодыми мамами. Данные интервью позволили выделить предполагаемые ключевые проблемы. Видение основателей было структурировано с помощью шаблона бизнес-модели. Полученная информация позволила сформировать ряд гипотез, которые легли в основу онлайн-опроса на 20 вопросов. Итоги исследования по каждой гипотезе отражены в столбце «Выводы» (таблица).

Таблица. Результаты опроса потенциальных пользователей детского приложения

Гипотезы	Вопросы	Полученные факты	Выводы
1. Большинство детей пользуется гаджетами уже в 5 лет.	Соответствующий вопрос в опросе: В каком возрасте Ваш ребенок начал пользоваться гаджетами?	Средний возраст начала пользования гаджетами: 3.15 лет (из 19 опрошенных)	Гипотеза подтвердилась. Основная аудитория проекта – дошкольники, что требует применения особенных методов в проектировании приложения (например, ограничивает

Гипотезы	Вопросы	Полученные факты	Выводы
			применение текстового контента)
2. У большинства детей есть свой собственный гаджет.	Есть ли у Вашего ребенка собственный гаджет?	Только у 47% детей до 12 лет есть собственный гаджет.	Гипотеза была опровергнута. Есть смысл сдвинуть возраст выборки.
3. Основная причина, по которой дети не пользуются гаджетами до 5 лет – возрастные ограничения.	По каким причинам Ваш ребенок не пользуется гаджетами? Считаете ли Вы, что мобильные приложения способны развивать и обучать ребенка наравне с традиционными методами? Почему?	8 из 11 не пользуются гаджетами по причине возраста. 5 из 8 родителей не против использования гаджетов в будущем.	Гипотеза подтвердилась. Нет смысла при проектировании ориентироваться на особенности развития детей до 5 лет.
4. Большинство родителей активно использует мобильные приложения для развития ребенка.	Как в Вашей семье помогают детям развиваться и изучать мир? Считаете ли Вы, что мобильные приложения способны развивать и обучать ребенка наравне с традиционными методами?	13 из 19 родителей считают, что мобильные приложения можно использовать в качестве средства развития ребенка.	Гипотеза подтвердилась частично. Родители считают, что мобильные приложения не способны составить конкуренцию традиционным формам обучения в связи с ограниченным функционалом (например, невозможностью развивать моторные навыки). Родители при этом не спорят с тем, что приложения могут быть интересным дополнительным методом организации досуга ребенка.
5. Родителей не устраивает качество существующих развивающих	Устраивает ли Вас качество существующих на рынке детских приложений?	Родители убеждены, что приложения способны помочь ребенку развиваться, однако не используют	Гипотеза подтвердилась. Многие родители заинтересованы использовать

Гипотезы	Вопросы	Полученные факты	Выводы
приложений для детей.	Что не устраивает Вас в мобильных приложениях для детей?	их по причине неудовлетворенности качеством (7 из 19)	мобильные приложения в развитии детей, но их не устраивает качество существующих решений.
6. Родителям важна образовательная ценность приложения.	Какие характеристики Вы цените в приложениях для детей в первую очередь? Чтобы, как Вам кажется, заинтересовало Вашего ребенка в приложении больше всего?	Большинство родителей подчеркнули важность образовательной ценности приложений.	Гипотеза подтвердилась. Необходимо делать акцент на образовательную ценность приложения.
7. У родителей возникают проблемы с послушанием детей.	С какими проблемами в воспитании Вы обычно сталкиваетесь? Как Вы пытаетесь разрешить эти проблемы? Какие домашние дела Вы обычно поручаете своему ребенку?	Большинство родителей сталкивается с проблемами с послушанием детей.	Гипотеза подтвердилась. У родителей есть проблемы с послушанием детей. Основные проблемы: истерика, капризы, сбои в режиме дня. Решается переключением внимания, разъяснениями.
8. Родители чаще всего вознаграждают ребенка материальными и поощрениями	Как Вы обычно вознаграждаете ребенка?	Вариант «совместный досуг» лидирует.	Гипотеза не подтвердилась. Родители предпочитают поощрять детей совместным времяпрепровождением.
9. Родители готовы поддержать разработку мобильного приложения, облегчающего процесс постановки заданий для	Поддержали бы Вы разработку мобильного приложения, помогающего родителям в постановке заданий для детей, в контроле их выполнения и в	22 из 30 родителей поддержали бы разработку приложения для детей.	Гипотеза подтвердилась. Родители видят ценность приложения в экономии времени, повышении самостоятельности детей, а также как возможность

Гипотезы	Вопросы	Полученные факты	Выводы
детей, контроль их выполнения и поощрения.	поощрении? Почему?		заинтересовать детей заниматься домашними делами.
10. Родители готовы поддержать разработку мобильного приложения, облегчающего процесс постановки заданий для детей, контроль их выполнения и поощрения.	Пользовались бы Вы таким приложением, если бы оно было платным?	13 из 22 готовы пользоваться платным приложением.	Гипотеза подтвердилась. Наиболее актуальной может быть модель монетизации freemium.

Данные исследования позволили подтвердить наличие спроса на рынке обучающих детских приложений, обозначить портрет пользователя, определить содержательную составляющую и выбрать схему монетизации. Первоначальная бизнес-модель проекта была скорректирована в соответствии с указанными выше выводами, что позволило приблизить ее к реальной ситуации на рынке.

Таким образом, в результате проведенного исследования удалось определить практический спектр применения вышеуказанных методов – поиск масштабируемых бизнес-моделей. В последующем подобная методология работы с бизнес-процессами способна сократить вероятность промахов проекта на стадии поиска масштабируемой бизнес-идеи за счет гибкой разработки и своевременной корректировки стратегических планов.

### Литература

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rusbase.com/news/spad\\_venchurnih\\_investicii/](http://rusbase.com/news/spad_venchurnih_investicii/), своб.
2. Кристенсен К.М. Дилемма инноватора. Как из-за новых технологий погибают сильные компании. – М.: Альпина Паблишер, 2016. – 239 с.
3. Олет Б. Путеводитель предпринимателя: 24 конкретных шага от запуска до стабильного бизнеса: Пер. с англ. Александра Коробейникова. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2015. – 336 с.
4. Остервальдер А., Пинье И. Построение бизнес-моделей: Настольная книга стратега и новатора: Пер. с англ. – 3-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2012. – 288 с.
5. Рис Э. Бизнес с нуля: Метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели: Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 253 с.
6. Maurya A. Running Lean: Iterate from Plan A to a Plan That Works. – 2nd edition. – O'Reilly Media, 2012. – 240 p.
7. Бланк С., Дорф Б. Стартап: настольная книга основателя. – 4-е изд. – М.: Альпина Паблишер, 2016. – 616 с.

УДК 81.2 - 5

**ЛИНГВОКУЛЬТУРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБУЧЕНИЮ ДАТСКИХ СТУДЕНТОВ РУССКОМУ ЯЗЫКУ КАК ИНОСТРАННОМУ****А.Г. Чафонова<sup>1</sup>****Научный руководитель – к.филол.н., доцент О.Г. Розова<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Работа посвящена теоретическим основам обучения датских студентов русскому языку в свете лингвокультурологического подхода. Большое внимание уделено вопросам формирования лингвокультурологической компетенции как одной из основных задач обучения русскому языку, а также диалогу культур как главному принципу современной методики преподавания иностранных языков в контексте российско-датских взаимоотношений.

**Ключевые слова:** лингвокультурология, лингвокультурологическая компетенция, русский язык как иностранный, диалог культур, лингвокультурный концепт.

«Лингвокультурология – комплексная научная дисциплина синтезирующего типа, изучающая взаимосвязь и взаимодействие культуры и языка в их функционировании и отражающая этот процесс как целостную структуру единиц в единстве их языкового и внеязыкового (культурного) содержания...», – такое определение лингвокультурологии дает В.В. Воробьев [1, С. 37]. В.Н. Телия определяет лингвокультурологию как научную дисциплину, исследующую «воплощенные в живой национальный язык материальную культуру и менталитет и проявляющиеся в языковых процессах в их действительной преемственности с языком и культурой этноса» [2, С. 21]. Кроме того, необходимо привести хрестоматийное определение В.А. Масловой: «лингвокультурология – это наука, возникшая на стыке лингвистики и культурологии и исследующая проявления культуры народа, которые отразились и закрепились в языке» [3, С. 28]. Таким образом, лингвокультурология – это специфическая двунаправленная наука, которая позволяет исследовать язык и культуру в их тесной взаимосвязи.

В современной методике преподавания русского языка как иностранного (РКИ) на первый план выходят вопросы, связанные со сложившимся лингвокультурологическим подходом к обучению иностранному языку, разработанным такими учеными, как Е.М. Верещагин, В.В. Виноградов, В.В. Воробьев, Д.Б. Гудков, Е.И. Зиновьева, В.И. Карасик, В.В. Колесов, В.Г. Костомаров, В.В. Красных, В.А. Маслова, О.Д. Митрофанова, Ю.С. Сорокин, В.Н. Телия и многими другими, когда формирование коммуникативной компетенции, являющееся базовой целью образовательного процесса (процесса изучения/преподавания иностранного языка) подразумевает формирование компетенции лингвокультурологической как одной из важнейших ее составляющих.

Базовым определением лингвокультурологической компетенции представляется определение В.В. Воробьева как «знания идеальным говорящим/слушающим всей системы культурных ценностей, выраженных в языке» [1, С. 74–75]. Лингвокультурологическая компетенция представляется целой системой знаний о культуре, воплощенной в национальном языке, а центральное значение приобретает понятие «культурная ценность», общепризнанно являющееся основополагающим в рамках лингвокультурологического подхода.

Аксиологически- и культуроориентированное определение лингвокультурологической компетенции подразумевает, что при ее формировании должно учитываться множество различных аспектов языка и культуры, межкультурные различия и особенности этнопсихологического порядка (религиозные основы специфики национального мировидения, базовые ценности национальных культур, специфика менталитета и национального характера, а также особенности этнических стереотипов). Кроме того, при формировании лингвокультурологической компетенции важен учет национального своеобразия языкового отражения мира, или языковой

ментальности (т.е. специфики различных языковых уровней), необходим учет роли лексики в формировании национальной языковой картины мира (целостного, глобального образа мира, который является результатом всей духовной активности человека [4, С. 64]) и особой значимости культурных коннотаций, оценочное основание которых восходит к ценностным установкам национальных культур, обусловленности коннотативных значений содержанием «фоновых знаний», а также учет соотношения значений языковых единиц с концептами национальной культуры и общими характеристиками концептосферы языка [5, С. 194].

В лингводидактике понятие компетенции определяется через такие взаимосвязанные категории, как знания, умения, навыки, а также способности. Представляется возможным дать более широкое определение лингвокультурологической компетенции – совокупность знаний лингвистического, культурологического, а также социального и страноведческого характера, обладающих лингводидактической и общекультурной ценностью; умений и навыков владения лингвистическими и экстралингвистическими средствами для полноценной и эффективной (межкультурной) коммуникации; способностей творчески оперировать полученными знаниями в любой речевой ситуации, анализировать и интерпретировать спектр лингвокультурологической информации.

Кроме того, формирование лингвокультурологической компетенции подразумевает развитие личностных качеств студентов, приобщение к нормам и ценностям изучаемых языка и культуры, формирование особого дружественного отношения к особенностям другого мировидения. Лингвокультурологическая компетенция предполагает умение учащихся воспринимать факты и явления не только с позиции родной культуры, но и культуры другого народа, тем самым преодолевая культурные различия и барьеры, умение принимать не только сходства, которые сближают лингвокультурные общности, но и различия, являющиеся отличительными чертами народов.

Теоретический и практический интерес к исследованию путей формирования лингвокультурологической компетенции студентов в датской аудитории обусловлен не только отсутствием достаточного количества отечественных работ, посвященных датскому языку и датской культуре. Такое исследование представляется своевременным и актуальным в силу запросов современного мира, сложившейся геополитической обстановки и мироустройства.

Многовековая исторически сложившаяся взаимосвязь России и Дании прослеживается во многих сферах жизни этих стран, и, прежде всего, в культурной и экономической. Действительно, очень часто отношения между Данией и Россией были продиктованы экономическими потребностями, что актуально и для сегодняшнего дня. Наибольшая заинтересованность датчан в изучении русского языка появилась в начале XX века, когда торговля между Россией и Данией достигла небывалого уровня. Тогда, в 1916 году, было предложено ввести русский язык в число предметов, обязательно изучаемых в датской гимназии, а русские языковые курсы в Дании стали открываться почти повсеместно. Однако сегодня, несмотря на продолжающееся плодотворное сотрудничество экономического характера, в датских гимназиях русский язык преподается крайне редко, а его преподавание в университете резко сокращено. Это объясняется многими факторами, и, прежде всего, политическими. Первое охлаждение в российско-датских отношениях наступило после Октябрьской революции, которая провела резкую границу между монархией и республикой. А в 1949 году, когда Дания вошла в состав НАТО, между странами возникло чуть ли ни противостояние, которое пришло на смену нейтралитету. И сегодня именно политика продолжает диктовать условия коммуникации между Данией и Россией. Сложившаяся ситуация усугубляется общим, в большей степени отрицательным, отношением к России, которое

складывается у датчан из-за навязывания именно негативного образа России датскими СМИ, формирующими общественное мнение. Такое положение дел ставит задачу привлечения внимания к проблеме поддержания статуса русского языка в Дании, необходимым условием чего является разработка специальных, ориентированных на датских учащихся методических и учебных средств обучения, учебных программ. Существующее множество учебных пособий по РКИ, ориентированных на англоговорящих учащихся, не является решением указанной проблемы, так как носит общий характер и не отражает национально-культурную специфику именно датской лингвокультуры.

Формирование лингвокультурологической компетенции представляет собой комплексный процесс, заключающийся, с одной стороны, в предоставлении учащимся специальной, обладающей лингвокультурологической направленностью информации, а с другой стороны, создание условий для успешного усвоения учащимися лингвокультурологического материала. При этом важно учитывать ряд факторов, влияющих на процесс обучения, таких как, например, уровень владения учащимися русским языком, уровень сложности предлагаемого лингвокультурологического материала, уровень приближенности культурных установок учащихся к культурным установкам изучаемых языка и культуры. Последний из указанных факторов требует особенного внимания, так как основывается на одном из ключевых принципов обучения иностранным языкам, а именно принципе обучения в рамках диалога культур.

Национальная культура находит отражение во многих сферах, она проявляется в деятельности общества, государства, его социальных институтов, а также в национальных традициях, духовных ценностях, стиле мышления и установках, моральных нормах, стереотипах и образцах межличностного и межгруппового поведения и самовыражения, особенностях образа жизни и языка. В рамках лингвокультурологического подхода обучение с позиции диалога культур осуществляется на основе обращения к фактам разных культур, а также к национально-культурной специфике, воплощенной и отраженной в языке.

Диалог культур определяется как диалоговое взаимодействие контактирующих культур в процессе изучения иностранного языка, обеспечивающее адекватное взаимопонимание и духовное взаимообогащение представителей разных лингвокультурных общностей [4, С. 175]. Обучение иностранному языку, основанное на диалоге культур, позволяет учащимся глубже проникнуть в культурные традиции народа, представителя изучаемых языка и культуры, изучаемой лингвокультуры, и получить более полное представление не только о данной лингвокультуре, но также и о собственной.

Изучение и преподавание иностранных языков в рамках диалога культур обосновывает и утверждает целесообразность, и даже необходимость, проведения методических исследований и отбора лингвокультурологического материала для разработки упражнений, формирования содержания обучения, составления учебных пособий и т.д. с использованием контрастивного анализа и описания требующихся лингвокультурологических данных.

Лингвокультурологический подход к обучению иностранным языкам ставит вопрос о тех единицах, которые являются предметом исследования и предметом обучения в иностранной аудитории. Современная методика обучения иностранному языку активно использует знания когнитивного характера, разрабатывая содержание учебного материала на основе концептов (Н.М. Андронкина, Г.М. Васильева, О.А. Лазарева, Ю. Ларссон, Л.П. Тарнаева и др.).

Важными характеристиками концепта как единицы исследования в лингводидактических целях являются следующие:

1. моделируемость и структурируемость (несмотря на то, что большинство

исследователей сходятся во мнении, что структура концепта крайне размыта, в ней могут быть выделены определенные структурные элементы и составляющие, что позволяет структурировать и классифицировать языковые единицы, объективирующие концепт);

2. тесная связь с психолингвистическими механизмами, механизмами концептуализации действительности (что способствует восприятию концепта и его усвоению);
3. концепт может быть рассмотрен как опосредованный элемент коммуникации (что соответствует коммуникативно-ориентированному обучению);
4. концепт является фрагментом национальной картины мира той или иной лингвокультурной общности;
5. концепт выступает как транслятор культуры в языке (в средствах, репрезентирующих его) и через язык (как транслятор культуры в коммуникации) с помощью всего лингвистического и экстралингвистического потенциала, заложенного в нем.

Приведенные характеристики дают возможность определить концепт как единицу лингвокультурологического описания, позволяющую решать важные и актуальные лингводидактические задачи в соответствии с утвердившимися в современной методике обучения иностранным языкам подходами и принципами, а также обосновывают выбор концепта как ключевой единицы исследования в лингводидактических целях, предметом исследования. Сопоставительное исследование русских и датских лингвокультурных концептов позволяет обнаружить их национально-культурную специфику, ту информацию о культурном и языковом своеобразии, с опорой на которую целесообразно планировать занятия по русскому языку в датской аудитории. Таким образом датские студенты получают глубокие знания лингвокультурологического характера на высоком уровне концептуальной обобщенности.

Разработка приемов формирования лингвокультурологической компетенции на основе лингвокультурных концептов предполагает рассмотрение данных концептов как некоего концептуального единства, обобщающего фактора, который в совокупности своих элементов (выделяемых на основе структурного представления концептов, как с точки зрения когнитивной лингвистики, так и с точки зрения лингвокультурологии) может быть постепенно и поэтапно внедрен в процесс обучения. В рамках лингвокультурологического подхода концепты должны быть рассмотрены как источник лингвокультурологической информации, который предопределяет и формирует тематику изучаемого материала и содержание обучения, как некая совокупность культурно маркированных единиц различной сложности (например, безэквивалентная лексика, фразеологизмы, афористика и паремиялогия, тексты художественной литературы и публицистика).

Знакомство с культурой через язык и изучение языка посредством приобщения к культурным реалиям является взаимобратным процессом, результатом которого становится изучение языка на более высоком уровне, на уровне когнитивном. Можно заключить, что осуществление лингвокультурологического подхода к обучению датских студентов русскому языку представляется наиболее реализуемым в случае системного сопоставительного исследования русских и датских лингвокультурных концептов и последующего использования полученных данных в лингводидактических целях.

### Литература

1. Воробьев В.В. Лингвокультурология: Монография. – М.: РУДН, 2008. – 336 с.
2. Телия В.Н. Русская фразеология. Семантический, прагматический и лингвокультурологический аспекты – М.: Языки русской культуры, 1996. – 288 с.
3. Маслова В.А. Лингвокультурология: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2001. – 208 с.

4. Маслова В.А. Введение в когнитивную лингвистику: учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Флинта: Наука, 2006. – 296 с.
5. Русский язык как иностранный. Методика обучения русскому языку / Под ред. И.П. Лысаковой. – М.: ВЛАДОС, 2004. – 270 с.

УДК 811.161.1 - 054.6

**НАЦИОНАЛЬНО-КУЛЬТУРНАЯ СПЕЦИФИКА КОНЦЕПТОВ «МУЖЧИНА»  
И «ЖЕНЩИНА» В РУССКОЙ И ДАТСКОЙ ЛИНГВОКУЛЬТУРАХ  
(СЛОВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ)**

А.Г. Чафонова<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.филол.н., доцент О.Г. Розова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

В работе проводится описание национально-культурной специфики концептов «мужчина» и «женщина» в русской и датской лингвокультурах, анализируются особенности концептуализации действительности русским и датским народами, которые нашли отражение на разных уровнях русского и датского языков (лексическом и грамматическом), анализу подвергаются словообразовательные модели с доминантами «мужчина»/«женщина» («mand»/«kvinde»).

**Ключевые слова:** русская лингвокультура, датская лингвокультура, лингвокультурология, концепт «мужчина», концепт «женщина», язык, культура.

Лингвокультурологические исследования направлены на соизучение и описание языка и культуры в их тесной взаимосвязи. Специфика лингвокультурологического исследования определяется тем, что, как правило, такое исследование предполагает сопоставление различных языков и культур, различных лингвокультур.

В.В. Красных указывает, что на пересечении культуры и языка как самостоятельных семиотических систем образуется третья система – лингвокультура, представляющая как культуру оязыковленную, явленная в языке и через язык. В отличие от языковой картины мира, представляющей как сложно устроенное семантическое пространство, т.е. как феномен собственно лингвистический, лингвокультура является феноменом лингво-когнитивным: она формируется не знаками языка, за которыми стоят некоторые смыслы, но образами сознания, облеченными в языковые знаки [1, С. 345].

Культура – это та часть картины мира (картина мира – упорядоченная совокупность знаний о действительности, сформировавшаяся в общественном (а также групповом, индивидуальном) сознании [2, С. 51]), которая отображает самосознание человека и человечества в целом. Она обладает сложной, многоуровневой структурой, «вбирает в себя и сознаваемые, и неосознаваемые пласты познания, а также глубинные пласты мифологического и коллективного бессознательного» [3, С. 18]. Язык же становится неким ключом к сложной и противоречивой семантике культуры, позволяющим проникнуть в ее суть и структуру.

Язык как форма культуры включает в себя результаты «культурного» освоения действительности, обуславливая этнолингвистическое, этнокультурное содержание языковой картины, опосредованной картины мира.

Понимание истории культуры во многом зависит от лингвистических и семиотических факторов, т.е. характера языка и состояния знаковых систем, которые имели преобладающее значение в ту или иную эпоху. Язык более адекватно отражает состояние прошлых стадий культуры, нежели современной, он значительно консервативней культуры. Однако резкое изменение культуры ведет к ускорению и языкового развития.

Язык как зеркало культуры является одновременно и ее компонентом, и важнейшим средством ее формирования и сохранения. Изменяясь во времени, национальный язык как социально-историческая категория никогда не теряет своей

конкретной сущности, что позволяет ему сохранить важное свойство передачи от поколения к поколению культурно-исторических традиций.

Известно, что лингвокультурный подход к лингвистическим исследованиям предполагает изучение специфики национальной концептосферы (концептосфера – область знаний, составленная из концептов как ее единиц) от культуры к сознанию, опираясь на идею о кумулятивной (накопительной) функции языка, благодаря которой в нем запечатлевается, хранится и передается опыт народа, его мировидение и мироощущение. Язык, согласно этой концепции, есть универсальная форма первичной концептуализации мира и рационализации человеческого опыта, выразитель и хранитель стихийного бессознательного знания о мире, исторической памяти о социально значимых событиях в человеческой жизни.

Лингвистическая концептология использует понятие «концепт» как обозначение моделируемой лингвистическими средствами единицы национального когнитивного сознания, единицы моделирования и описания национальной концептосферы. Согласно исследованиям в рамках когнитивной лингвистики, концепты имеют определенную структуру, которая не является жесткой, но является необходимым условием существования концепта и его вхождения в концептосферу.

Лингвокультурологический анализ концепта представляет собой структурированное исследование концепта, реализующегося определенными языковыми средствами, как элемента национальной лингвокультуры в его связи с национальными ценностями и национальными особенностями этой культуры. Такой анализ предполагает движение «от языка к культуре», при котором культурная специфика проявляется в языке и раскрывается через язык. В когнитивной лингвистике, одним из направлений которой является лингвокультурологическое направление, методика описания и моделирования концепта строится на основе анализа семантики языковых средств, объективирующих данный концепт. Таким образом, предметом исследования и анализа становятся значения языковых единиц, объективирующих концепт, т.е. языковое сознание, а конечной целью – реконструкция (моделирование) концепта как мыслительной единицы по данным языка, т.е. реконструкция когнитивного сознания [2, С. 199].

Лингвокультурология стоит в одном ряду с дисциплинами антропологической (антропоцентрической) лингвистики. Как неоднократно отмечали исследователи, именно «при антропологическом подходе к изучению языка эксплицитно провозглашается принцип постижения языка в тесной связи с бытием человека» [4, С. 29]. Человек же предстает в двух ипостасях – мужчина и женщина, а оппозиция «мужской – женский» является фундаментальной для человеческой культуры.

Исследователь, изучающий взаимосвязь языка и культуры, неизбежно сталкивается с необходимостью описания базовых концептов культуры, к которым относятся концепты «мужчина» и «женщина» (датск. «mand» и «kvinde»). Сегодня исследование концептов «мужчина» и «женщина» является актуальным и широко освещается современными лингвистами при гендерном подходе к лингвистическим исследованиям, где проблемы пола представлены как явление культуры. Для данной работы существенно то, что в ней исследование концептов проходит на основе контрастивного лингвокультурологического анализа, позволяющего изучить механизмы воплощения и межпоколенной трансляции стереотипов национального мировидения в их сопоставлении, а также поэтапно реконструировать определенные культурные установки и характерологические черты менталитетов народов – носителей языка.

Концепты «мужчина» и «женщина» являются основополагающими в мировой культуре и стоят в одном ряду с такими понятиями как любовь, судьба, жизнь и смерть, бессмертие и вечность, которые, являясь универсальными для всех культур, тем не менее обладают определенной спецификой, уникальной и единственной для каждой

культуры в отдельности. Так и концепты «мужчина» и «женщина», присутствуя непосредственно в культурах всех народов мира и обладая той или иной степенью межкультурной идентичности, зависящей, от языковой близости и общности культурных традиций народов, в своей квинтэссенции отражают именно то содержание, которое является наиболее существенным и актуальным для каждого народа (носителя тех самых языка и культуры) отдельно.

Важный материал для исследования заданных концептов могут предоставить словообразовательные модели, используемые в русском и датском языках. Как отмечал Е.В. Урысон, концепт – это некий смысл, выражаемый как в лексемах, так и граммемах естественного языка [5, С. 103].

Полевая структура концепта позволяет включить в его состав группировки различного типа, также имеющие полевую структуру: ассоциативное поле, лексико-семантическое поле, лексико-фразеологическое поле, паремиологическое поле, а также деривационное (или словообразовательное) поле [2, С. 130].

В свете исследуемой в данной работе темы следует обратить внимание на два существенных аспекта, связанных со словообразованием в русском и датском языках и имеющих отношение к репрезентации концептов «мужчина» и «женщина» в русской и датской лингвокультурах: во-первых, словообразовательные дериваты с этимологическими корнями *-муж-* и *-жен-* (в русском языке), *-mand-* и *-kvinde-* (в датском языке); во-вторых, словообразовательные модели наименований мужчин и женщин по роду деятельности.

В датском языке существует множество сложных слов, образованных самым распространенным способом словообразования в датском языке – словосложением, при котором слова «*mand*» и «*kvinde*» являются по сути префиксами и постфиксами: *mandetøj* «мужская одежда», *mandsnavn* «мужское имя», *mandsstemme* «мужской голос», *adelsmand* «дворянин», *bussemand* «пугало», *embedsmand* «офицер», *enkemand* «вдовец», *landmand* «крестьянин», *rigmand* «миллионер, богач», *snemand* «снежный человек», *kvindefodbold* «женский футбол», *kvindeideal* «женский идеал», *drømmekvinde* «мечтательница», *idealkvinde* «идеальная женщина», *indvandrer Kvinde* «иммигрантка», *karrierekvinde* «карьеристка», *negerkvinde* «негретянка», *trolldkvinde* «колдунья», *trælkvinde* «служанка».

