

**СБОРНИК РАБОТ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО,
ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА ГРАНТОВ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Сборник работ студентов Университета ИТМО,
победителей конкурса грантов
Правительства Санкт-Петербурга

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2019

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под. ред. В.О. Никифорова. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 140 с.

Сборник содержит работы студентов Университета ИТМО, удостоенных премии Правительства Санкт-Петербурга, победителей конкурса грантов для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. Научные отчеты по результатам выполнения грантов издаются с целью демонстрации достижений студентов университета, стимулирования их участия в научных исследованиях, улучшения качества подготовки специалистов с высшим образованием и формирования резерва для кадров высшей квалификации.



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.

Университет ИТМО, 2019

Авторы, 2019



Студенты Университета ИТМО – победители конкурса грантов на церемонии награждения. В центре – профессор В.Б. Карасев

Университет ИТМО – один из ведущих вузов Российской Федерации по многим отраслям науки. Он располагает высококвалифицированными научными кадрами и инновационной научно-исследовательской инфраструктурой, обеспечивающей проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в России. Молодые ученые активно привлекаются к научно-исследовательской деятельности университета.

Важную роль в поддержке научных исследований молодежи играет ежегодный конкурс грантов для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга, проводимый Комитетом по науке и высшей школе при Правительстве Санкт-Петербурга. Студенты Университета ИТМО на протяжении восемнадцати лет принимают в нем участие.

Наш университет входит в тройку вузов Санкт-Петербурга по числу поданных заявок и выигранных грантов. Наибольшее число поданных заявок и выигранных аспирантами Университета ИТМО грантов отмечено в 2018 году. Из трехсот семи поданных заявок было удовлетворено шестьдесят шесть – больше, чем у всех других вузов – участников конкурса.

Совмещение фундаментальных и прикладных исследований и разработок с образовательным процессом служит основой для повышения качества подготовки молодых специалистов и специалистов высшей квалификации.

В настоящий сборник вошли работы студентов – победителей конкурса грантов 2018 года для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов Санкт-Петербурга. Представленные работы демонстрируют высокий уровень и широкий диапазон научных исследований, проводимых в университете студентами под руководством ведущих ученых.

Проректор, д. т. н., проф. В.О. Никифоров



Анчуткин Гордей Глебович
Факультет лазерной и световой инженерии
E-mail: anch_gg@corp.ifmo.ru

УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНОСТЬЮ МОЛЕКУЛ КРАСИТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ СЕЛЕКТИВНОГО ФОТОВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ ПОРИСТОЕ СТЕКЛО

Г.Г. Анчуткин

Научный руководитель – доцент А.В. Куликов

Работа посвящена исследованию принципиально нового хроматографического метода разделения различных веществ. Метод основан на селективном возбуждении компонентов исследуемой смеси и их взаимодействии с развитой поверхностью неподвижной хроматографической фазы. На двух предложенных установках показано, что подвижность молекул органических красителей, возбужденных лазерным излучением, снижается при движении по пористому стеклу, что позволяет достигать эффективного разделения веществ.

Развитие химической и фармацевтической технологий, новые требования к экологическим стандартам требуют все более широкого применения методов исследования многокомпонентных смесей. Наиболее распространенными методами разделения и исследования их состава являются хроматографические методы [1], а среди них – жидкостная хроматография (HPLC). Она имеет высокую разрешающую способность при разделении смесей, что достигается использованием частиц адсорбента микронных размеров и применением высокого давления. У высокоэффективной жидкостной хроматографии имеются свои недостатки: массивное высокотехнологичное оборудование и невозможность разделения веществ со схожими адсорбционными свойствами [2].

Основные тенденции развития хроматографических методов – применение компактных хроматографических установок, а также использование различных механизмов адсорбции [3].

Предложен новый хроматографический метод, основанный на селективном возбуждении веществ оптическим излучением, при котором электроны переходят в синглетные состояния с временем жизни около нескольких наносекунд. После возбуждения молекула может перейти в нижнее возбужденное синглетное состояние и испустить нормальную флуоресценцию, или вернуться в основное состояние на высокий колебательный уровень путем внутренней конверсии, а также претерпеть интеркомбинационную конверсию, перейдя в триплетное состояние. Время жизни в триплетных состояниях может достигать нескольких часов [4]. При непрерывном возбуждении вещества, например с помощью лазерного облучения, вероятность перехода в триплетные состояния существенно выше [5]. Молекулы в триплетном состоянии имеют принципиально другие физические свойства. Изменяются значения их поляризуемости и дипольного момента, увеличение которых приводит к существенному увеличению сил межмолекулярного взаимодействия, что повышает их адсорбционную активность [4].

Цель данной работы – исследование метода разделения веществ посредством селективного возбуждения компонентов смеси и последующего взаимодействия с развитой поверхностью неподвижной хроматографической фазы.

Были поставлены следующие задачи: подбор объектов исследований; анализ процессов электромиграции веществ через неподвижную хроматографическую фазу; исследование

влияния лазерного излучения на скорость электромиграции веществ через пористую структуру.

Методика эксперимента

На рис. 1 изображена установка фотонного хроматографа. Она состоит из двух камер, между которыми находятся образцы неподвижной хроматографической фазы, в качестве которых выбраны натриевоборосиликатные пористые стекла ДВ-1М с размером пор 5–7 нм и удельной площадью поверхности от 10 до 300 м²/г, полученные по методике профессора И.М. Мешковского [5]. В первой камере находится смесь разделяемых веществ, которая приводится в движение за счет электромиграции. Величины напряженности электрического поля: 60, 100, 200 В/см. В следующей камере происходит детектирование веществ методом измерения интенсивности флуоресценции на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама». Лазерный пучок проходит через весь канал для разделения компонентов смеси и селективно возбуждает молекулы одного из компонентов. Последние активно взаимодействуют с поверхностью неподвижной фазы, что замедляет их перемещение и позволяет отделить от компонентов смеси, находящихся в невозбужденном состоянии.

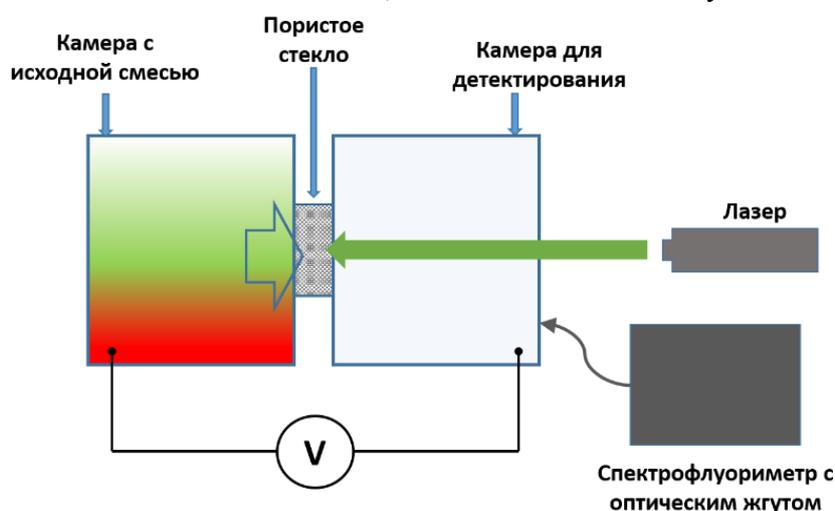


Рис. 1. Экспериментальная установка фотонного хроматографа, включающая две камеры с исходной и детектируемой смесями, лазер для селективного возбуждения компонентов и спектрофлуориметр для детектирования веществ

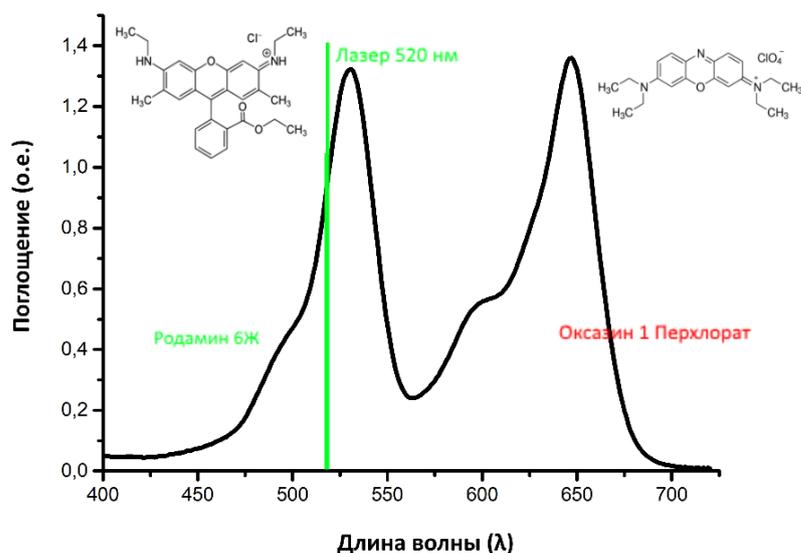


Рис. 2. Спектр поглощения смеси красителей: родамин 6Ж и оксазин-1 перхлорат.

Происходит селективное возбуждение родамина лазером с длиной волны 520 нм

В качестве объектов исследования выбраны этанольные растворы органических красителей – родамин 6Ж и оксазин-1 перхлорат. Разделение молекул красителей позволит в будущем использовать новую методику для работы с более сложными молекулами, например с белками. Выбранные молекулы красителей обладают ярко выраженными спектрами поглощения, что упрощает процесс их возбуждения лазерным излучением. Для обоих красителей характерны свойства флуоресценции, которые позволяют с высокой точностью производить их детектирование на спектрофлуориметре. На рис. 2 представлен спектр поглощения смеси красителей – родамина 6Ж и оксазина-1 перхлората. Селективное возбуждение молекул родамина выполняется твердотельным лазером на длине волны 520 нм мощностью до 500 мВт.

Результаты исследований

Проведены эксперименты по исследованию влияния излучения лазера с длиной волны 520 нм и плотностью мощности излучения $4,6 \text{ Вт/см}^2$ на прохождение родамина 6Ж через пористую матрицу на двухсекционной установке. На рис. 3 представлены кривые изменения концентрации родамина 6Ж в исследуемой камере при облучении лазером и без него. В эксперименте с облучением время прохождения родамина 6Ж через пористую структуру снижается примерно на 25 % по сравнению с экспериментом без лазерного облучения. Полученный результат повторяется и для экспериментов с другими величинами напряженности электрического поля.

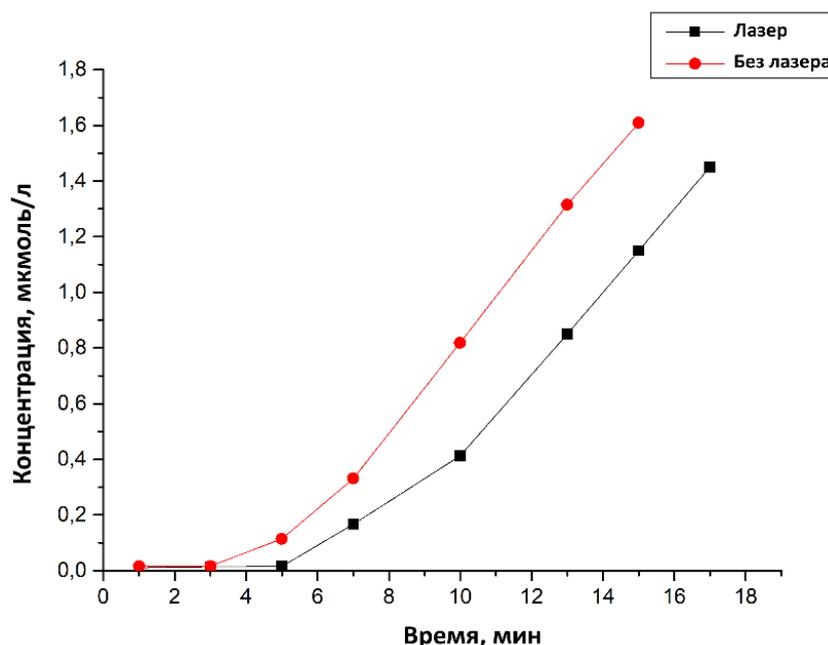


Рис. 3. Исследование влияния лазерного излучения на скорость электромиграции родамина 6Ж через пористое стекло. Величина электрического поля: 60 В/см

С целью повышения эффективности разделения красителей, а также создания более миниатюрной хроматографической установки были проведены исследования по изучению электромиграции красителей по всему объему пористой пластины. На нижнюю часть пластины наносилась смесь родамина 6Ж и оксазина, движение которых осуществлялось за счет электромиграции, как и в предыдущей установке. Лазерный пучок фокусировался в линию и освещал центральную зону пористой пластины, селективно возбуждая молекулы родамина 6Ж (рис. 4). После остановки электромиграции происходило детектирование молекул красителя в пористой пластине на спектрофлуориметре методом измерения сигнала флуоресценции в конкретной точке. Интенсивность флуоресценции измерялась вдоль траектории движения красителей. В месте облучения лазером заметна остановка движения молекул родамина 6Ж, в то время как оксазин распределен по пластине равномерно, вне

зависимости от облучения. Таким образом, переход молекул родамина в возбужденное состояние позволяет существенно снизить скорость его прохождения в пористой среде.

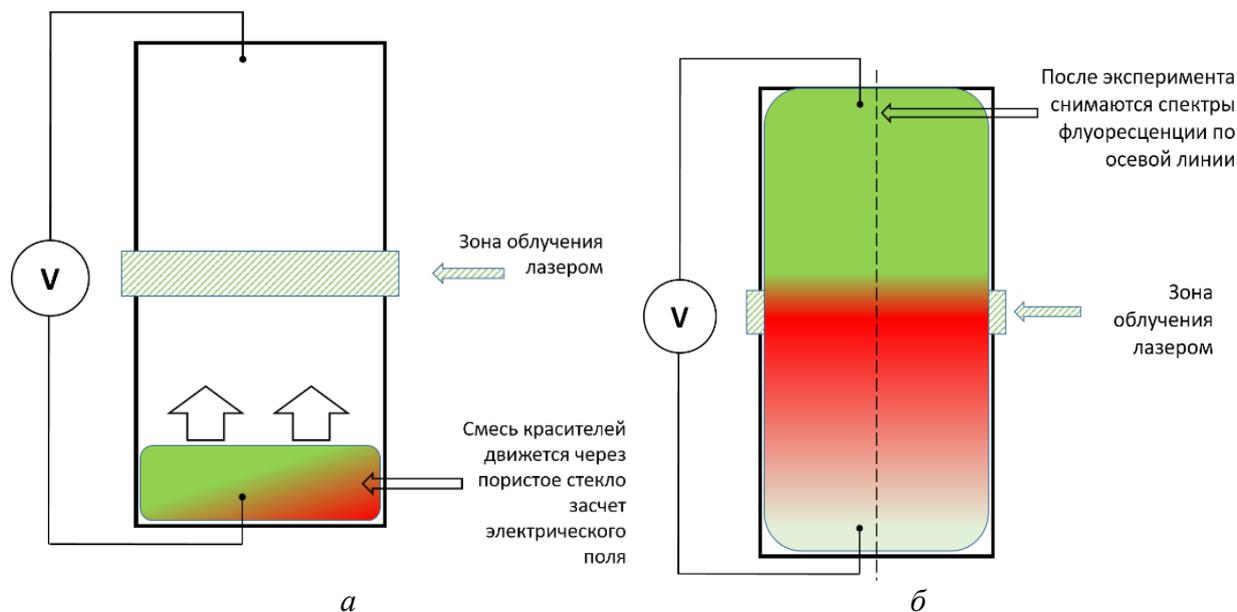


Рис. 4. Движение красителей по всему объему пористой пластины: а – начало эксперимента; б – конец эксперимента

Описанный эксперимент повторен с разными величинами интенсивности лазерного излучения (рис. 5). Спектры флуоресценции родамина бЖ снимались вдоль всей пластины по траектории движения молекул красителя. Из рисунка видно, что с увеличением интенсивности излучения количество молекул красителя, прошедших через пористую структуру, уменьшается.

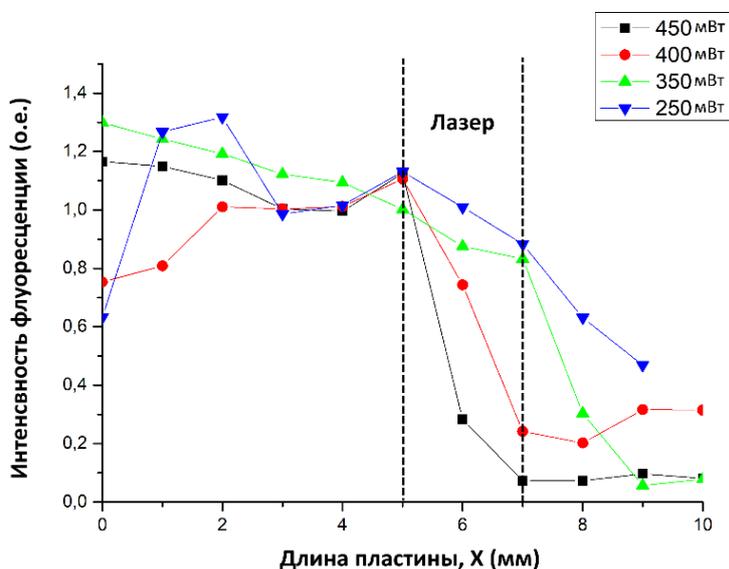


Рис. 5. Влияние интенсивности лазерного излучения на степень прохождения молекул родамина бЖ через пористое стекло

Область применения и перспективы развития фотонной хроматографии

В дальнейших исследованиях предполагается увеличить эффективность разделения различных веществ и создать рабочий макет фотонного хроматографа. На данном этапе предложенная установка на основе нескольких камер может быть применима в случае работы с высокими концентрациями и объемами разделяемых веществ, когда не требуется высокой степени их разделяемости. Установка с движением красителей по всему объему

пористой пластины удобна благодаря ее малым размерам и простоте в использовании. Она подходит для микрообъемов веществ и малой их концентрации (до 10^{-5} М).

Следующим этапом развития фотонного хроматографа предполагается работа по разделению более сложных органических молекул, например аминокислот и белков. Задача по разделению такого типа веществ особенно актуальна в медицинской сфере.

Публикации

Анчуткин Г.Г., Плясцов С.А. Разработка фотонного хроматографа [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4785/4785.pdf> (дата обращения: 20.11.2017).

Литература

1. Беккер Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза. М., 2009. – 473 с.
2. Chang K.L. High-performance liquid chromatography and mass spectrometry of porphyrins, chlorophylls and bilins. London, 2010. – 232 p.
3. Fanali S. et al. Liquid chromatography. 1st ed. Elsevier. 2013. – 688 p.
4. Израилевич И. Межмолекулярные и поверхностные силы. Лондон, 1985–2004. – 450 с.
5. Мешковский И.К. Композиционные оптические материалы на основе пористых матриц. Монография. СПб., 1998. – 332 с.



Беленко Михаил Вячеславович
Факультет программной инженерии и компьютерной техники
E-mail: mikael0bmv@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОРТИРОВАНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ МЕЖДУ СИСТЕМАМИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

М.В. Беленко

Научный руководитель – кандидат технических наук П.В. Балакшин

В рамках работы было проведено исследование возможности портирования приложений между системами распознавания речи, а также его автоматизации. Для этого было осуществлено ручное портирование макета приложения, использующего систему *НТК* (*Hidden Markov Toolkit*), на систему *CMU Sphinx*. Также исследована возможность автоматизации данного процесса. В результате автоматизированное портирование реализовано с помощью системы *Coccinelle*.

Системы распознавания речи (*Automatic Speech Recognition Systems*) получили широкое распространение в наше время. Они используются во многих системах и устройствах, начиная от смартфонов и заканчивая системами «Умный дом». Однако большинство из них являются проприетарными продуктами и не имеют бесплатного доступа к исходному коду, что ограничивает исследовательскую и научную деятельность. Альтернативой таким

системам являются системы с открытым исходным кодом. Самая распространенная из них – система *HTK*, однако она уступает некоторым из своих более современных аналогов в производительности и точности распознавания [1, 2]. Таким образом, возникает необходимость быстрого и легкого перехода приложения с системы *HTK* на одну из более современных.

Цель работы – определение наилучшей системы, подходящей в качестве замены *HTK*, и упрощение процесса переноса приложений, использующих *HTK*, на эту систему.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ предметной области и определить системы, подходящие в качестве замены *HTK*;
- провести подробный анализ их структур и программных интерфейсов (*API*), предоставляемых данными системами;
- выбрать наиболее подходящую систему для замены *HTK*;
- разработать метод портирования приложения с *HTK* на выбранную систему;
- исследовать возможности автоматизации метода;
- провести его автоматизацию;
- обосновать целесообразность портирования.

При исследовании возможности портирования существующих систем, использующих *HTK*, на одну из альтернативных систем в качестве целевой была выбрана система *CMU Sphinx*. Для последующей замены были проанализированы *API* целевой и исходной систем и сопоставлены модули *ATK* (Application toolkit for *HTK*) [4] и *pocketsphinx* (*API* для системы *CMU Sphinx*) [3], которые выполняют одинаковые функции. Результаты приведены в Табл. 1.

Таблица 1

Соответствие модулей

	<i>ATK</i>	<i>pocketsphinx</i>
Работа с ресурсами	<i>ARMan</i>	<i>Acmod, Dict</i>
Преобразование сигнала	<i>ASource, ACode</i>	<i>PS</i>
Распознавание	<i>ARec</i>	<i>PS</i>

Таким образом, основываясь на вышеперечисленных соответствиях, можно провести ручное портирование приложения. Однако в зависимости от его размера процесс ручного портирования может занимать значительное время. В связи с этим было решено исследовать возможности автоматизации данного процесса.

Портирование системы распознавания речи можно разделить на два этапа: портирование ресурсов и портирование исходного кода. В рассматриваемых системах портирование языковой модели не требуется, так как они обе поддерживают модели в формате *ARPA*. Форматы акустических моделей для исследуемых систем различаются, однако существует конвертер, который можно использовать для автоматизации. Таким образом, проблема портирования ресурсов решена, и остается только проблема портирования исходного кода приложения.

Рассмотрим основные подходы к ее решению. Поскольку исходный код представляет собой текст, наивным был бы метод построчного прохождения и изменения текста согласно ранее разработанным правилам. Очевидно, что на практике он не работоспособен в силу высокой трудоемкости и низкой устойчивости к изменению исходного кода портируемого приложения. Данный недостаток можно свести на нет, работая с исходным кодом так, как это делает компилятор. Такой подход применяется в нескольких разновидностях систем. Рассмотрим наиболее широко распространенные системы каждой из этих разновидностей, а также оценим их применимость к решаемой проблеме.

Начнем с транскомпиляторов (*source-to-source compilers*). Системы такого вида работают аналогично классическим, трансформируя абстрактное синтаксическое дерево согласно заранее определенным правилам. Однако практически все они могут осуществлять портирование только между разными языками. Данная ситуация – общая для всех систем этого типа, так как их основное предназначение – изменение языка исходного кода. Эту проблему можно решить, используя системы, предоставляющие возможность создания транскомпиляторов в виде компилятора компиляторов (*compiler-compiler*).

На вход система такого типа принимает формально описанную грамматику, а на выходе получается исходный код компилятора. Существует множество подобных программ, но для решения поставленной задачи было отобрано три реализации: *Yacc + Lex*, *DMS Software reengineering toolkit* и *ROSE Compiler Framework*. Критериями выбора были распространенность, возможность работы с языками программирования C/C++ и доступность. Однако трудоемкость описания транскомпилятора с использованием перечисленных систем делает их применение нецелесообразным. Следовательно, транскомпиляторы в чистом виде не подходят для быстрого портирования систем и, в частности, для портирования *HTK* на *CMU Sphinx*.