От слова «*mand*» образованы различные части речи: глаголы (*mande sig op* «брать себя в руки, крепиться, мужаться»), существительные (*manddom* «зрелый возраст», *mandkøn* «мужской пол», *mandskab* «экипаж, команда», *mandtal* «перепись населения», *mandshjerte* «мужество, дословно: мужское сердце»), прилагательные (*mandbar* «возмужалый, зрелый», *mandig* «мужественный», *mandlig* «мужской») и другие. Слово «*kvinde*» также представляет широкий словообразовательный диапазон.

В русском языке словообразовательные дериваты с этимологическими корнями *-муж-* и *-жен-* представляют собой менее широкую, но также разветвленную сеть. Характерное для датского языка словосложение не типично для русского языка, и многие датские слова, например, *mandsnavn*, *mandsstemme*, *idealkvinde* аналогичны русским словосочетаниям типа «прилагательное+существительное» – *мужское имя*, *мужской голос*, *идеальная женщина*. Однако словообразовательные дериваты с этимологическими корнями *-муж-* и *-жен-* (также как и соответствующие им датские *-mand-* и *-kvinde-*) присутствуют в различных частях речи: в существительных (*муж-енок*, *замуж-еств-о*, *мужчин-ищ-е*, *жен-ка*, *женат-ик* *жен-их*, *жениш-ок*, *молод-о-жен-ы*), в глаголах (*выходить за-муж*, *жен-и-ть*, *женить-ся*, *о-женить-ся*), в прилагательных (*муж-нин*, *муж-ев*, *без-муж-н-ий*, *замуж-н(ий)*, *жен-ат(ый)*, *жен-ственн(ый)*), в наречиях (*замуж-ем*). Для русской лингвокультуры важно отметить и такую особенность, как наличие большого количества слов с явной коннотативной составляющей, большинство из которых является продуктом народного творчества,

например: *мужчина, мужчинице, мужан, мужланюга, женатик, женач*, а также *женка* и многие другие.

Наличие уменьшительно-ласкательных диалектных номинаций с этимологическими корнями *-муж-* и *-жен-*, которые приобретают шуточную или ироническую окраску: *женочка, женатик, жененька, женешка, женихайлушка, женихало, женишило, женушечка, женчонка, муженько, муженюшка, мужичонка, мужок* также является важной особенностью русской лингвокультуры.

Что касается словообразовательных моделей наименований мужчин и женщин по роду деятельности, то важно отметить существование специальных суффиксов, обозначающих принадлежность к женскому полу слов, обозначающих определенные профессии. В датском: «-ske» и «-inde» (*arbejder* (работник) – *arbejderske* (работница), *lærer* (учитель) – *lærerinde* (учительница). В русском языке (с учетом чередования): 1) «-ица»: *учитель – учительница*; 2) «-ка»: *знахарь – знахарка*; 3) «-иха», «-уха»: *врач – врачиха, повар – повариха*; 5) «-са»/«-сса»: *директор – директриса, поэт – поэтесса*, по тем же моделям образованы и следующие слова: *трус – трусиха, лгун – лгунья, болтун – болтунья* и т.п. Обращает на себя внимание негативная окраска, которую приобретают некоторые «женские варианты» приведенных выше слов, например, *повариха, врачиха*. Ввиду существования такой окраски угадывается закономерность появления в русском языке таких слов как *женщина-повар* и *женщина-врач*, не типичных для русского словообразования и отражающих современные тенденции языкового развития.

Для данного исследования, с точки зрения особенностей концептуализации действительности, отраженной в концептах «мужчина» и «женщина», существенны те тенденции, которые присущи современному датскому языку, где использование слов, образованных с помощью суффиксов женского рода «-ske» и «-inde» заметно сокращается, и в то же время набирают популярность и все чаще появляются в речи слова, образованные путем замены части слова *mand* на *kvinde* (*politimand – politikvinde* (полицейский (-ая), *talsmand – talskvinde* (пресс-секретарь), *redningsmand – redningskvinde* (спасатель) и другие). При этом такого рода слова-неологизмы еще не зафиксированы в датских словарях.

Приведенные данные указывают на то, что и грамматический уровень языка отражает определенные идеи и представления человеческого сознания. Причем в ходе истории грамматический уровень (так же, как и другие) трансформируется и, надо полагать, что происходящие изменения могут быть связаны не только с формальными, но и содержательными (смысловыми, семантическими) изменениями, отражающими культурную специфику и социальное устройство.

### Литература

1. Красных В.В. Язык и культура сквозь призму многомерности бытия человека говорящего // Динамика языковых и культурных процессов в современной России. Материалы III конгресса РОПРЯЛ. – Т. I. – 2012. – С. 345–349.
2. Попова З.Д., Стернин И.А. Когнитивная лингвистика. – М.: АСТ: Восток-Запад, 2007. – 314 с.
3. Телия В.Н. Первоочередные задачи и методологические проблемы исследования фразеологического состава языка в контексте культуры // Фразеология в контексте культуры. – 1999. – С. 13–25.
4. Постовалова В.И. Лингвокультурология в свете антропологической парадигмы (к проблеме оснований и границ современной фразеологии) // Фразеология в контексте культуры. – 1999. – С. 25–34.
5. Урысон Е.В. Проблемы исследования языковой картины мира: Аналогия в семантике. – М.: Языки славянской культуры, 2003. – 224 с.

УДК 535.317

## КОЛЛИМАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ТРЕНАЖЕРОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Т.Н. Шемигон<sup>1</sup>, О.В. Багдасарова<sup>1</sup>Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Багдасарова<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены возможные оптические композиции для разработки коллиматора для имитации внешней визуальной обстановки в иллюминаторе тренажера космического аппарата. Проанализирована возможность оптимизации композиций окуляра Кельнера, симметричного окуляра, окуляра Эрфле 1-го рода и систем, построенных по схеме «Планар». В качестве исходной была принята композиция фотообъектива «Уран-12». Выполнено упрощение схемы «Уран-12».

**Ключевые слова:** коллиматорное устройство, коллиматор, имитация визуальной обстановки, иллюминатор, естественное впечатление, тренажер космического аппарата, оптимизация.

Современные требования к повышению адекватности восприятия внешней визуальной обстановки, воспроизводимой в тренажерах космических летательных аппаратов, выдвинули необходимость проведения работ, направленных на усовершенствование аппаратуры тренажерного комплекса Центра подготовки космонавтов (ЦПК) Звездного городка (Московская область), в том числе и коллиматоров для имитации картины, наблюдаемой в иллюминаторах космических кораблей [1–5].

Тренажерный зал ЦПК представляет полный комплекс тренажерного оборудования для тренировки космонавтов в стационарных условиях, а также действующие тренажеры летательных космических аппаратов всех поколений.

На рис. 1 представлена фотография одного из коллиматоров визуального наблюдения забортной обстановки, входящий в аппаратно-программный комплекс тренажера международной космической станции (МКС).

Общее количество иллюминаторов в тренажерном комплексе МКС – 9.

Воспроизведение картины внешней визуальной обстановки в каждом из иллюминаторов должно создавать полную картину естественного впечатления.



Рис. 1. Оптико-электронная система бокового коллиматора для имитации внешней обстановки в иллюминаторе тренажера МКС

Разработка коллиматорной системы, обеспечивающей имитацию воспроизведения изображения внешней визуальной обстановки с соблюдением условия получения естественного впечатления в тренажере, является сложной и ответственной задачей.

Оптическая система коллиматора должна удовлетворять следующим требованиям:

- диаметр отверстия иллюминатора 240 мм;
- угловое поле в пространстве наблюдения должно быть не менее 42° по горизонтали и не менее 32° по вертикали;

- устройство воспроизведения изображения – ЖК-монитор с соотношением сторон экрана 16:9;
- размер экрана по диагонали не менее 24 дюйма (610 мм);
- разрешение монитора не менее 1920×1200 элементов;
- качество изображения системы должно обеспечивать возможность наблюдения воспроизводимой на мониторе картины с разрешающей способностью, близкой к предельной разрешающей способности глаза наблюдателя (1 угл. мин);
- параллактические ошибки должны быть минимизированы.

Рассмотрение возможных композиций для решения поставленных задач показало следующее:

Первая композиция – окуляр Кельнера.

Фокусное расстояние от 10 до 59 мм, относительное отверстие до 1:2, угловое поле до 45°. Для обеспечения требований, определенных техническим заданием, необходим пересчет на большее фокусное расстояние, превосходящее максимально указанное примерно на порядок. Как известно, такой пересчет на новое фокусное расстояние может привести к значительному увеличению поперечных и, соответственно, волновых аберраций в таком же соотношении. Такая система, естественно, требует оптимизации как с точки зрения габаритных параметров, так и с позиций минимизации возросших аберраций.

Композиция симметричного окуляра, как альтернатива предыдущей, обеспечивает фокусное расстояние от 10 до 115 мм, относительное отверстие до 1:2,5, угловое поле в пространстве наблюдения 40°, но пересчет на новое фокусное расстояние также, как и в первом случае, приводит к значительному увеличению габаритных параметров и аберраций, в связи с чем такая схема тоже не подходит для выполнения поставленных требований.

Композиция окуляра Эрфле 1-го рода состоит из трех компонентов. Это обстоятельство позволяет развить угловое поле до 65° в пространстве изображения в прямом ходе. Фокусные расстояния собственно окуляров Эрфле от 10 до 50 мм, относительное отверстие до 1:2.

По величине поля рассмотренная композиция имеет полуторный запас по сравнению с величинами, обозначенными в технических требованиях на разработку коллиматора тренажера.

Однако, как и в предыдущих примерах, требуется пересчет на большое фокусное расстояние с необходимостью решения проблем, сформулированных выше с выполнением обязательной оптимизации.

Фотографический объектив «Гелиос-44» композиционно выполнен по схеме объектива «Планар».

Фокусное расстояние фотообъектива до 59 мм. Относительное отверстие – 1:2 и угловое поле 40° (в пространстве предметов) находятся в пределах, удовлетворяющих выполнению условий технического задания. Но здесь также необходим пересчет на новое фокусное расстояние. Композиция представлялась перспективной для развития, несмотря на немалое количество элементов. Однако уменьшение их числа с целью упрощения конструкции в процессе предварительных оптимизационных шагов приводило к проблемам, связанным с габаритными ограничениями (поперечные и продольные размеры, острые края, засечки и т.д.).

Оптимизационные шаги, предпринятые к другому объективу, построенному по схеме «Планар» с большим фокусным расстоянием, используемому в кино съемке (ОКС-2-150-1) с характеристиками: фокусное расстояние 150 мм, относительное отверстие – 1:2,8 и угловое поле 22° в пространстве предметов, также не увенчались успехом.

Повторное обращение к схеме «Планар» было вызвано предположением о возможности выхода на желаемое решение с позиции большего углового поля и иного подхода в коррекции аберраций в базовой композиции.

Таким образом, попытки оптимизации систем окуляра Кельнера, окуляра Эрфле 1-го рода, объективов, выполненных по схеме «Планар», не привели к желаемому результату, поскольку величины аберраций получались большими для того, чтобы считать эти системы качественными, а габаритные параметры не вписывались в параметры, определенные в техническом задании.

Следует предположить, что при иных исходных данных количества и величины оптимизируемых функций были бы найдены области приемлемых решений, удовлетворяющие требованиям технического задания.

В этой связи необходимо отметить, что в процессе автоматизированного моделирования был предусмотрен вариант поиска решения и от более сложной композиции с габаритными характеристиками, близкими к требуемым.

Рассмотрим Фотообъектив «Уран-12» – светосильный семилинзовый анастигмат.

Композиция объектива представляет усложненную схему «Планар», отличающуюся введением в пространство между склеенными линзами отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к центру объектива.

Фотообъектив «Уран-12» – система с фокусным расстоянием 496 мм, относительным отверстием 1:2,5 (числовая апертура  $A=0,22$ ) и угловым полем в пространстве предметов  $33^\circ$ . Система представляется более перспективной с точки зрения направлений коррекции. Поскольку шаги оптимизации, которые были проведены с планарной схемой, к желаемому результату не привели, было принято решение – за базовую схему принять композицию этого объектива. Несмотря на то, что композиционно система достаточно сложная, она нуждается в серьезной доработке, как в части увеличения поля, так и в части увеличения относительного отверстия.

Промежуточный вариант системы получен с заменой второй склейки в схеме «Уран-12» на простую линзу. Сокращено количество марок стекол по сравнению с исходным вариантом. В полученной композиции применены наиболее предпочтительные для употребления стекла (ТК14, Ф1, БФ13).

Параметры системы удовлетворяют требованиям технического задания как по тактико-техническим характеристикам, так и по качеству изображения (максимально угловая аберрация в пределах всего зрачка не превышает 4,3 угл. мин.), хроматизм увеличения для края поля равен 3,3 угл. мин.

Из величины фокусного расстояния линз и компонентов в промежуточной системе видно, что мениск (поверхности 6–7) имеет фокусное расстояние, равное 1195,3 мм. По сравнению с последующими элементами оптической схемы это фокусное расстояние превышает фокусное расстояние последующих элементов в 2,8 и 3,2 раза соответственно. Можно предположить, что доля вклада этого компонента как в габаритные, так и в аберрационные характеристики, значительно меньше вклада последующих элементов, что наводит на мысль о возможности упрощения композиции за счет изъятия этого компонента.

Дополнительно в схему введена плоскопараллельная пластинка, имитирующая стекло иллюминатора и являющаяся защитным стеклом всей оптической системы коллиматора.

На рис. 2 представлена схема полученной системы. По результатам габаритного и аберрационного расчета параметры полученной системы следующие:

- фокусное расстояние 560 мм;
- относительное отверстие – 1:2,3;
- угловое поле –  $42^\circ$ ;
- длина оптической системы 328 мм.

Полученные характеристики, в том числе качество изображения (максимальная угловая аберрация в пределах всего зрачка не превышает 8,3 угл. мин., хроматизм увеличения для края поля равен 2,2 угл. мин), близки к определенным техническим заданием.

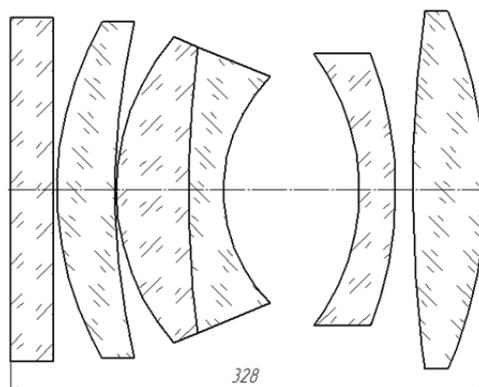


Рис. 2. Схема полученной системы

**Заключение.** В результате выполнения работы был разработан коллиматор для имитации внешней визуальной обстановки в иллюминаторе тренажера космического аппарата, позволяющий наблюдать воспроизведенную картину условий полета за пределами борта космического аппарата, проецируемую коллиматорным устройством с дисплеев аппаратно-программного комплекса в поле зрения космонавта.

Результаты данной работы предполагается использовать по прямому назначению в переоборудовании тренажерного комплекса МКС Центра подготовки космонавтов.

### Литература

1. Слюсарев Г.Г. Методы расчета оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1969. – 672 с.
2. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. Учебное пособие. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 274 с.
3. Панов В.А., Андреев Л.Н. Оптика микроскопов. Расчет и проектирование. – Л.: Машиностроение, 1976. – 432 с.
4. Бардин А.Н. Сборка и юстировка оптических приборов. Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1968. – 328 с.
5. Панов В.А., Кругер М.Я. Справочник конструктора оптико-механических приборов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 742 с.

УДК 004.056.52

## ПОСТРОЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ КРЮИНГОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

С.Н. Шиманчук<sup>1</sup>

Научный руководитель – ст. преподаватель С.С. Малов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова

В работе рассмотрены юридическая и организационная структуры крюинговой организации, описана логическая структура информационной сети, произведен анализ Федерального закона от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных», Постановления Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119, Приказа ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 с целью построения защищенной информационной системы персональных данных.

**Ключевые слова:** крюинговая компания, персональные данные, информационная система, сертифицированные средства защиты информации.

**Целью работы** являлось проведение обследования крюинговой организации для построения защищенной информационной системы (ИС) персональных данных (ИСПДн).

На сегодняшний день обработка и защита персональных данных является актуальной проблемой, так как во всех организациях ведется прием на работу людей,

подбор кадров, осуществляются различные сделки между клиентом и предпринимателем с использованием персональных данных (ПДн). Исключение не составляют и крьюинговые компании.

Крьюинг – это осуществление деятельности по набору моряков на морские суда. Основная цель данных компаний состоит в поиске и подборе квалифицированных морских специалистов на морские суда, они выступают посредниками между судовладельцами и моряками.

В ходе своей деятельности крьюинговая организация непосредственно обрабатывает ПДн моряков – собирает, хранит и обеспечивает их передачу между своими филиалами или судовладельцу. Для успешной работы и доверия со стороны клиентов, а также согласно требованиям законодательства Российской Федерации (РФ) ПДн моряков должны быть защищены на всех этапах обработки ПДн.

Построение защищенной ИСПДн включает себя несколько этапов работ:

1. предпроектный этап – предпроектное обследование объекта и обоснование необходимости создания системы защиты;
2. этап проектирования – разработка системы защиты;
3. этап ввода системы защиты в эксплуатацию – опытная эксплуатация и приемосдаточные испытания средств защиты информации (СЗИ) [1].

В ходе проведения предпроектного этапа были определены юридическая и организационная структуры компании. Была построена логическая структура информационной сети и построены информационные потоки ПДн в организации.

Юридическая структура крьюинговой организации имеет в своей составляющей два объекта:

1. головной офис компании, который располагается в Санкт-Петербурге;
2. филиал компании в Мурманске.

Организационная структура компании состоит: из 7 отделов в головном офисе компании, штат сотрудников которого составляет 39 человек; из 5 отделов в филиале, с общей численностью сотрудников в филиале – 15 человек. Тем самым, количество субъектов ПДн, являющихся сотрудниками оператора ПДн, составляет 54 человека. Директор филиала компании подчиняется непосредственно начальнику отдела по работе с филиалом и иностранными компаниями.

Далее была построена логическая структура информационной сети головного офиса и филиала, и определено, что сервер базы данных и прокси-сервер работают на базе операционной системы Windows Server 2008 R2, а автоматизированные рабочие места (АРМ) на базе операционной системы Windows 7 разрядностью 32 bit. Графически логическая структура информационной сети головного офиса и филиала представлена на рис. 1.

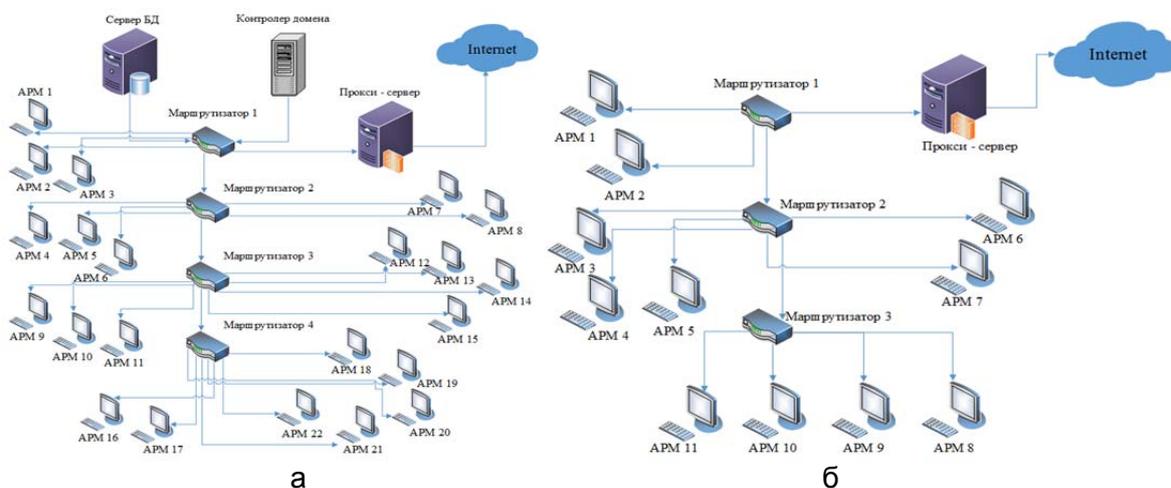


Рис. 1. Логические структуры информационной сети головного офиса (а) и филиала (б)

После определения логических структур информационных сетей были проведены работы по определению существующих в организации информационных потоков ПДн, которые были разделены на две категории: 1 – внутренние информационные потоки: обмен ПДн как в головном офисе, филиале, так и между филиалом и головным офисом; 2 – внешние информационные потоки: передача ПДн в государственные органы, банки и иностранным партнерам-компаниям.

В дальнейшей работе с целью определения категорий обрабатываемых ПДн был определен перечень ПДн сотрудников и клиентов организации, в который включены следующие ПДн: ФИО, дата и место рождения, адрес регистрации места жительства, диплом об образовании, ИНН, страховое свидетельство обязательного пенсионного страхования, трудовая книжка – для сотрудников и дополнительно – удостоверение личности моряка, медицинская книжка, справка о прохождении морской медицинской комиссии, справка от нарколога и психиатра – для клиентов компании.

Объем записей клиентов организации, данные которых обрабатываются с использованием средств автоматизации, не превышает 100 000.

Согласно п. 5 Постановления Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите ПДн при их обработке в ИСПДн» (ПП РФ № 1119) ПДн клиентов компании относятся к категории ПДн «Специальные» – ИСПДн является ИСПДн, обрабатывающей специальные категории ПДн, если в ней обрабатываются ПДн, касающиеся состояния здоровья субъектов ПДн. ПДн сотрудников имеют категорию ПДн «Иные» – ИСПДн является ИСПДн, обрабатывающей иные категории ПДн, если в ней не обрабатываются общедоступные ПДн, биометрические ПДн или специальные категории ПДн.

Актуальными угрозами безопасности ПДн, т.е. совокупностью условий и факторов, создающих актуальную опасность несанкционированного доступа (НСД) к ПДн при их обработке в ИСПДн, будет являться наличие недокументированных возможностей в прикладном программном обеспечении, используемом в данной ИСПДн, так как на серверах хранятся базы данных учетных записей клиентов и сотрудников компании [2].

В ходе обследования ИСПДн было установлено, что ПДн, которые в ней обрабатываются, необходимо защищать в соответствии с требованиями нормативных документов РФ.

Для организации защиты ИСПДн крьюинговой компании необходимо провести мероприятия правового, технического и организационного характера [3]. Для выполнения мероприятий технической защиты необходимо определить средства защиты, соответствующие предъявляемым к ИСПДн требованиям к информации в соответствии с уровнем защищенности ПДн клиентов, а также и сотрудников компании, определение, которого было рассмотрено в работе «Организация технической защиты информационной системы персональных данных крьюинговой компании» [4].

С учетом полученных в ходе обследования системы данных можно установить, что для ПДн клиентов необходимо обеспечивать 2 уровень защищенности ПДн, согласно пп. б п. 10 ПП РФ № 1119: «для ИС актуальны угрозы 2 типа и ИС обрабатывает специальные категории ПДн менее чем 100000 субъектов ПДн, не являющихся сотрудниками оператора». Для ПДн сотрудников уровень защищенности ПДн должен быть 3, пп. б п. 11 ПП № 1119: «для ИС актуальны угрозы 2 типа и ИС обрабатывает иные категории ПДн сотрудников оператора».

Все изложенное выше можно оформить в виде табл. 1 с целью более удобного представления характеристик ИСПДн.

Таблица 1. Характеристики ИСПДн

	Субъект ПДн, являющийся сотрудником оператора	Субъект ПДн, не являющийся сотрудником оператора
Тип актуальных угроз	угрозы 2-го типа	угрозы 2-го типа
Категория ПДн	иные ПДн	специальные ПДн
Объем ПДн	менее 100000	менее 100000
Уровень защищенности	3	2

Следовательно, если рассматривать ИСПДн как единое целое, то для упрощения построения комплексной системы защиты удобнее строить единую систему по наивысшему уровню защиты, актуальному для данных подсистем обработки ПДн. Исходя из этого необходимо обеспечивать 2 уровень защищенности ПДн, обрабатываемых в ИСПДн крьюинговой компании.

Согласно Приказу ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности ПДн при их обработке в ИСПДн» (Приказ ФСТЭК № 21) необходимо обеспечить выполнение мероприятий по безопасности ПДн в соответствии с требованиями, предъявляемыми ко 2 уровню защищенности ПДн [5].

Реализация данных требований может быть осуществлена с помощью сертифицированных СЗИ и организационных мер. С целью построения защищенной ИСПДн необходимо с учетом данных требований определить виды системы защиты информации, позволяющие реализовать механизмы безопасности в полном объеме.

Обеспечить выполнение всех требований можно, применив такие СЗИ как: СЗИ от несанкционированного доступа (защита от НСД); средства антивирусной защиты (САВЗ); сканеры безопасности; системы обнаружения вторжений (СОВ); DLP – системы; межсетевые экраны (МЭ).

Соответственно, для комплексного обеспечения безопасности и выполнения требований Приказа ФСТЭК № 21, которые не могут быть осуществлены только техническими и программными СЗИ, необходимо также разработать и организационные мероприятия.

Таблица 2. Выбранные средства защиты информации

СЗИ	Модель	Класс СЗИ	№ сертификата	Срок окончания сертификата	Графическое изображение
Защита от НСД	Dallas Lock 8.0-C	3	2945	16.08.2016	
СОВ	Security Studio Endpoint Protection	4	3128	04.04.2017	
МЭ	ViPNet Coordinator HW	3	2353	26.05.2017	
	ViPNet CUSTOM 3.2	3	1549/1	26.05.2016	
САВЗ	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows	2	3025	25.11.2016	
Сканер безопасности	XSpider 7.8.24	–	3247	24.10.2017	
DLP	DeviceLock 7.1	–	2611	05.04.2018	

Таблица с конкретными группами требований Приказа ФСТЭК № 21, которые можно выполнить определенными видами СЗИ, представлена в работе [4].

После определения, какие виды средств защиты обеспечивают выполнение определенных требований, необходимо провести анализ государственного реестра сертифицированных средств защиты информации № РОСС RU.0001.01БИ00 и выбрать конкретные модели СЗИ (табл. 2).

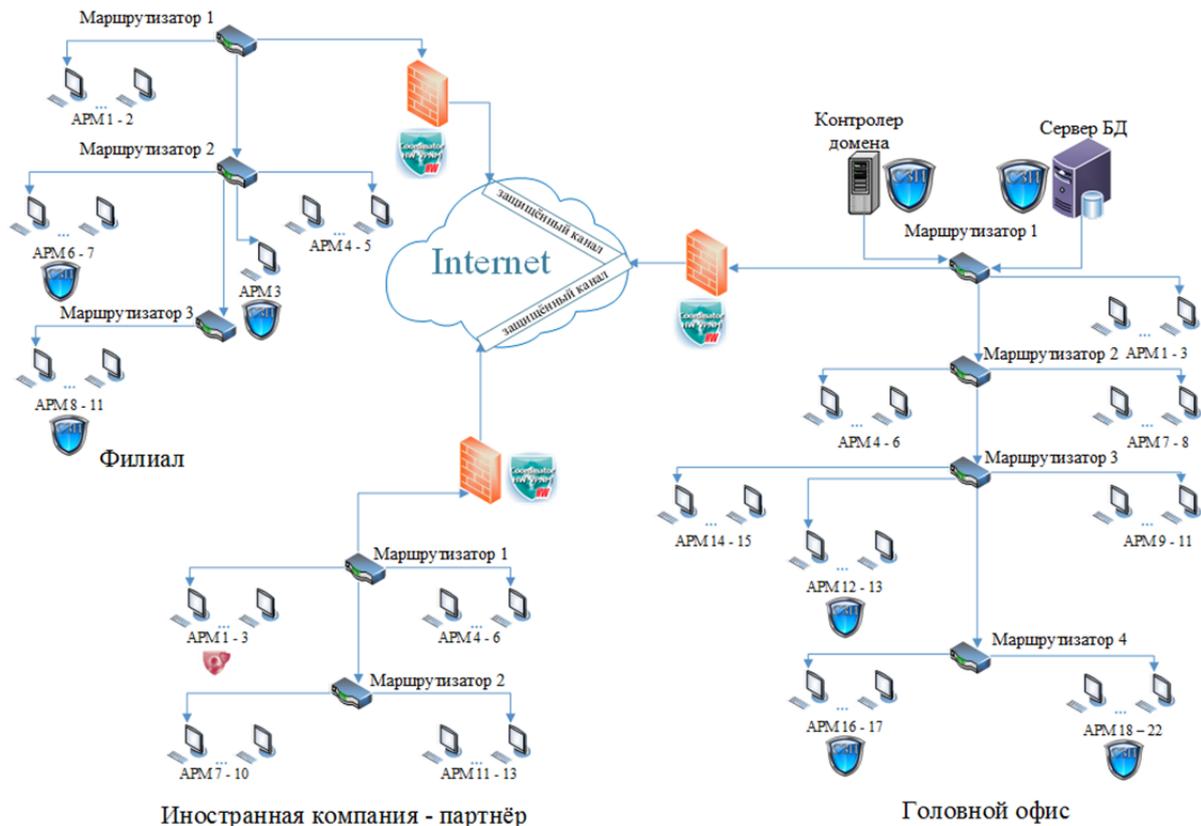


Рис. 2. Логическая структура информационной сети защищенной ИСПДн

Модели выбираются на основании следующих критериев: СЗИ имеет действующий сертификат; сертификат распространялся на серию СЗИ данной модели; СЗИ соответствует требуемым классам, определенным для данной ИСПДн Приказом ФСТЭК № 21.

Проанализировав государственный реестр сертифицированных СЗИ, была построена таблица, в которой приведены выбранные конкретные модели сертифицированных СЗИ, подходящие для обеспечения защищенности данной ИСПДн, актуальные на данный момент времени.

С целью обеспечения защищенности ИСПДн с учетом выбранных сертифицированных СЗИ было определено, что необходимо перестроить логическую структуру информационной сети, как головного офиса, так и филиала. Усовершенствованная логическая структура информационной сети представлена на рис. 2.

Далее в реальных условиях следует реализация данной логической структуры на практике, правильная установка и настройка выбранных сертифицированных СЗИ, а также проведение прямо-сдаточных испытаний.

**Заключение.** В результате данной работы была построена защищенная ИСПДн крьюинговой организации, для обеспечения безопасности которой были выбраны актуальные конкретные модели сертифицированных средств защиты информации. Их совместимость и корректность работы была проверена на практике, путем установки демо-версий в виртуальной машине «Oracle VM VirtualBox».

## Литература

1. Решение Гостехкомиссии России от 02.03.2001 № 7.2 «Специальные требования и рекомендации по технической защите конфиденциальной информации».
2. Постановление Правительства РФ от 01.11.2012 № 1119 «Об утверждении требований к защите персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».
3. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152 «О персональных данных».
4. Шиманчук С.Н., Малов С.С., Стугирёва А.Д. Организация технической защиты информационной системы персональных данных крьюинговой компании. – Одесса: ИУСТ, 2015. – 3 с.
5. Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных».

UDC 65.011.46

### INTERNET OF THINGS

Е.И. Ширяева<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.филол.н., доцент Ю.В. Рябухина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

The paper explains why the concept of the Internet of Things that was born in early 2010s is one of the most important engines of modern economy – the digital economy. Moreover, in the paper the author explores the advantages of using the Internet of Things technologies for different kinds of business, and comes to the conclusion that it can be of benefit both for the government and corporations.

**Ключевые слова:** Digital economy, Internet of things.

We cannot imagine our lives without using electronic devices, and it seems logical in a world where every single person has at least two network-connected devices (from smartphones to laptops), and this number is rapidly growing. Moreover, it becomes really important to connect all the devices that we use in daily life or even in business sphere in a network [1–3].

It is impossible to specify the area where that kind of cooperation would be especially important. Logistics, manufacturing, corporate customer services – all of these spheres see automation as a key success factor. It does not matter whether we have a manufacturing or retail company, both of them deal with the needs of operational monitoring of incoming orders from customers at first, and both of them have to track to flow of goods and services to end consumers. And customers, on their end, would rather make orders via web-sites and receive the status of the delivery via SMS or e-mails than constantly have to be in touch with the company sales manager. Big industrial enterprises must keep under control all the factory sensors to promptly analyze the incoming information from them and due to this be available to avoid critical errors leading to all kind of manufacturing crashes. After-sales services become much more effective if the devices sold are not only able to generate error reports, but current status reports, and give this information to the supplier. And, of course, all these data should not only be received, but also stored and processed, because it is really important to give the key user the specific information that would be good for a deeper analysis.

All these factors and needs lead to a demand for the kind of technology that would allow dealing with two main challenges of the current economy: it should be able to provide such interdependence of machines, devices and sensors wherein even though a human is excluded from the data and process exchange, they still have a possibility to view and analyze these data, and to control processes. As a result, this technology should facilitate making managerial decisions in the situation of really big flows of incoming information.

So, that is the reason why the concept of the Internet of Things (IoT) is so widespread. This concept is an idea of the network of some of physical objects ("things") equipped with built-in technologies that help communicate with each other or with the external environment.

On the one hand, IoT-based solutions eliminate human involvement in the routine work that can be done automatically. On the other hand, IoT solves the problem of viewing, analysis, and control by using some special IoT-platforms that are often integrated with BI systems.

The effect of the Internet of Things on the economy increases as business and government are finding new ways to use these technologies.

Let me give some examples of using the IoT technologies in real business life.

What is important to say, as was already mentioned early, in company, we have three main directions of modernization using IoT: either we decide to modernize the production areas with sensors and detectors, which helps control industrial facilities, or we can upgrade our logistics using GPS sensors and various cargo tracking systems, or, finally, we can make things better at aftersales services using the systems of monitoring the current status of the device sold.

Most companies implement tracking systems as a first step of modernization. Why is it so? Mostly, because it is really cheap. These systems do not really have to be integrated with the main ERP system of the company because all we need is to track our goods and services online - and this is why we can save some money on their implementation. Corporate mobile providers usually offer these services to their clients, and most of them have really good prices and discounts for their loyal clients, so, there is the second reason why companies are not afraid to take this step: it comes natural with a good-known partner and moderate expenses on it. As a good example of the tracking solution we can consider Megafon corporate service "HR Control" that actually gives a way more information than just GPS-coordinates of the employee's SIM-card. We can also find fuel consumption control functions here, compliance route control functions, and more.

The next step for the company on its way to the digital world is the modernization of their production facilities. In most cases you will need a manufacturing enterprise system to have a chance to implement all the sensors in the right way, but if you have an ERP system that is good enough, you may find exactly the same functions of connecting manufacturing and other company processes. For example, SAP ERP has those functions in the Maintenance module, and, also, if you ever need a higher degree of automation, you can reach SAP MII, the integration platform (not a separate system, just a platform!) that provides a direct connection between shop-floor systems and business operations. It ensures that all data that affects manufacturing were visible in real time, and creates the manufacturing and operations framework to allow business to drive a connected manufacturing strategy.

The last, but not the least, action to digitalize business is the aftersales services automation. For now, for most of the Russian entrepreneurs, it seems more like the dreams about the future, but Nils Herzberg, co-lead Internet of Things at SAP, thinks that the market is ready for that kind of solutions to be brought to the masses. Years ago, aerospace companies showed how it was possible to exchange detailed information from bills of materials across organizations, and now even coffeemaker manufacturers send data about the state of their equipment to their support centers, so we can definitely say the future is now.

What is next, and what is even more fascinating about the Internet of Things in terms of business benefits, these technologies may be used to strengthen cooperation between the private and the public sector of the economy. Active growth of smart cities that includes, for example, parking and traffic controls systems, can be of benefit both for the government and corporations. Car companies invest in the development of traffic lights with built-in charging stations for electric cars. Thus, they reduce their costs of creating the infrastructure for charging their vehicles. Moreover, special sensors on these traffic lights can indicate the location of free charging stations nearby, transmitting the data through mobile applications or on-board control system. That provides the convenience of electric cars usage, and due to this

– consumer loyalty. Government gets fully fitted urban infrastructure as a result.

Thus, we can say that the concept of the Internet of Things is one of the most important engines of the modern economy.

### Литература

1. Бузгалин А.В., Антипина О.Н., Колганов А.И., Павлов М.Ю., Фролова Н.Л., Хубиев К.А. Экономика знаний и инноваций: перспективы России. – М.: ТЕИС, 2007. – 364 с.
2. Интернет вещей, Internet of Things (IoT). Статья о технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/IoT>, своб.
3. The real-time economy: when everything gets connected [Электронный ресурс] – <https://letstalk.globalservices.bt.com/en/real-time-economy/>, своб.

УДК 65.011.46

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОНОМИКИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Е.И. Ширяева<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.э.н., доцент П.В. Бураков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

Экономика реального времени – сравнительно новое для нашей страны понятие. В работе раскрыты основные черты данной концепции, а также рассказано о технологическом обеспечении экономики реального времени – Интернете вещей. Кроме того, в работе предложены возможные варианты использования технологий Интернета вещей в экономике государства и предприятия.

**Ключевые слова:** интернет вещей, экономика реального времени, digital economy.

Согласно базовому определению, данному российским экономистом А.В. Бузгалиным в труде «Экономика знаний и инноваций: перспективы России» в 2008 году, понятие «экономика реального времени» охватывает все виды экономической деятельности, которые благодаря информационно-компьютерным технологиям, позволившим создать эффективно работающие коммуникационные сети, осуществляются в режиме реального времени [1].

Подобное определение исчерпывающе описывает все многообразие транзакций и экономик, развивающихся и существующих благодаря информатизации человеком окружающего пространства.

В данный момент экономика реального времени приобретает все большее значение. Человек не представляет своей жизни без электронных устройств – и это кажется вполне логичным в ситуации, когда на каждого жителя планеты, начиная с 2009 г., приходится в среднем по два подключенных к сети устройства – смартфона, планшета, компьютера или иных девайсов подобного рода [2]. Со временем эта цифра только растет.

Более того, все важнее становится возможность связать все устройства, машины и механизмы, используемые человеком как в повседневной жизни, так и в бизнесе, – в единую сеть. Невозможно однозначно выделить область, в которой подобное взаимодействие было бы особенно важным: логистика, производство, обслуживание клиентов – во всех сферах деятельности компании управление на основе автоматизации является основным фактором успеха. Так, любая фирма, вне зависимости от того, производством или же ритейлом она занимается, нуждается в средствах оперативного мониторинга поступающих от клиентов заказов, а впоследствии – и отслеживании перемещения продукции к конечному потребителю. Покупатели, в свою очередь, предпочитают сделать заказ через интернет и получать оповещения о ходе доставки в автоматическом режиме, не связываясь непосредственно с менеджером по продажам.

Промышленным предприятиям необходимо держать под контролем заводские датчики и своевременно анализировать поступающую с них информацию во избежание критических ошибок, приводящих к сбоям. Постпродажное обслуживание становится в разы более эффективным в том случае, если устройства способны генерировать отчеты не только об ошибках, но и о текущем состоянии, и передавать данные сведения поставщикам продукции.

Разумеется, всю поступающую информацию необходимо не только получать, но и хранить, обрабатывать – крайне желательно, чтобы конечный пользователь получал информацию в пригодном для глубокого анализа виде.

Все вышеперечисленные факторы в конечном итоге должны были привести к появлению некой технологии, которая позволяла бы решать две основные задачи: установить такую взаимосвязь и взаимозависимость машин друг от друга, при которой человек исключался бы из процесса обмена командами и данными, но при этом сохранить за менеджером возможность просмотра и анализа данных и оперативного контроля процессов, облегчить принятие управленческих решений за счет выросших потоков входящей информации. На данный момент подобные задачи успешно решаются за счет нескольких концепций – к примеру, активно развивается электронная торговля, e-commerce, применяются решения на основе облачных вычислений [3].

Однако одной из самых интересных концепций последних лет является концепция Интернета вещей – Internet of Things (или, иначе, IoT).

По сути своей IoT – есть концепция вычислительной сети физических объектов («вещей»), оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой. Таким образом, IoT-решения фактически могут и должны использоваться для решения первой задачи, которую ставит экономика реального времени как явление – исключения человека из рутинной работы, выполняемой в автоматическом режиме машинами. Для решения же второй задачи, задачи просмотра, анализа, контроля применяются специализированные IoT-платформы и – для усиления синергетического эффекта – интегрированные с ними системы бизнес-аналитики на основе концепций обработки больших массивов данных.

Для того чтобы дать представление о том, что собой представляет предприятие, работающее по принципам экономики реального времени, обратимся к примерам.

Как было упомянуто ранее, существуют три основных направления модернизации предприятия с использованием инструментов IoT: модернизация производства при помощи различных датчиков и сенсоров, которые помогают контролировать заводские мощности, модернизация процессов логистики при помощи GPS-оборудования и систем отслеживания грузов, и, наконец, модернизация процессов постпродажного обслуживания при помощи систем мониторинга текущего состояния проданного устройства.

Большинство компаний предпочитают внедрять логистические системы мониторинга в качестве первого шага автоматизации и модернизации процессов. Причина этого – в невысоком уровне затрат. В самом деле подобные системы не нуждаются в обязательной интеграции с существующей ERP-системой компании, потому что, фактически, они используются исключительно как средство отслеживания местонахождения товаров. Таким образом, компания может сэкономить значительные деньги на внедрении и интеграции. Еще одно преимущество такого рода систем заключается в том, что зачастую поставщики и производители подобного программного обеспечения – корпоративные провайдеры мобильной связи, которые готовы предлагать хорошие условия (скидки и пакеты услуг по низкой цене) для обеспечения большей лояльности своих клиентов. Таким образом, переход на систему от уже знакомого поставщика услуг происходит относительно безболезненно для подразделений компании. Хорошим примером подобного решения может служить корпоративный сервис «Контроль кадров» от

компания Мегафон, который может предоставить менеджерам гораздо больше информации, чем заложенное в названии отслеживание SIM-карт сотрудников. Например, решение обеспечивает выполнение функций мониторинга транспорта, контроля расхода топлива и контроля соблюдения маршрутов.

Следующее звено в процессе модернизации – модернизация производственных мощностей. В большинстве случаев для обеспечения корректной работы датчиков и сенсоров IoT предприятию потребуется внедрить MES-систему, однако, если существующая ERP компании является достаточно большой и уже содержит в себе те или иные функции управления производством, установка дополнительной системы является необязательной. К примеру, SAP ERP содержит функции управления датчиками в модуле ТОПО (техническое обслуживание и ремонт оборудования). Более того, если предприятию потребуется повысить степень автоматизации производства, можно рассмотреть переход на SAP MII, интеграционную платформу, которая обеспечивает хранение всех данных о производстве, делает возможным их просмотр в реальном времени и помогает бизнесу выстраивать производственную стратегию.

Еще один шаг к бизнесу в экономике реального времени – автоматизация процессов постпродажного обслуживания. На данный момент для большинства российских предпринимателей, производящих продукт, не связанный с программным обеспечением, это кажется далеким будущим, однако Нильс Херцберг, руководитель направления IoT в SAP уверен, что рынок уже готов к подобным решениям. Много лет назад только аэростроительные концерны могли позволить себе подобные системы обмена информацией, сейчас же даже производители кофемашин могут отправлять данные о состоянии устройств в сервисные центры, так что можно с определенной долей уверенности сказать, что будущее уже наступает.

Таким образом, из всего вышесказанного можно сделать вывод, что IoT во всем многообразии решений и возможностей является одним из основных технологических элементов, обеспечивающих существование, функционирование и развитие экономики реального времени.

### Литература

1. Бузгалин А.В., Антипина О.Н., Колганов А.И., Павлов М.Ю., Фролова Н.Л., Хубиев К.А. Экономика знаний и инноваций: перспективы России. – М.: ТЕИС, 2007. – 364 с.
2. Интернет вещей, Internet of Things (IoT). Статья о технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tadviser.ru/index.php/IoT>, своб.
3. The real-time economy: when everything gets connected [Электронный ресурс] – <https://letstalk.globalservices.bt.com/en/real-time-economy/>, своб.

**УДК 004.056**

### РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**А.А. Шлыков<sup>1</sup>, Р.И. Гатауллин<sup>1</sup>, И.И. Викснин<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент И.И. Комаров<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

При использовании различных алгоритмов движения роя, состоящего из информированных и неинформированных агентов, существует возможность внедрения каким-либо образом нелегитимных агентов, которые могут помешать выполнению задач, поставленных перед роем. **Целью работы** являлась разработка модели мультиагентных робототехнических систем для проведения анализа устойчивости данных алгоритмов.

**Ключевые слова:** МРТС, MAC, рой агентов, алгоритмы усредненного движения.

В алгоритмах движения роя [1], состоящего из информированных и неинформированных агентов, в основе которых лежат принципы:

- движение к центру масс;
- избегание коллизий;
- выравнивание скоростей;
- движения к цели.

Существует возможность внедрения каким-либо образом нелегитимных агентов [2], принимающих на себя функции информированных и участвующих в локальных расчетах. Данные агенты пропагандируют альтернативное легитимным информированным агентам направление движения (на ложную цель), тем самым уводят часть агентов от истинной цели. Из-за обозначенных проблем устойчивость алгоритмов является важным критерием для использования алгоритмов в реальных условиях. Но так как отдельный робот является агентом, поведение которого определяет поведение системы в целом, то результат поведения системы, имеющей скоординированный характер движения, невозможно предсказать в силу невозможности теоретической оценки поведения и большого количества параметров системы. В данном случае эффективно использование имитационного моделирования.

Создаваемый симулятор должен предоставлять следующий функционал:

- генерация группировки роботов;
- создание целей;
- расстановка роботов и целей на рабочем пространстве симулятора;
- организация взаимодействия роботов в рамках группировки.

Роботы, создаваемые в симуляторе, представляют из себя следующий набор характеристик  $\{i, T, L, KL\}$ , где  $i$  – идентификатор робота;  $T$  – тип;  $L$  – координаты;  $KL$  – уровень информированности. Роботы делятся на три основных типа: роботы-диверсанты, пытающиеся увести рой к ложной цели; информированные агенты, которые в той или иной степени уверены в координатах истинной цели; обычные роботы, которые определяют свое движение, исходя из направления движения своих соседей. Уровень информированности показывает, насколько агент уверен в том, где находится цель, поставленная перед роем, и принимает значения  $[0, 1]$ , где «0» означает, что робот абсолютно не знает, куда направляться, следовательно, выбирает направление, исходя из движения соседей, а «1» – полная уверенность, т.е. агент движется к цели, не обращая внимания на других агентов.

В симуляторе цель представлена двумя типами – ложные и истинные. Ложная цель – такая цель, к которой направляются агенты-диверсанты, достижение этой цели означает, что поставленная перед роем задача не выполнена. Достижение истинной цели – смысл существования роя.

В начале каждого эксперимента требуется сгенерировать рой роботов  $X$ , характеризующийся набором параметров  $\{n, ni, nd, CR, CD, SD\}$ , где  $n$  – количество обычных агентов;  $ni$  – количество информированных;  $nd$  – количество диверсантов;  $CR$  – радиус взаимодействия;  $CD$  – минимальное расстояние между агентами;  $SD$  – расстояние между роботами при первоначальной расстановке их на рабочем пространстве. Радиус взаимодействия определяет некоторое расстояние, на котором агент может взаимодействовать с другими, минимальное расстояние характеризует дистанцию между роботами, которая соблюдается во время каждой итерации эксперимента.

Взаимодействие роботов подразумевает определение направление движения агента, находящегося в радиусе взаимодействия текущего робота и проверка расстояния между ближайшими соседями.

Одним из критериев, по которому можно проверить программный симулятор на точность работы, является количество агентов, пришедших к цели при отсутствии диверсантов. Для получения точных результатов необходимо проводить эксперименты на различных данных, заданных случайным образом. Это позволит охватить в выборке различные типовые ситуации и более точно оценить адекватность работы симулятора.

В ходе работы модели для проверки адекватности варьировались следующие параметры: количество агентов, количество информированных агентов, количество диверсантов, радиус взаимодействия, минимальное расстояние между агентами, начальное расстояние между агентами. В таких условиях было проведено около 1000 экспериментов, результаты работы 300 экспериментов представлены на рисунке.

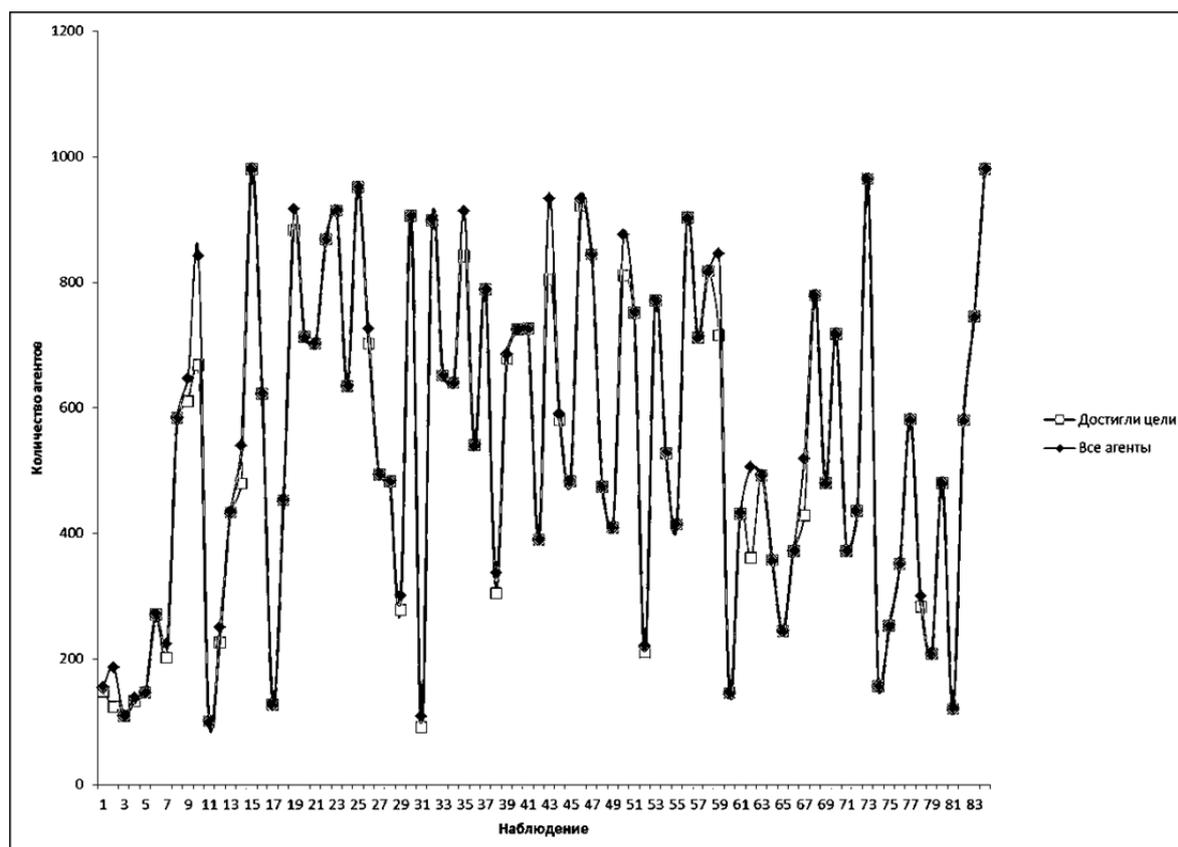


Рисунок. Соотношение начального количества роботов и роботов, дошедших до цели

Из представленного графика видно, что количество созданных роботов и количество роботов, дошедших до цели, в большинстве случаев совпадают. В остальных случаях, поскольку различия между количествами роботов не являются значительными, а количество случаев, когда эти значения значительно отличаются, меньше 1%, их можно отнести к выбросам, которые должны отсекается при проведении анализа.

## Литература

1. Jadbabaie A., Lin J. and Morse A. Coordination of groups of mobile autonomous agents using nearest neighbor rules [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ese\\_papers](http://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=ese_papers), своб.
2. Higgins F., Tomlinson A., Martin K.M. Survey on Security Challenges for Swarm Robotics // *Autonomic and Autonomous Systems*. – 2009. – P. 307–312.

УДК 334.02

## ГЕНЕЗИС ИННОВАЦИОННОГО МЫШЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

К.С. Шрайбер<sup>1</sup>Научный руководитель – к.ф.н., доцент А.А. Антипов<sup>1</sup><sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе разработана социологическая модель исследования уровня инновационного мышления в современном российском обществе. Предложены пути инновационного развития общества которые создадут основу для развития уровня инновационного мышления среди студентов.

**Ключевые слова:** инновационное мышление, социологическое исследование инновационного мышления.

Основные векторы общественно-экономического состояния стран мира показывают, что современная стадия развития общества характеризуется радикальными технологическими инновациями, интеллектуализацией технологий, укрупнением роли сферы интеллектуальных услуг и информационного сектора экономики, повышением важности осуществления деятельности по использованию, передаче, хранению и производству научных знаний и информации, переориентацией системы ценностей работников на самовыражение [1].

В Российской Федерации (РФ) такой процесс находится на начальной стадии. Выбранный правительством курс на модернизацию, работа федеральных инновационных структур («Сколково», Научные парки, Технопарки, лаборатории, НИИ и пр.) и законодательные меры – все это призвано создать основу для усиления инновационного компонента развития страны. Но, к сожалению, на сегодняшний день российская экономика в целом характеризуется низким уровнем инновационной активности. Это связано не только с экономическими, техническими проблемами, но и с проблемами, которые укоренены в специфике социума и культуры.

Основой инновационной политики в большинстве развитых стран является концепция национальной инновационной системы. Она представляет собой ряд инструментов, которые способствуют взаимодействию государственных и частных секторов, распространению и внедрению новых знаний и технологий, зарождению инновационных процессов.

Инновационная система в РФ состоит из:

1. воспроизводства знаний, в том числе и для экономического сектора, путем проведения фундаментальных исследований в Российской Академии наук (РАН), других академий наук, которые имеют государственный статус, а также в университетах и высших учебных заведениях страны;
2. осуществление прикладных исследований и технических разработок в научных центрах и научных организациях, внедрение результатов исследований в производство;
3. создание конкурентоспособной инновационной продукции в сельском хозяйстве и промышленности;
4. подготовка кадров в сфере управления и организации инновационной деятельности.

В современном обществе социально активная личность, способная принимать взвешенные решения и полностью нести за их реализацию ответственность, пользуется огромным спросом. Объективно, возрастает потребность в специалистах, готовых быть конкурентоспособными. Трудовые успехи специалиста сегодня зависят от таких качеств, как профессионализм, компетентность и креативность. Добиться же достаточного уровня данных качеств может лишь человек с инновационным мышлением.