Альтернативой транскомпиляторам в данном случае являются системы трансформации программ (*program transformation systems*) [5]. Они работают на более высоком уровне абстракции и зачастую могут содержать их в себе. Как и в транскомпиляторах, на вход такой системе подается исходный код, а на выходе получается трансформированный исходный код. К основным представителям систем данного класса стоит отнести *ASF+SDF Meta environment*, *CIL*, *Coccinelle*, *Fermat*, *Stratego/XT* и *TXL*. Все эти системы поддерживают работу с языками C/C++ и предоставляют возможность изменения исходного кода некоторого приложения согласно формально описанным правилам.

Хотя все перечисленные системы имеют схожий функционал и возможности, среди них следует выделить систему *Coccinelle*. Она, во-первых, предоставляет синтаксис описания правил трансформации в декларативном стиле, что упрощает как разработку, так и поддержку данных правил. Во-вторых, ее исходный код открыт и ее использование для портирования систем с также открытым исходным кодом приемлемо. И наконец, эта система является самой новой из всех перечисленных, что положительно сказывается на ее производительности и поддержке сообществом.

Теперь, когда определена система, с помощью которой портирование будет автоматизировано, нужно определить набор правил, необходимых и достаточных для перевода программы с программного интерфейса *АТК* на программный интерфейс *pocketsphinx*. В терминах *Coccinelle* данные правила называются семантическими патчами.

Далее требуется формализовать ранее описанные правила и оформить их в виде семантических патчей *Coccinelle*. Для этого необходимо пройти все функции, предоставляемые *АТК*, и в соответствии с синтаксисом *Coccinelle* записать их преобразования в функции, предоставляемые *pocketsphinx*.

Таблица 2
Результаты тестирования

	WRR	SF
До портирования (<i>АТК</i>)	85,6 %	1,3
После ручного портирования (<i>pocketsphinx</i>)	84,9 %	0,4
После автоматизированного портирования (<i>pocketsphinx</i>)	84,5 %	0,5

Для подтверждения корректности портирования было проведено тестирование на базе записей дикторов. В качестве речевой базы выступили 102 заказа пиццы, произнесенные

шестью дикторами обоих полов. Как для тестирования ручного портирования, так и для автоматизированного измерялись метрики точности и скорости распознавания *Speed Factor* и *Word Recognition Rate*. Результаты тестирования представлены в Табл. 2.

Как видно из таблицы, результаты автоматизированного портирования практически не отличаются от ручного. Однако при разработанных правилах процесс автоматизированного портирования занимает значительно меньшее время и не требует трудовых затрат, что делает его использование целесообразным.

Публикации

1. Беленко М.В., Балакишин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4-4 (58). С. 13–18.
2. Беленко М.В., Балакишин П.В. Автоматизация портирования приложений между системами распознавания речи // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 169–171.
3. Беленко М.В. Исследование возможности портирования приложений с системы *HTK* на систему *CMU Sphinx* [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/6164/6164.pdf> (дата обращения: 01.08.2018).

Литература

1. Беленко М.В., Балакишин П.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4-4 (58). С. 13–18.
2. Балакишин П.В. Алгоритмические и программные средства распознавания речи на основе скрытых марковских моделей для телефонных служб поддержки клиентов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. – 127 с.
3. CMUSphinx Documentation [Electronic resource] // CMUSphinx [Official website]. URL: <http://cmusphinx.sourceforge.net/wiki/> (accessed: 01.08.2018).
4. Young S. ATK: an application toolkit for HTK. Cambridge, 2007. – 70 p.
5. Partsch H., Steinbrüggen R. Program transformation systems // ACM Computing Surveys (CSUR). 1983. Vol. 15. No 3. P. 199–236.



Блохина Анастасия Александровна
Факультет прикладной оптики
E-mail: aablokhina@corp.ifmo.ru

КОНТРОЛЬ СВЕЖЕСТИ МЯСНЫХ ПРОДУКТОВ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. Блохина

Научный руководитель – доцент В.А. Рыжова

В настоящей работе приводятся результаты исследования в области контроля свежести продуктов питания, а именно контроля свежести мяса. Предложен вариант исследования

мясных образцов с помощью поляриметрического метода. Образец освещается поляризованным излучением с заданным состоянием поляризации, которое регистрируется после прохождения через объект. Далее осуществляется анализ его поляризационных параметров.

В настоящее время все большее внимание уделяется здоровью человека. С этим связан возрастающий интерес к правильному сбалансированному питанию. Культура питания сильно влияет на качество жизни человека. В связи с этим актуален контроль свежести пищевой продукции. Согласно мировой статистике, одним из наиболее потребляемых продуктов в рационе современного человека является мясо. Сырое мясо относится к скоропортящимся продуктам. Из-за высокого содержания влаги и белков оно является благоприятной средой для развития гнилостных микроорганизмов. Их воздействие приводит к порче мяса вплоть до непригодности к употреблению. Распад белков, полипептидов, аминокислот и других компонентов сопровождается понижением биологической ценности мяса, образованием ядовитых веществ и накоплением токсинов, поэтому разработка метода контроля свежести мяса весьма актуальна.

Для понимания процесса преобразования излучения биологической тканью необходимо детально изучить ее строение. Биоткани состоят из множества разнообразных молекул, структур и функциональных единиц. В свою очередь, образцы мяса относятся к классу сильно рассеивающих (оптически мутных) биотканей, оптические свойства которых описываются моделью многократного рассеяния [1]. Этой модели присущи анизотропные свойства, обусловленные особенностями строения ее структурных элементов [2]. Компонентом структуры фиброзных тканей являются коллагеновые волокна, которые входят в состав разных видов соединительной ткани и определяют их прочность на разрыв. Кроме того, они могут выступать в качестве двулучепреломляющих структур.

Следует отметить, что оптическая анизотропия мышечной ткани обусловлена сильным упорядочением рассеивающих свет ее структурных элементов. При взаимодействии поляризованного света с образцом и рассеянии его случайно неоднородными средами, включающими подавляющее большинство мясopодуKтов, происходит его частичная или полная деполяризации (в зависимости от особенностей структуры биоткани и длины волны зондирующего излучения). Таким образом, если провести облучение мясного образца световым пучком с заданным состоянием поляризации, на выходе можно зарегистрировать изменение поляризационных параметров излучения. В то же время, благодаря гистологическим исследованиям мясных образцов, известно, что при различных состояниях их свежести микроструктура образцов также различна. При этом обращают внимание на состояние мышечных волокон, клеточных ядер и соединительнотканых образований, а также на выраженность исчерченности мышечного волокна, локализацию микрофлоры и границы ее распространения. Можно утверждать, что с течением времени наблюдается почти полное исчезновение ядер мышечных волокон, происходят изменения мышечных волокон на глубине до 30 мм и больше, а также полное исчезновение их исчерченности. Следовательно, изменение параметров поляризованного излучения, проходящего через мясной образец различной степени свежести, будет свидетельствовать о его качестве.

Процесс преобразования излучения в оптической системе, сформированной для изучения поляриметрических параметров излучения, прошедшего через образец, выглядит следующим образом. Исследуемый образец представляет собой мясной продукт, имеющий все приведенные выше особенности строения и взаимодействия с излучением. Первый поляризатор установлен перед образцом по ходу распространения светового луча, второй, представляющий собой анализатор, – после него. Кроме того, применяется фазовая четвертьволновая пластинка для изменения состояния поляризации путем изменения разности фаз ортогональных компонент светового поля [3]. Падающая световая волна распространяется по нормали к поверхности образца. В этом случае оптические характеристики излучения, прошедшего через рассматриваемую систему, можно описать с помощью следующего матричного выражения:

$$S_{out} = P_{out} \cdot M_q \cdot M_{sam} \cdot P_{in} \cdot S_{in},$$

где S_{in} – вектор Стокса падающей на систему неполяризованной световой волны единичной интенсивности, S_{out} – вектор Стокса световой волны, вышедшей из системы, первый элемент которого в данном случае равен пропусканию системы, M_q – матрица Мюллера фазовой четвертьволновой пластинки, M_{sam} – матрица Мюллера образца, P_{in}, P_{out} – матрицы Мюллера входного и выходного поляризаторов.

Выбор метода математической записи сделан на основании того, что матричные способы описания распространения излучения наиболее просты и понятны. Более того, известный метод Джонса в данном случае неприменим, так как с его помощью невозможно описать распространение полностью или частично поляризованного излучения через оптические системы, в которых имеются деполаризирующие элементы. В этой ситуации целесообразно использовать матрицы Мюллера, именно их расчет для четырех указанных компонентов системы позволит сделать анализ поляризационных параметров излучения на ее выходе. Для описания всех возможных состояний поляризации квазимонохроматической плоской волны используются четыре параметра Стокса.

С помощью изложенной методики было проведено моделирование остаточной степени поляризации излучения на выходе описанной системы. В качестве плоскопараллельного образца рассматривался срез мышечной ткани, который был представлен в качестве совокупности трех анизотропных плоскопараллельных пластинок.

Рабочая длина волны, которая использовалась для расчета матриц Мюллера, составляла 0,65 мкм. Это связано с тем, что ближнее инфракрасное и видимое излучение обладают наибольшей проникающей способностью. В области длин волн 0,6–0,9 мкм рассеяние превалирует над поглощением, следовательно, глубина проникновения света увеличивается до 8–20 мм. В результате моделирования был получен следующий вектор Стокса:

$$S_{out} = \begin{bmatrix} 0,016 \\ 6,63 \cdot 10^{-4} \\ -5,351 \cdot 10^{-4} \\ 4,417 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}.$$

Первый параметр S_0 характеризует полную интенсивность излучения, поэтому всегда выражен положительной величиной. Второй параметр S_1 равен разности интенсивностей компонент поперечного электромагнитного поля и имеет максимальное значение для линейно поляризованного излучения с азимутом 0° . Третий компонент S_2 отражает соотношение компонент линейно поляризованных с азимутами $+45^\circ$ или -45° . Исходя из того, что в данном случае у него отрицательное значение, волна поляризована преимущественно с азимутом -45° . Четвертый параметр S_3 характеризует преобладание в волне либо право-, либо левоциркулярной компонент, на которые она может быть разложена. По результатам проведенных расчетов, преобладает правая циркулярная компонента.

Экспериментальное исследование поляризационных свойств биоткани связано с определением вектора Стокса излучения, выходящего из системы. При этом используются различные поляриметрические техники и средства измерений. Параметры Стокса имеют размерность интенсивности излучения и могут быть определены непосредственно экспериментальным путем.

Знание параметров Стокса позволяет провести комплексный поляризационный анализ пучка лучей, выходящего из системы, в том числе определить остаточную степень поляризации излучения, а именно:

$$P = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0} = 0,06.$$

Таким образом, в результате проведенного моделирования было получено значение остаточной поляризации светового пучка, которое составило всего 6 %, что соответствует мясному образцу, находящемуся в свежем состоянии. Проведенные исследования подтверждают тот факт, что биоткани являются сложной структурой, содержащей деполяризующие компоненты.

В результате обзора существующих схем [4, 5] и оценки поставленной задачи была разработана экспериментальная установка, учитывающая тонкости работы с таким сложным образцом, как биоткань. Она состоит из источника излучения, поляризатора, образца биоткани, четвертьволновой пластинки, анализатора, приемника оптического излучения. Таким образом, в установку включено минимальное количество элементов, необходимых для определения степени поляризации излучения, прошедшего через образец. Стоит отметить, что состав экспериментальной установки максимально приближен к совокупности элементов, влияние которых учитывается в теоретических расчетах. Входной поляризатор задает состояние поляризации излучения, а фазовая пластинка и анализатор служат для создания требуемых условий при регистрации интенсивности излучения матричным фотоприемником [5].

В ходе выполнения работы был собран макет экспериментальной установки для проведения измерений поляризованного лазерного излучения, прошедшего через биосреду, а также реализовано математическое моделирование процесса. Выполненные исследования продемонстрировали возможность изучения качества мясных образцов при помощи поляризованного излучения, показали перспективность развития этой темы. Предполагается, что с помощью описанного метода появится возможность отслеживать минимальные изменения структуры мясопродуктов, а значит и определять момент начала их гниения.

Литература

1. Симоненко Г.В., Тучин В.В. Оптические свойства биологических тканей: учебно-методическое пособие. Саратов, 2007. – 48 с.
2. Пушкарева А.Е. Методы математического моделирования в оптике биоткани: учеб. пособие. СПб., 2008. – 103 с.
3. Кочубей В.И. Поляризационная спектроскопия: учеб. пособие. Саратов, 2009. – 68 с.
4. Savenkov S.N. Mueller-matrix characterization of biological tissues // *Polarimetric Detection, Characterization and Remote Sensing* / edited by M.I. Mishchenko et al. Springer, 2010. P. 437–472.
5. Spivak A.V. et al. Single-polarizer method for measurement of polarization characteristics of incoherent backscattering from anisotropic media // *Proceedings of SPIE*. 2007. Vol. 6535. P. 653601.



Бушуев Кирилл Русланович
Факультет компьютерных технологий и управления
E-mail: krbushuev@gmail.com

СТАБИЛИЗАЦИЯ КВАДРОКОПТЕРА С ПОМОЩЬЮ МНОГОСЛОЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

К.Р. Бушуев

Научный руководитель – доцент И.С. Лобанов

Работа посвящена проблеме стабилизации квадрокоптера в автоматическом режиме. В наше время существует множество способов решения этой проблемы: использование *PID*-контроллеров, сверточных нейронных сетей, датчиков расстояния и *GPS*-координат. Однако все они не способны одновременно удовлетворять следующим критериям: возможности учета производственных конструкторских дефектов квадрокоптера, отсутствию дополнительных модулей, изменяющих его массово-габаритные характеристики, а также возможности учета конструкторских дефектов, приобретенных в результате эксплуатации. В рамках данной работы предложен алгоритм стабилизации на основе нейронных сетей. Для его работы достаточно обычной управляющей платы и стандартного набора датчиков (акселерометр, гироскоп, магнитометр и барометр). Основным плюсом данного алгоритма является его способность учитывать конструкторские особенности квадрокоптера в отсутствии начальных сведений о его конфигурации.

Цель проекта – разработать метод стабилизации квадрокоптера, учитывающий без увеличения его массы конструкторские недостатки устройства, на котором он запущен.

Задачи:

- проанализировать существующие методы стабилизации квадрокоптеров;
- создать математическую модель квадрокоптера, способную симулировать его полет и конструкцию;
- разработать структуру нейронной сети для стабилизации квадрокоптера при заданных входных условиях;
- реализовать разработанную структуру на языке *Python* и обучить ее на различных выборках;
- сделать выводы о применимости нейронной сети для стабилизации квадрокоптера.

В наши дни большинство компаний стараются оптимизировать рабочие процессы и максимально их автоматизировать. Это касается вопросов логистики, охраны, производства и многих других направлений. Наиболее популярным из них является замещение человеческого труда в физических сферах путем использования роботизированных устройств – манипуляторов, автоматизированных средств передвижения, дронов. Но все они требуют дополнительной автоматической настройки перед применением. Разработки в этой области ведутся для каждого вида роботизированных устройств.

В сферах доставки малогабаритных грузов, охраны и поиска сейчас все активнее используются летательные аппараты, называемые коптерами и различающиеся количеством винтов. Вот некоторые из них: квадрокоптеры (четыре винта), гексакоптеры (шесть винтов), октакоптеры (восемь винтов). Наибольшее распространение получили квадрокоптеры. Но производство любых механизмов невозможно без некоторых отклонений и погрешностей. Возникают отклонения от размеров, балансировки веса, мощностей моторов и т. д. Эти недостатки исправляются в процессе стабилизации квадрокоптера, но не все используемые

методы могут их учесть, а те, что могут, увеличивают его исходную массу, что негативно сказывается на времени полета, а иногда и на габаритах дрона.

Для корректной стабилизации необходимо учитывать множество факторов: зашумленность информации, поступающей с датчиков, необходимость конвертации данных на входе в стабилизационный алгоритм, а также значения величин, с помощью которых возможно осуществлять управление на аппаратном уровне. Общая схема алгоритма представлена на рис. 1.

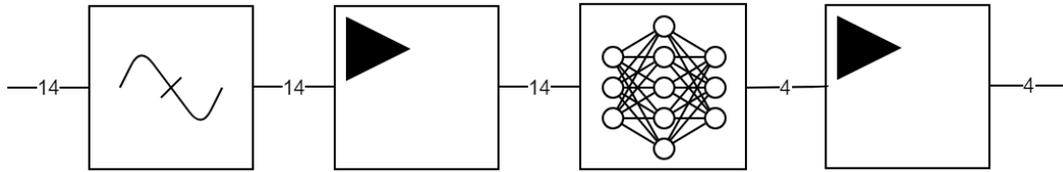


Рис. 1. Схема алгоритма стабилизации

На вход алгоритма подается четырнадцать параметров: напряжения с моторов, угловые скорости, ускорения, данные по напряженности магнитного поля, атмосферное давление [1]. На первом этапе проходит фильтрация, позволяющая отсечь шум, создаваемый в канале. В нашем случае отсекается только белый шум. На втором этапе выполняется конвертация всех параметров к виду, при котором возможен запуск стабилизирующего алгоритма. Третий этап является основным, так как именно на нем происходит стабилизация квадрокоптера на основе данных, полученных с датчиков и ранее вычисленных параметров. Последний, четвертый, этап отвечает непосредственно за конвертацию скоростей вращения моторов в напряжение, необходимое для получения заданных скоростей вращения винтов.

Таблица
Граф соединения вершин

Номер вершины	Список соединенных вершин
1	{5,15,18}
2	{6,8}
3	{8,19}
4	{10,19}
5	{7}
6	{8}
7	{9}
8	{11}
9	{15}
10	{11}
11	{12}
12	{13}
13	{14}
14	{16,17}
15	{18}
16	{18}
17	{19,21}
18	{20}
19	{22}
20	{}
21	{}
22	{}

Перейдем непосредственно к третьему этапу. После экспериментов с различными конфигурациями нейронной сети, количеством слоев, функциями активации, а также числом персептронов в каждом отдельно взятом слое была получена структура, которая позволяет реализовать модель квадрокоптера при достаточном количестве обучающих данных [2–5]. Общая структура соединения слоев нейронной сети приведена в Таблице.

Графическое отображение и характеристики слоев нейронной сети приведены на рис. 2.

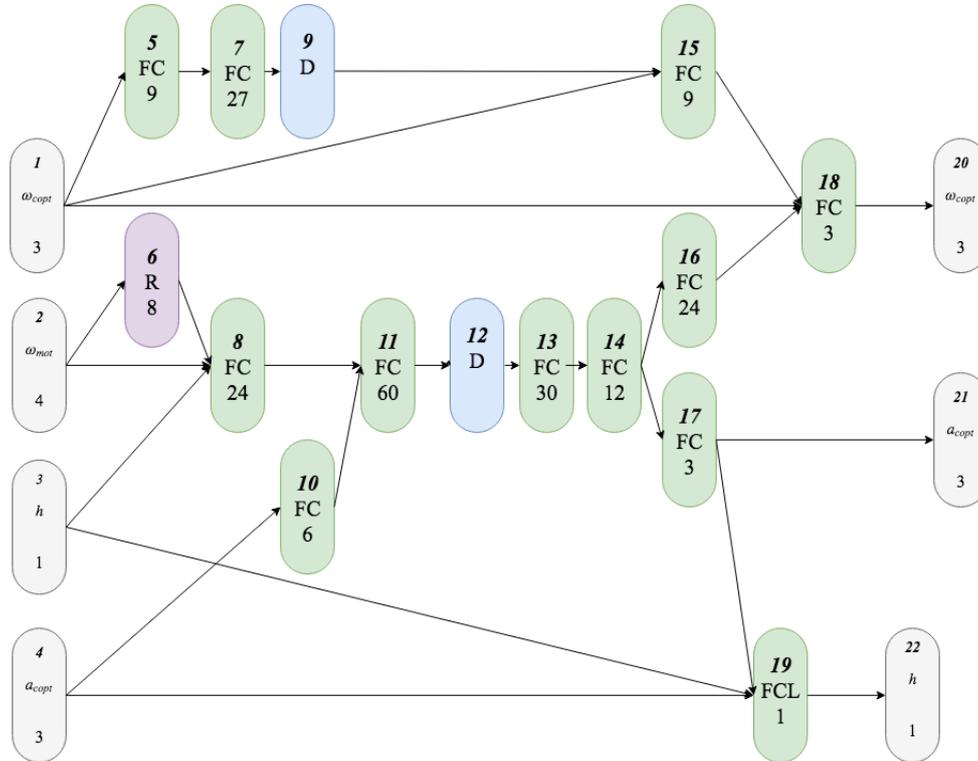


Рис. 2. Структура нейронной сети: R – рекуррентный слой; FC – полносвязный слой; D – dropout-слой

На основе данных, проанализированных в процессе проектирования, а также данных, полученных в ходе экспериментов, сформирован алгоритм, который способен стабилизировать квадрокоптер (рис. 3).

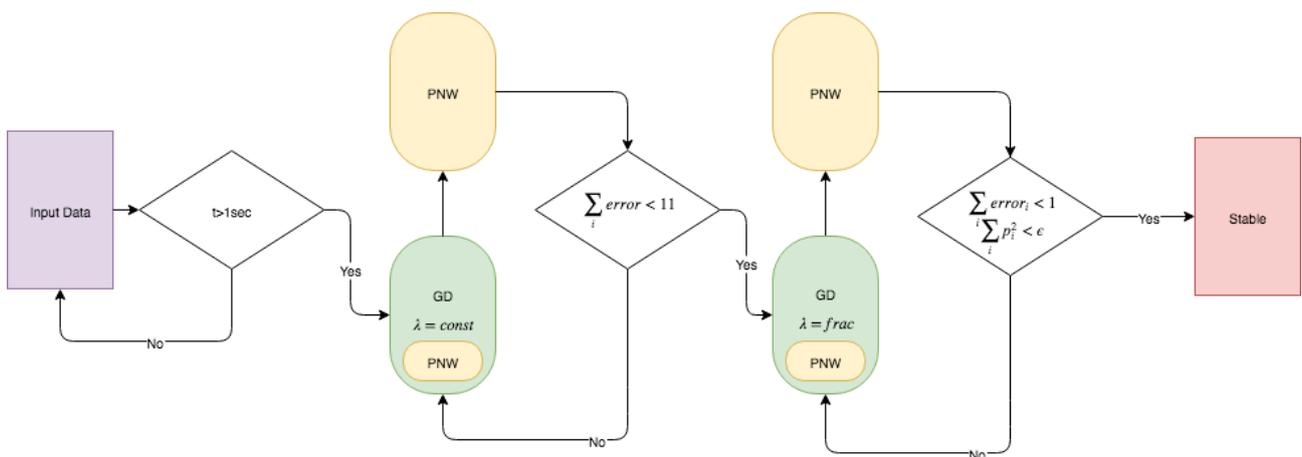


Рис. 3. Алгоритм стабилизации квадрокоптера

Алгоритм разбит на три логические части, каждая из которых отвечает определенному состоянию прогнозирующей нейронной сети.

Накопление данных – первый шаг в алгоритме стабилизации. Для формирования обучающей выборки в течение секунды на моторы подается мощность, чуть большая, чем та, которая необходима для поддержания его в равновесном состоянии. За одну секунду датчик успевает отработать пятьдесят один раз, позволив собрать пятьдесят сэмплов в обучающей выборке.