Инновационное мышление сегодня – один из востребованных инструментов для качественного и оптимального развития экономики. Темп изменений в науке и технике увеличивается с каждым годом. Он обусловлен наличием у общества инновационного мышления, которое нацелено на внедрение инноваций повсеместно, однако справедливо ли это по отношению к российскому обществу?

Трудно оценивать ситуацию в российском обществе прежде всего из-за его раздробленности, которая сложилась исторически, а также из-за определенного менталитета русского народа, в основе которого лежит консерватизм.

Исследование уровня инновационного развития РФ неразрывно связано с исследованием уровня развития инновационного мышления.

Для исследования состояния инновационного мышления, а также основных препятствий к его развитию было решено использовать метод социологического мониторинга.

Респондентам было предложено принять участие в опросе путем выбора одного, наиболее соответствующего их мнению варианта, из нескольких предложенных ответов. В опросе приняло участие 135 человек из разных сфер, так или иначе связанных с инновационной деятельностью.

Создание нескольких групп респондентов обусловлено необходимостью комплексного и сравнительного анализа уровня инновационного развития.

Первая группа респондентов включает в себя 55 человек и состоит из участников Дней Интеллектуальной собственности (ИС) в Северо-Западном федеральном округе-2016, деятельность которых непосредственно создана с созданием инновационных продуктов для различных предприятий высокотехнологической промышленности и внешнеторговой деятельности.

Вторая группа респондентов была выбрана для определения будущего вектора развития инновационного мышления. Это заинтересованные в защите собственных творческих идей учащиеся школ. Средний возраст респондентов составил 16 лет, в большинстве – это учащиеся 9, 10, 11 классов общеобразовательных школ, гимназий и лицеев Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Количество опрошенных – 37 человек.

Согласно Стратегии развития таможенной службы Российской Федерации до 2020 года, утвержденной Распоряжением Правительства РФ № 2575-р от 28 декабря 2012 года [2], переход РФ на инновационный принцип развития экономики, а также изменение масштабов, характера и форм внешнеэкономической деятельности формируют предпосылки для совершенствования таможенной деятельности, развитию инновационных таможенных технологий.

В третьей группе было опрошено 43 человека. Третья группа респондентов состояла из государственных гражданских служащих и сотрудников Кингисеппской таможни. Выбор сферы деятельности респондентов обусловлен тем, что вопрос уровня инновационного развития в таможенной сфере еще не был исследован.

Общественную форму экономической деятельности можно менять либо сверху, либо снизу. Последовательная политическая воля и сотрудничество с бизнесом является общественным консенсусом данной проблемы.

Инновационный прорыв представляет собою совокупность действий государства, бизнеса и инноваторов, обеспечивающий высокий рост количества и качества внедренных инноваций, а также значительное увеличение территорий РФ активно использующих инновации, развитие экономики за счет инноваций: увеличение объемов выпускаемой инновационной продукции, которая обеспечивает существенное увеличение темпов роста ВВП, а также увеличивает спрос на инновации (рисунок).

Анализ результатов говорит о том, что по мнению респондентов, власть и бизнес должны взять на себя инициативу по разработке плана инновационного прорыва, так как попытки изменить ментальность трудозанятого населения России, сделать его

инновационным за последние два десятилетия были предприняты достаточное количество раз. Были созданы особые экономические зоны с налоговыми льготами, таможенными преференциями и т.д., однако при этом объем российской инновационной продукции на мировом рынке по-прежнему измеряется десятками и сотыми долями процента.

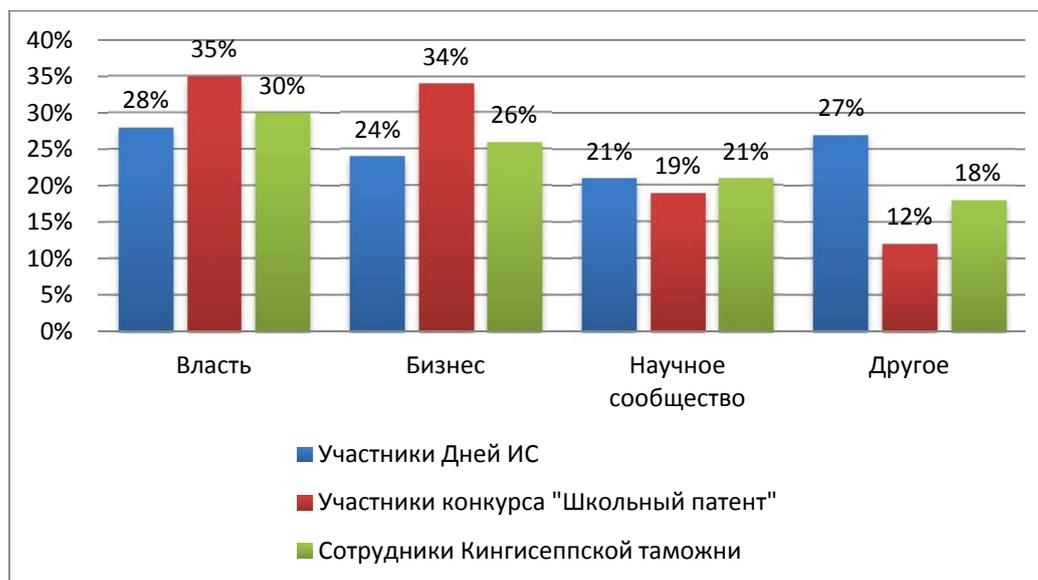


Рисунок. Результаты исследования «Кто, на Ваш взгляд, должен сыграть решающую роль в инновационном прорыве России?», %

Инновационное развитие признается безусловно необходимым фактором развития России значительной частью властной элиты, бизнес-сообществом, представителями государственных органов, общественных и политических организаций, а также ведущими экспертами и специалистами. Без решительной перемены «вектора развития» неминуемо отставание России от мировых лидеров, занимающих прочные позиции в глобальном инновационном пространстве.

На сегодняшний день темпы и результаты инновационного развития России не могут считаться удовлетворительными. Причины низкой инновационной активности в России связаны с целым рядом проблем.

Во-первых, сокращается численность персонала, занятого в исследованиях и разработках. Низкий уровень оплаты труда научных сотрудников и престиж профессии не обеспечивает приток молодых кадров.

Во-вторых, проблема интеллектуальной и бизнес-миграции, которая напрямую коррелирует с вопросом оттока специалистов из сферы исследований и разработок. Следовательно, научные таланты «эмигрируют», не выезжая за границу, а результаты их разработок становятся собственностью иностранного работодателя.

В-третьих, низкая финансовая активность, в том числе коммерческого сектора в деятельности, направленной на получение новых знаний и их практическое применение.

В-четвертых, слабая эффективность реализации научно-технического потенциала России, в том числе инновационного. Недостаточное развитие уровня инновационного мышления ввиду отсутствия соответствующих образовательных программ.

В-пятых, дисбаланс кооперационных связей между научными, образовательными учреждениями и производственными предприятиями, имеющих отношение к инновационному процессу. В отличие от зарубежных стран в России долгосрочное сотрудничество между корпоративным сектором и научными, образовательными учреждениями в вопросах коммерциализации научных разработок остается на низком уровне.

Наиболее важными и первостепенными шагами в сторону улучшения сложившейся ситуации является всесторонняя поддержка проектов и законов, к примеру, Стратегии инновационного развития РФ, для совершенствования инновационных областей. Нужно корректировать систему образования для развития инновационного мышления, а также разработать комплекс совместных с бизнесом, государственных действий, направленных на развитие и поддержку области наукоемких технологий.

Необходимо образование и развитие института экспертов в сфере создания инновационных систем и проведение широкой пропаганды среди всех слоев населения страны необходимости инновационного пути развития.

Трудно недооценить значимость инноваций для экономики страны и благосостояния общества. Инновации способствуют развитию новых отраслей экономики, интеграции в инновационное рыночное пространство, повышению конкурентноспособности как среднего, так и малого бизнеса. Также они направлены на обеспечение экономической безопасности путем создания новых видов продуктов, укреплению обороноспособности, и росту экономики в долгосрочной перспективе.

Создание среды, способствующей развитию инновационного мышления, должно быть поручено высшим учебным заведениям, которые будут иметь возможность отбирать группы студентов и предлагать им посещать дополнительные курсы для развития их творческого и изобретательского потенциала. Для этого следует увеличить финансирование учебных заведений за счет поступлений из негосударственных фондов, государственного бюджета или же частных инвесторов, которые заинтересованы в инновациях в сферах своей деятельности [3–5].

### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 08.12.2011 г. № 2227-р «Об утверждении Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года» // Российская газета. – 2011. – № 6540(270). – 32 с.
2. Ананьев Б.Г. Человек как предмет познания. – М.: Выш. шк., 2010. – 201 с.
3. Добронравова И.С. Синергетика: Становление нелинейного мышления. – М.: Академия, 2012. – 272 с.
4. Закатнова А. Мотивация к модернизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2010/10/01/surkov.html>, своб.
5. «Инновационная Россия – 2020» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://innovation.gov.ru/ru/taxonomy/term/586>, своб.

### УДК 338.4

#### РАЗРАБОТКА ДОРОЖНОЙ КАРТЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Е.И. Шгерле<sup>1</sup>, А.И. Александрова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе рассмотрены проблемы инновационного развития предприятий, работающих в машиностроительной отрасли. Произведен расчет показателей деятельности, проанализировано финансовое состояние предприятия. Сформулированы рекомендации, необходимые для улучшения состояния организации. Выявлены наиболее эффективные инновационные стратегии и инструменты управления с учетом имеющихся ресурсов.

**Ключевые слова:** инновационное развитие, предприятие, машиностроение, финансовое состояние, инструменты управления.

В условиях современной экономики в связи с развитием научно-технического прогресса, каждому предприятию необходимо обеспечивать инновационное развитие. Для предприятий машиностроительной отрасли оно выражается в технологической

модернизации, обеспечении платежеспособного спроса на продукцию. Проблемы, с которыми сталкиваются предприятия: высокая степень износа производственных фондов и низкая производительность труда [1]. Также существенное отрицательное влияние оказывает низкая инвестиционная привлекательность данной отрасли, которая отрицательно сказывается на процессе модернизации производственной системы [2]. В России уровень объема финансирования в научную деятельность, в новые разработки значительно уступает уровню за рубежом, незначительна поддержка государства. Например, показатель доля затрат исследования и разработки в ВВП, по своему значению значительно уступает значениям зарубежных стран. В России он равен 1,24% по сравнению с 2,77% в США, 2,64% в Германии и 4,86% в Израиле [3]. Инновационный процесс будет запущен в полном объеме, только когда сгенерированные идеи преобразуются в знания и будут материализованы в производстве. **Цель работы** – это разработка стратегии и инструментов управления инновационным развитием, применимых для машиностроительного предприятия «Пелла-Маш», с учетом специфики его деятельности и финансового состояния. Выявление наиболее эффективной для предприятия инновационной стратегии, инструментария, позволяющего улучшить положение компании с учетом имеющихся ресурсов, и возможностей является очень важной задачей. В целях ее решения для конкретного предприятия необходимо определить специфику деятельности, его сильные и слабые стороны и преимущества перед конкурентами. Анализ финансового состояния и выявление положительных или отрицательных тенденций развития, позволит разработать управленческие решения для совершенствования деятельности предприятия. Процесс разработки инструментов управления для предприятия рассмотрены на примере ОАО «Пелла-Маш».

Задачами данной работы – рассмотреть финансовое состояние предприятия, проводя анализ балансов предприятия за 3 года, показателей деятельности организации, анализ финансового, операционного и производственного циклов и сформулировать рекомендации, способствующие улучшению состояния и совершенствованию деятельности.

Рассматриваемое предприятие «Пелла-Маш» работает в системообразующей отрасли отечественной экономики – машиностроении, которая определяет уровень производственного потенциала страны [4], обороноспособности государства и устойчивого функционирования всех отраслей промышленности. В настоящее время деятельность промышленных предприятий направлена на импортозамещение, и данная отрасль способна дать начало созданию новых высокотехнологичных производств, улучшению качества производимых изделий и привлечению инвестиций. Производство данного предприятия является мелкосерийным, основными видами деятельности являются изготовление продукции научно-технического назначения: кузнечно-прессовое оборудование, спускоподъемных устройств, окрасочная аппаратура; выполнение работ по судостроению и металлообработке [5].

Обратимся к финансовому анализу деятельности предприятия. За анализируемые периоды наибольшую долю в структуре активов занимают запасы и дебиторская задолженность. В структуре пассивов – нераспределенная прибыль и кредиторская задолженность. Данные представлены на рисунке.

В связи с кризисной ситуацией в данной отрасли и смежных ей за периоды 2012–2013 гг., отсутствия ожидаемого инвестиционного роста и сокращения заказов от клиентов, выручка от продаж снизилась к 2013 г., к 2014 г. показатель увеличился благодаря изменению экономической ситуации, и увеличилось количество заказов. Также резко снизилась прибыль от продаж. Прибыль до налогообложения сократилась почти в 9,5 раз за период 2012–2013 гг., к 2014 г. показатель незначительно вырос по

сравнению с предыдущим периодом. Чистая прибыль имела резкое снижение к 2013 г., что было в значительной степени обусловлено полученной от учредителя помощью в 2011 г., однако денежные средства не были потрачены и были отражены в прочих внереализационных доходах предприятия на 2012 год.

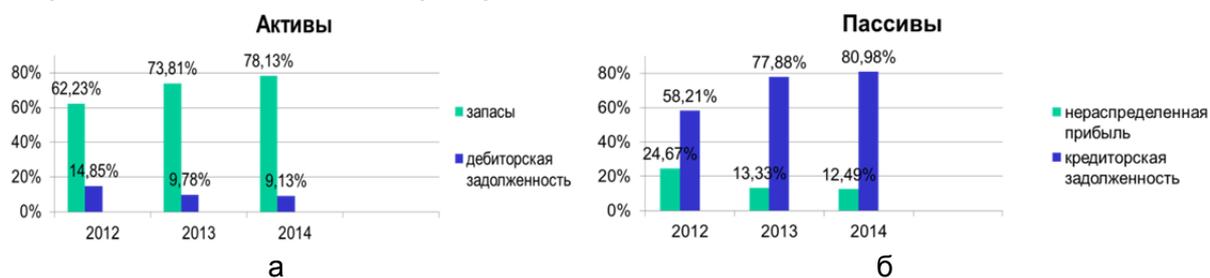


Рисунок. Структура активов (а) и пассивов (б) предприятия

Производя анализ производственного, финансового и операционного циклов предприятия видно, что на 2014 год только операционный цикл остался без изменений. Производственный цикл увеличился на 2 дня, его сокращение возможно за счет ускорения производственных процессов и оборачиваемости дебиторской задолженности. Чем меньше будет длительность данного цикла, тем больше скорость оборачиваемости оборотных средств. В результате чего происходит высвобождение денежных ресурсов, которые могут быть использованы для расширения производства на предприятии.

Финансовый цикл имеет отрицательные значения и изменился на 28 дней. Это говорит о наличии у предприятия временно свободных денежных средств, также может указывать на то, что оплата за реализованную продукцию от клиентов происходит раньше, чем оплата счетов от поставщиков.

Операционный цикл за оба периода составил 43 дня, он отражает промежуток времени, в течение которого оборотные активы совершают полный оборот и дебиторская задолженность погашается за счет поступления денежных средств от клиентов. Сокращение финансового и операционного циклов в динамике рассматривается как положительная тенденция.

Чтобы определить финансовое состояние предприятия, необходимо было выявить соотношения таких показателей, как: производственные запасы (ПЗ), источники формирования запасов (ИФЗ) и собственные оборотные средства (СОС). На данном предприятии значения показателей составляют неравенство:  $ПЗ > СОС$ ,  $ПЗ > ИФЗ$ , что говорит о неустойчивом финансовом состоянии предприятия. непогашенных займов оно не имеет, и может развиваться без привлечения заемных средств. Также у предприятия есть возможность рассчитаться по краткосрочным обязательствам, реализовав оборотные активы.

Для воздействия на развитие предприятия необходимо применение инновационной стратегии, а основным инструментом управления будет служить снижение затрат.

Следует использовать наступательную инновационную стратегию, так как она является наиболее эффективным методом воздействия на развитие. Выражаясь в поиске и выявлении слабых сторон конкурента, она способствует совершенствованию работы организации по данным направлениям. Рассматриваемое предприятие имеет собственное проектно-конструкторское бюро, которое позволяет ориентироваться на исследования с применением новейших усовершенствованных технологий, разработку новых видов техники, выпускаемой продукции. Возможен выпуск изделий, которые по своим характеристикам будут пользоваться большим спросом нежели их аналоги, являясь наиболее качественными и конкурентоспособными, что позволит укрепить гарантии качества на рынке. Как один из способов укрепления позиций предприятия на

рынке предусматривается повышение уровня работы с клиентами. С учетом специфики отрасли важно учитывать не только особенности производимой продукции, но и характеристики производства ее покупателя.

Сокращать затраты предприятия возможно путем снижения себестоимости, запасов и дебиторской задолженности.

В качестве способов снижения себестоимости следует ориентироваться на внутренние возможности организации, обеспечить сокращение затрат на производство продукции, и сделать ее максимально конкурентоспособной. Основными факторами снижения являются обеспечение непрерывности технологического процесса, его автоматизация и внедрение усовершенствованных видов материалов. Обеспечив рост производительности труда, становится возможным уменьшить затраты труда на единицу продукции, способствуя снижению удельного веса заработной платы в себестоимости. Осуществляя экономию при производстве изделий на всех участках производственного процесса уменьшаются затраты на материалы на единицу продукции, а так как они в структуре себестоимости занимают большую долю, то незначительная экономия позволит получить эффект. Существенным фактором будет сокращение потерь от брака, снижение количества отходов, рационализация использования всех ресурсов предприятия. Снижение себестоимости на 20% приведет к увеличению рентабельности оборотных активов на 28,2%.

Следующим методом является сокращение запасов. Достичь этого можно путем улучшения организации снабжения, устанавливая точные условия и сроки в договорах поставок. Для обеспечения их выполнения и рассчитывая объем требуемых материалов необходим учет скорости выполнения заказа. Нужно применять нормативные методы управления, не ограничиваться сравнением показателей по периодам и фактическим результатам. Нормативная база, сформированная на предприятии, является фактором повышения эффективности деятельности организации. Одними из главных являются нормы запасов материальных ресурсов. Важно знать, в каком объеме имеющиеся производственные и сбытовые запасы позволяют вести бесперебойную деятельность. Контроль за движением материальных и денежных потоков позволит сделать более эффективной систему снабжения предприятия и сбыта, что, в свою очередь, позволит оптимизировать уровень запасов предприятия, снизить их количество и затраты на содержание. Также они влияют на оборачиваемость оборотных средств, замедляя ее, снижают темпы производства. Снижение запасов позволит уменьшить потери от консервирования в них денежных средств и их изъятия из альтернативных проектов, а следовательно, недополучение возможной прибыли. Сокращение запасов на 30% позволит увеличить рентабельность оборотных активов на 2,2%.

Путем сокращения затрат является снижение дебиторской задолженности с помощью оптимизации условий проводимых сделок, т.е. максимально возможного сокращения периода погашения задолженности. Проведение работы с дебиторами требует определения их надежности. Оценку надежности можно провести на основании срока работы с клиентом, объема продаж и объема его просроченной задолженности на конец периода. В зависимости от этого предоставляется отсрочка платежа. Автоматизация учета дебиторской задолженности может позволить упростить проводимую работу, но требует специальной подготовки: разработки системы, позволяющей быстро и качественно учитывать происходящие изменения. Для этого нужно проанализировать требуемую информацию для осуществления контроля и анализа задолженности, т.е. степень надежности, условия предоставления отсрочки платежа, установленный лимит и сроки исполнения обязательств. Информационная система позволит проводить автоматическую рассылку писем дебиторам с предупреждением о сроках платежа, оповещать о мерах, предпринятых в случае невыполнения обязательств в срок, начислять пени и штрафы за нарушение сроков

оплаты, установленных графиком погашения задолженности, на основании договора, своевременно обновлять данные о состоянии дебиторской задолженности и поступлении платежей от дебиторов. Можно установить блокировку выставления счетов и осуществления отгрузок при превышении установленных лимитов. Скидки можно предоставить в зависимости от сроков оплаты. Система будет выгодна предприятию только в случае получения большего дохода при проведении ускоренных платежей, чем размер скидки, предоставленной за авансовые платежи. Снижение дебиторской задолженности позволит увеличить прирост финансовых ресурсов и улучшить финансовое состояние. Снижение дебиторской задолженности на 40% увеличит рентабельность оборотных активов на 2,2%.

Учитывая финансовое состояние и специфику деятельности предприятия «Пелла-Маш», для осуществления его инновационного развития рекомендовано применить: наступательную инновационную стратегию; и в качестве инструмента управления – методы снижения затрат.

### Литература

1. Комов М.С. Особенности развития инновационной деятельности в российском машиностроении // Молодой ученый. – 2011. – № 8. – Т. 1. – С. 138–140.
2. Санин М.К. Организационная структура управления в инновационном бизнесе // Вопросы современной экономики: теоретические и практические аспекты. Сб. научных трудов международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 95–98.
3. Проект Инновационная Россия – 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://datis.pro/upload/aed/Innovative-Russia-2020.pdf>, своб.
4. Коньшакова С.А., Кураленко О.Г. Перспективы развития инновационного машиностроения в России // Главный механик. – 2012. – № 6. – С. 19–24.
5. Официальный сайт «Пелла-Маш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pellamash.ru/about.html>, своб.

UDC 614.2:338

### PROBLEMS OF INNOVATION IMPLEMENTATION TO THE SCIENTIFIC RESEARCH CENTERS IN HEALTHCARE

Y.A. Shukova<sup>1</sup>, J.A. Sazanovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ITMO University

The article provides current issues of healthcare development and innovation management in medical sphere. The purpose of this work is to review categories of innovations, existing business models and innovative projects in healthcare, problems faced and ways of their solution. State healthcare programmes are hard to carry out due to weak legislation and scarcity of local budgets. Improvement of the legislation, expansion of state activities to promote innovation and research (grants, scholarships, special programs), and implementation of managerial contracts for public-private partnerships are proposed as possible solutions.

**Key words:** innovations, healthcare, innovation implementation, scientific research centers, business models.

Innovations are increasingly becoming a norm not only in IT and engineering, but also in healthcare. In this case, healthcare is becoming a sector, which rapidly adopts innovations that provide competitiveness at market.

The article presents current issues of healthcare development and innovation management in medical sphere. The purpose of this work is to review the categories of innovations, the existing business models and innovative projects in healthcare, problems faced and ways of their solution.

Innovation is often defined as an application of ideas, products, services, processes or technologies, which are either new or improved, from which individuals, a group or society could benefit. Innovations contribute competitiveness and quality.

There are three categories of innovations: product innovations, process innovations and paradigm innovations, which are focused on finding effective solutions for healthcare challenges. Product innovations mean that quality is becoming better and price is reduced. In this case, a product has an additional value to a consumer.

Process innovations mean that there are new or improved ways of business performance optimization.

In healthcare, possible areas of process innovations include internal processes: human resources, sales and commercial operations; health resources: financing, infrastructure, delivery systems, etc.

Paradigm innovation is the creation of new business models or patterns. Paradigm innovation covers policies, processes or products that have influenced the industry trends and target three objectives of the health system "health of population, healthcare system responsibility and respond, financial ethics" [1].

The most promising business model of innovative management in medicine is the creation of public-private partnerships (PPPs). Various mechanisms involved in PPP include contracting in, contracting out, state funding, leasing or rentals, etc. PPPs are being experimented within various spheres of healthcare including healthcare delivery, medical education, diagnostics, medical devices, etc.

Experience of PPPs at City Hospital № 40 in the field of medical rehabilitation and laboratory diagnostics is viewed.

Another important direction and promising business model is creation of small innovative enterprises (SIE), which combine the scientific and intellectual potential of state institutions and business [2].

SIE have such feature as focusing on one product or several closely related products. They operate at market with small enterprises, where the innovator and the head is often the same person. Small innovative enterprises work with products at their earliest stage of their life cycle.

Innovations in Healthcare are mostly implemented in scientific research centers. At the moment telemedical care development project which is organized by the Russian Ministry of Health in the Scientific Research Orthopedic Institute for Children named after Turnera is being intensively developed. The main idea of this project is to increase the availability of high quality medical care to regional patients. Innovative medical guidelines include development of modern treatment methods of different disorders, including computer modeling and planning, usage of high-tech implants and instruments, modern methods of diagnosis and rehabilitation; diagnosis and treatment of children with rare and genetic diseases; implementation of robotic rehabilitation biofeedback and functional movements devices.

Unfortunately, implementation of innovative methods faces inertia of the regulatory structures. There are problems with certification and licensing of new techniques, difficulties with budget financing of research and innovation, and rigidity of the population. Lack of project efficiency control, as well as low motivation of private investors contribute these problems [3].

The main results are the improvement of the legislation, expansion of the state activities to promote innovation and research (grants, scholarships, special programs). In order to build successful PPP Managerial contracts should be implemented. It will increase efficiency of public-private partnership.

Managerial contracts will increase efficiency of public-private partnership. Key measures of the state policy in the sphere of healthcare medical services should be focused on creation of a self-regulatory model, which can take place only with intensive interaction of public and private sectors. Implementation of PPP at the national level will accelerate the

development of the medical services market. PPP will contribute to the formation of an effective competitive environment, optimize financial resource management, improve quality and increase the number of services provided.

### References

1. Deloitte. Innovative and sustainable healthcare management: Strategies for growth. Conference background note [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/in/Documents/life-sciences-health-care/in-lshc-innovative-healthcare-noexp.pdf>, своб.
2. Борщёва Н.Л. Проблемы развития инновационной деятельности в здравоохранении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekonomika.snauka.ru/2014/01/3641>, своб.
3. Фоменко В.В. Финансовые инновации в медицинском страховании [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2014/11/40469>, своб.

УДК 004.93

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЧЕВЫХ СЕГМЕНТОВ ЦЕЛЕВОГО ДИКТОРА НА МНОЖЕСТВЕ ДИАЛОГОВ

А.К. Шулипа<sup>1</sup>, А.В. Шолохов<sup>1</sup>

Научный руководитель – д.т.н. Ю.Н. Матвеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

**Целью работы** являлась разработка алгоритма кластеризации речевой информации по дикторам, который эффективно осуществляет решение поставленной задачи с использованием априорной информации о структуре данных.

**Ключевые слова:** кластеризация речевых баз, распознавания дикторов по голосу, биометрические системы контроля доступа.

**Введение.** Применение голосовой модели пользователя с целью его последующей идентификации в настоящее время получило широкое распространение при решении различного рода задач. Это могут быть приложения, связанные с оптимизацией хранения речевых данных или поиском в базах голосов клиентов организаций, предоставляющих различные виды голосового сервиса, связанные с проведением банковских операций, автоматизацией обслуживания клиентов в торговых сетях и т.д.

Способность голосовой модели воспроизвести детальную параметризацию речевых особенностей является важным свойством для ее использования при решении биометрических задач. Очевидно, что применение речевого материала, содержащего наиболее полную информацию о внутридикторской вариативности голоса, которая проявляется в различных состояниях диктора (эмоциональных, физиологических и т.д.) позволяет создать голосовую модель эталонного образца, которая может быть эффективно использована в задачах биометрии. Этому условию на практике удовлетворяет мультисессионная голосовая модель целевого диктора – голосовая модель, полученная на речевом материале, собранном на множестве фонограмм его разговоров.

Данная задача может реализовываться как на основе анализа речевого контента, что требует привлечения системы распознавания речи, так и на основе биометрического анализа речевой информации. Использование биометрической информации подразумевает структуризацию речевой базы данных на основе индивидуальных особенностей голоса диктора. Именно этот случай был рассмотрен в данной работе, поскольку представлял особый интерес для создания и отладки систем голосового поиска и контроля доступа [1–3].

Для решения подобного рода задач широко известны и используются алгоритмы диаризации и кластеризации, позволяющие выполнить группировку речевой информации в зависимости от дикторской принадлежности. Разметка речевых сегментов по дикторам в пределах одной фонограммы производится на основе алгоритма диаризации, установление связи между речевыми сегментами достигается на основе использования алгоритмов идентификации и кластеризации [4, 5].

Приемлемое решение задачи структуризации речевых данных по дикторам в общем виде на практике не всегда представляется возможным, поэтому чрезвычайно важным является использование априорной информации относительно структуры входных данных. В качестве такой информации, способной значительно упростить решение задачи и повысить качество алгоритма является знание относительно числа дикторов на каждом произнесении, связь между дикторами на произнесениях (одни и те же дикторы или разные) и т.д.

На практике широко распространен случай, когда на фонограммах записей разговоров присутствует один и тот же диктор, и его речь необходимо идентифицировать на всем множестве фонограмм [6]. Например, такая ситуация может возникнуть при обработке фонограмм разговоров оператора с клиентами при звонках в сервисный центр, анализе речевого материала разговоров, полученных с фиксированного телефонного номера (ассоциированного с определенным пользователем) и т.д. Для таких случаев как раз актуально использование алгоритма кластеризации, приведенного в данной работе.

### **Описание принципов работы предлагаемого метода кластеризации**

1. Постановка задачи. Общая схема. На рис. 1 показана структурная схема возможного применения алгоритма кластеризации, который предлагается в данной работе для построения голосовой модели целевого диктора на множестве фонограмм его разговоров. Основным предположением для использования алгоритма является то, что речевая база представляет собой базу телефонных разговоров  $S$  целевых дикторов, где  $N(s)$  – число телефонных разговоров каждого диктора,  $s = 1 \dots S$ . На каждом телефонном диалоге произвольного  $\hat{s}$  диктора, известными алгоритмами [2, 5] производилось выделение речевых сегментов, удаление посторонних шумов и разметка сегментов по дикторам, участвующим в диалоге. Далее используя предложенный алгоритм кластеризации, извлекались речевые сегменты, принадлежащие заданному диктору  $\hat{s}$ , и группировались для построения мультисессионной модели.

Полученные мультисессионные модели могут быть использованы для проведения биометрического поиска, группировки речевых сегментов по дикторам для оптимизации хранения и повышения эффективности доступа к нужной информации в речевой базе данных и т.д.

Описание алгоритма. Как показано на рис. 1, база речевых данных, содержащая фонограммы разговоров целевых дикторов  $s = 1..S$  имеет определенную структуру. Важным является то, что все разговоры каждого диктора хранятся в отдельных директориях. Сформулируем задачу кластеризации речевых сегментов произвольного диктора  $s$  на совокупности его телефонных разговоров, хранящихся в базе данных.

Пусть  $i = 1 \dots N$ , индекс пробегает по всем записям телефонных разговоров целевого диктора. Для обозначения речевых данных, принадлежащих каждому диктору на диалоговых произнесениях, используем дополнительный индекс  $t = 1 \dots 2$ . Поскольку неизвестно точно, какому из дикторов принадлежат речевые данные, то для обозначения идентификатора диктора на этих речевых данных потребуется индекс  $k = 1..2$ .

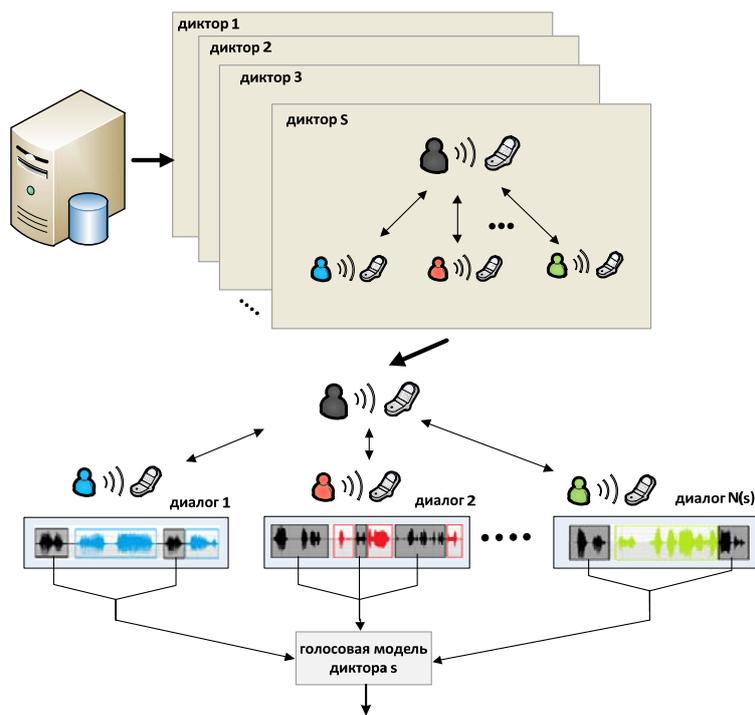


Рис. 1. Блок схема применения алгоритма кластеризации для получения голосовых моделей дикторов в базе данных

Используя представление речевых данных в пространстве полной вариативности и вероятностный линейно-дискриминативный анализ (PLDA, Probabilistic Linear Discriminant Analysis), для  $i$ -ой диалоговой фонограммы может быть написана формула полной вероятности следующего вида:

$$P_i(x, y, z) = \prod_{t=1}^2 \prod_{k=1}^2 \left( [P(x_{i,t}|y_{i,k})]^{z_{i,t,k}} \times P(y_{i,k}) \times P(z_{i,t,k}) \right), \quad (1)$$

где  $x_{i,t}$  – представление речевых данных  $t$  на  $i$ -ой диалоговой фонограмме в пространстве полной изменчивости,  $x_{i,t} \in \mathbb{R}^F$ ;  $F$  – размерность пространства полной изменчивости;  $y_{i,k}$  – скрытые факторы, соответствующие диктору – одному из участников  $i$ -ого диалога, с идентификатором  $k$ ,  $y_{i,k} \in \mathbb{R}^M$ ;  $M$  – размерность пространства скрытых, дикторозависимых факторов;  $z_{i,t,k}$  – скалярная, бинарная переменная–индикатор, принимающая значения  $\{0,1\}$ . Активируется, при условии, когда на  $i$ -ой диалоговой фонограмме речевые данные  $t$  принадлежат диктору с идентификатором  $k$ .

Приведенная формула общей вероятности справедлива в общем случае, но для эффективного решения поставленной задачи целесообразно использовать ее в упрощенном виде. Для изменения данной формулы нужно принять во внимание несколько фактов, которые следуют из условий постановки задачи:

- один из дикторов является целевым и всегда присутствует в каждом диалоге;
- собеседники целевого диктора меняются при переходе от одного диалога к другому – локальные дикторы (локальные дикторы на всех диалогах разные).

Учитывая приведенные выше замечания, можно ввести замену переменных следующего вида:

$y_i$  – скрытые факторы, соответствующие локальному диктору на  $i$ -ом диалоге;

$y$  – скрытые факторы, соответствующие целевому диктору – общие для всех диалогов (не зависят от  $i$ );

$z_i$  – скалярный бинарный индикатор  $\{1, 0\}$ , показывает присутствие на  $i$ -ом диалоге целевого диктора на речевых данных с индексами  $t = 1, 2$ ;

На рис. 2 представлен граф, демонстрирующий связи между введенными

переменными, который дает пояснения к упрощению исходной формулы расчета полной вероятности. Используя введенные обозначения, формула общей вероятности для  $i$ -ого диалога примет вид:

$$P_i = [P(x_{i,1}|y_i)P(x_{i,2}|y)]^{z_i} \times [P(x_{i,2}|y_i)P(x_{i,1}|y)]^{1-z_i} \times P(y_i) \times P(y) \times P(z_i). \quad (2)$$

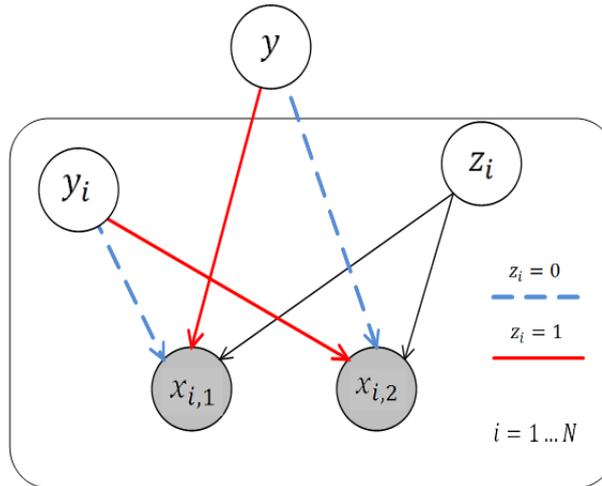


Рис. 2. Представление связей между переменными в формуле полной вероятности  $P_i$  в виде графа

Формула полной вероятности на всей совокупности  $N$  диалогов с участием целевого диктора:

$$P = \prod_{i=1}^N P_i \quad (3)$$

$$P = P(y) \times$$

$$\times \prod_{i=1}^N \left( [P(x_{i,1}|y_i)P(x_{i,2}|y)]^{z_i} [P(x_{i,2}|y_i)P(x_{i,1}|y)]^{1-z_i} P(y_i)P(z_i) \right). \quad (4)$$

Приведенная формула может быть представлена в виде произведения вероятностей распределений, которые зависят только от глобальных дикторозависимых факторов  $y$  и локальных факторов  $Y = \{y_i\}_{i=1..N}$ , определенных на соответствующих речевых сегментах нецелевых дикторов:

$$P(X, y, Y, Z) = P_g(X, y, Z)P_l(X, Y|Z), \quad (5)$$

$$X = \{x_{i,k}\}_{i=1..N}^{k=1..2} \text{ и } Z = \{z_i\}_{i=1..N}.$$

Выражения для вероятностей, входящих в произведение (5) имеют следующий вид:

$$P_g(X, y, Z) = P(y) \prod_{i=1}^N \left( P(x_{i,1}|y)^{1-z_i} P(x_{i,2}|y)^{z_i} P(z_i) \right), \quad (6)$$

$$P_l(X, Y|Z) = \prod_{i=1}^N \left( P(y_i)P(x_{i,1}|y_i)^{z_i} P(x_{i,2}|y_i)^{1-z_i} \right). \quad (7)$$

В общем случае решение задачи определения меток целевого диктора на речевых данных сводится к определению  $\psi$  набора параметров распределений случайных величин, входящих в выражение полной вероятности (5) и представленных на графе (рис. 2). Основным условием поиска  $\psi$  параметров распределений скрытых переменных является требование максимизации полной вероятности на всем наборе данных:

$$\psi = \operatorname{argmax}_{\psi} P(X, y, Y, Z|\psi). \quad (8)$$

Учитывая разложение совместной плотности распределения на множители (5) для определения  $Z$  разметки целевого диктора на диалогах, достаточно найти  $\psi$  набор параметров апостериорных распределений скрытых переменных  $y, Z$ , удовлетворяющий условию:

$$\psi = \operatorname{argmax}_{\psi} P_g(X, y, Z|\psi) \quad (9)$$

Далее при наличии  $\psi$ , может быть произведен расчет характеристик

апостериорных распределений  $Y$  факторов нецелевых дикторов, используя распределение  $P_l(X, Y|Z)$ . Но для определения индексов целевых дикторов на диалоговых фонограммах этого не требуется. Одним из эффективных способов, который позволяет найти набор  $\psi$  параметров и создать вероятностное описание для всех представленных переменных является метод вариационно байесовского анализа. Суть метода заключается в последовательном, итеративном поиске параметров апостериорных распределений случайных величин согласно схеме, приведенной в [5, 7]. Используя данный метод, логарифмы апостериорных распределений скрытых случайных переменных можно выразить следующим образом:

$$\log Q(y) \sim \langle \log P_g \rangle_{Q(z_i)} \quad (10)$$

$$\log Q(z_i) \sim \langle \log P_g \rangle_{Q(y)}. \quad (11)$$

С точностью до постоянного члена апостериорные распределения скрытых параметров (10) и (11) примут вид:

$$\log Q(y) = \sum_{i=1}^N [\langle z_i \rangle \log P(x_{i,2}|y) + [1 - \langle z_i \rangle] \log P(x_{i,1}|y)] + \log P(y) + \text{const}, \quad (12)$$

$$\log Q(z_i) \sim z_i \langle \log P(x_{i,2}|y) \rangle + [1 - z_i] \langle \log P(x_{i,1}|y) \rangle + \log P(z_i) + \text{const}. \quad (13)$$

Выразим формулы для  $\log Q(y)$ ,  $\log Q(z_i)$  через параметры модели PLDA  $\theta = \{m, V, \Lambda\}$ . Для упрощения вывода формул вводится замена переменных  $x'_{i,k} = x_{i,k} - m$ . Используя вид распределений для  $x_{i,k}$  низкоразмерных векторов в модели PLDA, и априорные распределения  $P(y)$  на дикторозависимые факторы целевого диктора и  $P(z_i)$  бинарные индексы маркировки целевого диктора на диалоговых произнесениях, можно записать:

$$\log P(x_{i,k}|y) = -\frac{1}{2} (x'_{i,k} - Vy)^T \Lambda (x'_{i,k} - Vy) + \text{const},$$

$$\log P(y) = -\frac{1}{2} y^T I y + \text{const}, \quad (14)$$

$$P(z_i) = \pi^{z_i} (1 - \pi)^{1-z_i} \quad (15)$$

Предполагается, что априорные распределения на  $y$  дикторозависимые факторы и  $z_i$  бинарные индикаторы имеют соответственно гауссовское – нормальное и мультиномиальное – распределение Бернулли. Данное предположение основано на использовании выводов PLDA и GMM (Gaussian Mixture Models) кластеризации данных [8, 9]. В априорном распределении Бернулли для индикаторов  $z_i$ , коэффициент  $\pi$  соответствует вероятности обнаружения целевого диктора на речевых данных, полученных после диаризации диалога. Поскольку на каждой фонограмме число дикторов 2, то  $\pi = 0,5$ . Пошаговый расчет параметров апостериорных распределений  $Q(y)$  и  $Q(z_i)$  выглядит следующим образом:

1. распределение  $Q(y)$ :

$$\log Q(y) = \sum_{i=1}^N [\langle z_i \rangle \log P(x_{i,2}|y) + [1 - \langle z_i \rangle] \log P(x_{i,1}|y)] + \log P(y) + \text{const}. \quad (16)$$

Подставляя в формулу для  $\log Q(y)$  и группируя слагаемые, содержащие только  $y$ , получим:

$$\log Q(y) = -\frac{1}{2} \left[ y^T (I + NV^T \Lambda V) y - y^T V^T \Lambda \sum_{i=1}^N ([1 - \langle z_i \rangle] x'_{i,1} + \langle z_i \rangle x'_{i,2}) + \dots \right] + \text{const}$$

$$\log Q(y) = -\frac{1}{2} (y - \langle y \rangle)^T \Lambda'' (y - \langle y \rangle) + \text{const},$$

где параметры апостериорного распределения  $Q(y)$ :

$$\Lambda'' = NV^T\Lambda V + I,$$

$$\langle y \rangle = \Lambda''^{-1}V^T\Lambda \sum_{i=1}^N \left[ [1 - \langle z_i \rangle]x'_{i,1} + \langle z_i \rangle x'_{i,2} \right]; \quad (17)$$

2. распределение  $\log Q(z_i)$

$$\log Q(z_i) = z_i[\pi + \langle \log P(x_{i,2}|y) \rangle] + (1 - z_i)[(1 - \pi) + \langle \log P(x_{i,1}|y) \rangle]$$

$$\log p_1 = \pi + \langle \log P(x_{i,2}|y) \rangle$$

$$\log p_2 = 1 - \pi + \langle \log P(x_{i,1}|y) \rangle$$

$$\log Q(z_i) = z_i \log p_1 + (1 - z_i) \log p_2$$

$$\langle z_i \rangle = \frac{p_1}{p_1 + p_2} = \frac{1}{1 + \exp(a)} \quad (18)$$

$$\langle z_i \rangle = \sigma(a)$$

$$a = \log p_2 - \log p_1$$

$$a = \langle \log P(x_{i,1}|y) \rangle - \langle \log P(x_{i,2}|y) \rangle$$

$$x' = x - m$$

$$\langle \log P(x|y) \rangle = -\frac{1}{2}[(x' - V\langle y \rangle)^T \Lambda (x' - V\langle y \rangle) + \text{Tr}(V^T \Lambda V \cdot \Lambda''^{-1})] + \text{const.} \quad (19)$$

Приведенные формулы используются последовательно для итеративной оценки параметров апостериорных распределений скрытых переменных  $h = \{y, z_i\}$  (рис. 2). Результатом работы предлагаемого алгоритма является оценка бинарных индикаторов  $z_i$  на всей совокупности  $N$  диалогов и определение произнесений диалогов, принадлежащих целевому диктору [10].

**Заключение.** В представленной работе приводится схема алгоритма кластеризации речевых данных на диалогах с целью определения произнесений принадлежащих общему (целевому) диктору. Данный алгоритм может быть использован в системах голосовой биометрии для улучшения качества идентификации по голосу, систематизации речевых данных, улучшения работы голосовых сервисов.

### Литература

1. Aronowitz H., Hoory R., Pelecanos J., Nahamoo D. New Developments in Voice Biometrics for User Authentication // Proc. Interspeech. – 2011. – P. 17–20.
2. Kozlov A., Kudashev O., Matveev Y., Pekhovsky T., Simonchik K., Shulipa A. Speaker recognition system for the NIST SRE 2012 // Trudy SPIIRAN. – 2013. – № 25. – P. 350–370.
3. Novoselov S., Pekhovsky T.S., Shulipa A.K., Sholokhov A.V. Text-dependent GMM-JFA system for password based speaker verification // ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing – Proceedings. – 2014. – P. 729–733.
4. Novoselov S.A., Pekhovsky T.S., Simonchik K.K., Shulipa A.K. RBM-PLDA subsystem for the NIST i-Vector Challenge // Proceedings of the Annual Conference of the International Speech Communication Association, INTERSPEECH. – 2014. – P. 378–382.
5. Kenny P. Bayesian Speaker Verification with Heavy-Tailed Priors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.crim.ca/perso/patrick.kenny/kenny\\_Odyssey2010.pdf](http://www.crim.ca/perso/patrick.kenny/kenny_Odyssey2010.pdf), своб.
6. Zhang S., Zhang C., Zheng R. and Xu B. An investigation of summed-channel speaker recognition with multi-session enrollment // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2014. – P. 1659–1663.
7. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.

8. Prince S.J.D. and Elder J.H. Bayesian Identity Clustering // Computer and Robot Vision. – 2010. – P. 32–39.
9. Kenny P. Bayesian Analysis of Speaker Diarization with Eigenvoice Priors [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.crim.ca/perso/patrick.kenny/BayesCluster.pdf>, своб.
10. Prince J.D. and Elder J.H. Probabilistic linear discriminant analysis for inferences about identity [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.inf.ed.ac.uk/twiki/pub/CSTR/ListenSemester2201112/prince-iccv07-plda.pdf>, своб.

**УДК 546.75**

## **НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА МОЛИБДЕНЕ**

**Ю.В. Федосов<sup>1</sup>, Е.Э. Якшин<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

В работе приведен обзор светопоглощающих покрытий на оптических деталях. Рассмотрены различные способы получения светопоглощающего покрытия на поверхности деталей из молибдена. Подробно рассмотрены черные покрытия на основе кобальта, индия, а также возможность чернения молибдена без нанесения покрытия. Рассматриваются промежуточные этапы нанесения покрытий, а также технологические операции, связанные с подготовкой поверхности.

**Ключевые слова:** покрытие, молибден, чернение, кобальт, индий.

В настоящее время наблюдается широкое распространение разнообразных оптических систем, использующих источники мощного лазерного излучения. Характерной особенностью таких систем является необходимость нанесения на нерабочие части деталей различного рода светопоглощающих покрытий для исключения паразитных засветок. Зачастую для придания поверхностям оптических деталей поглощающих свойств применяются различные покрытия. Так, например, алюминиевые сплавы подвергаются анодному оксидированию с насыщением поверхностного слоя черным красителем, титановые сплавы подвергаются химическому оксидированию и т.д. Отметим, что подобные покрытия широко известны и применяются на протяжении ряда лет.

В последнее время в технологическом оборудовании все чаще используются зеркала, выполненные из молибдена. Это обусловлено их низким температурным коэффициентом расширения, химической стойкостью и высокой отражающей способностью в ряде диапазонов длин волн. К сожалению, описания методов получения светопоглощающих покрытий на молибдене в свободном доступе отсутствуют. В связи с этим предлагается рассмотреть способы получения черных светопоглощающих покрытий на молибдене с усовершенствованием уже имеющихся технологий.

Одним из таких способов может стать нанесение на молибденовую заготовку слоя кобальта с последующим ее чернением. Для этого молибденовую заготовку вначале следует подвергнуть анодному травлению в 10% растворе едкого натра при токе около 19 А/дм<sup>3</sup>, затем следует нанесение кобальта. В большинстве случаев кобальт осаждают из сульфатных электролитов. Для этой цели [1] можно применить следующий электролит (в г/л):

CoSO <sub>4</sub>	300–500
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	40–45
NaCl	15–20.

Режим электролиза: температура электролита  $40 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $I_K = 4-6 \text{ A/дм}^2$ , аноды – из кобальта по ГОСТ 123–67.

Отметим, что металлы группы железа могут вызвать хрупкое разрушение поверхности молибдена [2], поэтому после покрытия кобальтом заготовку следует отжечь в атмосфере водорода в течение 2 ч. Затем для получения черного покрытия оксида кобальта следует нанести на заготовку нитрат кобальта, после чего выдержать ее в термостате при температуре  $300^\circ\text{C}$  в течение 30 мин. В результате получается однородное мелкозернистое стойкое покрытие, которое имеет черный цвет (рис. 1, а).

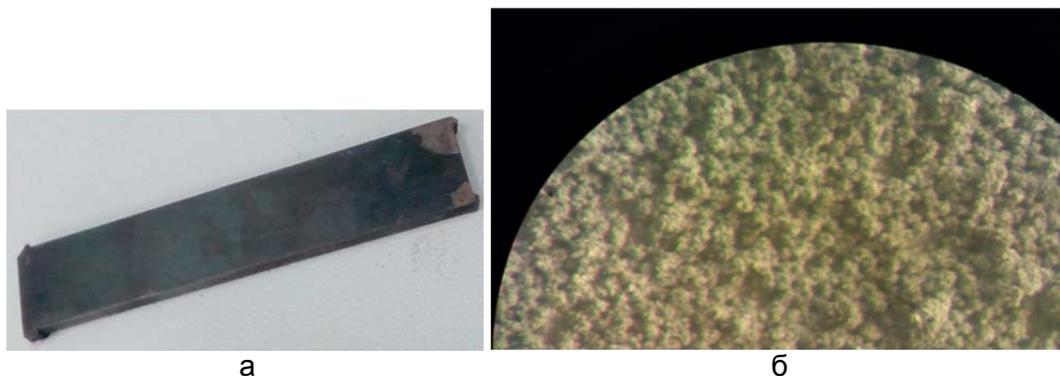


Рис. 1. Черное кобальтовое покрытие (а); вид покрытия индием при увеличении  $100\times$  (б)

В качестве еще одного способа может выступить нанесение на заготовку слоя индия с последующим его чернением. Для этого вначале на предварительно протравленную молибденовую заготовку наносится слой серебра. Для небольших деталей можно воспользоваться следующим электролитом и режимом обработки [1]:

Серебра нитрат	20 г/л
Калий йодистый	265 г/л
Плотность тока, $\text{A/дм}^2$	0,25
продолжительность обработки, мин	65.

Далее проводится нанесение слоя индия поверх серебряного подслоя (рис. 1, б).

Для этого может быть применен следующий электролит и режим обработки:

Индия сульфат	20 г/л
Натрия битартат	200 г/л
Аммония сульфат	35 г/л
Натрия хлорид	80 г/л
Аммония гидроксид	225 мл/л
Плотность тока, $\text{A/дм}^2$	1,5
продолжительность обработки, мин	65.

Аноды выполняются из индия, либо платины.

Далее проводится оксидирование индия в печи при температуре  $143-147^\circ\text{C}$  [3]. В этом случае может потребоваться специальная оснастка, например, герметичная емкость из нержавеющей стали с ниппелями, куда будет помещаться заготовка и закачиваться кислород.

Из рис. 1, б, видно, что индиевое покрытие представляет собой развитую поверхность. Это позволит ей поглощать излучение эффективнее, чем поверхности, полученной в результате обработки резанием. Также к достоинствам данного покрытия можно отнести высокую устойчивость индия к условиям вакуума [4]. Следующим этапом будет выступать чернение индия в среде кислорода. Для этого покрытую индием заготовку необходимо поместить в печь с кислородной средой и нагреть до температуры  $143-147^\circ\text{C}$ .

К сожалению, вследствие нехватки времени на отработку технологического оборудования, оксидировать полученное покрытие не удалось.

Следует отметить, что чернение индия может быть выполнено другим способом. Так, использовавшийся в предыдущих экспериментах по чернению индия в сернистых соединениях [5] образец изменил цвет покрытия на черный, пролежав в нормальных условиях около двух месяцев. Цвет покрытия получился достаточно черным, но имеет неоднородную окраску (рис. 2, а). Данный вопрос требует дополнительного изучения.

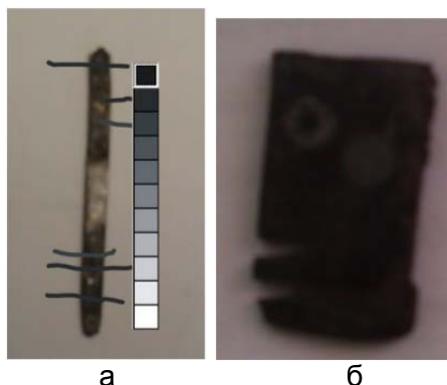


Рис. 2. Образец с неоднородной окраской (а); чернение на молибдене (б)

Следующим способом является чернение молибдена в атмосфере. Для этого заготовку нагревают в печи до температуры  $550^{\circ}\text{C}$ , после чего выдерживают 10 с и вынимают. Полученное покрытие однородно, стойко к истиранию и имеет черный цвет. Однако следует учесть, что в этом случае деталь становится черной целиком (рис. 2, б), поэтому в случае изготовления зеркала следует оставить припуск на изготовление зеркальной поверхности.

Последним из рассматриваемых способов является покрытие поверхности молибдена слоем дисилицида титана. Дисилицид титана имеет низкое электрическое сопротивление (около  $13\text{--}16\text{ мкОм/см}$ ) [6], высокую термостойкость и сопротивление окислению. Слой дисилицида титана является защитным для металлических поверхностей даже при высоких температурах эксплуатации, при этом значение удельной теплоемкости титана достаточно низкое [7]. При этом поверхность молибдена перед нанесением дисилицида титана на заготовку для повышения адгезии покрытия следует протравить в растворе азотной кислоты концентрации  $10\text{--}15\%$ .