Оптимизация с градиентом постоянного шага при слабо обученной нейронной сети. Данный шаг может занимать различное время, так как критерием выхода из данной ветки является сходимости нейронной сети к корректному предсказанию. Постоянный шаг выбран для того, чтобы при попадании в локальный минимум был совершен выход. В данном случае значение счета (*score*) всех выходных параметров не должно превышать установленной константы, равной 11.

Оптимизация с градиентом переменного шага. В момент стабилизации результатов работы нейронной сети можно начать стабилизацию с переменным шагом. По мере приближения к целевому значению (обнулению всех показателей с датчиков за исключением барометра) шаг градиентного спуска будет изменяться. И через некоторое количество итераций дрон стабилизируется.

Для обучения нейронной сети был использован метод обратного распространения ошибки. На вход нейронной сети подаются данные об угловых скоростях, ускорениях, высоте, а также скоростях вращения моторов. Они сравниваются с предсказанием датчика на следующем шаге. В рамках работы были рассмотрены два алгоритма подготовки данных для обучения нейронной сети:

Стохастическая выборка – алгоритм, при котором из набора запомненных значений случайным образом выбирается определенное количество семплов, из которых формируется обучающая выборка.

Полная выборка – случай, когда выбирается весь записанный набор данных и передается в качестве обучающей выборки алгоритму.

В результате проделанной работы:

- был проведен комплексный анализ существующих способов стабилизации квадрокоптеров;
- создана математическая модель, способная имитировать полет квадрокоптера по заданным начальным данным и скоростям вращения моторов;
- выбрана наиболее оптимальная структура, показавшая лучшие результаты на основе тестовой выборки, а также симуляции полета.

Результаты работы позволяют с уверенностью сказать, что разработанный метод может применяться на квадрокоптерах различных видов и назначений, начиная с легких дешевых моделей развлекательного характера, заканчивая сложными тяжелыми аппаратами, используемыми для видеосъемки, доставки грузов, а также сбора данных.

Публикации

1. Бушув К.Р. Стабилизация квадрокоптера с помощью многослойной нейронной сети [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4785/4785.pdf> (дата обращения: 20.11.2018).
2. Бушув К.Р. Создание математической модели квадрокоптера для имитации работы датчика WaveShare DOF IMU Sensor (B) // Труды студенческого центра прикладных математических исследований. СПб., 2018. С. 75–78.
3. Бушув К.Р. Обучение стабилизирующей квадрокоптер нейронной сети на динамически расширяющихся выборках // Современные проблемы физики и технологий. VII Международная молодежная научная школа-конференция: тезисы докладов. В трех частях. М., 2018. Ч. 2. С. 348.

Литература

1. Zhao W., Go T.H. Quadcopter formation flight control combining MPC and robust feedback linearization // Journal of the Franklin Institute. 2014. Vol. 351. No 3. P. 1335–1355.
2. Николенко С. и др. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб., 2017. – 480 с.
3. Джулли А., Пал С. Библиотека Keras – инструмент глубокого обучения. М., 2018. – 294 с.
4. Viduma N. Fundamentals of deep learning: Designing next-generation machine intelligence algorithms. O'Reilly, 2017. – 298 p.
5. Gibson A., Pattersons J. Deep learning a practitioner's approach. O'Reilly, 2017. – 532 p.



Ван-Юн-Сян Яна Михайловна
Факультет систем управления и робототехники
E-mail: vysyana@cktv.ru

РЕЗОНАНСЫ НА МЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ С ОПЕРАТОРОМ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

Я.М. Ван-Юн-Сян

Научный руководитель – профессор И.Ю. Попов

В работе построена простейшая модель метрического графа с оператором четвертого порядка и точечным взаимодействием в вершине. Найдены необходимые коэффициенты при заданных граничных условиях на границах сетки и в ее узлах, а также спектр оператора, представляющий собой опасные для моделируемой биомеханической системы частоты – искомые резонансы.

Введение

Рассматривается дифференциальный оператор четвертого порядка на геометрическом графе, являющемся моделью стержневой конструкции – биомеханической системы – упрощенной модели физического объекта, позволяющей изучать различные свойства и явления. Такой системой может быть позвоночный столб человека и прикрепленная к нему металлическая конструкция, применяющаяся для лечения сколиоза. Существуют различные методы хирургической коррекции позвоночника [1], но все они связаны с установкой конструкции, состоящей из транспедикулярных винтов, расположенных на протяжении дуги искривления, и стержня, размещенного по выпуклой стороне деформации.

Для предотвращения дестабилизации конструкции рассматриваются колебания системы, смоделированной в виде решетки. Спектр оператора представляет частоты, опасные для системы, которые в случае резонанса приведут к ее деформации.

Исследовалась задача стационарного рассеяния и резонансов, аналогичная задаче для полупрямой, рассмотренной в [2]. Существует также множество результатов, полученных с использованием оператора Шрёдингера первого порядка, представленных, например, в [3, 4]. Решение сводится к следующему дифференциальному уравнению:

$$p \frac{d^4 y_j}{dx^4} - q \frac{d^2 y_j}{dx^2} - k^2 y_j = 0, \quad j = 1, 2, 3.$$

В представленной работе строится простейшая модель метрического графа – звездный граф – с оператором четвертого порядка и точечным взаимодействием в вершине. Исследуется спектр оператора и зависимости коэффициентов прохождения и отражения от волновых чисел k .

Формулы

Дифференциальным уравнением на графе называется совокупность дифференциальных уравнений, заданных на ребрах графа вместе с условиями согласования в его вершинах. На каждом ребре уравнение имеет вид:

$$(p_i(x)y_i''')' - (q_i(x)y_i')' = f_i(x),$$

где $p_i(x)$ – коэффициент, характеризующий реакцию на изгиб, $q_i(x)$ – коэффициент, описывающий натяжение стержня. Считается, что эти коэффициенты положительные. Совокупность дифференциальных уравнений на графе описывается общей формулой:

$$Ay \equiv (p(x)y''')' - (q(x)y')' = f(x).$$

Также рассматриваются условия согласования [5] следующих типов:

$$y_i(a) = y_j(a), \quad (1)$$

$$y_i'(a) = 0, \quad (2)$$

$$y_i''(a) = 0, \quad (3)$$

где (1) – условие непрерывности в вершине a , (2) – жесткое закрепление, (3) – шарнирное закрепление.

Рассматривается простейшая модель геометрического графа (рис. 1).

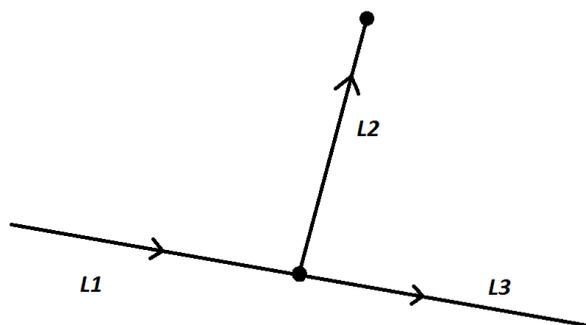


Рис. 1. Модель звездного графа

На каждом ребре графа задано дифференциальное уравнение:

$$p \frac{\partial^4 y_i}{\partial x^4} - q \frac{\partial^2 y_i}{\partial x^2} - k^2 y_i = 0, \quad i = 1, 2, 3,$$

где k – волновые числа, связанные с частотой колебаний. Ребра $L1$ и $L3$ не ограничены. В узлах графа заданы условия:

$$y_1(0) = y_2(0), \quad (4)$$

$$y_2(0) = y_3(0), \quad (5)$$

$$y_2(L_2) = 0, \quad (6)$$

$$y_2'(L_2) = 0, \quad (7)$$

$$y_1'(0) = 0, \quad (8)$$

$$y_2'(0) = 0, \quad (9)$$

$$y_3'(0) = 0, \quad (10)$$

$$-y_1'''(0) + y_2'''(0) + y_3'''(0) = \alpha y_1(0). \quad (11)$$

При этом условия (4) и (5) означают непрерывность во внутренней вершине, (6) и (7) подразумевают, что система закреплена в граничной точке ребра L_2 , (8–10) описывают рассматриваемый жесткий тип закрепления системы, (11) – условие точечного взаимодействия ребер во внутренней вершине с параметром α – силой точечного потенциала.

Представив общее решение дифференциального уравнения на ребре в виде:

$$y(x) = A_1 e^{\mu x} + A_2 e^{-\mu x} + A_3 \cos(\mu x) + A_4 \sin(\mu x)$$

и удовлетворяя всем условиям (4–11), получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} B_1 e^{\mu x} + B_2 e^{-\mu x} + B_3 \cos(\mu x) + B_4 \sin(\mu x) = 0, \\ \mu B_1 e^{\mu x} - \mu B_2 e^{-\mu x} - \mu B_3 \sin(\mu x) + \mu B_4 \cos(\mu x) = 0, \\ i\lambda_3 A_1 - i\lambda_3 A_2 + \mu A_3 = 0, \\ \mu B_1 - \mu B_2 + \mu B_4 = 0, \\ i\lambda_3 C_1 - i\lambda_3 C_2 - \mu C_3 = 0, \\ A_1 + A_2 + A_3 = B_1 + B_2 + B_3, \\ B_1 + B_2 + B_3 = C_1 + C_2 + C_3, \\ i\lambda_3^3 (A_1 - A_2 - C_1 + C_2) - \mu^3 (A_3 - C_3 - B_1 + B_2 + B_4) = \alpha (A_1 + A_2 + A_3), \end{cases}$$

$$\text{где } \mu = \sqrt{\frac{q + \sqrt{q^2 + 4pk^2}}{2p}}, \quad \lambda_3 = \sqrt{\frac{q - \sqrt{q^2 + 4pk^2}}{2p}}.$$

Результаты

Средствами математического пакета *Wolfram Mathematica* были найдены все коэффициенты в предположении, что A_1 и C_2 – известны, а также $L_2 = 1, q = 1, p = 4, \alpha = 0,1$. Ввиду громоздких значений решения не приводятся.

Из коэффициентов A_2 и C_1 составляется матрица рассеивания S , на главной диагонали которой стоят коэффициенты отражения R , а на побочной – коэффициенты прохождения T . Для них были построены графики зависимости от коэффициента k , когда он только мнимый (рис. 2, 3) и только вещественный (рис. 4, 5).

Коэффициенты должны удовлетворять тождеству $R^2 + T^2 = 1$, что соответствует полученной асимптоте ($R, T \approx 0,7$). Из полученного результата можно сделать вывод о равенстве приходящей и уходящей волн.

При некоторых значениях k , помимо \mathcal{T} улевого, наблюдаются скачки – это и есть искомые резонансы для данной моделируемой системы.

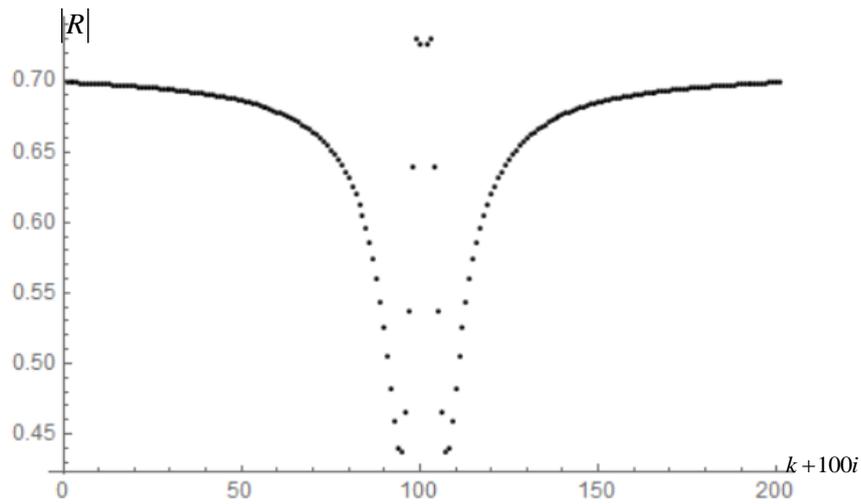


Рис. 2. Зависимость абсолютного значения коэффициента R от $k \in (-100i, 100i)$

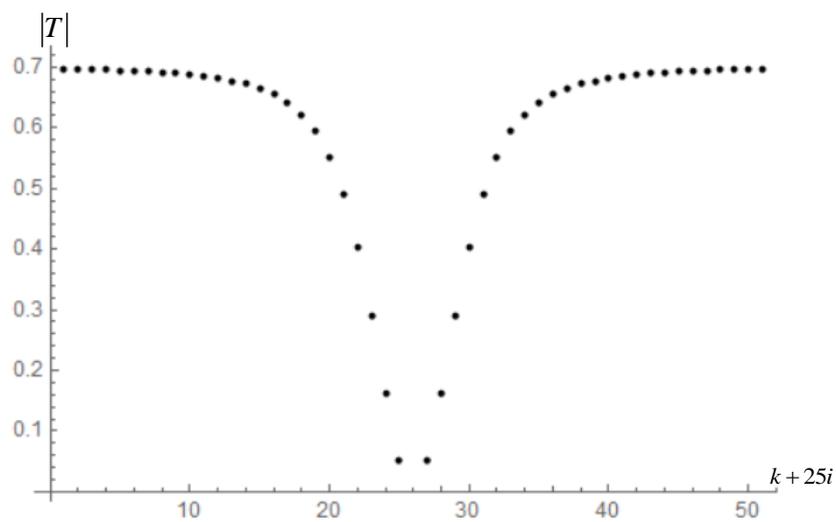


Рис. 3. Зависимость абсолютного значения коэффициента T от $k \in (-25i, 25i)$

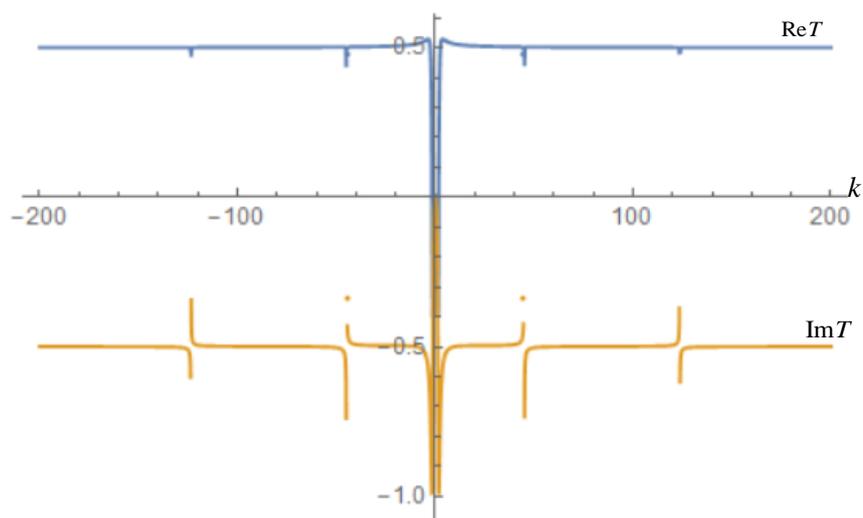


Рис. 4. Действительная и мнимая части коэффициента T при $k \in \mathbb{R}$

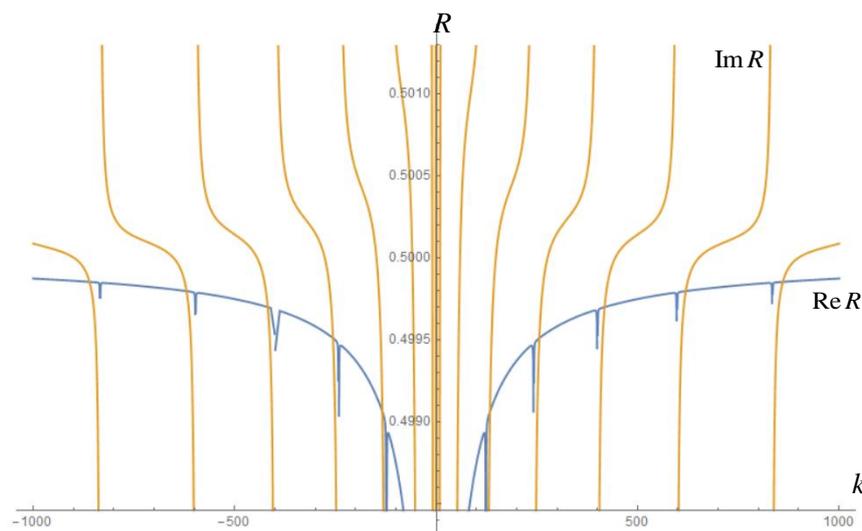


Рис. 5. Действительная и мнимая части коэффициента R при $k \in \mathbb{R}$

Заключение

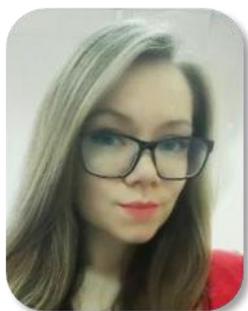
В работе была рассмотрена простейшая модель биомеханической системы с оператором четвертого порядка на ребрах и условием точечного взаимодействия в вершине. Найден спектр оператора, представленный частотами, опасными для рассматриваемой системы. Дальнейшее изучение предполагает нахождение кривой (или кривых), вдоль которой располагаются комплексные значения волновых чисел k , а также усложнение метрического графа для наибольшего приближения к реальным моделям для лечения сколиоза.

Публикации

Ван-Юн-Сян Я.М. Резонансы на метрическом графе с оператором четвертого порядка // Труды студенческого центра прикладных математических исследований / под ред. И.Ю. Попова, К.В. Правдина. СПб., 2018. С. 79–83.

Литература

1. Виссарионов С.В. Хирургическая коррекция деформации позвоночника у детей и идиопатическим сколиозом типа Lenke III с применением 3D-КТ навигации // Успехи современного естествознания. 2015. № 2. С. 14–20.
2. Badanin A., Korotyaev E.L. Resonances for Euler – Bernoulli operator on the half-line // Journal of Differential Equations. 2017. Vol. 263. No 1. P. 534–566.
3. Hitrik M. Bounds on scattering poles in one dimension // Communications in Mathematical Physics. 1999. Vol. 208. No 2. P. 381–411.
4. Simon B. Resonances in one dimension and Fredholm determinants // Journal of Functional Analysis. 2000. Vol. 178. No 2. P. 396–420.
5. Покорный Ю.В. и др. Дифференциальные уравнения на геометрических графах. М., 2005. – 272 с.



Воробьева Алена Александровна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
E-mail: alenka-vorobeva@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ *EVENT*-ПРОЕКТОВ, ПОПУЛЯРИЗИРУЮЩИХ НАУКУ (НА ПРИМЕРЕ *VK FEST*)

А.А. Воробьева

Научный руководитель – доцент А.В. Солдатова

Работа посвящена исследованию инновационных *event*-проектов, популяризирующих науку. *Event*-маркетинг рассматривается как один из эффективнейших инструментов взаимодействия с потребителем, целью которого является донесение ценностей и вовлечение в совместную деятельность для повышения лояльности к объекту мероприятия [1]. Поэтому для популяризации науки был выбран именно этот инструмент. В работе проводится исследование и уточнение понятийного аппарата в области инновационных *event*-проектов, их классификация; представлены характеристики форматов, а также модель продвижения на примере *VK Fest* с упором на зону «Наука и инновации».

Цель проекта – изучить специфику инновационных *event*-проектов, популяризирующих науку, и на примере *VK Fest* сформировать модель продвижения.

Задачи:

- развить понятийный аппарат терминов: «инновационный *event*-проект», «*event*-проекты, популяризирующие науку», «научная коммуникация»;
- исследовать существующие форматы инновационных *event*-проектов, популяризирующих науку, и описать их преимущества/недостатки;
- на примере *VK Fest* исследовать российский рынок инновационных *event*-проектов (фестивалей), популяризирующих науку;
- исследовать посетителей зоны «Наука и инновации» инновационного *event*-проекта *VK Fest* и их потребности;
- разработать инструментальную модель для каждого этапа потребления услуги и апробировать ее на примере *VK Fest*.

Отрасль по организации *event*-проектов сегодня активно развивается и трансформируется, на первый план по эффективности, форме и процессу организации выходят инновационные *event*-проекты [2].

На основании проведенного контент-анализа определений «инновационный проект» и «*event*-проект» [3] было сформулировано авторское определение термина «инновационный *event*-проект». Это уникальное событие, состоящее из мероприятий, проводимых на основе новой *event*-технологии или формата, и организуемое с целью формирования лояльного отношения к проекту у целевой аудитории.

Основные характеристики инновационных *event*-проектов – следующие:

- уникальность и новизна события;
- использование новой *event*-технологии или формата события;
- заранее прописанный план события с поставленным *KPI* (*Key Performance Indicator*; с англ. ключевые показатели);
- получение дополнительных ценностных выгод целевой аудитории;
- следование маркетинговым целям;
- формирование положительных эмоций относительно объекта проекта.

Исходя из анализа целей научной коммуникации [4], было предложено следующее определение: научная коммуникация – это перевод научных сообщений в научно-популярные, а также их последующее распространение посредством различных каналов, средств, форм и институтов коммуникации для продвижения науки и ее социального статуса, а также для трансляции научных достижений.

Рассмотрим наиболее популярные форматы *event*-проектов, популяризирующих науку, их достоинства и недостатки.

1. Научно-популярная лекция. Устаревший формат, который не предполагает интерактивного общения с публикой, однако более доступен с точки зрения организации мероприятия.

2. *TEDx* – формат, который предлагает отдельным людям или группам устраивать локальные, самостоятельно организованные мероприятия по всему миру с определенными стандартами качества. Преимущества связаны с легкостью и позитивным восприятием со стороны аудитории, известностью бренда на рынке, а недостатки – со сложностью выбора выступающего с хорошим чувством юмора и умением лаконично изложить тему, а также с ограниченностью выступления во времени.

3. Научное кафе отличает непринужденная обстановка, наличие интерактивного общения и бренда мероприятия. Недостатками являются ограниченное число мест и сложность в поиске локации.

4. Дни открытых дверей отличает наличие интерактива: воздействие на все органы чувств, донесение информации в научно-популярной форме с целью заинтересовать потребителя и побудить его к диалогу. Из недостатков – ограниченность аудитории, сложность ее привлечения, проблемы в организации.

5. Дебаты вызывают повышенный интерес аудитории за счет конкуренции и геймификации, а также рассмотрения вопроса с разных сторон. Недостатки связаны со сложностью в подборе выступающего и организации данного формата проекта.

6. Научно-популярное кино – это интерактивность, наглядность, привычный досуг для потребителя с интегрированием научного знания. Отрицательные стороны: ограниченность аудитории, сложность модерации, узкая тематика.

7. Фестиваль привлекателен широким освещением в СМИ, наличием большого числа партнеров, большим охватом нескольких типов аудитории, совмещением нескольких форматов. Имеют место дороговизна организации проекта, необходимость активного и грамотного продвижения.

В рамках исследования рынка инновационных *event*-проектов, популяризирующих науку, были выявлены основные тренды, оказывающие влияние на рынок этих проектов.

1. Социальные: популяризация науки, интерактивные форматы, *consumption of experience*, визуальное потребление и возрастание роли внешнего вида мероприятия, *lifelong learning*.

2. Экономические: завышение цены, фестивали-однодневки, дорогостоящие мероприятия.

3. Технологические: стирание границы между онлайн и офлайн; световые инсталляции, проекции; *digital*: *VR/AR*-технологии.

4. Коммуникационные и маркетинговые: *educational*-маркетинг, нарративность, персонафикация.

Карта позиционирования, сделанная в ходе конкурентного анализа, показала положение *VK Fest* относительно конкурентов (рис. 1). а представленной карте видно, что свободна ниша смешанно-познавательных фестивалей, а наиболее заполнена – смешанно-развлекательных. Развлекательно-отраслевые фестивали отпугивают потребителя, так как не подразумевают наличия научно-инновационных зон, что на самом деле не так. Познавательные-отраслевые – ограничивают тематическое наполнение, но четко передают цель и контент мероприятия. Модель «сектор/сегмент» (Табл. 1) помогла выявить потребности целевых сегментов относительно форматов активностей на фестивале *VK Fest*.



Рис. 1. Карта позиционирования фестивалей, имеющих зоны, посвященные науке или инновациям

Таблица 1

Выявление потребностей целевых сегментов на основе модели «сектор/сегмент»

Сектор/Сегмент	Гики	Умники
Опыты	Показать себя и научиться чему-то новому	Узнать что-то новое, показать своему медиaproстранству, как они просветительно проводят свой досуг
Бои роботов (гонки, тестирование, конструирование и т. д.)	Показать себя, провести время с друзьями, проверить себя на прочность, найти единомышленников	Показать своему медиaproстранству свою активную социальную жизнь, узнать что-то новое
Бордюрная астрономия	Узнать что-то новое	Узнать что-то новое, найти единомышленников, отдохнуть с пользой
Научное кино	Провести время с друзьями, узнать что-то новое, отдохнуть, найти единомышленников	Показать себя, узнать что-то новое, провести время с друзьями, отдохнуть
Роботостроение	Научиться чему-то новому, показать себя, проверить себя на прочность, показать достижения	Узнать что-то новое, показать своему медиaproстранству свою активную и образованную социальную жизнь
VR-симуляторы	Попробовать что-то новое, показать активную социальную жизнь, быть «на волне технологий»	Попробовать что-то новое, показать активную социальную жизнь, быть «на волне технологий»
Выставки научных учреждений	Узнать что-то новое, вырасти, как профессионал, найти единомышленников	Найти единомышленников, реализовать себя, узнать что-то новое
Science party	Повеселиться с друзьями, отдохнуть, показать свою активную и интересную социальную жизнь	Показать, что проводят свой досуг с пользой, повеселиться, провести время с друзьями

Далее была разработана модель определения инструментов продвижения инновационных *event*-проектов, основанная на процессе принятия потребительского решения о покупке услуги, которая была апробирована на зоне «Наука и инновации» *VK Fest* (Табл. 2).

Таблица 2

Авторская таблица выбора инструментов продвижения, основанная на процессе принятия потребительского решения о покупке услуги, апробированная на зоне «Наука и инновации» *VK Fest*

Этапы потребления	Инструменты продвижения <i>VK Fest</i>
Осознание потребности	Блогеры, нативная реклама (таргет)
Поиск информации	Амбассадоры, чат-чат-бот, короткие видео, рекламная плашка
Оценка вариантов	VR-реальность, <i>pre-event</i> , чат-бот, видеоконтент
Покупка билетов	Бот, приложение, рассылка, бонусы от партнера, персональные билеты
Время перед мероприятием	Чат-бот, приложение с авторизацией через ВК, рассылка, <i>pre-event</i> , таргетированная реклама «Друзья на <i>VK Fest</i> », персональные маршруты, конкурсы в социальной сети
Посещение мероприятия	Чат-бот, приложение с авторизацией через ВК, прямая трансляция, оффлайн- и онлайн-конкурсы, фотозона, единая традиция, мерч с символикой мероприятия
Реакция от мероприятия	Скидка и бонусы за обратную связь, программа лояльности, <i>VK Community</i>

В результате проделанной работы:

- сформулированы авторские термины: «инновационный *event*-проект», «*event*-проекты, популяризирующие науку», «научная коммуникация», а также выявлены основные характеристики инновационных *event*-проектов;
- исследованы существующие форматы инновационных *event*-проектов, популяризирующих науку, и описаны их преимущества и недостатки;
- на примере *VK Fest* исследован российский рынок инновационных *event*-проектов (фестивалей), популяризирующих науку;
- исследованы потребности целевых посетителей зоны «Наука и инновации» инновационного *event*-проекта *VK Fest* (гики и умники);
- разработана и апробирована модель продвижения инновационного *event*-проекта, популяризирующего науку.

Публикации

1. Бурдуковская Д.А., Воробьева А.А. Специфика инновационных *event*-проектов // Современные проблемы менеджмента: материалы XII Всероссийской научно-практической конференции. СПб., 2018. С. 133–136.
2. Воробьева А.А. Анализ потребительских предпочтений на рынке научно-практических мероприятий в сфере маркетинга [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/6991/6991.pdf> (дата обращения: 14.10.2018).
3. Воробьева А.А. Научные коммуникации в цифровую эпоху // Первая Международная конференция «Управление бизнесом в цифровой экономике»: сборник тезисов выступлений. СПб., 2018. С. 316–318.

Литература

1. Тульчинский Г.Л. и др. Менеджмент специальных событий в сфере культуры: учебное пособие. СПб., 2010. – 384 с.

2. Котлер Ф., Шефф Д. Все билеты проданы: стратегии маркетинга исполнительных искусств / пер. с англ. Л. Акопян и др. М., 2014. – 687 с.
3. Романцов А.Н. Event-маркетинг. Сущность и особенности организации. М., 2013. – 224 с.
4. Кузьмин Д. Роль коммуникаций в коммерциализации российской науки // Формула научного PR: практики, кейсы и советы. СПб, 2014. С. 23–27.



Грачкова Екатерина Юрьевна
Факультет физико-технический
E-mail: grachkovaekaterina@yandex.ru

РАЗРАБОТКА СУПЕРГИДРОФОБНОГО ПРОТИВООБРАСТАЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Е.Ю. Грачкова

Научный руководитель – научный сотрудник Г.В. Одинцова

Биообрастание покрытий является серьезной проблемой в различных областях промышленности (судоходстве, медицине и других) [1, 2]. В настоящее время для профилактики обрастания используются специальные покрытия, содержащие в составе медь или другие токсические вещества (биоциды). Токсичность таких покрытий подталкивает ученых к разработке более экологичных методов для борьбы с биообрастанием. Одним из наиболее распространенных нетоксичных материалов считается эластомер силикона на основе полидиметилсилоксана (*PDMS*) [3]. Хотя данное покрытие и обладает низкой поверхностной энергией, но без дополнительного структурирования оно не способно противостоять биообрастанию [4]. Кроме того, возможно создание «свободных от загрязнений поверхностей», обладающих низкой поверхностной энергией. Гладкость данных покрытий на молекулярном уровне способствует очищению от биообрастателей поверхности во время движения. Однако и данный метод обладает рядом недостатков: сложностью образования прочной связи между покрытием и субстратом, а также простотой повреждений покрытия. Большие перспективы в качестве нетоксичного противобрастающего покрытия показали супергидрофобные поверхности (контактный угол смачивания водой более 150 градусов) [5]. Наиболее эффективный метод получения супергидрофобных покрытий для металлических поверхностей – лазерное структурирование благодаря точному контролю микрогеометрии поверхности, экологичности, простоте использования и долговечности.

Цель проекта – разработка экологичного метода создания противобрастающих супергидрофобных металлических покрытий с помощью облучения поверхности стали *AISI 304* наносекундными лазерными импульсами.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- создание поверхностных рельефов с помощью комбинации различных параметров лазерного излучения;
- исследование влияния рельефов и химического состава поверхности на смачиваемость;
- исследование влияния низкотемпературного отжига на скорость гидрофобизации поверхности образцов.

С помощью комбинации различных значений плотности мощности лазерного излучения (от 28,3 до 283 МВт/см²) и перекрытий импульсов по горизонтальной и вертикальной осям сканирования (от 0 до 90 %) , которые равны между собой, была создана матрица образцов (рис. 1).

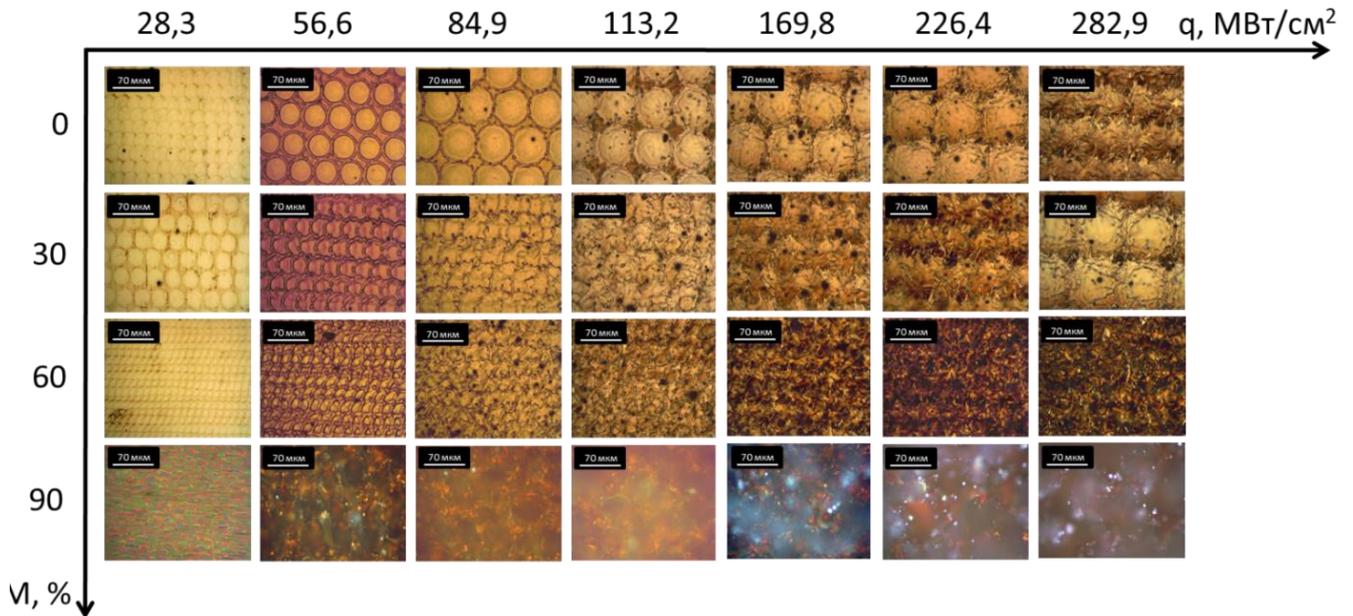


Рис. 1. Микрофотографии поверхностных структур на стали AISI 304. Шкала соответствует 70 мкм

Для изучения морфологии поверхности полученных образцов методом контактной профилометрии был исследован средний арифметический высотный параметр S_a (рис. 2а).

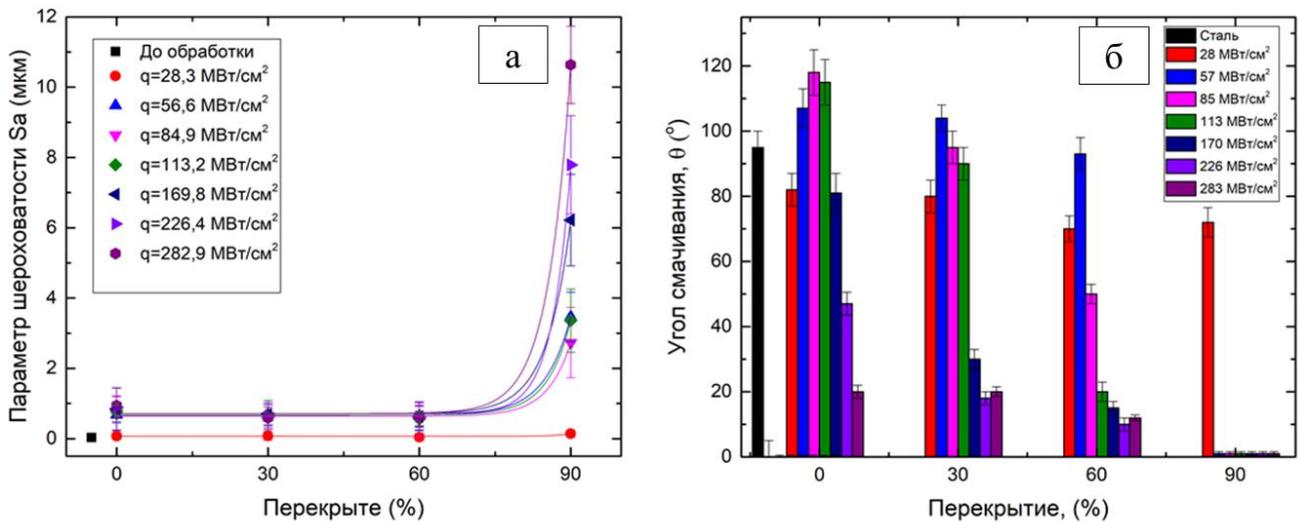


Рис. 2. Влияние режимов лазерного воздействия на шероховатость образцов (а) и смачиваемость (б)

Как видно из графика, при перекрытиях импульсов до 60 % параметр S_a практически не изменяется, однако при перекрытии в 90 % он резко возрастает при всех плотностях мощности выше порога плавления. Это связано с интенсивным испарением с поверхности материала и образованием развитого рельефа.

Смачиваемость образцов дистиллированной водой была исследована методом лежащей капли спустя три дня после лазерной обработки (рис. 2б). Из рисунка видно, что с увеличением плотности мощности и перекрытий угол смачивания образцов уменьшается и достигает 0° при перекрытиях 90 %.

Оказалось, что с увеличением длительности пребывания образцов на воздухе их контактный угол смачивания постепенно изменяется и все образцы с перекрытиями от 0 до 60 % переходят за четыре недели из гидрофильного состояния в гидрофобное. Для выявления причины изменения смачиваемости был сопоставлен химический состав поверхности образца с параметрами $q = 56,6 \text{ МВт/см}^2$, $M = 60 \%$ (рис. 3).

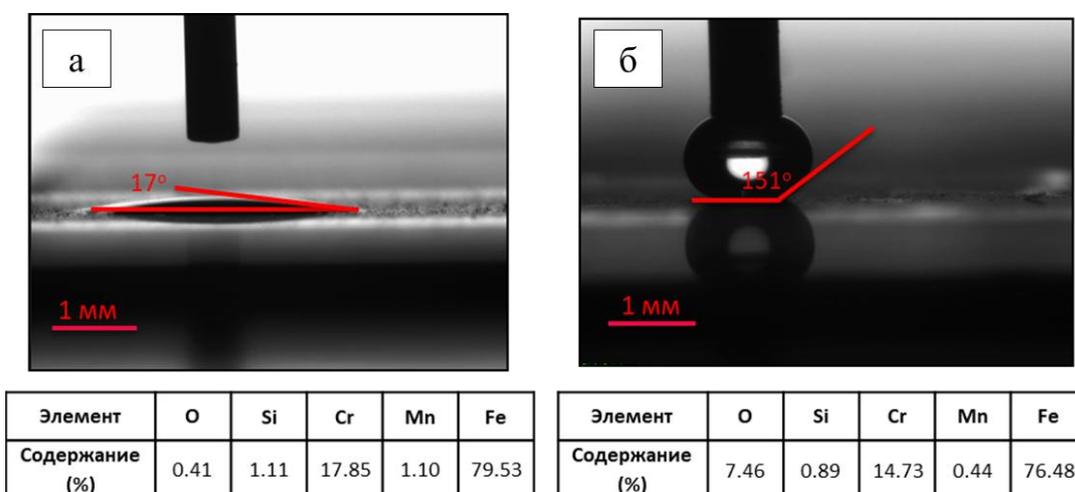


Рис. 3. Контактный угол смачивания и химический состав поверхности образцов: а – спустя один день после лазерного структурирования; б – спустя три недели после лазерного структурирования

Сравнивая химический состав поверхности образца спустя один день и три недели после структурирования, можно заметить увеличение содержания кислорода более чем в десять раз. Вероятнее всего, это связано с ростом оксидной пленки на поверхности образца, которая и является основной причиной изменения смачиваемости.

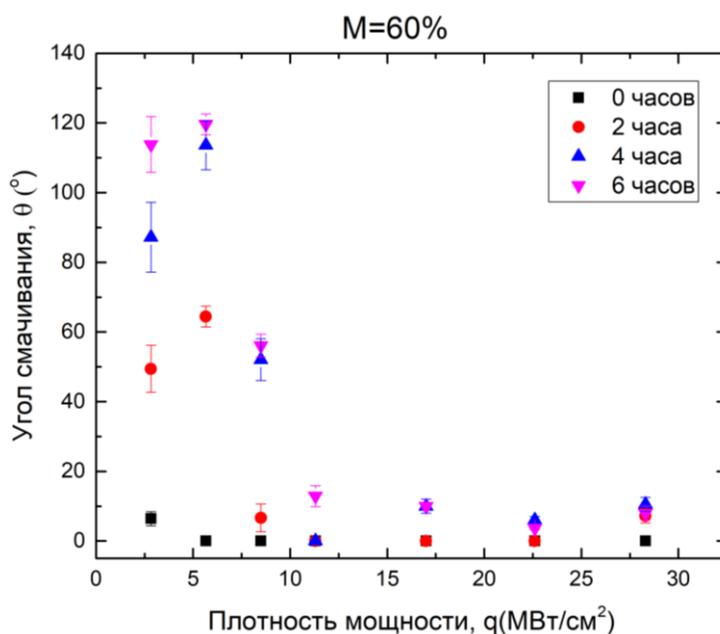


Рис. 4. Зависимость контактных углов смачивания от времени низкотемпературного отжига образцов

Для ускорения процесса перехода образцов из гидрофильного в гидрофобное состояние (старения) был проведен низкотемпературный отжиг. Три пластины с образцами после структурирования были помещены в нагретую до $100 \text{ }^\circ\text{C}$ печь на 2, 4 и 6 часов. Контактные

углы смачивания были измерены сразу после извлечения их из печи. Результаты для образцов, облученных лазерными импульсами с перекрытием 60 %, приведены на рис. 4.

На рис. 4 видно, что степень смачиваемости большинства образцов изменилась. Так, углы смачивания образцов спустя шесть часов после отжига стали сопоставимы с углами образцов, пребывающих 5–7 дней на воздухе после лазерного структурирования. Помимо этого, стоит отметить тот факт, что углы смачивания спустя четыре и шесть часов отжига практически совпадают, что позволяет сократить время отжига до четырех часов.

Таким образом, на поверхности конструкционной стали *AISI 304* созданы лазерно-индуцированные структуры. Определено влияние параметров излучения волоконного лазера на смачиваемость поверхности. Показано, что с увеличением плотности мощности и перекрытий импульсов лазерного излучения контактный угол смачивания образцов уменьшается. Во время пребывания образцов в воздушной среде происходит их гидрофобизация, связанная со старением структур. Также предложен эффективный метод ускорения процесса старения. На основании приведенных выше данных предложен метод одноэтапного создания гидрофобных противообрастающих покрытий.

Публикации

Грачкова Е.Ю. и др. Исследование влияния лазерного структурирования поверхности титана VT1-0 и стали *AISI 304* на смачиваемость // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2018. Т. 3. С. 69–72.

Литература

1. *Lejars M. et al.* Fouling release coatings: a nontoxic alternative to biocidal antifouling coatings // *Chemical reviews*. 2012. Vol. 112. No 8. P. 4347–4390.
2. Pat. 7143709 USA. Surface topographies for non-toxic bioadhesion control / A.B. Brennan et al. Published 05.12.2006.
3. *Schumacher J.F.* Control of marine biofouling and medical biofilm formation with engineered topography // *Dissertation Abstracts International*. 2007. Vol. 70. No 11. P. 1–144.
4. *Schumacher J.F. et al.* Engineered antifouling microtopographies-effect of feature size, geometry, and roughness on settlement of zoospores of the green alga *Ulva* // *Biofouling*. 2007. Vol. 23. No 1. P. 55–62.
5. *Rajab F.H. et al.* Production of hybrid macro/micro/nano surface structures on Ti6Al4V surfaces by picosecond laser surface texturing and their antifouling characteristics // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2017. Vol. 160. P. 688–696.



Грозов Владимир Андреевич
Факультет безопасности информационных технологий
E-mail: vladimirgrozov@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.А. Грозов

Научный руководитель – доцент М.Б. Будько

В работе выбраны и программно реализованы генераторы псевдослучайных последовательностей (ПСП) на основе стойких криптоалгоритмов. Выполнено исследование выходных ПСП-генераторов с помощью пакета статистических тестов *NIST STS*. Предложен способ сравнения ПСП-генераторов по соотношению «качество – скорость» на основе такого параметра, как количество тестов, признавших тестируемую псевдослучайную последовательность близкой по своим статистическим свойствам к истинно случайной как прошедшую тест с уровнем доверия 99 %.

В настоящее время происходит быстрое развитие разнообразных киберфизических систем (КФС), востребованных в автоматизированном производстве, энергетике, космической отрасли, высокотехнологичной медицине, в военном деле, в сфере интернета вещей, в системах безопасности, при эксплуатации беспилотных и робототехнических устройств и т. д. Важной проблемой при организации нормальной работы КФС является обеспечение безопасного информационного обмена, сопровождающего их функционирование [1]. Надежность систем защиты информации в значительной степени определяется качеством используемых криптографических примитивов и их составляющих, в том числе генераторов псевдослучайных последовательностей (ГПСП). Генерация истинно случайных чисел сопряжена со значительными техническими трудностями, высокими затратами времени и ресурсов, поэтому во многих случаях она заменяется последовательностями псевдослучайных чисел, близких по своим свойствам к истинно случайным. В задачах криптографии допустимо применение так называемых криптографически стойких генераторов псевдослучайных последовательностей (КСГПСП), обеспечивающих как непредсказуемость генерируемых выходных значений, так и неотличимость их статистических свойств от свойств истинно случайных последовательностей [2]. Большое разнообразие ГПСП, а также отсутствие строгих доказательств их криптостойкости делает актуальной проблему эффективного сравнения их качества на основе статистических тестов. Несмотря на большое количество работ в этой области, до сих пор не существует определенной методики и четких критериев, позволяющих сопоставлять качество различных ГПСП [3, 4].

Цель проекта – разработка способа сравнения эффективности криптостойких генераторов псевдослучайных последовательностей (КСГПСП), используемых при защите данных в киберфизических системах.

В процессе реализации проекта рассматривались следующие задачи:

- выбор и программная реализация ряда ГПСП на основе стойких криптоалгоритмов;
- тестирование выходных ПСП и анализ полученных результатов;
- разработка критерия для сравнения ГПСП и формулировка рекомендаций по их выбору применительно к использованию в задачах защиты данных в КФС.

Объекты исследования представляют собой программные ГПСП, реализованные на основе известных криптоалгоритмов, обладающих проверенной высокой криптостойкостью: алгоритмов поточных шифров *Salsa20* и *HC-256*, а также блочного шифра *AES* в режимах шифрования обратной связи по выходу (*Output Feedback mode, OFB*) и счетчика (*Counter mode, CTR*) [2]. Поскольку криптостойкость алгоритма во многом определяется длиной его ключа, были выбраны шифры с длиной ключа 256 бит.

Тестирование ПСП проводилось с помощью статистического пакета *NIST STS* [5]. В исследовании использовались пятнадцать тестов (188 с учетом составных тестов) пакета *NIST* со стандартными параметрами. ПСП представлялась набором нулей и единиц (формат *ASCII*).

Для генерации ПСП использовались ключи четырех типов (Табл. 1). Формирование их проводилось, в том числе, с применением *rand()* – функции генерации случайных чисел в C++, а также хэш-функции алгоритма *Salsa20*.