### Литература

1. Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1979. – 296 с.
2. Сциборовской Н.Б., Солюс М.Г. Справочное руководство по гальванотехнике / Под ред. Лайнера В.И. – М.: Металлургия, 1969. – 442 с.
3. Lee M.-S., Choi W.C., Kim E.K., Kim C.K., Min S.-K. Characterization of the oxidized indium thin films with thermal oxidation // *Thin Solid Films*. – 1996. – V. 279. – № 1–2. – P. 1–3.
4. Emsley J. *Nature's Building Blocks: An A-Z Guide to the Elements*. – 2nd Edition. – Oxford University Press, 2011. – 720 p.
5. Якшин Е.Э., Федосов Ю.В. Некоторые способы химического чернения молибдена // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 425–429.
6. Jianguang Xu, Chuanchuan Li. Synthesis of Titanium disilicide by the «chemical oven» self-propagating combustion method School of Electromechanical Engineering // *Applied Mechanics and Materials*. – 2011. – V. 44–47. – P. 2888–2891.
7. Sylla W.K. USAF, The Specific Heat of Titanium Disilicide. – State University of New York at Binghamton, 1993. – 66 p.

УДК 621.317.39.084.2

**ГАЗОВЫЕ СЕНСОРЫ И СЕНСОРНЫЕ МИКРОСИСТЕМЫ  
НА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛООКСИДНЫХ ПЛЕНКАХ****А.И. Захлебаева<sup>1</sup>, О.Г. Реутская<sup>2</sup>, Г.Г. Горох<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Разработана технология формирования газового сенсора и двухсенсорной газовой микросистемы на диэлектрических подложках из анодного оксида алюминия. Исследованы отклики изготовленной микросистемы к газам CO, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и NO<sub>2</sub>. Использование подложек из наноструктурированного оксида алюминия позволяет формировать газовые микросистемы на одном кристалле, сохраняя размеры одиночного сенсора, а также снизить потребляемую мощность и обеспечить долговременную работоспособность микросистем.

**Ключевые слова:** анодный оксид алюминия, наноструктурированные подложки, полупроводниковые химические сенсоры, сенсорные микросистемы.

Для контроля состава окружающей среды широко используются полупроводниковые хеморезистивные сенсоры и сенсорные микросистемы, принцип действия которых основан на способности нагретых металлооксидных пленок изменять свои электрофизические характеристики в результате процессов адсорбции-десорбции, протекающих при их взаимодействии с газовой средой. В зависимости от типа используемого газочувствительного слоя полупроводниковые сенсоры реагируют на большую номенклатуру агрессивных газов. Одним из актуальных вопросов разработки газовых сенсоров является повышение их чувствительности и избирательности, а также снижение потребляемой мощности при «нагреве» чувствительных элементов до рабочих температур.

В зависимости от типа регистрируемого газа рабочие температуры металлооксидных слоев могут составлять от 250 до 500°C, поэтому при изготовлении сенсоров необходимо учитывать потери тепла, обусловленные теплопроводностью чувствительных элементов и проволочных контактов. В сенсорах, изготовленных на кремниевых подложках по толстопленочной технологии, теплопотери и, как следствие, потребляемая мощность могут достигать нескольких сотен милливольт [1]. Одним из способов снижения потребляемой мощности сенсоров является изготовление их нагревателей и газочувствительных элементов на тонких диэлектрических оксид-нитридных кремниевых мембранах, которые формируют в кремниевых подложках по технологии микроэлектромеханических систем (МЭМС) [2]. Существенным недостатком такой технологии является плохое согласование адгезионных, термических и механических свойств используемых материалов, что приводит к снижению надежности сенсоров [1]. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование в качестве подложек для формирования сенсоров нанопористого анодного оксида алюминия (АОА). Технология формирования АОА методом электрохимического анодирования позволяет изготавливать матрицы с однородными высокоупорядоченными порами, параметрами ячеисто-пористой структуры которых можно управлять в широком диапазоне размеров [3]. Благодаря хорошим электрофизическим свойствам, стабильным химическим и механическим параметрам нанопористые матрицы АОА толщиной 50–150 мкм могут быть использованы в качестве свободных диэлектрических подложек, на поверхности которых можно формировать конструктивные элементы и активные слои газовых сенсоров. Высокая механическая прочность и технологичность АОА подложек при обработке методами планарной технологии позволяет изготавливать на их основе многокристальные газовые микросистемы с различными газочувствительными слоями, обеспечивая тем самым распознавание состава многокомпонентных газовых сред.

В работе представлены результаты разработки технологии формирования газового сенсора и двухсенсорной микросистемы на диэлектрической АОА подложке, апробации двухсенсорной микросистемы и исследования ее электрофизических характеристик.

Подложки из АОА толщиной  $60 \pm 1$  мкм и пористостью 25–55% формировали путем двухстадийного электрохимического анодирования алюминиевых заготовок (99,95%) толщиной 100 мкм [4]. Заготовки предварительно подвергали термомеханической обработке при  $350^\circ\text{C}$  под давлением около  $10^7$  Па и электрохимической полировке в растворе хлорной и уксусной кислоты, после чего проводили первую стадию электрохимического анодирования. Полированные алюминиевые заготовки анодировали на глубину 5 мкм в 0,5 М водном растворе щавелевой кислоты при напряжении анодирования 50 В и температуре электролита  $14 \pm 1^\circ\text{C}$ . Сформированный первичный слой АОА удаляли в водном селективном фосфорно-хромовом растворе, нагретом до температуры  $80^\circ\text{C}$ , в результате чего на поверхности алюминия оставался упорядоченный микрорельеф отпечатков оксидных ячеек. Данная операция позволяет формировать на последующих стадиях анодирования АОА с высокой степенью упорядоченности. Далее одну из сторон полученной заготовки маскировали слоем химически стойкого лака (ХСЛ), после чего осуществляли вторую (одностороннюю) стадию анодирования, в электрохимических условиях, аналогичных первой стадии. Повторное одностороннее анодирование алюминиевой подложки проводили до формирования слоя анодного оксида толщиной  $60 \pm 1$  мкм. Затем с подложки удаляли слой ХСЛ и селективно растворяли оставшийся после анодирования слой алюминия в водном растворе хлорида меди и соляной кислоты при температуре  $18\text{--}22^\circ\text{C}$ . На заключительном этапе сформированные подложки выдерживали 15 минут в 2 М растворе серной кислоты, нагретом до  $50^\circ\text{C}$ , для увеличения диаметра пор до 50 нм.

Для изготовления кристалла газового сенсора на сформированную подложку из АОА методом магнетронного распыления осаждали слой платины, после чего проводили фотолитографию и ионно-лучевое травление для формирования нагревателя и электродов, а также сквозных окон для минимизации тепловых потерь в конструкции сенсора. За счет шероховатости пористой поверхности, а также частичного проникновения платины в открытые верхние части пор, пленка приобретала структурированную поверхность и высокую адгезию к подложке, которая сохранялась при многократных температурных перепадах. Газочувствительный слой наносили капельным методом из раствора с помощью микродозатора на соответствующую область нагревателя таким образом, чтобы пленка замыкала собой концы информационных электродов.

Сформированный кристалл газового сенсора представлял собой подложку из пористого АОА размером  $1,35 \times 1,35$  мм. Вдоль центральной области подложки площадью  $330 \times 330$  мкм<sup>2</sup> были сформированы сквозные окна. В центре подложки размещен полосковый платиновый нагреватель размером  $70 \times 20$  мкм, перпендикулярно которому с зазором 10 мкм расположены информационные электроды к чувствительному слою шириной 50 мкм, на расстоянии 1,3 мм друг от друга были сформированы контактные площадки размером  $300 \times 300$  мкм. Исследования влияния пористости АОА на потребляемую мощность сенсора, которая тратится для поддержания газочувствительного слоя в диапазоне температур  $250\text{--}500^\circ\text{C}$ , показали, что с увеличением пористости снижается электрический ток на нагрев сенсора, при этом наиболее резкое снижение наблюдается при изменении пористости АОА от 35% до 75%. При значениях пористости, превышающей 75%, подложка теряет свою механическую прочность.

Последовательность технологического маршрута изготовления кристалла газового сенсора на подложке из АОА схематически показана на рис. 1.

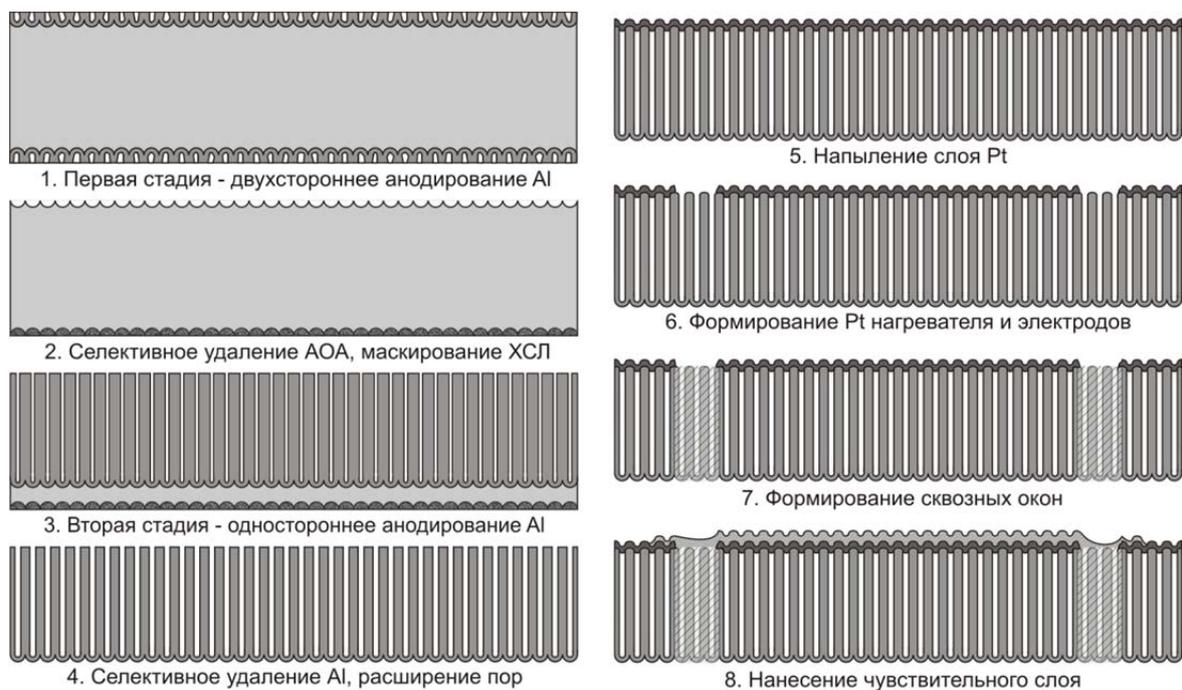


Рис. 1. Технологический процесс изготовления кристалла газового сенсора на АОА подложке

Двухсенсорную микросистему на АОА подложке изготавливали по маршруту, схожему с маршрутом изготовления одиночного газового сенсора. При изготовлении двухсенсорной микросистемы использовалась инновационная технология микромеханической обработки (micro-machining) нанопористого анодного оксида алюминия [5]. Сформированная микросистема представляла собой подложку из АОА размером  $1,25 \times 1,25 \text{ мм}^2$ , толщиной 60 мкм и пористостью около 35%, на планарной стороне которой сформированы две пары платиновых информационных электродов на расстоянии 10 мкм друг от друга с нанесенными чувствительными слоями, на обратной стороне – два нагревательных элемента шириной 30 мкм в форме меандра. Использование в топологии микросистемы сквозных отверстий, как и использование самой нанопористой диэлектрической подложки, позволило снизить потребляемую мощность микросистемы за счет уменьшения объема контактирующего с нагревателем материала подложки и уменьшения коэффициента теплопроводности АОА, зависящего от его пористости [5]. Изготовленные кристаллы микросистемы были разварены в шестивыводной металлический корпус для проведения электрофизических измерений. Фотографии микросистемы представлены на рис. 2.

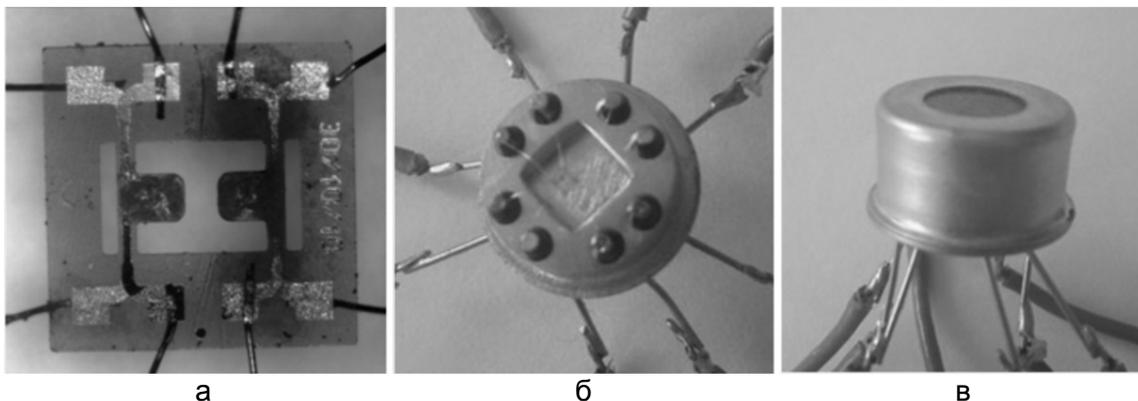


Рис. 2. Фотографии кристалла микросистемы (а) и микросистемы в корпусе (б, в)

Исследование отклика сенсоров микросистемы на активные газы проводили на экспериментальном стенде, состоящем из измерительной ячейки, системы создания и поддержания заданной газовой среды в ячейке и приборов измерения электрических сигналов. Контроль над ходом эксперимента осуществляли при помощи информации, фиксируемой измерительными приборами, микроконтроллерами потока газа газогенератора, передаваемой на персональный компьютер. Величину сенсорного отклика микросистемы определяли как разность между ее сопротивлением при воздействии активного газа ( $R_{gas}$ ) и на воздухе ( $R_{air}$ ) в зависимости от типа детектируемого газа. Чувствительность микросистемы определяли как процентное отношение  $R_{gas}$  и  $R_{air}$ :

$$S = \frac{|R_{air} - R_{gas}|}{R_{gas}} \times 100\%.$$

Измерения сенсорного отклика проводились в режиме постоянного нагрева чувствительных слоев.

Результаты измерений чувствительности сформированной микросистемы приведены в таблице.

Таблица. Измерение чувствительности газовой микросистемы к  $C_3H_8$ ,  $NO_2$  и  $CO$

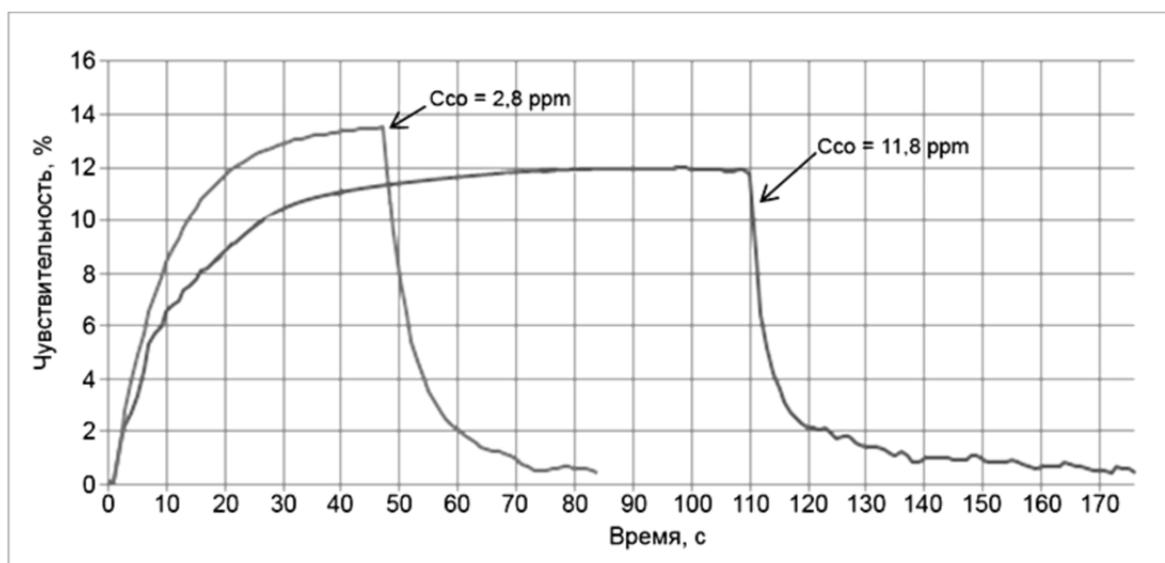
Потребляемая мощность	Детектируемый газ	Концентрация детектируемого газа, ppm	Чувствительность, %
48 мВт	$C_3H_8$	100	55
	$NO_2$	4	82
60 мВт	$C_3H_8$	100	73
	$NO_2$	4	72
85 мВт	$CO$	11,8	12
	$CO$	2,8	15
15 мкВт	$CO$	11,8	90
	$CO$	2,8	40

На рис. 3 приведены отклики двухсенсорной микросистемы на 2,8 ppm и 11,8 ppm  $CO$ . Отклики снимали в двух режимах измерения.

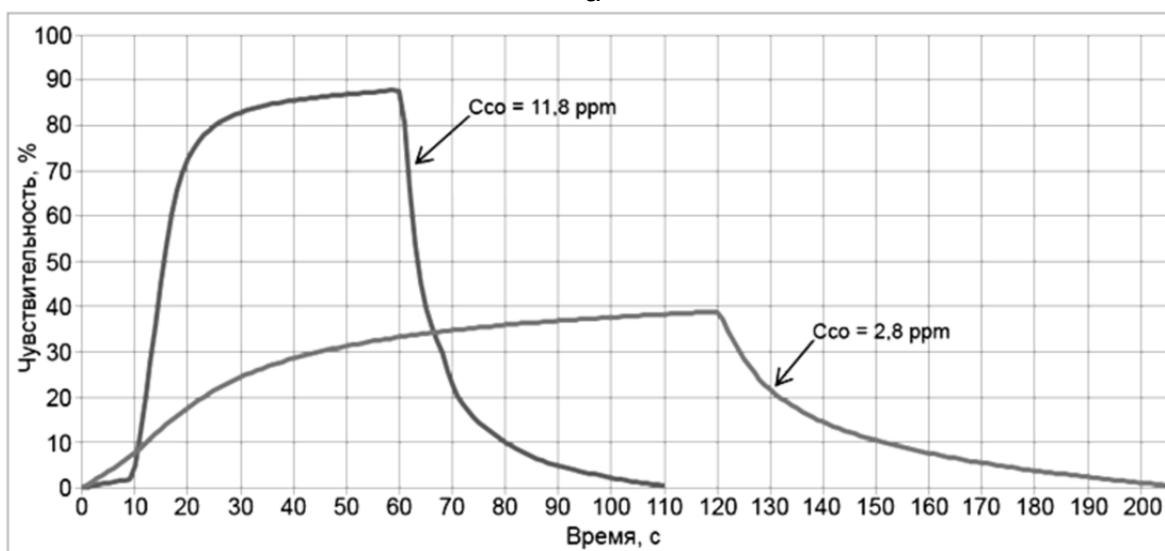
Измерения в первом режиме осуществлялись следующим образом: устанавливались для сенсора значения  $I=61$  мА,  $U=1,4$  В,  $N=85,4$  мВт, и после выхода сопротивления сенсора на «постоянное» значение (5–10 мин) проводились измерения сенсорного отклика для разных концентраций газа  $CO$  ( $C_{CO}=2,8$  ppm и  $C_{CO}=11,8$  ppm). Полученные результаты представлены на рис. 3, а.

Во втором режиме измерения проводились с предварительным «отжигом» в течение 5 с в режиме  $I=61$  мА,  $U=1,4$  В. Затем осуществлялось переключение в  $I=11$  мА,  $U=0,118$  В,  $N=14,1$  мкВт, после установки «постоянного» значения осуществлялась подача  $CO$  ( $C_{CO}=2,8$  ppm и  $C_{CO}=11,8$  ppm) и фиксировалось значение сопротивления микросистемы при воздействии газа (рис. 3, б).

Методика измерения сенсорного отклика микросистемы во втором режиме отличается от первого тем, что перед началом измерений при малых мощностях нагрева является эффективным кратковременный «отжиг» сенсора, что позволяет получить более высокий сенсорный отклик и снизить потребляемую мощность системы в целом, как показано на рис. 3. При длительных испытаниях кратковременные отжиги не показали нарушения долговременности использования сенсоров, что свидетельствует о его оптимальности при работе с газовыми полупроводниковыми сенсорами.



а



б

Рис. 3. Отклики газочувствительной микросистемы с  $\text{In}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Pt}$ -чернь чувствительным слоем на CO после выхода сопротивления сенсора на «постоянное» значение (а) и с предварительным «отжигом» (б)

Полученные результаты подтвердили высокую эффективность работоспособности и возможность снижения энергопотребления полупроводниковых сенсоров и сенсорных микросистем. В результате проведенных экспериментов было установлено, что сенсорный отклик на детектируемые газы характеризуется выбором и комбинацией чувствительных слоев, изготовленных золь-гель методом. Выбирая разные составы чувствительного слоя можно добиваться избирательности сенсора к определенным газам в зависимости от области их применения.

Разработанная технология формирования наноструктурированных подложек из АОА позволила получить диэлектрические подложки, обладающие высокой механической прочностью для изготовления на их основе газовых микросистем.

Полупроводниковые газовые сенсоры и микросистемы на наноструктурированных подложках могут быть использованы в новейших инновационных системах обеспечения безопасности жизнедеятельности человека, мониторинга окружающей среды и контроля рабочей среды промышленных предприятий, а также в системах противопожарной безопасности и автомобильном транспорте.

## Литература

1. Васильев А., Олихов И., Самотаев Н. Технология «нано-на-микро». Улучшение характеристик газовых сенсоров // Электроника НТБ. – 2011. – № 1(00107). – С. 36–44.
2. Moon S.E. et al. Semiconductor-type MEMS gas sensor for real-time environmental monitoring applications // ETRI Journal. – 2013. – V. 35. – № 4. – P. 617–624.
3. Masuda H., Nishio K. Synthesis and applications of highly ordered anodic porous alumina // Self-organized nanoscale materials. Nanostructure science and technology. – 2006. – P. 296–312.
4. Горох Г.Г. и др. Химические газовые сенсоры на подложках из нанопористого оксида алюминия // Нано- и микроэлектронная техника. – 2014. – № 9. – С. 45–51.
5. Реутская О.Г., Белогуров Е.А., Таратын И.А., Хатько В.В. Четырехсенсорная газовая микросистема на подложке из пористого анодного оксида алюминия: конструкция, технология, моделирование // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 47–51.

УДК 621.359

### ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ПОЛУМЕТАЛЛОВ В ПОРИСТЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ

А.А. Лозовенко<sup>1</sup>, Г.Г. Горох<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Разработана методика формирования проницаемых пористых матриц анодного оксида алюминия для электрохимического осаждения нанопроводов из антимонида индия и висмута. Отработаны процессы равномерного электрохимического осаждения в поры InSb и Bi. Приведены результаты электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа и электронно-микроскопических исследований наноструктур.

**Ключевые слова:** электрохимическое осаждение, анодный оксид алюминия, InSb, Bi.

Разработка методов управляемого формирования нанопроводов заданных размеров открывает перспективы для использования широкого спектра квантовых явлений в качестве основы функционирования микроэлектронных приборов, в том числе термоэлектрических устройств [1]. Перспективными материалами для создания цепочек нанопроводов являются полуметаллы (висмут (Bi) и сурьма (Sb)) и полупроводники с высокой подвижностью и концентрацией электронов, в частности, антимонид индия (InSb) [2]. Технологически привлекательным для получения наноструктур и нанопроводов из полуметаллов и полупроводников является метод электрохимического осаждения этих материалов на металлические контакты (Au, Ag, Pt, Ni, Cu) в специально приготовленные темплейты, такие, например, как матрицы анодного оксида алюминия (АОА) [3, 4]. Однако для электрохимического осаждения квантовых наноструктур в пористые матрицы необходимо осуществление ряда требований. Первое – наличие электропроводящего контакта у основания пор матрицы АОА, на который возможно электрохимическое осаждение сложных полупроводников или полуметаллов. Второе – формирование регулярной матрицы с размерами пор, соизмеримыми с длиной размерного квантования осаждаемого материала, т.е. с размерами, при которых в наноструктурах проявляются квантоворазмерные эффекты [5]. В работе представлены результаты разработки методик создания нанопористых темплейтов из АОА и электрохимического заполнения пор в них InSb и Bi, а также исследований микроструктуры и состава сформированных проводов.

Экспериментальные образцы для проведения исследований готовили по следующей методике. На подготовленной фольге и закрытой с одной стороны химически стойким лаком (ХСЛ) (рис. 1, а) методом двухстадийного одностороннего анодирования формировали матрицу АОА в 0,4 М растворе щавелевой кислоты при напряжении 40 В (рис. 1, б). При этом за время от 60 до 300 мин формировался слой АОА толщиной от 10 до 50 мкм. Далее для создания электрического контакта на пористую поверхность АОА методом магнетронного напыления в вакууме был нанесен слой меди толщиной 1 мкм (рис. 1, в). Затем после удаления ХСЛ был селективно растворен слой алюминия, оставшийся после анодирования, в течение 25 мин в растворе следующего состава: 1,25 г/л хлорида меди, 1 л соляной кислоты, 158 мл/л дистиллированной воды (рис. 1, г). Далее в полученных свободных слоях АОА был удален барьерный оксидный слой (БОС) в 5% растворе ортофосфорной кислоты в течение 10 мин (рис. 1, д). В таких условиях, скорость растворения БОС составила 3,7 нм/мин. Затем была проведена операция порорасширения в 2 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , что позволило очистить поры от загрязнений и увеличить пористость до 25%. В результате были получены проницаемые пористые темплейты с диаметром пор 30–50 нм, в зависимости от времени расширения пор, и медным контактом, готовые для осаждения InSb и Bi.