Таблица 1
Используемые типы ключей

Тип ключа	Описание
1	Ключи, имеющие явные закономерности
2	Ключи, полученные с помощью функции <i>rand()</i>
3	Ключи, полученные с помощью хэш-функции из ключей первой группы
4	Ключи, полученные с помощью хэш-функции из ключей второй группы

Тестирование проводилось при двух уровнях значимости $\alpha = 0,01$ и $\alpha = 0,001$ и различных размерах выборки m . Здесь уровень значимости α – это вероятность того, что тестирование покажет неслучайность ПСП, тогда как она является случайной.

Каждый прогон любого из тестов *NIST STS* сопровождается вычислением $m \times 188$ значений вероятностей *p-value*, характеризующих прохождение i -й последовательностью j -го теста ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, 188$). Это значение рассматривается как вероятность того, что при заданном уровне значимости идеальный генератор может произвести ПСП менее случайную, чем исследуемая. Такое событие тем менее вероятно, чем меньше значение *p-value*. Выполнение условия $p\text{-value} \geq \alpha$ означает успешное прохождение теста.

Анализ качества генератора производится путем проверки выполнения двух условий:

- значения доли прошедших тест ПСП попадают в доверительный интервал:

$$\left[\hat{p} - 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{m}}, \hat{p} + 3\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{m}} \right];$$

- распределение вероятностей p_{ij} носит равномерный характер на отрезке $[0, 1]$.

Результаты тестирования всех ПСП рассмотренных генераторов показали, что не было ни одной однозначно забракованной последовательности.

В Табл. 2 приведены характерные данные по всем генераторам по количеству последовательностей, не прошедших тестирование (размер выборки $m = 100$).

В целом результаты показали ничтожно малое количество непройденных тестов по отношению к общему количеству тестируемых последовательностей и не выявили каких-либо закономерностей их непрохождения.

Проведенный анализ статистических свойств ПСП, полученных с помощью генераторов псевдослучайных последовательностей на базе криптографических алгоритмов *AES* (в режиме *CTR*), *AES* (в режиме *OFB*), *HC-256* и *Salsa20*, показал, что эти последовательности можно отнести к криптостойким, а их генераторы использовать для поточного шифрования данных, требующих криптозащиты.

Для формирования численного критерия оценки результатов тестирования ПСП было предложено использовать значение N_t – количество тестов, признавших тестируемую псевдослучайную последовательность практически случайной (как прошедшую тест с высоким уровнем доверия 99 %).

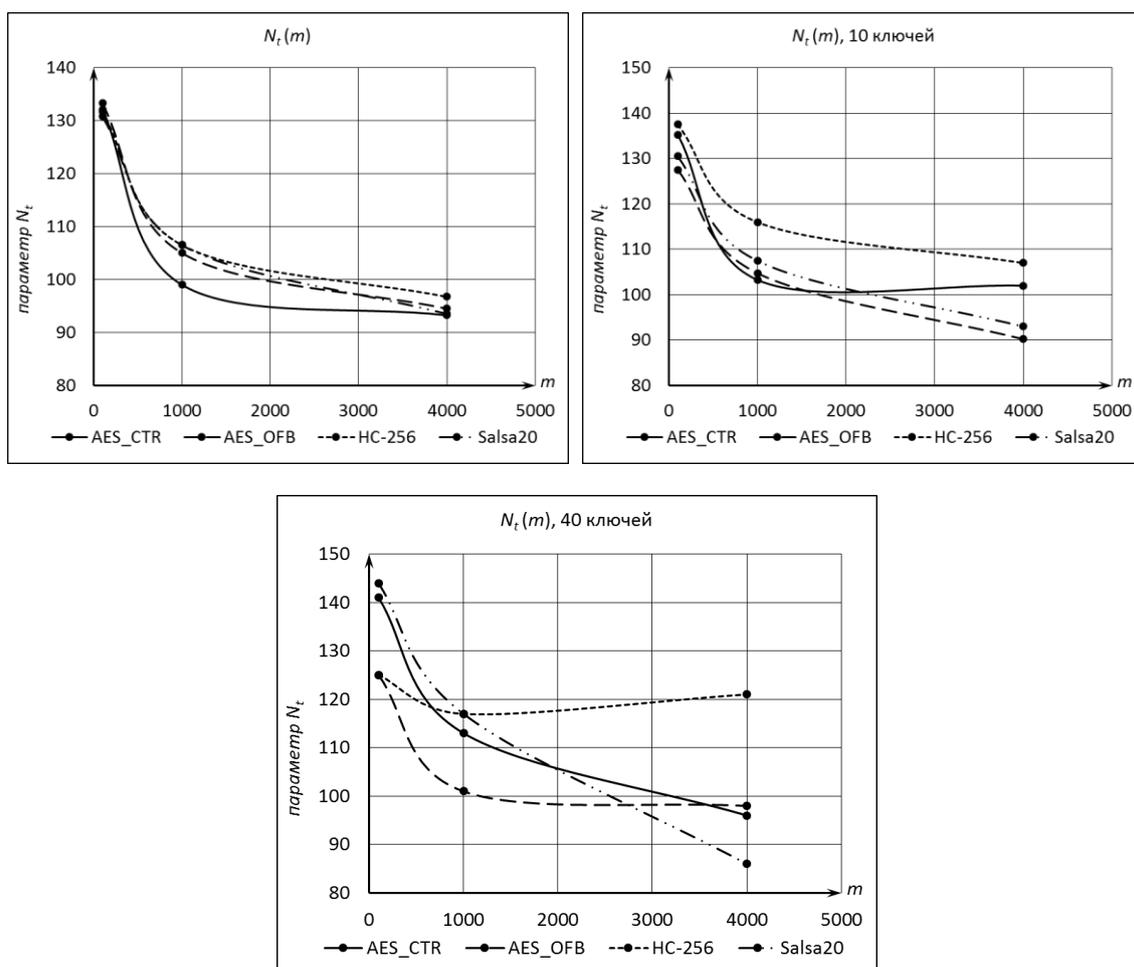
Таблица 2

Количество неуспешных прохождений тестов для всех генераторов

Название алгоритма	Число сомнительных ПСП		Доля сомнительных ПСП, %	
	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$	$\alpha = 0,01$	$\alpha = 0,001$
AES_CTR	35	5	0,88	0,13
AES_OFB	28	3	0,70	0,08
HC-256	31	0	0,78	0,00
Salsa20	26	5	0,65	0,13

Анализ результатов тестирования показал явную зависимость параметра N_t от размера выборки m . При увеличении ее размера значение N_t уменьшается. Таким образом, сравнение ПСП по этому параметру корректно только для выборок одинакового размера.

С помощью различных комбинаций ключевых последовательностей были получены выборки ПСП трех видов (один ключ, десять ключей, сорок ключей), для которых проводилось несколько серий тестирований и определялась величина N_t . Усредненные результаты, показывающие изменение используемого показателя качества ПСП – величины N_t – в зависимости от размера выборки m , приведены на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость параметра N_t от размера выборки

При изменении состава ключевой последовательности заметно проявляются различия в поведении величины N_t . При этом во всех случаях для выборок большого размера лучшие значения N_t имеет алгоритм HC-256. Дополнительным преимуществом этого генератора является также меньший разброс значений N_t при разных размерах выборки.

Для более полной оценки качества генератора ПСП предлагается учитывать такую важную его характеристику, как производительность. Использование величины производительности, выраженной в циклах на байт, обеспечивает независимость от конкретного процессора.

Одним из возможных численных критериев качества генераторов ПСП предлагается считать величину, пропорциональную значению N_t , которая характеризует статистические свойства генератора и скорости его работы V (байт/сек):

$$q = N_t^{\text{норм}} \cdot V^{\text{норм}}.$$

Составляющие критерия нормируются следующим образом:

$$N_t^{\text{норм}} = \frac{N_t}{K}, \quad V^{\text{норм}} = \frac{V}{V_{\max}},$$

где K – общее число тестов (188); величина V_{\max} – лучшая (то есть максимальная) скорость среди сравниваемых генераторов.

После перехода от скорости генератора к его производительности с помощью соотношения:

$$V = \frac{F_{\text{CPU}}}{p},$$

где F_{CPU} – тактовая частота процессора (Гц), и определения нормированной производительности генератора $p^{\text{норм}}$ делением фактического ее значения на лучшую (минимальную) производительность в циклах на байт среди сравниваемых генераторов:

$$p^{\text{норм}} = \frac{p}{p_{\min}},$$

получаем окончательное выражение для критерия:

$$q = N_t^{\text{норм}} \cdot \frac{F_{\text{CPU}}}{p} \cdot \frac{p_{\min}}{F_{\text{CPU}}} = \frac{N_t^{\text{норм}}}{p^{\text{норм}}}.$$

На рис. 2а приведены значения производительности (в циклах на байт) рассматриваемых алгоритмов. На рис. 2б представлены значения критерия q в зависимости от размера выборки.

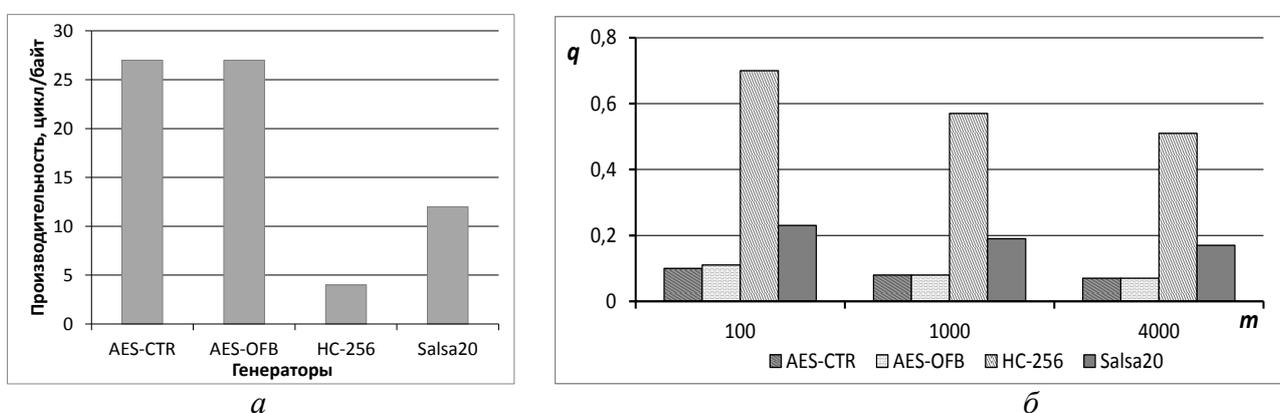


Рис. 2. Характеристики генераторов: а – производительность; б – оценка генераторов по соотношению «качество – скорость»

В итоге генераторы располагаются в порядке убывания значения критерия «качество – скорость» следующим образом: *HC-256*, *Salsa20*, *AES-CTR*, *AES-OFB*. На основе полученных результатов лучшим по указанному критерию является генератор *HC-256*.

В зависимости от особенностей конкретной КФС, помимо количественных оценок качества генераторов, важными могут оказываться и другие их характеристики.

1. При работе в режиме реального времени выбор следует производить среди поточных алгоритмов. Среди рассмотренных генераторов следует отдать предпочтение *HC-256*, имеющему наилучшее соотношение качества и скорости.

2. При возможных ограничениях на платформу предпочтительнее окажутся генераторы на основе современных блочных шифров, которые создавались с учетом требований кроссплатформенности. Алгоритм *AES* соответствует этим требованиям.

3. Если необходима высокая надежность, преимущество имеет сертифицированный алгоритм (*AES*).

4. С точки зрения фактической изученности стойкости алгоритмов следует выбирать те, для которых не известны факты успешных атак (например, все рассмотренные в работе).

5. При организации параллельных вычислений целесообразно применять генераторы, ориентированные на распараллеливание (например, *Salsa20* и *AES* в режиме счетчика).

6. При потребности в ПСП больших объемов (шифрование видеоданных) среди рассмотренных алгоритмов *HC-256* может показать лучшее качество ПСП и скорость.

Заключение

Было выполнено тестирование алгоритмических генераторов ПСП с помощью пакета *NIST STS* с различными размерами выборки, уровнями значимости и большим количеством ключей разных типов. Проведенные исследования показали возможность применения генераторов на основе стойких криптоалгоритмов.

Для оценки качества генераторов предложен критерий «качество – скорость», использующий значение количества тестов, признавших тестируемую ПСП достаточно близкой к истинно случайной как прошедшую тест с уровнем доверия 99 %. Сформулированы рекомендации по выбору КСГПСП для защиты данных КФС.

Практическая значимость работы состоит в возможности применения предложенной методики для сравнения и обоснованного выбора КСГПСП для использования в системах защиты информации КФС. В дальнейшем предполагается уточнить критерий за счет увеличения числа факторов, учитываемых при сравнении КСГПСП.

Публикации

1. Грозов В.А. и др. Организация защиты данных, передаваемых между беспилотным летательным аппаратом и наземной станцией управления, на основе шифра Вернама // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 5 (105). С. 850–855.

2. Грозов В.А., Будько М.Б. Особенности применения шифра Вернама в системах с ограниченными вычислительными ресурсами [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5190/5190.pdf> (дата обращения: 20.10.2018).

3. Грозов В.А. Перспективы использования одноразового блокнота для защиты информационных потоков беспилотного летательного аппарата // Материалы конференции «Информационная безопасность регионов России». СПб., 2017. С. 513–515.

4. Grozov V.A. et al. A method of creating perfectly secure data transmission channel between unmanned aerial vehicle and ground control station based on one-time pads // 9th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). Munich, 2017. P. 410–413.

5. Грозов В.А., Будько М.Б. Исследование криптостойких генераторов псевдослучайных последовательностей [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых

ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL:
<https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/8049/8049.pdf> (дата обращения: 20.10.2018).

Литература

1. *AlDosari F.* Security and privacy challenges in cyber-physical systems // *Journal of Information Security*. 2017. Vol. 8. No 4. P. 285–295.
2. *Иванов М.А., Чугунков И.В.* Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей. М., 2003. – 240 с.
3. *Осмоловский С.А.* Стохастическая информатика: инновации в информационных системах. М., 2012. – 320 с.
4. *Аникин И.В., Альнаджар Х.Х.* Сравнительный анализ и оценка качества генератора псевдослучайных чисел, основанного на нечеткой логике // *Информационные системы и технологии*. 2017. № 2 (100). С. 5–11.
5. *Rukhin A. et al.* Statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications [Electronic resource] // *Computer Security Resource Center [Official website]*. URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-22-rev1a/SP800-22rev1a.pdf> (дата обращения: 13.10.2018).



Демченко Петр Сергеевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
E-mail: petr.s.demchenko@gmail.com

ИЗУЧЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ПРИ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

П.С. Демченко

Научный руководитель – доцент М.К. Ходзицкий

При выполнении проекта методом импульсной терагерцовой (ТГц) спектроскопии был изучен образец тонкой пленки углеродных нанотрубок на тефлоновой подложке при воздействии оптической накачки на длине волны 980 нм и уплотнении образца. При помощи метода тонких пленок были посчитаны оптические свойства и спектральные характеристики образца. Обнаружено, что под воздействием оптической накачки у образца уменьшаются обе части комплексной проводимости, однако после его уплотнения такая особенность пропадает.

ТГц-диапазоном частот принято считать частоты от 0,1 до 10 ТГц. В настоящее время данное излучение широко используется в таких приложениях, как ТГц-сканирование в системах безопасности [1], ТГц-томография, приложения в медицине, контроль качества электронной продукции, ТГц-коммуникационные системы и других. Для каждого из них требуются компоненты устройств с управляемыми свойствами в ТГц диапазоне частот, которые можно разрабатывать на основе углеродных нанотрубок (УНТ).

УНТ представляют собой полую цилиндрическую структуру свернутого в трубку одного или нескольких слоев графена. Данная структура обладает характерными

механическими, тепловыми, электрическими и оптическими свойствами. Помимо этого, пленки из выравненных и хаотично расположенных нанотрубок могут иметь различные электрические свойства. УНТ были изучены во многих частотных диапазонах электромагнитного излучения, однако в ТГц-диапазоне частот их начали активно изучать только в последнее время.

На основании сказанного выше была поставлена цель: исследовать проводимость и спектральные характеристики одностенных УНТ в ТГц-диапазоне частот под воздействием оптического излучения. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить метод получения оптических и спектральных характеристик УНТ с помощью импульсной ТГц-спектроскопии;
- исследовать метод тонких пленок для получения дисперсии проводимости и эффективной диэлектрической проницаемости;
- получить спектральные характеристики и оптические свойства УНТ без воздействия и с накачкой оптического излучения, а также показать влияние уплотнения образца на комплексную проводимость.

Образец тонкой пленки УНТ был получен методом химического осаждения из газовой фазы [2]. Преимущество данного метода связано с возможностью получения образца УНТ на нитроцеллюлозном фильтре с микропорами, что позволяет легко переносить тонкую пленку нанотрубок на различные поверхности.

Параметры исследуемого образца: материал подложки – тефлон толщиной 350 мкм, длина нанотрубок ~ 15 мкм, диаметр – 1,3–2 нм, толщина пленки УНТ 55 нм. По краям образца нанесен слой серебряного клея для измерения сопротивления постоянного тока.

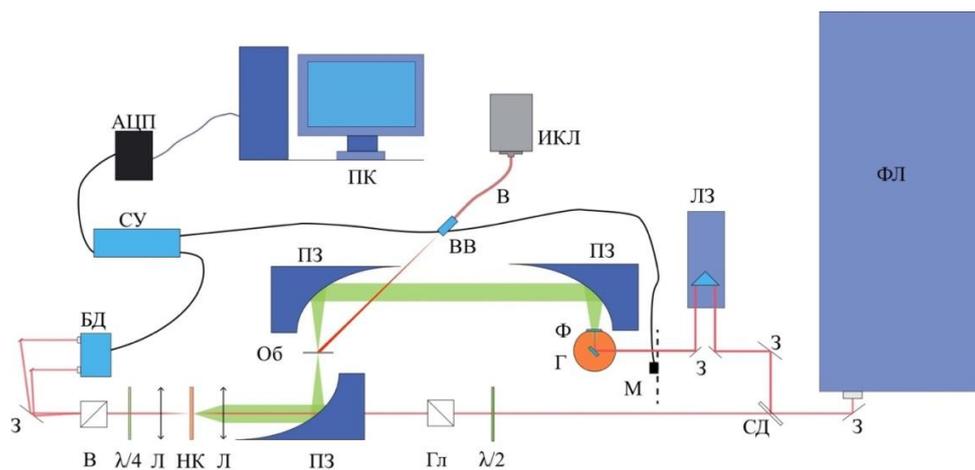


Рис. 1. Схема универсального импульсного широкополосного ТГц-спектрометра: ФЛ – фемтосекундный инфракрасный лазер; З – зеркало; СД – светоделиватель; ЛЗ – оптическая линия задержки; М – модулятор; Г – генератор ТГц-излучения на основе кристалла InAs; Ф – тефлоновый фильтр; ПЗ – параболическое зеркало; Об – образец; ИКЛ – инфракрасный лазер с длиной волны излучения 980 нм; В – оптическое волокно; ВВ – вывод излучения из оптического волокна, $\lambda/2$ – полуволновая пластинка; Гл – призма Глана; Л – линза; НК – нелинейный кристалл CdTe; $\lambda/4$ – четвертьволновая пластинка; В – призма Волластона; БД – балансные фотодиоды; СД – синхронный детектор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПК – персональный компьютер

Образцы были измерены на ТГц-импульсном спектрометре (рис. 1) [3]. Источником излучения являлся фемтосекундный лазер с центральной длиной волны 1040 нм, длительностью импульса 200 фс и частотой их следования 70 МГц. В качестве генератора ТГц-излучения использовался кристалл арсенида индия за счет фотоэффекта Дембера. Детектором выступал оптоэлектронный кристалл теллурида кадмия, в котором возникал эффект Поккеляса. В схеме дополнительно использовался инфракрасный лазер на 980 нм,

который освещал пленку УНТ; интенсивность излучения варьировалась от 0,312 до 0,7 Вт/см².

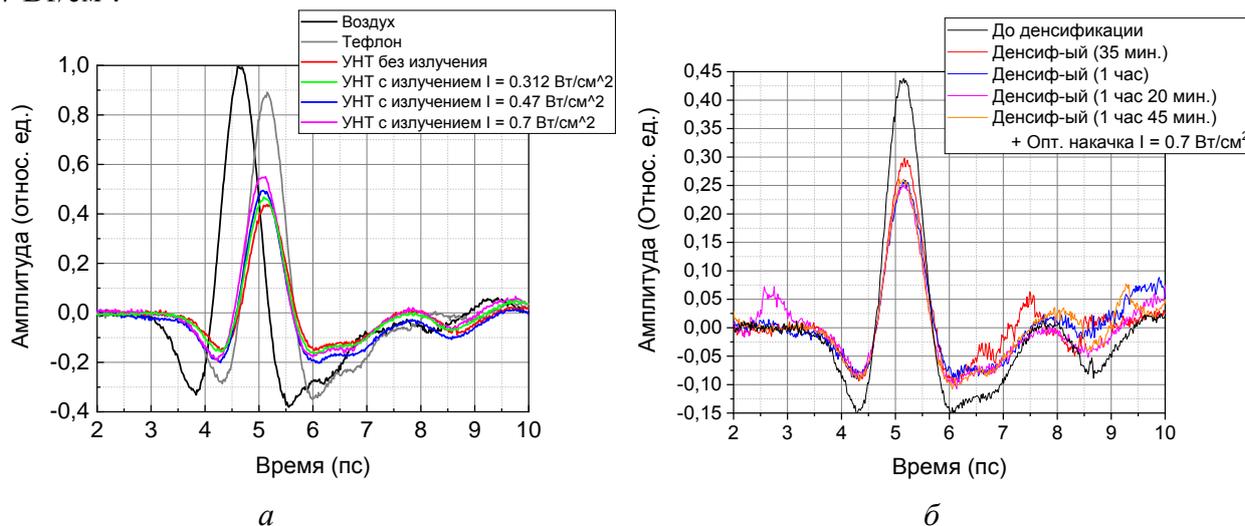


Рис. 2. Полученные временные формы

Полученные амплитудно-временные характеристики ТГц-излучения представлены на рис. 2а. После применения к ним быстрого Фурье-преобразования были рассчитаны оптические и спектральные характеристики методом тонких пленок [4, 5] образца УНТ на тефлоновой подложке, а именно: комплексная проводимость (рис. 3а, б) и диэлектрическая проницаемость (рис. 3в, г).

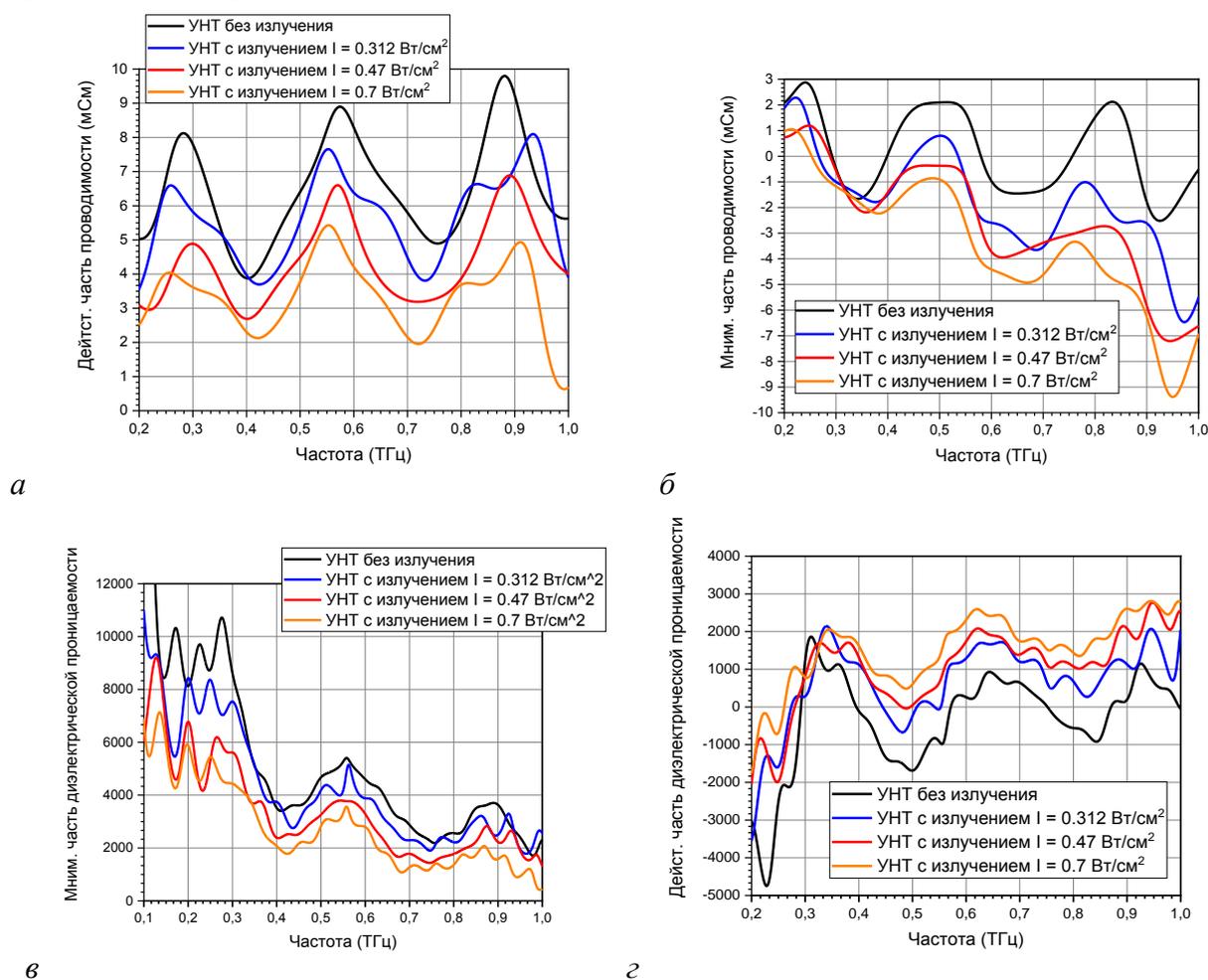


Рис. 3. Дисперсии действительных и мнимых частей проводимости (а, б) и эффективной диэлектрической проницаемости (в, г) образцов УНТ

Было обнаружено, что при оптической накачке до уплотнения образца действительная часть эффективной диэлектрической проницаемости, которая связана с показателем преломления пленки, уменьшается на всем диапазоне частот, а изменение мнимой части ведет себя иначе. На низких частотах потери уменьшаются, а на высоких – увеличиваются.

После получения временных форм для исходного образца образец с УНТ был обработан изопропанолом, оставлен на полчаса и снова исследован. Новые временные формы представлены на рис. 2б, а оптические свойства изображены на рис. 4.

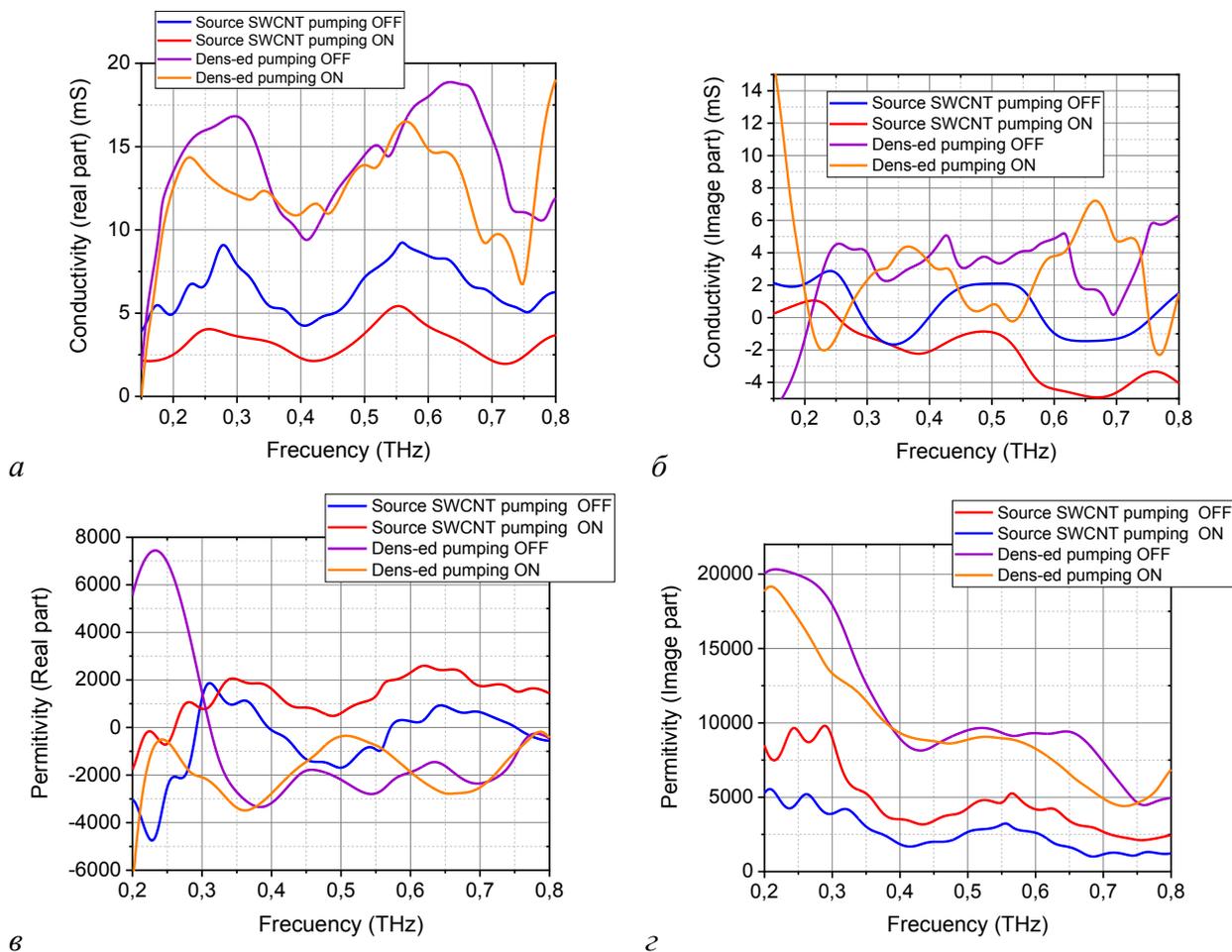


Рис. 4. Оптические свойства и спектральные характеристики образца УНТ до и после уплотнения

После уплотнения образец стал пропускать меньше (увеличилась действительная часть проводимости), а действительная часть эффективной диэлектрической проницаемости увеличилась незначительно. При этом способность к явному управлению проводимостью пленки УНТ с помощью оптического излучения практически незаметна.

Кроме того, были измерены сопротивления образца в постоянном токе для показанных выше случаев (Таблица). Видно, что величина измеренного сопротивления коррелирует с посчитанной действительной частью проводимости в ТГц-диапазоне частот.

Таблица

Сопротивление образца с пленкой УНТ в постоянном токе

Интенсивность, Вт/см ²	Без обработки, Ом	Денсифицированный образец, Ом
0	587	410
0,312	608	—
0,47	622	—
0,7	640	415

В работе были исследованы спектральные характеристики и дисперсия проводимости одностенных УНТ в ТГц-диапазоне частот под воздействием оптического излучения. Было показано, что при оптической накачке проводимость образца в ТГц-диапазоне частот уменьшается. Также было замечено изменение диэлектрической проницаемости образца при оптическом воздействии.

На основе таких эффектов могут быть разработаны управляемые аттенюаторы, фазовые компенсаторы ТГц-диапазона частот, а при более детальном исследовании, которое будет проведено позже, есть возможность создания модулятора ТГц-излучения. После уплотнения пленки УНТ замечено значительное увеличение проводимости образца. При воздействии оптического излучения на пленку УНТ его проводимость изменяется незначительно. Эту особенность можно использовать в ТГц-антеннах и интегральных схемах для ТГц-диапазона частот, где часть нанотрубок уплотняется для ослабления управления проводимостью заданного участка поверхности с помощью оптической накачки. Данный эффект требует более тщательного изучения.

Публикации

Demchenko P.S. et al. Optically controlled dielectric properties of single-walled carbon nanotubes for terahertz wave applications // *Nanoscale*. 2018. Vol. 10. No 26. P. 12291–12296.

Литература

1. *Kemp M.C. et al.* Security applications of terahertz technology // *Proceedings of SPIE*. 2003. Vol. 5070. P. 44–53.
2. *Tonkikh A.A. et al.* Single-wall carbon nanotube film grown by advanced ethanol chemical vapor deposition process // *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*. 2012. Vol. 7. No 1. P. 99–101.
3. *Bespalov V.G. et al.* Methods of generating superbroadband terahertz pulses with femtosecond lasers // *Journal of Optical Technology*. 2008. Vol. 75. No 10. P. 636–642.
4. *Tinkham M.* Energy gap interpretation of experiments on infrared transmission through superconducting films // *Physical Review*. 1956. Vol. 104. No 3. P. 845.
5. *Hegmann F.A. et al.* Probing organic semiconductors with terahertz pulses // *Photophysics of Molecular Materials: From Single Molecules to Single Crystals* / ed. by G. Lanzani. Wiley, 2006. P. 367–428.



Завацкая Ксения Георгиевна
Факультет лазерной и световой инженерии
E-mail: kseniyazavatskaya@gmail.com

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛИННОФОКУСНОЙ ХИРУРГИЧЕСКОЙ НАСАДКИ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ СО₂-ЛАЗЕРА

К.Г. Завацкая

Научный руководитель – доцент А.О. Вознесенская

Проект посвящен разработке оптической системы длиннофокусной хирургической насадки для оборудования на основе СО₂-лазера. В работе приводится обоснование выбора

принципиальной схемы системы, описание процесса ее проектирования, конструктивные параметры и оценка качества разработки.

Цель проекта – создание оптической системы, совместимой с хирургическим микроскопом и позволяющей осуществлять надрезы, рассечения, абляцию, коагуляцию и сканирование.

После обзора патентной базы, публикаций и анализа рынка выбор предпочтительной конструкции и оптической схемы насадки был сделан в пользу длиннофокусной хирургической насадки микроманипуляторного типа, работающей с тканью бесконтактным воздействием. В качестве основной области применения насадки выбрана ЛОР-хирургия как наиболее развитая в Санкт-Петербурге [1]. Для удобства использования такая насадка должна крепиться на объектив хирургического микроскопа. Ее рабочее расстояние варьируется от 200 до 500 мм.

Длина волны излучения CO₂-лазера – 10,6 мкм. Необходимый диаметр пятна на выходе для широкого спектра операций варьируется от 200 до 700 мкм, мощность излучения – от 1 до 40 Вт [2]. Предложенные эскизы оптической схемы такой насадки представлены на рис. 1 [1]. Различия в оптических схемах объясняются необходимостью крепления насадки к хирургическому микроскопу. Оба варианта предполагаются совместимыми с семиколенной системой доставки излучения.

Модель оптической системы для обоих вариантов была создана в ПО *Zemax* в непоследовательном режиме. Параметры источника в исследуемой модели приведены в Табл. 1. Параметры G_x и G_y заданы нулевыми, чтобы решить задачу только коллимации излучения.

Так как необходимое рабочее расстояние насадки составляет 200–500 мм, необходимо разбить линзовый блок на две части: коллиматор и фокусирующую линзу. Для того чтобы избежать промежуточного изображения в системе, коллиматор целесообразно выполнить на основе телескопической схемы Галилея, используя локальную оптимизацию. Стартовая точка выбирается методом композиции, выходной пучок в стартовой точке расходящийся. Операторы, использованные в процессе оптимизации, взяты из статьи [3] и приведены в Табл. 2. Применение данной комбинации операторов позволило получить концентрацию 100 % энергии на обоих приемниках (1500 мм для *Detector Surface* и 2000 мм для *Detector Rectangle*). Размер обоих приемников должен совпадать со световым диаметром последней поверхности оптической системы (в данном случае 13,3 мм).

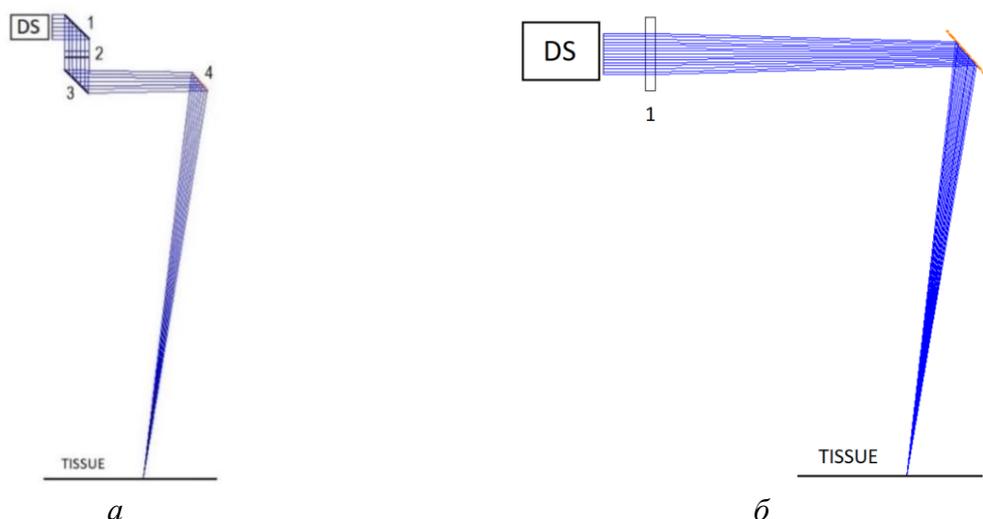


Рис. 1. Эскиз оптической системы насадки:

- а* – вариант № 1 (*DS* – система доставки излучения, 1, 3 – отражающие зеркала для излома оптической оси, 2 – линзовый блок, 4 – сканирующее зеркало, *TISSUE* – биоткань);
б – вариант № 2 (*DS* – система доставки излучения, 1 – линзовый блок, 2 – сканирующее зеркало, *TISSUE* – биоткань) [1]

Таблица 1
Параметры источника излучения

Параметр, ед. изм.	Значение
<i>Element type</i>	<i>Source Ellipse</i>
<i>Layout Rays, #</i>	300
<i>Analysis Rays, #</i>	1000000
<i>Power, В</i>	20
<i>Wavelength, мкм</i>	10,6
<i>X half-width, мм</i>	3
<i>Y half-width, мм</i>	3
<i>Source Distance, мм</i>	1000

Таблица 2
Операторы оптимизации коллиматора

Оператор	Описание	Единица измерения целевого значения
<i>NSDD with #Pix = 0 Data = 2</i>	Концентрация энергии в угловом поле (требование параллельности выходного пучка на приемнике типа <i>Detector Rectangle</i> с заданной апертурой).	Вт
<i>NSDD with #Pix = 0 Data = 0</i>	Концентрация потока на поверхности определенного размера на приемнике типа <i>Detector Surface</i> .	Вт
<i>NPVA used with NPZG and NPZL</i>	Параметр с ограничениями минимального и максимального значений воздушного промежутка.	мм

Конструктивные параметры коллиматора представлены в Табл. 3. Значение *Merit Function* получено равным нулю. Параметры, обозначенные «V», – переменные при оптимизации. Конические константы равны нулю для всех поверхностей. Материалом для обеих линз был выбран *ZnSe* в силу его низкой цены и высокого коэффициента пропускания по сравнению с другими материалами, применяемыми для заданной длины волны.

Таблица 3
Конструктивные параметры коллиматора

№ поверхности	Радиус кривизны, мм		Осевое расстояние, мм		Материал
1	-111,09	V	2		ZnSe
2	53,69	V	28	V	AIR
3	67,44	V	4		ZnSe
4	616,12	V	-		AIR

Фокусирующая линза выбрана плоско-выпуклой из *ZnSe* ($n = 2,4026615$). Ее радиус кривизны рассчитан по формуле:

$$R = F' * (n - 1).$$

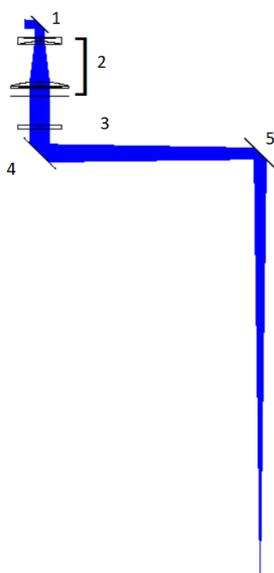
Зеркала в обоих вариантах выполнены на медной подложке с золотым покрытием.

Конструктивные параметры оптической системы варианта № 1 представлены в Табл. 4, схема оптической системы – на рис. 2а, а распределение энергии на приемнике приведено на рис. 2б [1]. Данные приемника получены на расстоянии 293,4 мм от сканирующего зеркала. Примерно 99,5 % выходной энергии сконцентрировано в пятне диаметром 200 мкм. Полный диаметр пятна 527 мкм. Полная выходная энергия составила 12,97 Вт, что равно пропусканию системы в 64,85 %.

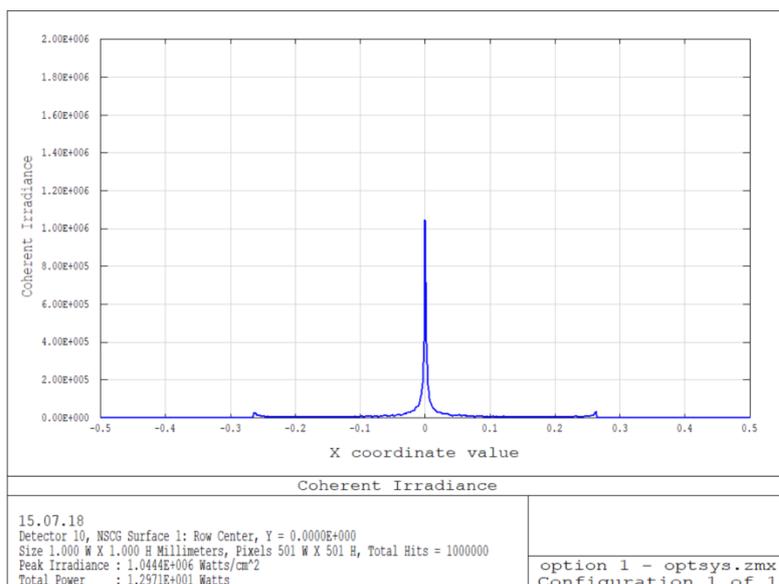
Таблица 4

Конструктивные параметры системы (вариант № 1)

№ поверхности	Радиус кривизны, мм	Осевое расстояние, мм	Материал
1	<i>infinity</i>	10,0	MIRROR
2	-111,09	2,0	ZnSe
3	53,69	28,0	AIR
4	67,44	4,0	ZnSe
5	616,12	25,0	AIR
6	<i>infinity</i>	3,0	ZnSe
7	-650,00	20,0	AIR
8	<i>infinity</i>	150,0	MIRROR
9	<i>infinity</i>	293,4	MIRROR



а



б

Рис. 2. Оптическая система (вариант № 1):

а – оптическая схема (1, 4, 5 – зеркала, 2 – коллиматор, 3 – фокусирующая линза);

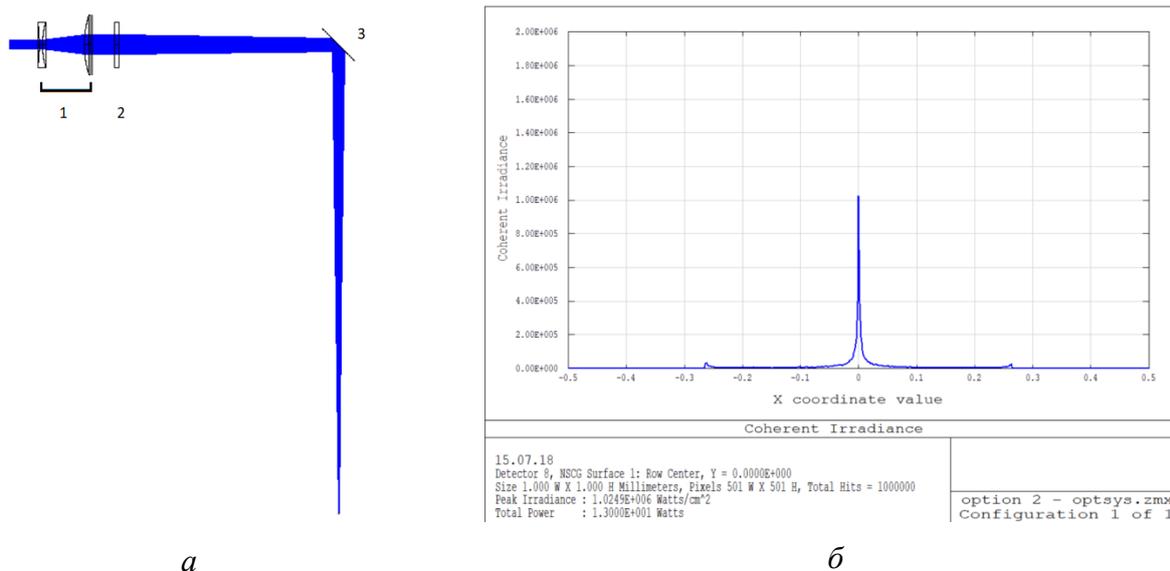
б – распределение энергии на приемнике [1]

Конструктивные параметры оптической системы варианта № 2 представлены в Табл. 5, оптическая схема на рис. 3а, а распределение энергии на приемнике приведено на рис. 3б [1]. Данные приемника получены на расстоянии 313,4 мм от сканирующего зеркала. Примерно 99,5 % выходной энергии сконцентрировано в пятне диаметром 200 мкм. Полный диаметр пятна – 527 мкм. Полная выходная энергия составила 13 Вт, что равно пропусканию системы в 65 %.

Таблица 5

Конструктивные параметры (вариант № 2)

№ поверхности	Радиус кривизны, мм	Осевое расстояние, мм	Материал
1	-111,092	2	ZnSe
2	53,693	28	AIR
3	67,436	4	ZnSe
4	616,117	25	AIR
5	<i>infinity</i>	3	ZnSe
6	-650	150	AIR
7	<i>infinity</i>	313,4	MIRROR



а *б*
 Рис. 3. Оптическая система (вариант № 2):
а – оптическая схема (1 – коллиматор, 2 – фокусирующая линза, 3 – зеркало);
б – распределение энергии на приемнике [1]

Таким образом, полученная система удовлетворяет начальным требованиям к размеру пятна в обоих предложенных вариантах. При ее лабораторных испытаниях необходимо выяснить влияния ареала с 0,5 % выходной энергии. На следующих этапах проектирования необходимо ввести прицельное излучение и разработать соответствующую оптическую систему.

Основные результаты

1. Проведены обзор и анализ патентной базы, публикаций и рынка хирургических насадок для лазерного оборудования.
2. Предложена композиция оптической системы насадки с учетом выбранной специфики и области применения.
3. Выполнены расчет оптической системы и оценка качества.