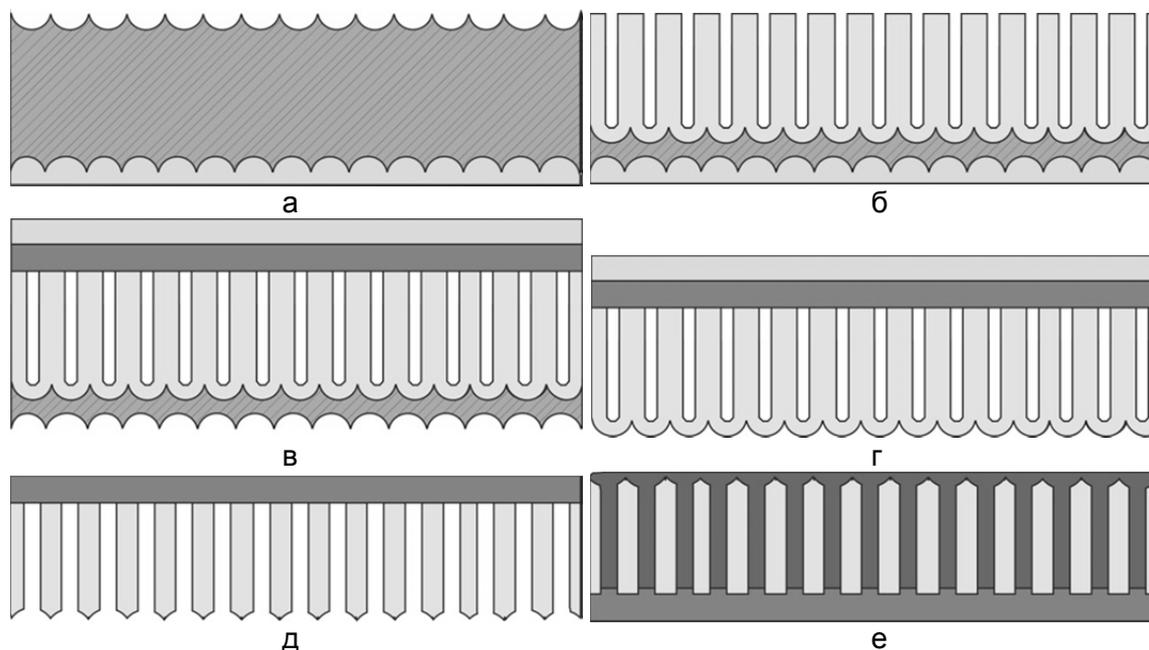


Рис. 1. Схематический маршрут изготовления массивов нанопроводов из полупроводников и полуметаллов (а–е)

В приготовленные матрицы через поры электрохимически осаждали нанопровода из InSb и Bi из водных растворов (рис. 1, е). Электролит для осаждения InSb следующего состава: водный раствор 0,14 М  $\text{SbCl}_3$ , 0,11 М  $\text{InCl}_3$ , 0,36 М  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  и 0,17 М  $\text{K}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ , доведенный до значения  $\text{pH}=2,0$  20% раствором  $\text{HCl}$ . Осаждение велось в гальваностатическом режиме при плотности тока  $24 \text{ mA/cm}^2$ , в течение 28–40 мин при температуре электролита  $16 \pm 1^\circ\text{C}$  при постоянном перемешивании электролита. Катодный потенциал относительно электрода сравнения ( $\text{Ag/AgCl}$ ) составлял 1,6–1,9 В. Электролит для осаждения Bi следующего состава: 1 М  $\text{HNO}_3$ , 0,11 М  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$  и 0,25 М  $\text{KNO}_3$  с  $\text{pH}=1,0$ . Катодный потенциал осаждения составлял 2,4–2,5 В. После формирования нанонитей образцы промывали в дистиллированной воде и сушили в термостате. Электрические режимы задавали с помощью потенциостата П-5827М, мониторинг электрических параметров на всех этапах осуществляли с помощью GPIB контроллера, подключенного к персональному компьютеру, с установленным программным обеспечением HP Vee 6.01.

Морфологию поверхности и сколов полученных структур с высоким разрешением изучали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Supra 55 WDS при ускоряющем напряжении 15 кВ. СЭМ-изображения сечений модифицированных пористых темплейтов из мембран АОА с осажденными нанопроводами InSb и Bi (рис. 2) показали, что в результате электрохимического осаждения в каждой поре образовались нанонити с диаметрами, соответствующими диаметрам пор, и равными 50 нм для нанопроводов InSb и 45 нм для нанопроводов Bi. Исходя из времени осаждения, определили скорость осаждения InSb и Bi в поры АОА, которая составила около 0,72 мкм/мин для InSb и 0,43 мкм/мин для Bi.

Таким образом, создавая темплейты из мембран АОА с различными размерами пор (от 10 до 70 нм) и варьируя время осаждения, можно получать наноструктуры с различным аспектным отношением диаметра к длине и, соответственно, с различными электрофизическими свойствами.

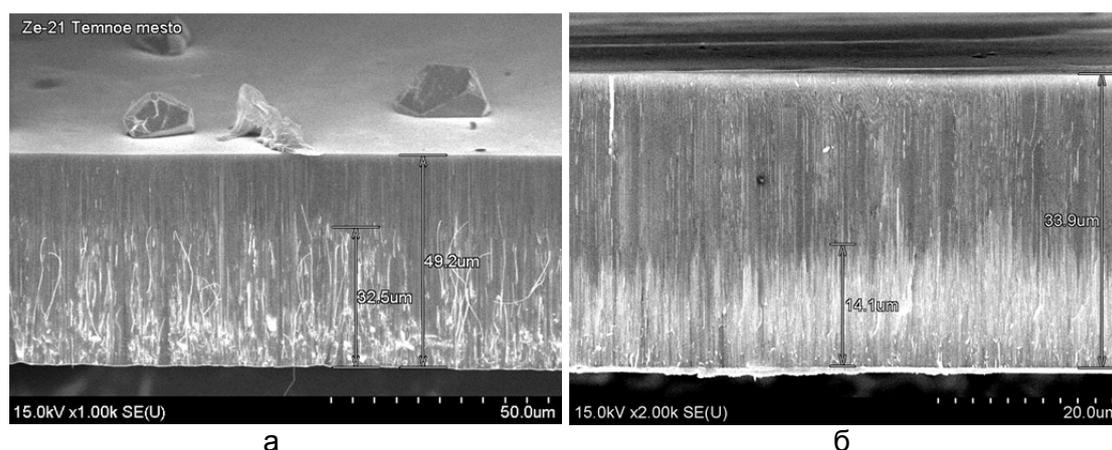


Рис. 2. СЭМ-изображения сечения мембраны из АОА толщиной 50 мкм с осажденными нанопроводами InSb (а) и темплейта толщиной 34 мкм с осажденными нанопроводами Bi (б)

Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ электрохимически осажденных наноструктур InSb в порах мембран АОА проводился на СЭМ, снабженном специальной приставкой AN 10000 фирмы Princeton Gamma-Tech, Inc. Такая приставка регистрировала характеристическое рентгеновское излучение от всех компонентов, которые попадали под действие первичного электронного луча микроскопа при торможении луча на поверхности приготовленного образца, вызывая генерацию такого излучения. Пятно от первичного луча имело характерный размер  $10 \times 10$  мкм. Глубина проникновения луча составляла от 0,1 мкм до нескольких микрон.

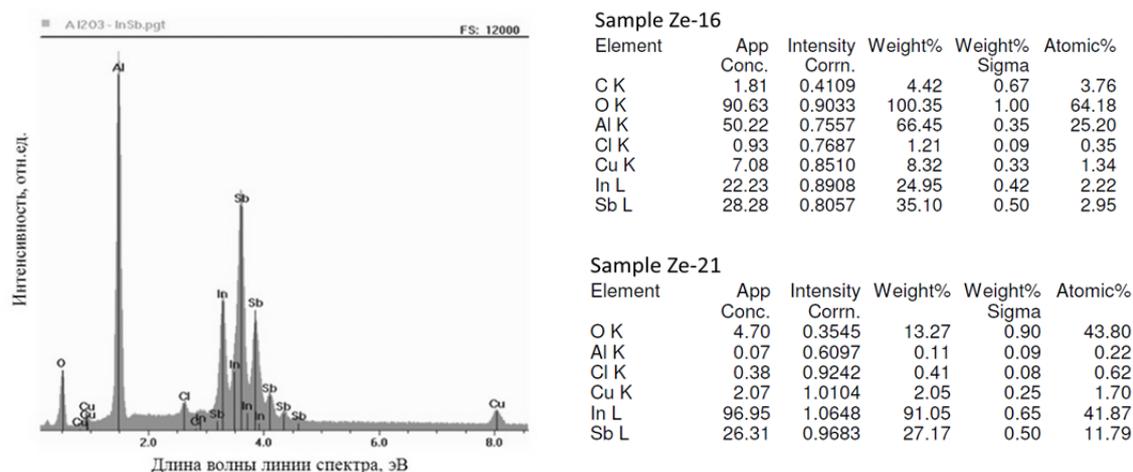


Рис. 3. Спектр электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа нанопроводов InSb, осажденных в поры темплейта из АОА

На рис. 3 приведены данные исследования состава InSb нанопроводов в пористом темплейте из АОА в виде спектра электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа.

В спектре присутствуют линии, соответствующие элементному составу исходной матрицы: линия с максимумом 1,62 эВ соответствует алюминию в структуре мембраны АОА; с максимумом 8,16 эВ – подслою меди, на который осаждали InSb; с максимумом 1,26 эВ – кислороду; с максимумом 1,48 эВ – частично окисленной меди в порах. Образование в результате электрохимического осаждения в порах нанопроводов отражается наличием в спектре нескольких линий, соответствующих индию в разных формах (2,87 эВ, 3,52 эВ, 3,72 эВ и 3,9 эВ) с максимальной полосой – 3,22 эВ, а также сурьме (3,2 эВ, 3,82 эВ, 4,15 эВ и 4,6 эВ) с максимальной полосой – 3,52 эВ. Обнаружен в образце также хлор (2,6 эВ и 2,87 эВ), который, вероятно, вошел в структуру композита из электролита для электрохимического осаждения нанопроводов. С помощью данного метода удалось определить состав непосредственно исследуемых нанопроводов, без учета материалов, содержащихся в нанопористом темплейте, синтезированных при различных плотностях тока. В результате машинной обработки полученных данных удалось количественно рассчитать процентное соотношение In и Sb в составе осажденных нанопроводов. Данные по атомарному соотношению элементов в полученных наноструктурах представлены в таблице.

Таблица. Соотношение атомарного состава наноструктур InSb в зависимости от плотности тока осаждения

№ образца	Плотность тока осаждения, мА/см <sup>2</sup>	In, ат%	Sb, ат%
Ze-15	20	36,89	63,11
Ze-16	25	42,94	57,06
Ze-21	40	78,03	21,97
Ze-22	50	83,37	16,63

В результате исследований установлено, что при осаждении в гальваностатическом режиме при плотностях тока 20–30 мА/см<sup>2</sup> состав нанопроводов InSb наиболее близок к стехиометрическому. При плотностях тока выше 35 мА/см<sup>2</sup> в наноструктурах преобладает In, и при плотностях меньше 20 мА/см<sup>2</sup> – преобладает Sb.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработан метод формирования нанопористых темплейтов для электрохимического синтеза нанопроводов из полупроводников и полуметаллов с большим аспектным отношением диаметра к длине, при этом, варьируя условия формирования, можно контролируемо управлять размерами пор и их масштабированием. Нанопористые темплейты были использованы для получения методом электрохимического осаждения из хлоридных растворов квантовых нанопроводов InSb. Проведенные электронно-микроскопические исследования сформированных InSb наноструктур показали, что нанопровода образуются в каждой поре, при этом диаметры созданных структур соответствуют размерам пор, их длина определяется длительностью осаждения. Разработанные методики позволяют воспроизводимым образом получать нанопровода из полупроводников и полуметаллов с требуемыми физико-химическими свойствами, что открывает перспективы для создания широкого спектра термоэлектрических приборов и устройств, таких как термогенераторы, микроохлаждающие устройства, а также приборов, работающих на квантовых эффектах с потенциально низкой себестоимостью изготовления.

## Литература

1. Landis S. Nano-lithography // London UK: ISTE Hoboken. NJ: Wiley. – 2011. – 345 p.

2. Ibrahim Khan M., Wang Xu, Bozhilov Krassimir N., Ozkan Cengiz S. Templated Fabrication of InSb Nanowires for Nanoelectronics // Journal of Nanomaterials. – 2008. – V. 2008. – P. 1–5.
3. Горох Г.Г., Обухов И.А., Лозовенко А.А., Захлабаева А.И., Сочнева Е.В. Формирование нанонитей InSb в пористых матрицах анодного оксида алюминия // Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах: сб. научн. ст. – 2013. – С. 377–387.
4. Горох Г.Г., Обухов И.А., Лозовенко А.А., Захлабаева А.И., Сочнева Е.В. Темплейтный метод формирования квантовых нанопроводов InSb с большим аспектным отношением // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: КрыМиКо'2013: материалы 23-й Междунар. Крым. конф. в 2 т. – 2013. – С. 820–823.
5. Обухов И.А. Неравновесные эффекты в электронных приборах. – М.-Киев-Минск-Севастополь: Изд-во «Вебер», 2010. – 303 с.

УДК 544.653.23, 544.654.2

### ХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТРИЧНЫХ НАНОСИСТЕМ С ХЕМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

А.В. Пянко<sup>1</sup>, А.И. Захлабаева<sup>2</sup>, В.В. Жилинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Разработана методика химического синтеза композитных матричных наносистем, позволяющая формировать высокоструктурированные слои металлооксидов, обладающие хорошими хемочувствительными свойствами.

**Ключевые слова:** анодный оксид алюминия, матричные наносистемы, хемочувствительные пленки, металлооксиды, химическое осаждение.

Решение проблем обеспечения безопасности и активного мониторинга состояния окружающей среды может быть обеспечено системами контроля на основе сенсорных устройств, наибольшее распространение среди которых благодаря своей технологичности, стабильности характеристик и высокой чувствительности к малым концентрациям газов получили хеморезистивные полупроводниковые сенсоры с газочувствительными слоями на основе тонких металлооксидных пленок. Принцип работы таких сенсоров заключается в изменении электропроводности металлооксидов в результате реакций адсорбции-десорбции, протекающих на их поверхности при взаимодействии с газовой средой. Структурирование металлооксидных пленок путем их нанесения на высокоупорядоченные нанопористые матрицы позволит увеличить эффективную площадь взаимодействия металлооксидов с молекулами газовой среды и тем самым повысить чувствительность хеморезистивных сенсоров на их основе [1]. Наиболее подходящим материалом матриц для последующего нанесения на них металлооксидных слоев является пористый анодный оксид алюминия (АОА), обладающий высокоупорядоченной структурой, хорошей механической прочностью, жесткостью, упругостью и износостойкостью [2]. Варьирование параметрами ячеистой пористой структуры АОА в диапазоне от десятков до сотен нанометров позволяет формировать на его основе определенным образом структурированные металлооксидные слои, что в совокупности с выбором их состава обеспечивает селективность сенсоров на их основе к широкому спектру газов различной химической природы [3].

Таким образом, цель данной работы заключалась в получении химическим синтезом матричных наносистем с хемочувствительными свойствами, исследовании их структуры и электрофизических характеристик.

В качестве исходных образцов использовали кремниевые подложки, на которые методом магнетронного напыления в вакууме был нанесен слой алюминия (Al)

толщиной 1,2 мкм. Матрицу АОА формировали методом двухстадийного электрохимического анодирования Al в 0,4 М водном растворе винной кислоты в электрохимических условиях, обеспечивающих размер и профиль пор, позволяющий равномерно заполнить матрицу металлооксидом [4]. На первой стадии анодирования формировали слой пористого оксида, толщиной 0,5 мкм при плотности анодного тока  $6 \text{ mA/cm}^2$  и напряжении стационарного роста 200 В. Сформированный первичный слой АОА селективно удаляли в нагретом до  $80^\circ\text{C}$  водном фосфорно-хромовом растворе, в результате чего поверхность непроанодированного алюминия оказывалась структурирована отпечатками оксидных ячеек. На второй стадии анодирования в электрохимических условиях, аналогичных первой стадии, формировали упорядоченный слой АОА. Для расширения и очистки пор сформированные матрицы АОА выдерживали 10 мин в 2 М растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $T=50^\circ\text{C}$ . По разработанному методу были сформированы матрицы АОА толщиной приблизительно 1 мкм и диаметрами пор около 100 нм.

Послойное химическое осаждение гидроксидов Sn и Zn в сформированные матрицы проводили из подщелаченных растворов 0,01 М  $\text{SnSO}_4$  и  $\text{ZnSO}_4$  при  $\text{pH}=8$  с последующим выдерживанием в растворе KOH. Сформированные структуры сушили в термостате при  $T=350^\circ\text{C}$ , после чего отжигали при  $T=750^\circ\text{C}$  в течение 30 мин для перехода  $\text{Sn}^{+2}$  в  $\text{Sn}^{+4}$  и формирования смешанного оксида  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$ . По разработанной методике были сформированы три типа матричных структур –  $\text{SnO}_2$ , ZnO и  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$ . На рис. 1 представлены микрофотографии поверхностей и сколов сформированных структур, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-806 при ускоряющем напряжении 20 кВ.

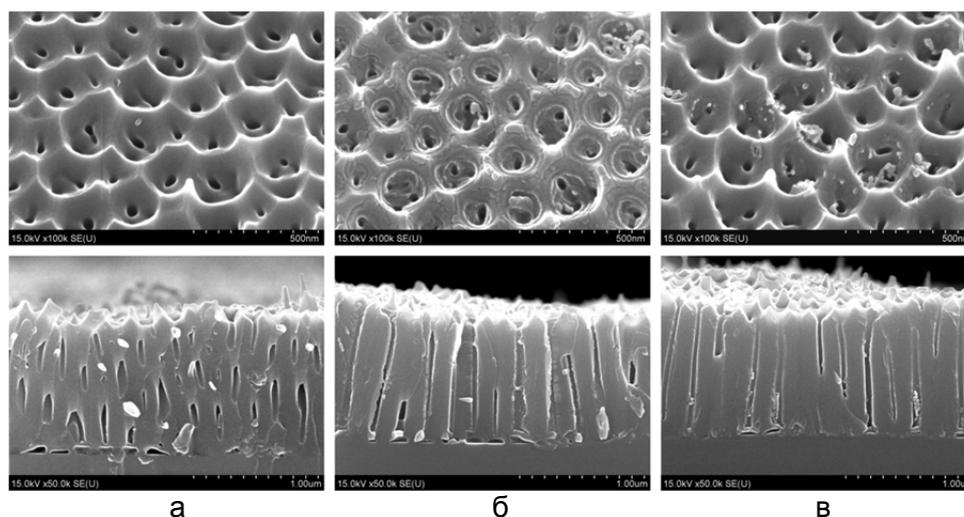


Рис. 1. Микрофотографии поверхностей и сколов матричных наносистем на основе  $\text{SnO}_2$  (а), ZnO (б) и  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$  (в)

Как видно из микрофотографий, металлооксидные структуры равномерно распределяются по поверхности АОА матриц и вдоль пор. Наилучшее заполнение матриц наблюдалось для пленок  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$ .

Для исследования состава сформированных матричных наносистем были изготовлены структуры с однослойными и двухслойными пленками смешанных оксидов олова и цинка  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$ . Пленки оксидов формировали по разработанной методике послойным химическим осаждением из водных растворов с последующим отжигом. При формировании двухслойных структур на первом этапе происходило формирование хеморезистивной пленки по электрохимической методике из раствора 0,01 М  $\text{SnSO}_4$  с последующей естественной сушкой и отжигом при  $750^\circ\text{C}$ , а на втором этапе осуществлялось химическое формирование хеморезистивной пленки из раствора 0,01 М  $\text{ZnSO}_4$  с последующей термообработкой.

Спектры комбинационного рассеяния (КР) пленок, полученные на спектрофотометре SF-26, приведены на рис. 2. На КР-спектрах однослойных и двухслойных пленок смешанных оксидов олова и цинка наблюдались пики кристаллических фаз  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ , что соответствует составу нанесенных на матрицу АОА пленок, и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что соответствует составу исходной матрицы.

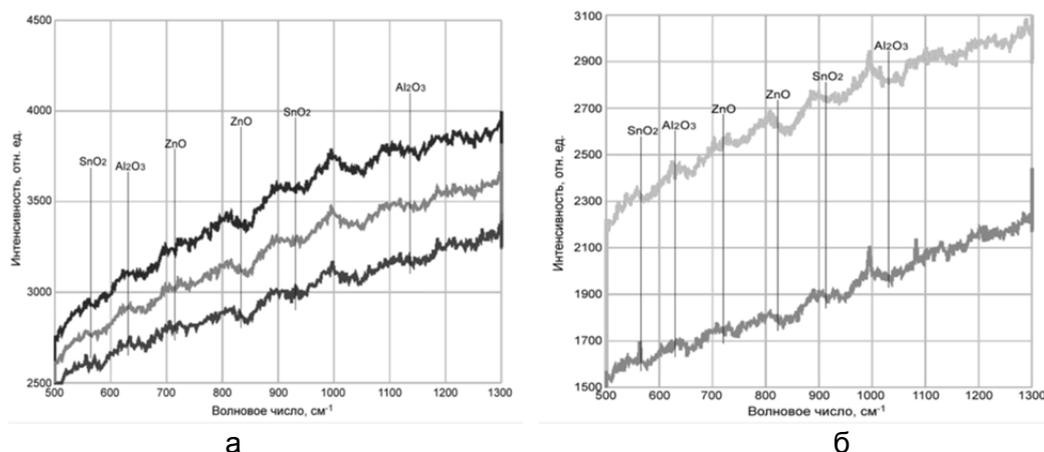


Рис. 2. Спектры комбинационного рассеяния однослойных (а) и двухслойных (б) пленок  $\text{SnO}_2\cdot\text{ZnO}$

Исследования хемочувствительных свойств сформированных наносистем проводили на тестовой сенсорной структуре, представляющей собой кремниевую подложку с АОА матрицей, содержащей осажденные слои  $\text{SnO}_2\cdot\text{ZnO}$ . На обратной стороне подложки был сформирован Pt нагреватель, к газочувствительным слоям подведены внешние контакты. Схематическое изображение сенсорной структуры приведено на рис. 3.

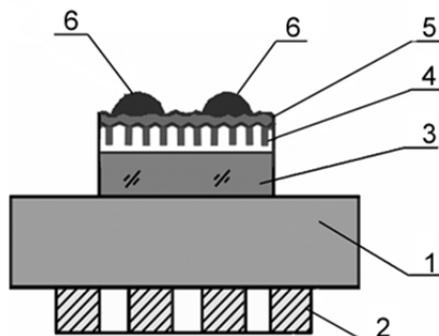


Рис. 3. Тестовая сенсорная структура: 1 – подложка; 2 – Pt нагреватель; 3 – Si подложка; 4 – АОА матрица; 5 – металлооксидный слой  $\text{SnO}_2\cdot\text{ZnO}$ ; 6 – электроды к хемочувствительному слою

Хемочувствительные свойства структурированных пленок анализировали в среде  $\text{NO}_2$  при температурах  $200^\circ\text{C}$ ,  $250^\circ\text{C}$  и  $300^\circ\text{C}$ . В процессе исследований регистрировали изменение сопротивления тестовой структуры в чистой атмосфере и при разных концентрациях  $\text{NO}_2$ .

Тестовую сенсорную структуру помещали в измерительную ячейку, где измеряли ее сопротивление в среде чистой атмосферы, после чего в ячейку подавали 1 ppm  $\text{NO}_2$  и регистрировали изменение сопротивления структуры. После прекращения подачи газа и проведения всех необходимых измерений для очистки системы кратковременно повышали температуру до  $700^\circ\text{C}$ .

Сформированные наносистемы показали хорошие отклики на 1–2 ppm  $\text{NO}_2$ , причем наилучшую чувствительность исследуемых пленок к анализируемому газу наблюдали при температурах  $250\text{--}300^\circ\text{C}$ . Увеличение рабочей температуры

хемочувствительного слоя до 300°C позволило уменьшить время отклика тестовой структуры по сравнению с откликами при 250°C, однако измерения при 250°C характеризуются большей величиной изменения сопротивления структуры. Сравнение полученных откликов с откликами гладких пленок аналогичных металлооксидов, напыленных на кремниевые подложки (рис. 4, кривые 2), показало, что чувствительность сформированных наноструктурированных пленок на несколько порядков превышает чувствительность гладких пленок.

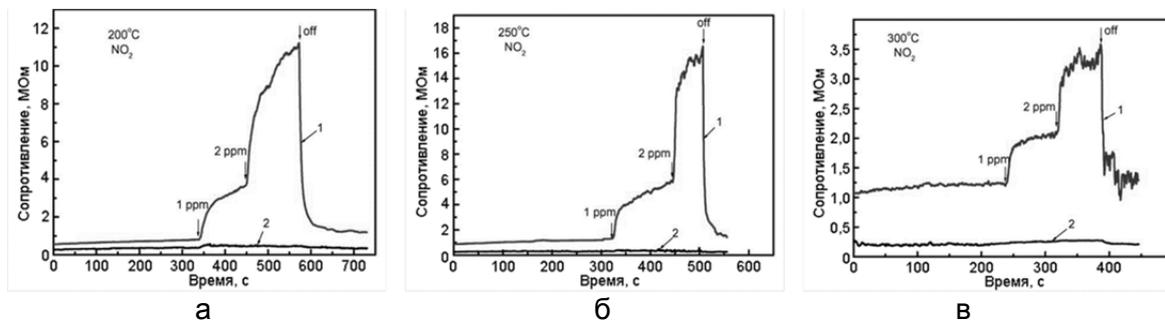


Рис. 4. Отклики тестовой сенсорной структуры с хемочувствительным слоем  $\text{SnO}_2 \cdot \text{ZnO}$  на 1–2 ppm  $\text{NO}_2$  при 200°C (а), 250°C (б) и 300°C (в)

Таким образом, разработанная методика химического синтеза композитных матричных наносистем позволяет формировать высокоструктурированные слои металлооксидов, обладающие хорошими хемочувствительными свойствами. Разработанные структуры являются перспективными для дальнейшего применения в газовых сенсорах и сенсорных микросистемах.

### Литература

1. Gorokh G. et al. Anodic formation of low-aspect-ratio porous alumina films for metal-oxide sensor application // *Electrochimica Acta*. – 2006. – V. 52. – P. 1771–1780.
2. Xia Z. et al. Mechanical properties of highly ordered nanoporous anodic alumina membranes // *Reviews on Advanced Materials Science*. – 2004. – V. 6. – № 2. – P. 131–139.
3. Захлебаева А.И., Ткач А.Н., Пянко А.В. Формирование хемочувствительных матричных пленок для газовых микросенсоров // Новые направления развития приборостроения: материалы 9-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов, в 2 т. – 2016. – Т. 1. – С. 239–240.
4. Жилинский В.В. и др. Газочувствительные пленки на основе оксидов олова и цинка в матрицах анодного оксида алюминия для перспективных хеморезистивных сенсоров // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Международной научно-технической конференции. – Минск, 2015. – С. 223–226.

УДК 544.163.3

### ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ СО СТРУКТУРОЙ ДВОЙНОГО ПЕРОВСКИТА

М.В. Ярмолич<sup>1</sup>, А.И. Захлебаева<sup>2</sup>, Г.Г. Горох<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Разработан метод синтеза соединений  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в пористых матрицах анодного оксида алюминия путем осаждения из дисперсных водных растворов с последующим высокотемпературным отжигом. Исследована структура, состав и свойства сформированных композитных систем. Установлено, что варьирование качественным и количественным составом гельобразующих коллоидных растворов, а также режимами термообработки,

конфигурацией и микрогеометрией матриц позволяет осуществлять направленное изменение фазового состава синтезируемых наноразмерных магнитных структур. Разработанный метод позволяет формировать структурно-совершенные пленки ферромолибдата стронция с заданным образом ориентированными массивами нанокластеров и контролируемыми магниторезистивными характеристиками.

**Ключевые слова:** анодный оксид алюминия, ферромолибдат стронция, периодические наноструктуры, структура двойного перовскита, туннельное магнитосопротивление.