Публикации

1. *Завацкая К.Г., Вознесенская А.О.* Насадки для хирургического и косметологического оборудования на основе CO₂-лазера [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/7620/7620.pdf> (дата обращения: 18.09.2018).
2. *Zavatskaia K.G., Voznesenskaya A.O.* Design of ergonomic handpieces for a CO₂ laser system for surgical and cosmetological applications // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10745. P. 107450Z.

Литература

1. *Zavatskaia K.G., Voznesenskaya A.O.* Design of ergonomic handpieces for a CO₂ laser system for surgical and cosmetological applications // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10745. P. 107450Z.
2. *Князьков В.Б. и др.* Лазерная хирургия заболеваний глоточного лимфатического кольца. М., 2016. – 440 с.
3. *Orekhova M.K. et al.* Design of single and two-lens laser flat-top reshaping systems // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10693. P. 106930Y.



Карелина Наталья Александровна
Факультет низкотемпературной энергетики
E-mail: natasha.karelina.1995@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ОХЛАДИТЕЛЕЙ НА МАГНИТО- И ЭЛЕКТРОКАЛОРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТАХ

Н.А. Карелина

Научный руководитель – доцент О.В. Пахомов

В работе рассмотрено актуальное направление в области создания твердотельных охладителей, а именно использование магнито- и электрокалорического эффектов. Основой для данного исследования являются теоретические и экспериментальные результаты, представленные ведущими научными лабораториями США и Евросоюза в высокорейтинговых научных изданиях.

В настоящее время в области получения искусственного холода и термостабилизации существует ряд проблем. Основные из них связаны с запрещением использования в быту и промышленности фреонов, признанных одним из факторов глобального потепления. Кроме того, из-за увеличения мощности и плотности компоновки элементов электронных устройств не отвечают современным требованиям классические парожидкостные системы охлаждения. В связи с этим наиболее интересными и перспективными холодильными машинами стоит считать твердотельные охлаждающие системы.

Цель проекта – анализ современных направлений в области создания твердотельных охладителей, а именно перспектив использования магнитокалорического (МК) и электрокалорического эффектов (ЭК). Настоящий обзор будет, прежде всего, касаться недавних результатов применения МК- и ЭК-эффектов в различных магнитных материалах (манганитах и кобальтитах) и диэлектриках с сегнетоэлектрическими свойствами.

Под МК- и ЭК-эффектами подразумевают изменение температуры вещества при наложении и снятии с него внешнего магнитного или электрического поля соответственно [1].

Основные преимущества твердотельного охлаждения, выявленные при изучении данной темы:

- большая плотность твердого тела по сравнению с плотностью пара или газа в пароконденсационных устройствах;
- изменение энтропии на единицу объема в твердых материалах в 6–8 раз выше, чем в газе (это преимущество позволяет изготавливать малогабаритные теплопреобразующие системы) [1];
- возможность осуществлять охлаждение в широком интервале температур как ниже, так и выше комнатной;
- возможность построения ЭК- и МК-рефрижераторов с высоким значением КПД и хорошими другими технико-эксплуатационными характеристиками [2];
- экологическая чистота твердотельных холодильных машин.

На сегодняшний день стремительно развивающейся областью является ЭК-охлаждение, так как при изготовлении устройств на МК-эффекте специалисты встречаются с рядом трудностей. Одними из основных являются использование дорогостоящего, низкоэффективного и крупногабаритного генератора магнитного поля, а также применение МК-материалов высокой стоимости, например гадолиния. Манганиты – хорошие кандидаты

для работы магнитными хладагентами. Магнитное изменение энтропии в $\text{La}_{0,7}\text{Ca}_{0,3}\text{Mn}_{0,3}$, больше, чем в металлическом гадолинии [3].

В последних работах в области ЭК-эффекта экспериментально подтверждено изменение температуры на 20–30 градусов при напряженности электрического поля 3 В/мкм [2]. Однако создание малогабаритных высокоэффективных твердотельных охладителей на ЭК-эффекте также сопровождается техническими препятствиями, а именно необходимостью использования тепловых ключей для осуществления процесса отвода тепла от охлаждаемого объекта. Отсутствие эффективных быстродействующих твердотельных элементов прерывания теплового потока не позволяет на сегодняшний день создать конкурентоспособное охлаждающее устройство на основе ЭК-эффекта [3].

Дальнейшая работа над заявленной темой будет посвящена поиску решений обозначенных выше проблем с помощью построения экспериментальной модели и вывода соответствующих зависимостей.

Публикации

Карелина Н.А. Современные направления в разработке твердотельных охладителей нового типа [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/7995/7995.pdf> (дата обращения: 26.05.2018)

Литература

1. Булат Л.П. Твердотельные охлаждающие системы // Холодильный бизнес. 2008. № 8. С. 10–17.
2. Синявский Ю.В. Достижения в области создания электро- и магнитокалорических рефрижераторов: обзорная информация. М., 1989. – 58 с.
3. Szymczak H., Szymczak R. Magnetocaloric effect. Physics and applications // Materials Science-Poland. 2008. Vol. 26. No 4. P. 8.



Кассиров Илья Сергеевич
Химико-биологический кластер
E-mail: kassirov@scamt-itmo.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ АНТИБИОТИКОВ ПРОТИВ РЕЗИСТЕНТНЫХ ШТАММОВ БАКТЕРИЙ

И.С. Кассиров

Научный руководитель – доцент Е.И. Кошель

В работе рассмотрен принципиально новый перспективный подход к изменению антибиотиков, способный привести к увеличению их антимикробной активности. Согласно полученным результатам, сонохимически обработанные антибиотики способны значительно подавлять рост чувствительных к ним штаммов бактерий. Также было установлено наличие антимикробной активности в отношении резистентных штаммов бактерий.

Одной из наиболее актуальных проблем современной медицины считается устойчивость бактерий к антибиотикам, которая становится все более распространенным

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

явлением. Разработка новых подходов к лечению – трудоемкий и дорогостоящий процесс. Одной из основных стратегий разработки новых противомикробных препаратов служит модификация существующих антибиотиков, однако этот подход имеет ряд ограничений. Наноструктурирование антибиотиков методом сонохимии может стать дешевой альтернативой современным сложным методам. В настоящем проекте исследуется эффективность использования наночастиц антибиотиков против чувствительных и резистентных штаммов бактерий. Предварительные результаты демонстрируют увеличение бактерицидной активности антибиотиков после их наноструктурирования.

Со времени открытия первого антибиотика, пенициллина, прошло около девяноста лет [1]. До широкого распространения антибиотиков формирование антибиотикорезистентных свойств у микроорганизмов происходило крайне медленно, однако эволюционное давление, возросшее за последние семьдесят пять лет их использования, способствовало возникновению и широкому распространению устойчивых штаммов. С каждым годом фиксируется все больше заболеваний, вызванных бактериями, устойчивыми к отдельным антибиотикам, группам антибиотиков или ко всем антибиотикам [2].

Помимо развития антибиотикорезистентности отдельных бактериальных клеток, уже давно описано, что биопленки также обладают повышенной резистентностью к антибиотикам. Антибиотикорезистентные штаммы также способны образовывать биопленку, что обуславливает развитие инфекционных заболеваний, лечение которых является часто нерешаемой задачей [3].

Разработка и внедрение новых антибиотиков – задача крайне затратная по времени и финансам. Это обусловило смещение интересов биотехнологических компаний и научных групп в сторону разработки альтернативных средств борьбы с бактериями. Существует необходимость в разработке новых стратегий борьбы с антибиотикорезистентными патогенами и бактериями в составе биопленок в целом.

Наиболее потенциально успешной стратегией может являться переход от классической терапии к применению высокотехнологичных инструментов на основе наноматериалов. Исследования эффективности использования различных наночастиц против антибиотикорезистентных штаммов и биопленок *in vitro* демонстрируют многообещающие результаты [3].

В лаборатории Геданкена в 2015 году были впервые получены наночастицы антибиотика, которые подавляли рост резистентных штаммов, а также имели большую, по сравнению с необработанным антибиотиком, антимикробную активность против чувствительных штаммов [4]. Позже в группе Фернадоса были проведены исследования нанотрансформированного ванкомицина против биопленок, который в результате обработки проявил активность в десять раз выше по сравнению с исходной, при этом активность против планктонных клеток оказалась в сто раз выше [5]. Несмотря на перспективность предлагаемого подхода, исследования на эту тему ограничиваются двумя упомянутыми публикациями. Тем не менее, изучение возможностей сонохимической модификации антибиотиков может заложить научную основу для разработки отдельного класса антибактериальных препаратов.

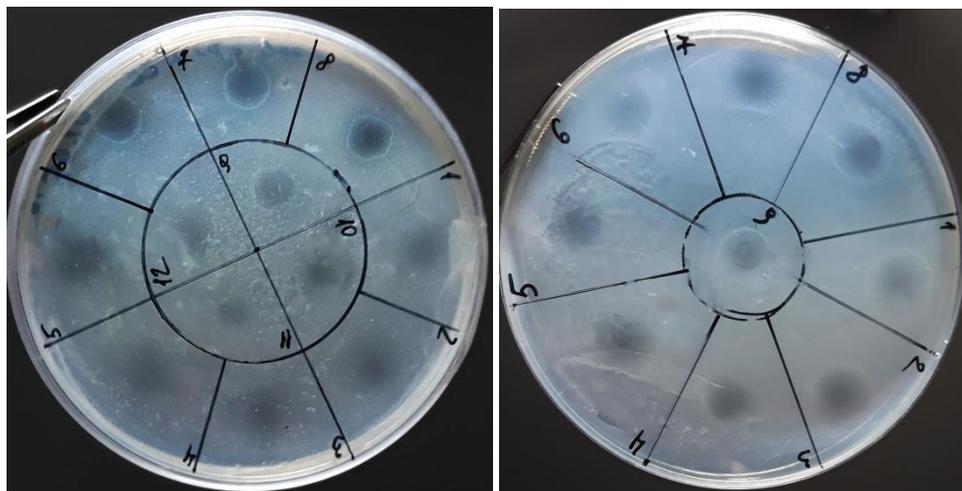
Цель работы – сравнительный анализ антимикробной активности сонохимически модифицированных тетрациклина и хлорамфеникола против чувствительных и устойчивых к ним штаммов бактерий.

Для достижения поставленной цели планируется решить следующие задачи.

1. Выполнить сонохимическую обработку антибиотиков.
2. Оценить влияние наноструктурированных антибиотиков на планктонную форму бактерий.
3. Оценить антимикробную активность наноструктурированных антибиотиков методом диффузии в агар.
4. Оценить влияние наноструктурированных антибиотиков на бактериальную популяцию методом проточной цитометрии.

Предварительно уже получены многообещающие результаты исследования наноструктурированных антибиотиков: тетрациклина и хлорамфеникола. Антибактериальные свойства наночастиц антибиотиков исследованы методом диффузии в агар и методом определения динамики роста клеток в жидкой культуре.

На рис. 1 видны зоны угнетения роста антибиотикорезистентных штаммов к соответствующим антибиотикам, полученные методом диффузии в агар. Как видно из рис. 1, сонохимическая модификация приводит к такому изменению антибиотика, при котором механизмы резистентности не способны справиться с концентрациями, которые используются в норме для культивирования данных штаммов.



а

б

Рис. 1. Оценка антимикробной активности наноструктурированных антибиотиков против резистентных штаммов: а – влияние наноструктурированного хлорамфеникола на *E. coli PICmKmc1r100*, б – влияние наноструктурированного канамицина на *E. coli Nova Blue*

На рис. 2 представлены результаты определения динамики роста клеток в жидких культурах при добавлении наноструктурированных антибиотиков, исследованные методом спектрофотометрического анализа. Как видно из графиков, в зависимости от продолжительности сонификации антимикробные свойства антибиотиков меняются, и эти изменения носят нелинейный характер.

С увеличением времени обработки хлорамфеникола растет его антимикробная активность против резистентного штамма *E. coli PICmKmc1r100*, и максимум эффективности отмечен у образца, обрабатываемого в течение пяти минут. Тетрациклин, в свою очередь, обладает большей антимикробной активностью при полутораминутной обработке (рис. 2). В данном случае прослеживается нелинейность в зависимости эффективности антибиотика от времени его сонификации. При этом хлорамфеникол против чувствительных штаммов проявил наибольшую активность после двух минут обработки, а тетрациклин – после полутора и двух минут, что также демонстрирует нелинейный характер зависимости (рис. 3). Это может быть обусловлено цикличностью формирования кавитационных пузырей, возникающих при сонохимической обработке, которые, схлопываясь, дают локальный нагрев и увеличение давления. Последние два фактора могут способствовать изменению формы и размера частиц антибиотиков (оба антибиотика плохо растворимы в воде), а также изменению функциональных групп и перестройки химических связей. Оба этих механизма могут обуславливать преодоление резистентности штаммов.

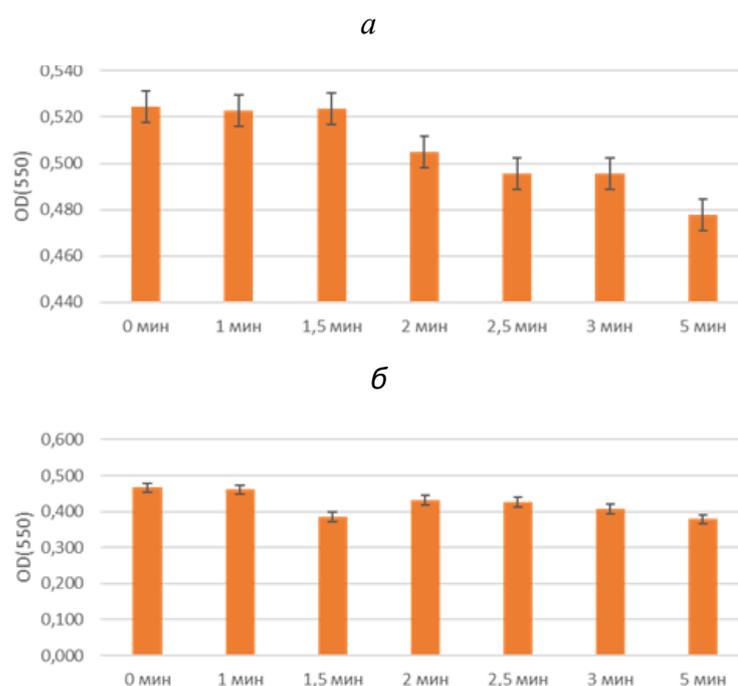


Рис. 2. Влияние сонохимически модифицированных антибиотиков на штаммы, имеющие резистентность к ним: а – хлорамфеникола на *E. coli* P1 PICmKmc1r100; б – тетрациклина на *E. coli* Nova Blue

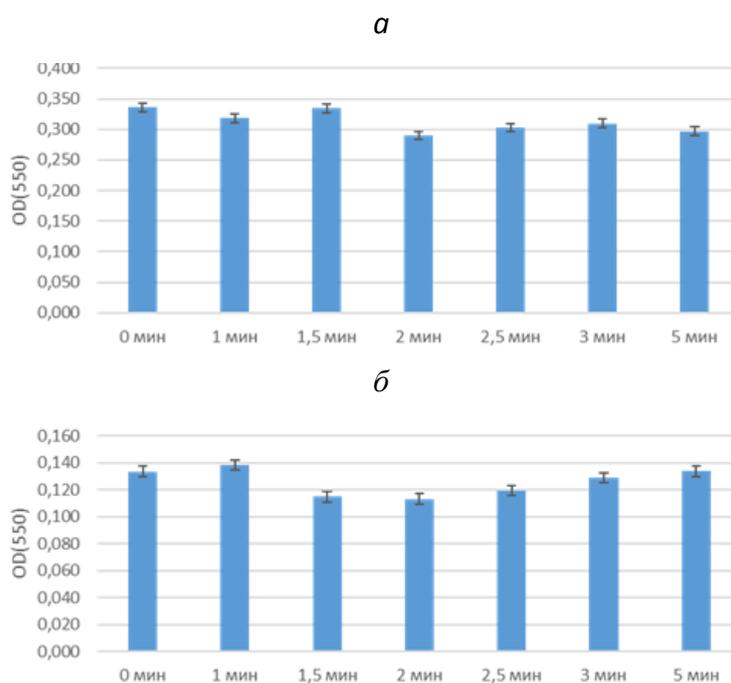


Рис. 3. Влияние сонохимически модифицированных антибиотиков на чувствительные штаммы: а – хлорамфеникола на *E. coli* P1 Nova Blue; б – тетрациклина на *E. coli* P1 PICmKmc1r100

Можно предположить, что уменьшение размера частиц тетрациклина могло способствовать преодолению основного механизма резистентности бактерий – модификации клеточной стенки. В случае использования хлорамфеникола на повышение его эффективности могло повлиять изменение химической структуры соединения, которая может быть плохо узнаваема метилтрансферазой, что снижает возможность его модификации в клетке по основному механизму устойчивости.

Тем не менее, для уточнения механизмов действия сонохимически модифицированных антибиотиков на клетки бактерий требуются дальнейшие исследования.

Для улучшения антимикробной активности против биопленок используется адресная доставка наноструктурированных антибиотиков. Одним из вариантов этого могут быть гибридные нанокапсулы диоксида титана с добавлением частиц серебра, которые под действием ИК-света высвобождают активное вещество. Ранее были получены предварительные данные по разработке и исследованию эффективности этой системы в бактериальных культурах.

В результате выполнения проекта были собраны данные по антимикробной активности сонохимически модифицированных антибиотиков, доказана перспективность их использования в борьбе с чувствительными и резистентными штаммами бактерий.

Литература

1. *Ligon B.L.* Penicillin: its discovery and early development // *Seminars in Pediatric Infectious Diseases*. 2004. Vol. 15. No 1. P. 52–57.
2. *Alanis A.J.* Resistance to antibiotics: are we in the post-antibiotic era? // *Archives of Medical Research*. 2005. Vol. 36. No 6. P. 697–705.
3. *Beyth N. et al.* Alternative antimicrobial approach: nano-antimicrobial materials // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2015. Vol. 2015. P. 1–16.
4. *Mishra R.K. et al.* New life for an old antibiotic // *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2015. Vol. 7. No 13. P. 7324–7333.
5. *Fernandes M.M. et al.* Nanotransformation of vancomycin overcomes the intrinsic resistance of gram-negative bacteria // *ACS Applied Materials and Interfaces*. 2017. Vol. 9. No 17. P. 15022–15030.



Квитко Катерина Борисовна
Факультет технологического менеджмента и инноваций,
E-mail: kvitko_kb@corp.ifmo.ru

ПРОЕКТ ОЦЕНКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СООБЩЕНИЯ В СЗФО РФ

К.Б. Квитко

Научный руководитель – доцент Л.И. Рогавичене

В работе проведен анализ существующих технологий высокоскоростного железнодорожного транспорта, определено технологическое решение, оптимальное для реализации высокоскоростного сообщения на территории РФ. Представлены результаты проведенного экономического анализа состояния десяти субъектов Северо-Западного федерального округа РФ, позволившего выделить наиболее перспективные из них для строительства высокоскоростной магистрали (ВСМ). Сравнение субъектов также проведено по трем группам показателей с целью выбора технологий, наиболее привлекательных для внедрения. Представлены результаты опроса населения, подтверждающие его готовность и заинтересованность в предлагаемой транспортной инновации. Результатом исследования

является решение о целесообразности проектирования высокоскоростной магистрали на территории СЗФО и оценка экономических и социальных эффектов от ее внедрения.

В настоящее время развитие технологий высокоскоростного транспорта в мире движется быстрыми темпами. Особенно активно оно ведется в европейских государствах: Франции, Германии, Италии – и на Востоке: в Японии и Корее. Улучшаются скоростные показатели существующих транспортных технологий, изучаются новые виды транспорта со стирающимися технологическими скоростными ограничениями.

В РФ технологии высокоскоростного рельсового транспорта не производятся, а закупаются за рубежом («Сапсан» – немецкая технология компании «*Siemens AG*», «Стриж» – технология испанской компании «*Patentes Talgo S. L*»).

Внедрение высокоскоростного рельсового сообщения в СЗФО – стратегически важном регионе РФ – позволит не только укрепить внутреннюю коммуникацию субъектов, вывести товарно-денежные отношения на новый уровень, но и окажет существенный социальный и экономический эффект на жителей каждого региона и федерального округа в целом.

Цель исследования – изучение перспектив внедрения технологии высокоскоростного рельсового транспорта (ВРТ) для повышения транспортной доступности городов СЗФО.

Задачи:

- анализ существующих инновационных технологий высокоскоростного рельсового транспорта;
- сравнительный анализ высокоскоростного и нескоростного сообщений;
- исследование транспортной доступности городов СЗФО;
- оценка первоначальных затрат на строительство транспортной инфраструктуры для работы ВРТ;
- анализ влияния использования ВРТ на экономику СЗФО.

В ходе выполнения работы рассмотрены основные технологии ВРТ, выявлены технические, технологические и экономические аспекты каждой из них, а также определены страны и компании, являющиеся лидерами в индустрии высокоскоростного железнодорожного транспорта как по производству, так и по внедрению в транспортную инфраструктуру страны.

Сравнительный анализ всех видов рельсового транспорта на примере поездов типа «Невский экспресс», «Ласточка» и «Сапсан» продемонстрировал сильные и слабые стороны каждой технологии, показал целесообразность использования в настоящий момент всех трех технологий и перспективность использования каждой из них в дальнейшем.

Экономическое исследование одиннадцати регионов Северо-Западного федерального округа по семи экономическим показателям выявило несколько субъектов, внедрение ВСМ в которых наиболее целесообразно [1, 2]. Такими регионами стали Санкт-Петербург, Архангельская, Вологодская, Калининградская, Ленинградская и Новгородская области, а также Республика Коми. Результат экономического исследования отражен в Таблице.

Проведен опрос населения о готовности к внедрению скоростного и высокоскоростного рельсового транспорта. В нем приняло участие 142 респондента преимущественно из Санкт-Петербурга, Вологодской и Ленинградской областей. Результаты исследования выявили готовность жителей изучаемых регионов использовать высокоскоростное сообщение, был определен ценовой диапазон, основные или наиболее частые причины поездок (работа/учеба, туризм, шопинг, поездки домой), оптимальные расстояния для строительства такого вида транспортной инфраструктуры. В настоящее время респонденты не пользуются высокоскоростным сообщением потому, что соответствующие магистрали не проходят по их основному маршруту следования.

Результатом проведенного исследования стал проект высокоскоростной магистрали (ВСМ) СЗФО «Санкт-Петербург – Вологда – Архангельск», соединяющий эти регионы (рис. 1).