Соединение ферромолибдата стронция (ФМС)  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  со структурой двойного перовскита за счет своих уникальных физико-химических и магниторезистивных свойств является одним из наиболее перспективных материалов для создания слоистых магнитных структур, работающих на эффекте туннельного магнитосопротивления (ТМС) с использованием спин-поляризованного электропереноса через интерфейсные границы разных сред [1]. Традиционно для получения слоистых наноструктур в электронной технике используют вакуумные методы нанесения пленок: термическое испарение, катодное, магнетронное или плазменное напыление. К недостаткам данных методов относятся их высокая стоимость и энергоемкость, а также трудности получения пленок из сплавов с заданным соотношением компонентов. Альтернативным путем получения слоистых структур является осаждение металлов и сплавов из растворов. В частности, одним из наиболее эффективных способов формирования структурно-совершенных пленок ФМС с контролируемыми магниторезистивными и магнитными характеристиками является осаждение из водных и неводных дисперсий с последующим температурным отжигом структур. Магнитные характеристики формируемых таким образом композитов напрямую связаны с магнитным упорядочением в данных структурах, которое определяется наличием закономерности расположения элементарных магнитных моментов атомов и ионов. Для создания структур с заданными размерами и регулируемым поверхностным распределением нанозерен используют заранее сформированные ячеисто-пористые темплейты, в частности, нанопористые матрицы анодного оксида алюминия (АОА), обладающие высокой упругостью, микротвердостью, износостойкостью, и слабо взаимодействующие с наноразмерными зернами различных соединений.

Осаждение соединений  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  из водных дисперсий в заранее сформированные темплейты из АОА позволяет формировать структурно-совершенные матричные пленки ФМС с контролируемыми размерами и поверхностным регулярным распределением массивов ферромагнитных нанокластеров [2]. Таким образом, цель данной работы состояла в разработке метода синтеза наноструктурированных композиционных соединений  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в матрицах АОА из дисперсных водных растворов и исследовании их структуры, состава и магнитных свойств.

Нанопористые низкопрофильные матрицы АОА изготавливали методом двухстадийного анодирования напыленной на Si подложку пленки Al, толщиной 1,2 мкм, в 0,4 М водном растворе винной кислоты в электрохимических условиях, обеспечивающих формирование упорядоченного оксида с заданными структурными параметрами. На первой стадии анодирования формировали разупорядоченный слой АОА толщиной около 0,3 мкм, после чего проводили его селективное удаление для структурирования поверхности Al отпечатками оксидных ячеек. На второй стадии анодирования по отпечаткам оксидных ячеек формировали упорядоченный АОА толщиной около 1 мкм. Полученные матрицы выдерживали в фосфорно-хромовом водном растворе ( $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{CrO}_3:\text{H}_2\text{O}$ ) при  $T=60^\circ\text{C}$  для расширения диаметра пор сформированного АОА до 150 нм, после чего отжигали в вакууме при  $T=800^\circ\text{C}$  в течение 40 мин. Синтез наноразмерных частиц соединения  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  проводили золь-гель методом путем смешивания водных растворов  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$  и их

последовательного соединения с  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ . Синтезированный гель высушивали в политермическом режиме при  $T=100\text{--}200^\circ\text{C}$  со скоростью нагрева  $0,4$  град/мин с последующей выдержкой при  $T=200^\circ\text{C}$  в течение  $18$  ч, после чего размалывали, отжигали при  $p_{\text{O}_2}=0,21 \cdot 10^5$  Па и  $T=500^\circ\text{C}$  в течение  $10$  ч и диспергировали. Из полученного таким образом порошка изготавливали дисперсный водный раствор с наночастицами ФМС размером  $75$  нм. Синтез наноструктур  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в матрицах АОА осуществляли путем пульверизации изготовленного дисперсного раствора с последующим центрифугированием, после чего проводили трехступенчатый отжиг сформированных систем. На первой стадии для высушивания раствора структуры выдерживали при  $T=200^\circ\text{C}$  в течение  $2$  ч. Затем полученную композитную систему АОА/ФМС отжигали при  $p_{\text{O}_2}=0,21 \cdot 10^5$  Па и  $T=500^\circ\text{C}$  в течение  $8$  ч для формирования и распределения пленки  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  по структуре АОА. На заключительной стадии проводили высокотемпературный отжиг матриц с нанокompозитами при  $T=850^\circ\text{C}$  в восстановительной среде смеси газов  $5\% \text{H}_2/\text{Ar}$  в течение  $10$  ч для структурного упорядочения катионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Mo}^{5+}$  и формирования в порах и по поверхности АОА соединения  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ . Технологический процесс синтеза композитов ФМС в матрицах АОА изображен на рис. 1.

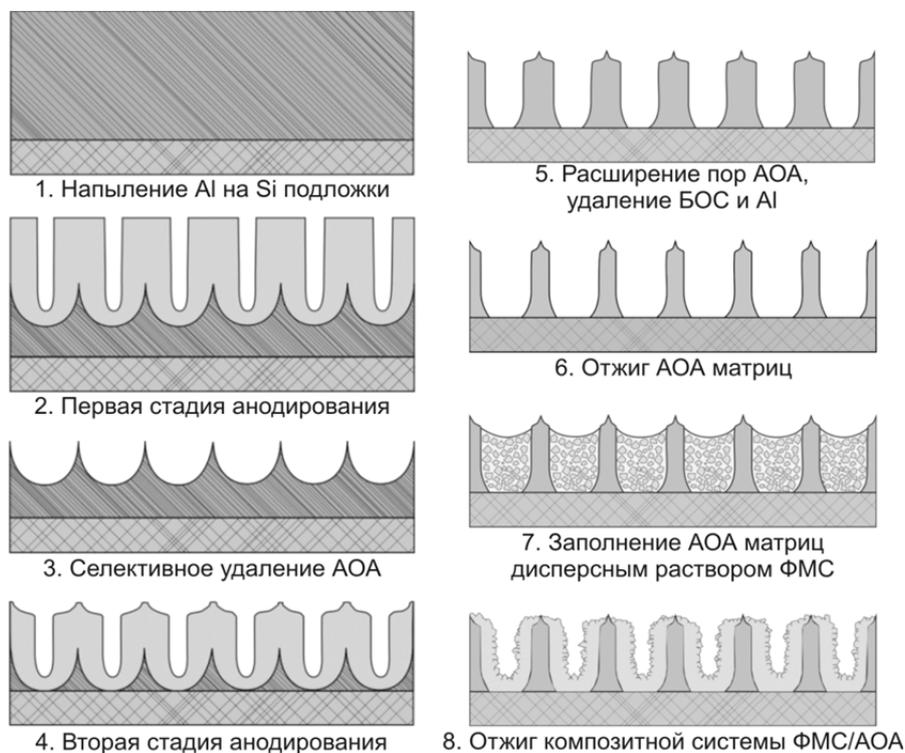


Рис. 1. Технологический процесс формирования АОА матриц и синтеза ФМС

Согласно данным рентгенофазового анализа сформированных структур, отожженные при  $T=500^\circ\text{C}$  нанокompозиты являются многофазными с содержанием фаз  $\text{SrMoO}_4$ ,  $\text{SrCO}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , а элементный состав зерен хорошо соотносится со стехиометрией твердого раствора ФМС. В результате исследования фазовых превращений в процессе кристаллизации ФМС в политермических режимах в интервале температур  $500\text{--}1000^\circ\text{C}$  установлено, что синтез твердого раствора из стехиометрической смеси  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$  протекает через ряд последовательно-параллельных стадий. На начальном этапе взаимодействия образующийся ФМС обогащен железом, при росте температуры в ходе протекания химических процессов состав композита меняется в сторону увеличения содержания молибдена, что приводит к изменению его параметров кристаллической решетки. С повышением температуры до  $850^\circ\text{C}$  на рентгенограмме преобладают рефлексы

соединения  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ . В результате высокотемпературного отжига структуры происходит перекристаллизация, уплотнение и частичное проседание пленки  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в полость пор анодного оксида.

Процентное содержание фаз нанокompозитов, сформированных из растворов  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$  с  $\text{pH}=4$ ,  $\text{pH}=6$  и  $\text{pH}=9$ , в зависимости от температуры отжига структур, представлено на графиках на рис. 2. Электронно-микроскопический анализ микроструктуры сформированных нанокompозитов показал, что увеличение температуры синтеза приводит к росту размера зерен, а с увеличением  $\text{pH}$  исходных растворов наблюдается стремление к агломерации зерен композитов  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  при увеличении температуры отжига (рис. 2).

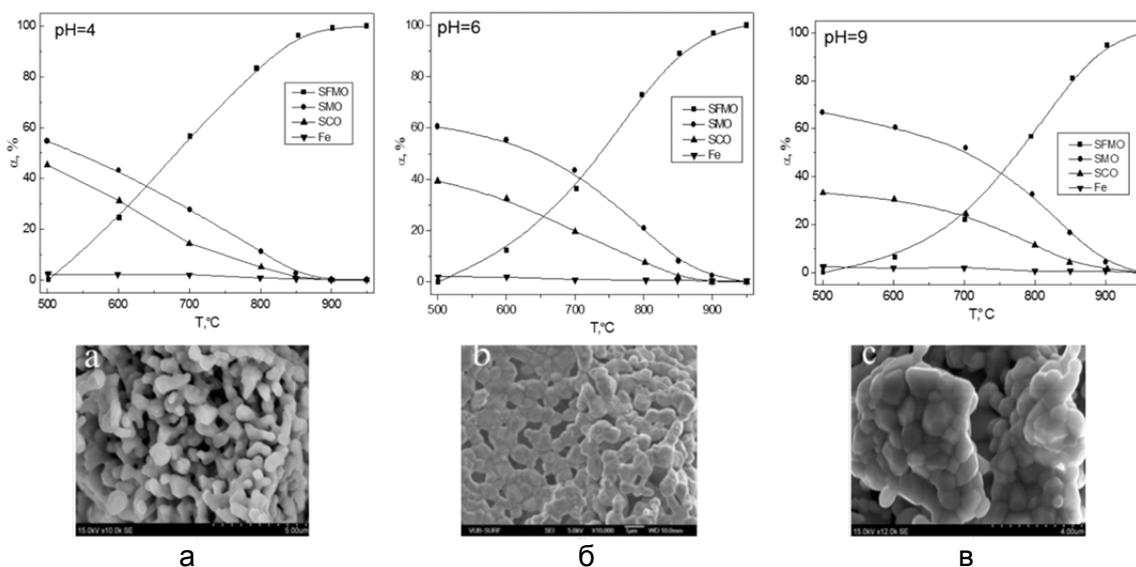


Рис. 2. Процентное содержание фаз композитов  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в зависимости от температуры отжига и электронно-микроскопические снимки ФМС, сформированных из растворов с  $\text{pH}=4$  (а),  $\text{pH}=6$  (б) и  $\text{pH}=9$  (в)

По результатам электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа было определено весовое процентное соотношение железа, стронция и молибдена в составе осажденных в матрицы АОА наноструктур  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ , которое составило 23,34% Fe, 58,96% Sr и 17,70% Mo, атомарное соотношение железа, стронция и молибдена в составе ФМС составило 32,77% Fe, 52,76% Sr и 14,47% Mo. Обнаруженные в спектре исследуемых структур линии соответствовали элементному составу исходной матрицы: 1,432 эВ – алюминий в структуре матрицы АОА; 0,56 эВ – кислород; 1,77 эВ – кремниевая подложка, на которой был сформирован АОА. Образование ФМС в результате осаждения в порах из дисперсного раствора отражается наличием в спектре нескольких линий, соответствующих железу в разных формах (0,637 эВ, 6,4 эВ, 7,05 эВ), стронцию (1,82 эВ) и молибдену (2,32 эВ). Рентгенограмма состава ферромолибдата стронция в пористом темплейте из АОА приведена на рис. 3.

Анализ температурно-магнитных зависимостей показал, что на магнитное состояние формируемых композитов оказывает влияние микроструктура порошков  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  и степень сверхструктурного упорядочения катионов  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mo}^{5+}$ . Температурные зависимости удельной намагниченности сформированных композитов ФМС измеряли в режимах предварительного охлаждения до 4,2 К в магнитном поле  $B = 0,01$  Тл или без него с последующим нагревом в магнитном поле. При проведении сравнительного анализа магнитных свойств композитов, полученных из растворов с  $\text{pH} = 4$  и  $\text{pH} = 9$ , обнаружено, что композиты, полученные из раствора с  $\text{pH}=9$ , характеризуется неоднородной магнитной структурой, что обусловлено наличием незначительного количества антиферромагнитных включений примесной фазы  $\text{SrFeO}_3$ .

Наличие антиструктурных дефектов  $[\text{Fe}_{\text{Mo}}]$  и  $[\text{Mo}_{\text{Fe}}]$  в составе композитов ФМС, полученных из раствора с  $\text{pH}=9$ , также влияют и на величину намагниченности структур. Так,  $M_{\text{FC}}(T)$  при  $T=4,2$  К имеют значения  $M \sim 1,27 \mu\text{B}/\text{f.u}$  ( $\text{pH}=9$ ) и  $M_{\text{нас}} \sim 2,47 \mu\text{B}/\text{f.u}$  ( $\text{pH}=4$ ). Таким образом, композиты  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ , полученные из раствора с  $\text{pH}=4$ , характеризуются более однородной магнитной структурой по сравнению с композитами, полученными из раствора с  $\text{pH}=9$ . На температурных зависимостях композитов наблюдается резкое увеличение намагниченности структур в интервале температур  $T=4,2-35$  К, что указывает на наличие магнитных областей с низкой коэрцитивной силой, представляющих собой наноразмерные зерна, обменные силы которых обеспечивают однородную намагниченность и способствуют реализации в них суперпарамагнитного состояния.

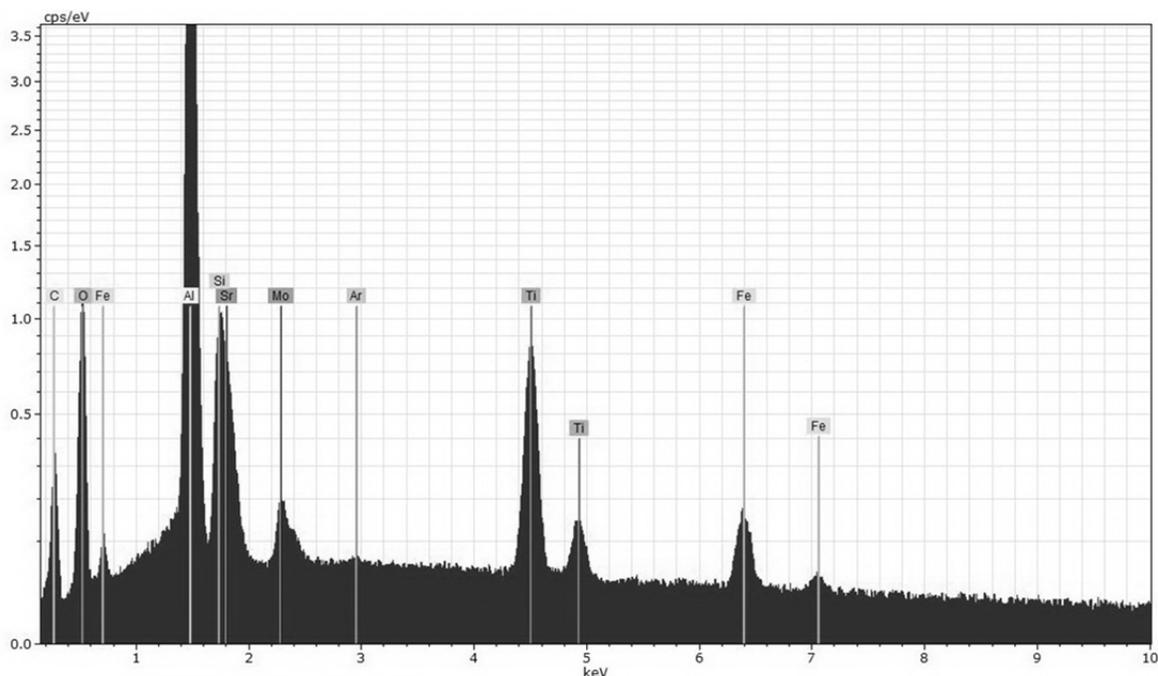


Рис. 3. Данные электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа состава  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$ , осажденного в матрицы АОА

Таким образом, варьирование качественным и количественным составом гельобразующих коллоидных растворов, режимами термообработки, конфигурацией и микрогеометрией матриц АОА, позволяет осуществлять направленное изменение фазового состава синтезируемых наноразмерных магнитных структур. Разработанный метод синтеза соединения  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  в пористых матрицах АОА путем осаждения из водных дисперсий с последующим температурным отжигом позволяет формировать структурно-совершенные пленки ферромolibдата стронция с заданным образом ориентированными массивами нанокластеров и контролируемые магниторезистивными характеристиками, что открывает широкие перспективы формирования магнитоупорядоченных систем с прогнозируемыми свойствами.

### Литература

1. Zhang Q. et al. Structural and electromagnetic properties driven by oxygen vacancy in  $\text{Sr}_2\text{FeMoO}_{6-\delta}$  double perovskite // Journal of Alloys and Compounds. – 2015. – V. 649. – P. 1151–1155.
2. Горох Г.Г. и др. Пленки ферромolibдата стронция в матрицах анодного оксида алюминия: получение и свойства // Наноструктуры в конденсированных средах: сб. науч. ст. – 2014. – С. 122–131.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Леонов М.Б.</b> Разработка стенда для контроля световозвращения объективов систем видеонаблюдения.....	3
<b>Лихачева Т.С.</b> Патентное исследование систем, функционирующих на базе искусственных нейронных сетей.....	6
<b>Лукашова Е.В.</b> Интегрированная система менеджмента качества: актуальные вопросы адаптации и внедрения в фармацевтической отрасли Российской Федерации .....	8
<b>Лукьянец Е.А.</b> Разработка архитектуры программного комплекса идентификации личности по изображению лица .....	12
<b>Лупачёва А.А., Полатайко С.В.</b> Концепции питания: антропологический аспект.....	14
<b>Лютецкий Н.А., Андреева А.В., Стафеев С.К.</b> Использование технологий 3D для создания виртуальной научной лаборатории.....	16
<b>Маняшин Д.А.</b> («Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Минобороны России). Многопараметрический поиск оптимальных маршрутов движения подвижных объектов в условиях дестабилизирующих факторов.....	19
<b>Заричняк Ю.П., Марова А.А.</b> Оценка коэффициента теплопроводности полимерных композиционных материалов, наполненных фуллеренами C <sub>60</sub> .....	22
<b>Маруткин Д.В.</b> (Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)), <b>Федосов Ю.В.</b> (Университет ИТМО). Применение пьезоприводов в станках с числовым программным управлением .....	26
<b>Мерзлякова М.Э., Волков Д.П.</b> Теплофизические свойства полисилоксановых каучуков.....	29
<b>Молева М.А.</b> Выбор показателей для оценки экологической эффективности технологических процессов мойки .....	32
<b>Мохнаткина Е.В.</b> Критерии оценки инновационной активности предприятия .....	35
<b>Мулюкин А.А., Перл И.А.</b> Обзор возможностей оптимизации процесса моделирования системной динамики .....	39
<b>Назыров М.В., Шлыков А.А.</b> Анализ влияния факторов модели усреднения движения на выполнение цели.....	43
<b>Наумов А.Д.</b> Анализ производительности гомоморфных криптосистем и моделей облачных вычислений.....	47
<b>Нгуен Ван Ба.</b> Узкополосные светофильтры на основе явления нарушенного полного внутреннего отражения.....	52
<b>Нгуен Ван Чьонг.</b> Исследование алгоритмов сопоставления блоков для оценки движения в современных видеокодерах.....	55
<b>Николаев А.С.</b> Оценка эффективности деятельности ФТС России в сфере международного сотрудничества с таможенными службами и правоохранительными органами иностранных государств .....	60
<b>Новокшионов П.В., Федосов Ю.В.</b> Способы активной компенсации погрешностей оборудования .....	63
<b>Овсянников Д.В.</b> Исследование характеристик состояния пчелиной семьи, контролируемых акустическими методами .....	66
<b>Однороченко П.В., Яськов А.Д.</b> Применение рефрактометров для контроля химических производств .....	70
<b>Окас Ж.Х.</b> Математическая модель системы управления оптическим лучом .....	74
<b>Oripova A.A.</b> Potential of resource and energy efficiency in the recycling of waste tires .....	78

<b>Осадчая Т.С.</b> Средства автоматизации разработки заданий в системах дистанционного обучения и контроля знаний.....	81
<b>Петров А.А.</b> Перспективы развития солнечной энергетики для инфокоммуникационных систем .....	85
<b>Piskova A.V., Menshchikov A.A., Tishukova N.A.</b> The implementation of the gram-schmidt orthogonalization process in security protocols.....	89
<b>Пискова А.В., Коробейников А.Г.</b> Теория решеток в постквантовой криптографии.....	91
<b>Попов И.Ю.</b> Разработка метода оценки соответствия обеспечения безопасности персональных данных в информационных системах согласно требованиям регулятора .....	94
<b>Пугачев А.А.</b> Создание системы распределенных вычислений работающей совместно с GPU .....	98
<b>Репин В.А.</b> Анализ оптико-электронной системы с дискретным угловым полем на примере макета с тремя оптическими каналами .....	100
<b>Ригин С.С., Паланджян Д.А., Варжель С.В.</b> Влияние нагрева импульсным CO <sub>2</sub> -лазером на параметры решеток Брэгга в оптическом волокне.....	103
<b>Ртищев А.И.</b> Риски долговых ценных бумаг как финансового инструмента.....	106
<b>Рудович А.А.</b> Вклад творческих отраслей в динамичный рост экономики посредством создания инноваций.....	109
<b>Рыбакова Л.В., Карпова Г.В.</b> Разработка конструкции входного объектива .....	114
<b>Рюмин Д.А.</b> Вычисление информативных видеопризнаков для распознавания жестов рук.....	117
<b>Саблин Р.З.</b> Решение задачи классификации текста на основе нейронных сетей .....	122
<b>Садоян Р.А.</b> Рейтинг уязвимостей в web-приложениях. XSS-уязвимости. Защита и обнаружение.....	128
<b>Сайтгалина А.К., Толстоба Н.Д., Абдула П.А., Бутова Д.В., Орехова М.К.</b> Новый взгляд на образование в студенческой научной лаборатории оплотехники .....	131
<b>Савкин Л.В.</b> (ПАО «Радиофизика», г. Москва). Архитектуры с логическим переплетением в реконфигурируемой системе контроля и диагностики бортового комплекса управления космического аппарата .....	134
<b>Савкин Л.В.</b> (ПАО «Радиофизика», г. Москва). Бортовые регенеративные электронные системы космического применения: анализ методов низкоуровневого резервирования комбинированных архитектур и одиночной логики в программируемых логических интегральных схемах.....	140
<b>Сайтгалина А.К., Толстоба Н.Д., Митюшкин А.В.</b> Разработка и производство тестовых образцов для исследования прочностных свойств пластикового оборудования для оптических учебных стендов.....	146
<b>Салогубова И.С., Пушкарева А.Е.</b> Исследование особенностей распространения лазерного излучения в многослойных биологических тканях при помощи численного моделирования .....	150
<b>Семенова Ю.А., Миронова Д.Ю.</b> Проект «Solution Lab» как эффективный инструмент коммерциализации инноваций.....	154
<b>Тампер А.М.</b> Методы формирования нанокompозитов на основе Si <sub>nc</sub> -SiO <sub>2</sub> -Si <sub>monocr</sub> .....	157
<b>Таукел Е.Е.</b> Исследование уязвимостей в дистанционном банковском обслуживании .....	161
<b>Тен Н.Г., Андриевский Б.Р.</b> Применение методов расчета регуляторов к мобильным LEGO роботам .....	166
<b>Тихомиров А.В., Захаров В.А.</b> Изучение функционирования приложений в среде моделирования NS3.....	171

<b>Троценко И.В., Плотникова Л.В., Успенская М.В.</b> Изучение инфракрасных спектров различных сывороточных альбуминов .....	175
<b>Убский Д.С.</b> Сегментация длинных аудиозаписей.....	176
<b>Федорева М.К.</b> (Университет ИТМО; АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), <b>Кононов А.Н.</b> (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»). Методика генерации тестов для сравнения алгоритмов планирования заданий .....	178
<b>Fedorova M.A., Gromov V.S., Borisov O.I., Ryabukhina Y.V.</b> Algorithms for marine robot.....	182
<b>Федорова М.А., Громов В.С., Борисов О.И., Пыркин А.А.</b> Синтез алгоритмов управления робототехническим макетом надводного судна.....	185
<b>Федотова В.Н., Олехнович С.А.</b> Обзор инноваций в туристической отрасли .....	188
<b>Фельдина Е.А.</b> Администрирование и тестирование текстовой диалоговой системы .....	192
<b>Фролков Н.А.</b> Анализ системы управления технологическим процессом производства тепловой энергии с целью повышения эффективности котлоагрегата ...	193
<b>Хоанг В.Ф., Коняхин И.А.</b> Применение кватернионов для анализа вариантов оптимизации отражателя .....	197
<b>Хоанг Тхань Лонг.</b> Поиск условий получения постоянного энергетического коэффициента отражения просветляющего покрытия во всех точках сферической поверхности оптических деталей малого радиуса.....	202
<b>Цыгулева О.В.</b> Анализ применимости инструментов тестирования потребительского спроса на IT-продукты .....	206
<b>Чафонова А.Г.</b> (Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена). Лингвокультурологический подход к обучению датских студентов русскому языку как иностранному .....	211
<b>Чафонова А.Г.</b> (Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена). Национально-культурная специфика концептов «мужчина» и «женщина» в русской и датской лингвокультурах (словообразовательный аспект) ..	215
<b>Шемигон Т.Н., Багдасарова О.В.</b> Коллиматорное устройство для тренажеров летательных космических аппаратов .....	219
<b>Шиманчук С.Н.</b> (Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова). Построение защищенной информационной системы персональных данных круизной организации .....	222
<b>Ширяева Е.И.</b> Internet of things.....	227
<b>Ширяева Е.И.</b> Технологическое обеспечение экономики реального времени .....	229
<b>Шлыков А.А., Гатауллин Р.И., Вексин И.И.</b> Разработка имитационной модели мультиагентных робототехнических систем .....	231
<b>Шрайбер К.С.</b> Генезис инновационного мышления в современной России.....	234
<b>Штерле Е.И., Александрова А.И.</b> Разработка дорожной карты инновационного развития предприятия машиностроительной отрасли .....	237
<b>Shukova Y.A., Sazanovich J.A.</b> Problems of innovation implementation to the scientific research centers in healthcare .....	241
<b>Шулипа А.К., Шолохов А.В.</b> Определение речевых сегментов целевого диктора на множестве диалогов .....	243
<b>Федосов Ю.В., Якшин Е.Э.</b> Некоторые способы получения светопоглощающего покрытия на молибдене .....	249
<b>Захлебаева А.И.</b> (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск), <b>Реутская О.Г.</b> (Белорусский национальный технический университет, г. Минск), <b>Горох Г.Г.</b> (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск). Газовые сенсоры и сенсорные микросистемы на наноструктурированных металлооксидных пленках.....	252

- Лозовенко А.А.** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск), **Горох Г.Г.** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск). Электрохимический синтез нанопроводов из полупроводников и полуметаллов в пористых диэлектрических матрицах..... 257
- Пянюк А.В.** (Белорусский государственный технологический университет, г. Минск), **Захлабаева А.И.** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск), **Жилинский В.В.** (Белорусский государственный технологический университет, г. Минск). Химический синтез композитных матричных наносистем с хемочувствительными свойствами..... 261
- Ярмолич М.В.** (ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск), **Захлабаева А.И.** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск), **Горох Г.Г.** (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск). Формирование и исследование нанокompозитов  $Sr_2FeMoO_{6-\delta}$  со структурой двойного перовскита..... 264

# **СБОРНИК ТРУДОВ V ВСЕРОССИЙСКОГО КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ Том 2**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99

Подписано к печати 06.10.16

Заказ № 3691

Тираж 100 экз.