Таблица

Экономические показатели регионов СЗФО

	1 группа				2 группа		3 группа	ИТОГО
	Плотность населения	Уровень заработной платы	Уровень безработицы	ВРП	Крупнейшие предприятия	Крупнейшие города	Туризм	
Вес показателя:	1	3	1	2	2	2	2	13
Республика Карелия	0,3	0,6	0,1	0,2	0,6	0,6	1,8	4,2
Республика Коми	0,1	2,4	0,3	1,8	1,6	0,4	0,6	7,2
Архангельская область	0,2	0,9	0,5	2	0,4	1,6	1,4	7
Вологодская область	0,5	1,2	0,6	0,6	1,4	1,4	1,6	7,3
Калининградская область	0,9	1,5	0,7	1	1,2	1,8	1	8,1
Ленинградская область	0,8	2,7	0,8	0,4	1,8	0,2	0,4	7,1
Мурманская область	0,4	1,8	0,2	1,2	1	1,2	0,2	6
Новгородская область	0,6	2,1	0,9	0,8	0,8	1	1,2	7,4
Псковская область	0,7	0,3	0,4	1,6	0,4	0,8	0,8	5
Санкт-Петербург	1	3	1	1,4	2	2	2	12,4

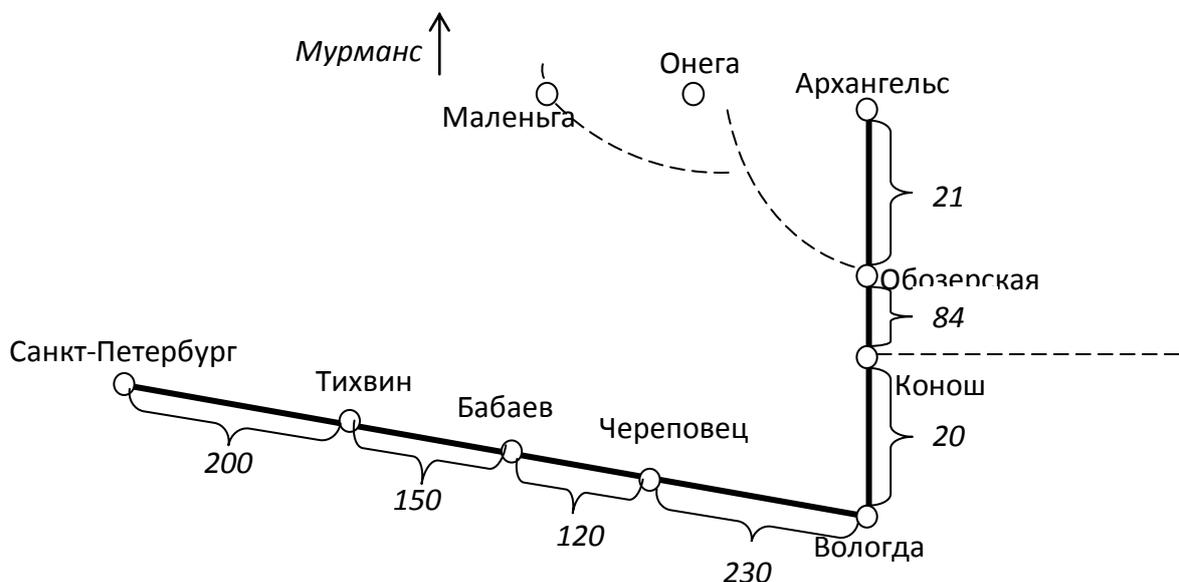


Рис. 1. План ВСМ СЗФО

При проектировании ВСМ СЗФО учитывались следующие факторы [3–5]:

- экономическая целесообразность реализации трассы;
- строительство нового или реконструкция старого полотна;
- существующие нескоростные железнодорожные пути;
- система обслуживания составов;
- план пути;
- решения по строительству искусственных сооружений, дорожному полотну, разделительным пунктам ВСМ, сигнализации, централизации и блокировке (СЦБ), связи и электроснабжению;

– основные технико-экономические показатели линии ВСМ СЗФО и организация движения поездов.

Проведен укрупненный расчет стоимости проекта ВСМ СЗФО, который составил 16,3 млрд долларов США (более 1 трлн рублей). Существенно сократить смету проекта удалось за счет использования методик строительства, стандартов и технических решений, которые были разработаны при проектировании и строительстве ВСЖМ 1 «Москва – Санкт-Петербург» и ВСМ 2 «Москва – Казань – Екатеринбург» с продолжением до Пекина [3–5]. Значительная экономия затрат на реализацию проекта связана также с тем, что проект предполагает не строительство новой трассы, а реконструкцию существующего нескоростного полотна.

Завершающим этапом работы стал анализ экономического и социального эффекта от реализации ВСМ на территории СЗФО. К экономическим эффектам отнесены рост валового регионального продукта, инвестиций в проект и регионы, развитие инфраструктуры ВСМ и объектов, появившихся в результате реализации проекта, качественный и количественный рост показателей внутрироссийского и международного туризма, прогнозируется эффект от пересадки пассажиров на ВСМ с других видов транспорта.

Социальные эффекты от внедрения ВСМ включают увеличение численности населения в региональных городах, изменение в лучшую сторону качества жизни за счет преобразования транспортной сети, модернизации инфраструктуры, обновления жилищного фонда, развития рынка труда и другие.

Таким образом, проект ВСМ СЗФО как сложное технологическое и техническое инновационное решение, оптимизирующее транспортную систему железнодорожной сети, воздействующее на социальную и экономическую сферы регионов, входящих в маршрут, и всего субъекта РФ в целом, окажет существенное влияние на реализацию экономического потенциала Северо-Западного округа, а также на развитие высокоскоростного железнодорожного транспорта в России.

Публикации

1. Квитко К.Б. Анализ возможности использования существующей инфраструктуры железнодорожного транспорта под потребности высокоскоростного рельсового транспорта // Магистерские слушания: материалы I Всероссийской конференции магистрантов и преподавателей. Т. 1. СПб., 2017. С. 262–265.
2. Квитко К.Б. Сравнительный анализ технологий высокоскоростного рельсового транспорта // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2017. Т. 6. С. 126–129.
3. Квитко К.Б. Технологические особенности проекта ВСМ-2 «Москва – Казань» // Инновационное развитие транспорта: материалы II Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. СПб., 2017. С. 20–23.
4. Квитко К.Б., Рогавичене Л.И. Перспективы развития высокоскоростных железных дорог в России // Бюллетень транспортной информации. 2017. № 9 (267). С. 8–12.
5. Квитко К.Б., Рогавичене Л.И. Исследование мирового опыта строительства и внедрения ВСМ и высокоскоростного движения на примере европейской и азиатской систем ВСМ // Инновационное развитие транспорта: материалы III Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. СПб., 2018. С. 135–138.
6. Квитко К.Б. Основные параметры проектирования ВСМ // Инновационное развитие транспорта: материалы III Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов. СПб., 2018. С. 34–37.

Литература

1. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2017: Стат. сб. / Росстат. М., 2017. – 1402 с.

2. Рейтинг 250 крупнейших компаний СЗФО [Электронный ресурс] // Эксперт Северо-Запад. 2016. № 45–46 (741). URL: <http://expert.ru/northwest/2016/45/rejting-250-krupnejshih-kompanij-szfo/> (дата обращения: 21.03.2018).
3. Программа организации скоростного и высокоскоростного железнодорожного сообщения в Российской Федерации [Электронный ресурс] // АО «Скоростные магистрали» [Сайт]. URL: http://www.hsrail.ru/download_files/programma_2018_04_04.pdf (дата обращения: 27.03.2018).
4. Специальные технические условия. Проектирования участка «Москва – Казань высокоскоростной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург» со скоростями движения до 400 км/ч [Электронный ресурс] // Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I [Сайт]. URL: https://www.pgups.ru/upload/iblock/91b/stu_1.pdf (дата обращения: 29.03.2018).
5. Официальный сайт АО «Скоростные магистрали» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hsrail.ru/> (дата обращения: 01.05.2017).



Конева Татьяна Александровна
Факультет лазерной и световой инженерии
E-mail: takoneva@bk.ru

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ОЧКОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Т.А. Конева

Научный руководитель – доцент Г.Э. Романова

В работе выполнен габаритный расчет компактной оптической системы дополненной реальности, а также предложены несколько вариантов оптических схем: система с силовым зеркалом и система на основе трехзеркальной схемы и световодного элемента. Выполнен абберационный расчет и анализ качества изображения.

Системам дополненной реальности уделяется большое внимание в связи с постепенным внедрением подобных технологий в различные сферы жизнедеятельности [1]. Такие системы находят широкое применение в различных областях: в индустрии развлечений (кино, игры, виртуальное посещение мероприятий и туризм); в интерактивном обучении детей и взрослых; могут применяться для навигации на местности.

Чаще всего в качестве источника изображения (генератора символов) в таких системах используются *AMOLED*-дисплеи. В зависимости от типа они могут обеспечить как монохромное, так и цветное изображения. Свойства и достижимые характеристики оптической системы дополненной реальности во многом определяются возможными характеристиками генератора символов.

Несмотря на множество работ по тематике компактных оптических систем дополненной реальности, поиск оптимальной схемы, а также исследование достижимых характеристик при использовании современной элементной базы являются актуальными задачами.

Таким образом, цель проекта – разработка и исследование компактной оптической системы дополненной реальности с микродисплеем в качестве источника изображения со следующими характеристиками:

- диагональное поле зрения $2w \geq 20^\circ$;
- диаметр зрчка $D \geq 6$ мм.

Задачами работы являются габаритный расчет системы дополненной реальности, создание композиции начальной системы, анализ ее аберрационных свойств и коррекционных возможностей, а также оптимизация качества изображения и анализ нескольких оптических схем, обеспечивающих необходимые характеристики. Кроме того, разработанные схемы анализируются с точки зрения пользовательских характеристик и реализуемости в условиях российского оптического производства.

В качестве источника изображения для расчета был выбран микродисплей с разрешением 640 на 480 пикселей и размером 7,2 на 5,4 мм², что объясняется габаритными ограничениями и требуемыми характеристиками. Размер пикселя: 11,25 на 11,25 мкм². Поскольку минимально требуемое диагональное поле зрения составляет 20°, то фокусное расстояние системы $f' = 25,5$ мм.

Один из возможных вариантов системы дополненной реальности – схема с силовым зеркалом и двумя диагональными зеркалами (рис. 1). Такой вариант используется в очках *Google Glass* [2]. Несмотря на достаточно небольшие размеры пятен рассеяния, в такой схеме невозможно достичь требуемых значений поля зрения ($2w \geq 20^\circ$), так как невозможно разместить микродисплей, диагональное и силовое зеркала относительно друг друга. Для выбранного микродисплея данная схема работает до поля зрения $2w = 15^\circ$. Фокусное расстояние при этом равно 38,25 мм. Достоинством такой системы является простая схема, обеспечивающая возможность размещения ее на оправе очков.

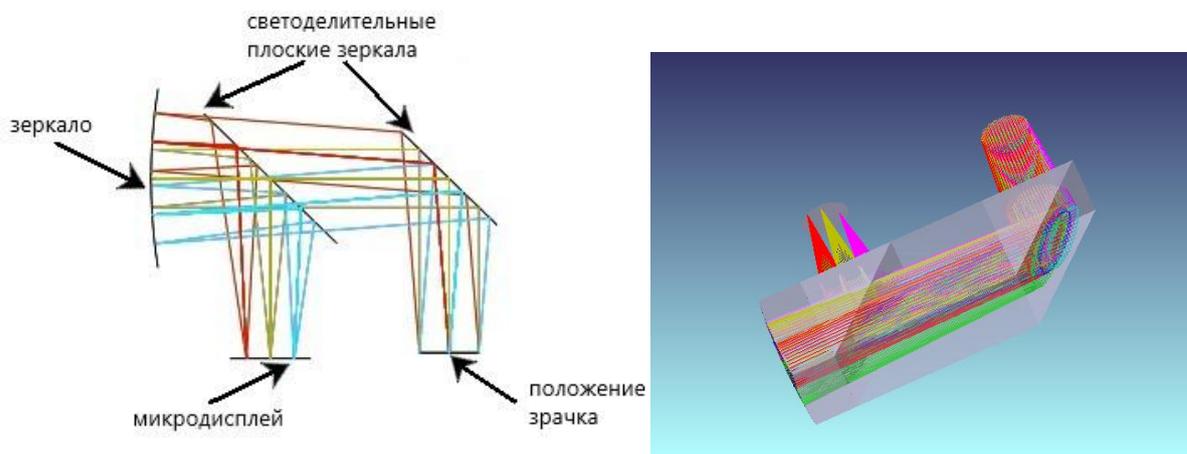


Рис. 1. Система с одним силовым зеркалом

Однако в простых схемах невозможно достичь требуемых значений характеристик, поэтому необходимо рассматривать более сложные варианты.

Один из таких – объектив на базе трехзеркальной системы [3]: в стартовом варианте, выбранном для дальнейшего расчета, одно из зеркал – плоское, а первое и третье представляют собой асферические зеркала (рис. 2а). При этом поверхность может быть реализована как единый элемент, на одну часть которого нанесено светоделительное покрытие, а на другую – зеркальное. Линзовая часть системы на рисунке показана идеальной тонкой линзой. Расчет ведется в обратном ходе лучей для длины волны $\lambda = 0,55$ мкм. Диагональное поле зрения $2w \geq 20^\circ$. Диаметр входного зрчка $D = 6$ мм. Фокусное расстояние системы $f' = 25,5$ мм.

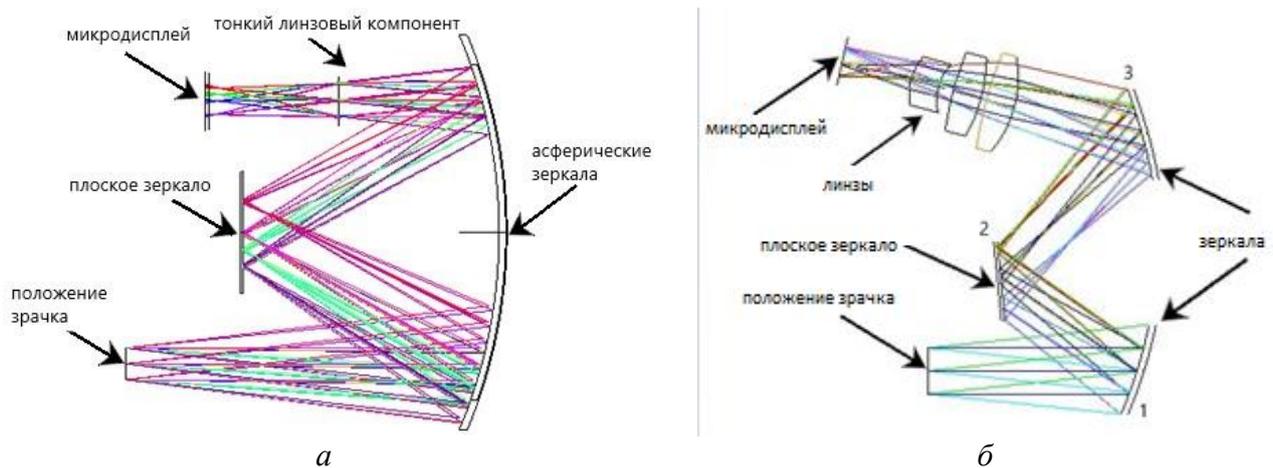
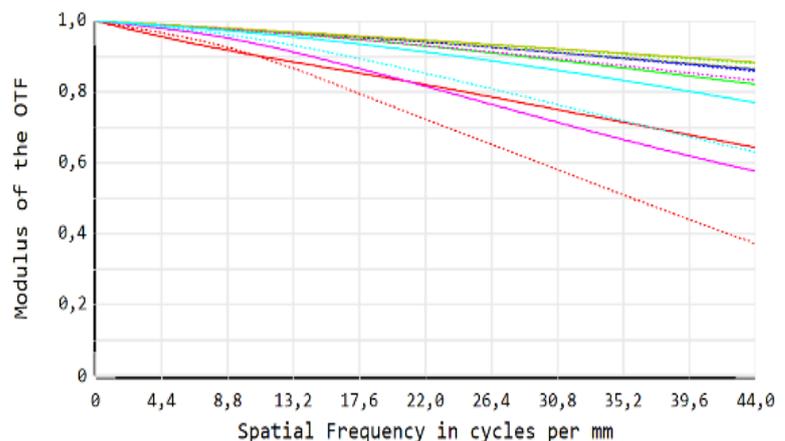
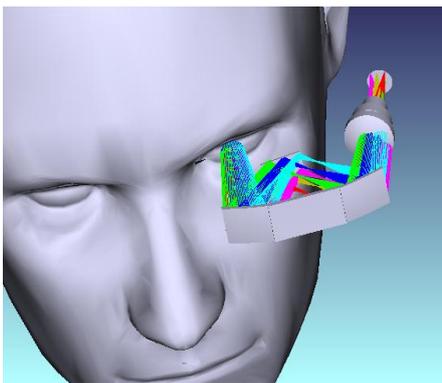


Рис. 2. Объектив на базе трехзеркальной системы: а – стартовая схема; б – итоговый объектив с трехлинзовым компонентом

Усложнение линзовой части (замена парааксиального компонента на реальный) позволяет улучшить абберационную коррекцию системы. В схеме итогового объектива, представленного на рис. 2б, присутствуют три линзы с двумя асферическими поверхностями, сферическое и асферические зеркала. К коррекционным параметрам добавлены наклоны линзовой части, плоского зеркала и микродисплея. Диаметр входного зрачка увеличен до 10 мм. Возможное расположение системы на голове пользователя показано на рис. 3а.



— 0,00, 0,00 (deg)-Tangential	— 0,00, 0,00 (deg)-Sagittal	— 0,00, 6,00 (deg)-Tangential	— 0,00, 6,00 (deg)-Sagittal
— 6,00, 6,00 (deg)-Tangential	— 0,00, 6,00 (deg)-Sagittal	— 6,00, 0,00 (deg)-Tangential	— 6,00, 0,00 (deg)-Sagittal
— 6,00, -6,00 (deg)-Tangential	— 0,00, -6,00 (deg)-Sagittal	— 0,00, -6,00 (deg)-Tangential	— 0,00, -6,00 (deg)-Sagittal

а

б

Рис. 3. а – возможное расположение системы на голове пользователя; б – функция передачи модуляции (ФПМ) трехзеркальной системы с трехлинзовым компонентом

Контраст на частоте Найквиста (44 лин/мм) для всех точек поля превышает 0,35 для зрачка $D = 10$ мм (рис. 3б). Угловой размер пятна рассеяния меньше $2'$. Дисторсия составляет около 17 %, что позволяет исправлять ее цифровыми методами. Масса линзовой части – 5 г.

Еще один вариант перспективной компактной оптической системы дополненной реальности можно создать на базе световодного элемента. Одно из преимуществ световодных систем – возможность получить компактную схему с достаточной величиной поля зрения и диаметра зрачка при использовании цветного микродисплея высокого разрешения. Наиболее простым для технологической реализации является вариант, построенный на базе призмных элементов, в котором осуществляется мультиплицирование зрачка [4].

Световодная схема состоит из трех частей: микродисплея, который является источником изображения, объектива и световодной структуры [5]. При этом для обеспечения достаточного размера зрачковой зоны можно использовать миниатюрный объектив: для достижения размера зоны 15 мм при использовании пяти светораспределительных слоев необходим объектив с диаметром зрачка 3 мм. Принцип работы световодного элемента для параллельного хода лучей (осевой точки предмета) показан на рис. 4.

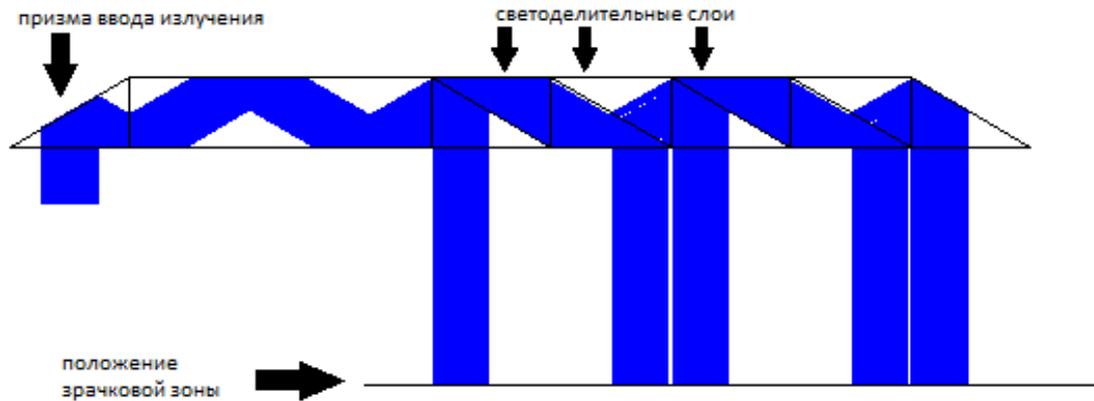
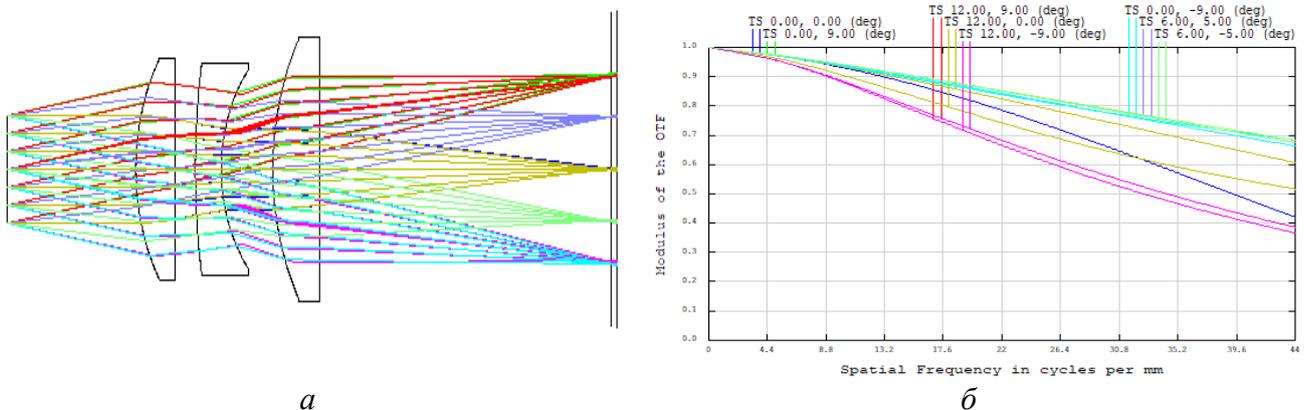


Рис. 4. Принцип работы световодной структуры для осевой точки предмета

Рассчитан трехлинзовый объектив (представлен на рис. 5а в обратном ходе лучей) с характеристиками: фокусное расстояние $f' = 16,8$ мм, диаметр зрачка 3 мм, диагональное поле зрения $2w = 30^\circ$. ФПМ объектива приведена на рис. 5б. Контраст на частоте Найквиста (44 лин/мм) для всех точек поля превышает 0,35. Положительные линзы объектива сделаны из полиметилметакрилата, отрицательная – из поликарбоната. Вес объектива – менее 0,2 г.



а б
Рис. 5. Трехлинзовый объектив (а) и его ФПМ (б)

На рис. 6 показана модель рассчитанной световодной структуры. Как можно заметить, в системе такого типа есть так называемые слепые зоны – зоны зрачка, в которых изображение будет видно не полностью или с неравномерной яркостью по полю.

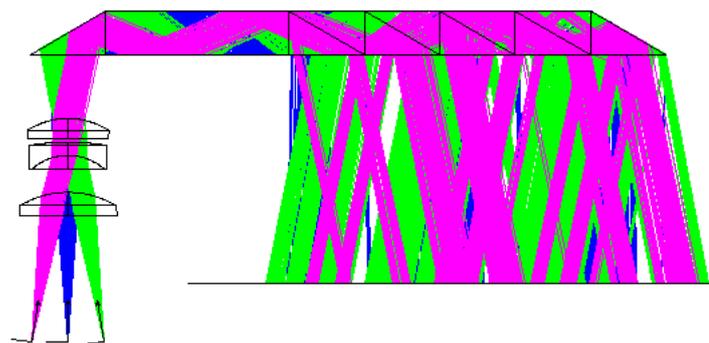


Рис. 6. Световодная схема

На рис. 7а представлен объект в виде буквы *F*, пропущенный через световодную систему для ее тестирования. Результат моделирования изображения, полученного путем трассировки лучей через объектив с учетом световодной структуры, показан на рис. 7б.

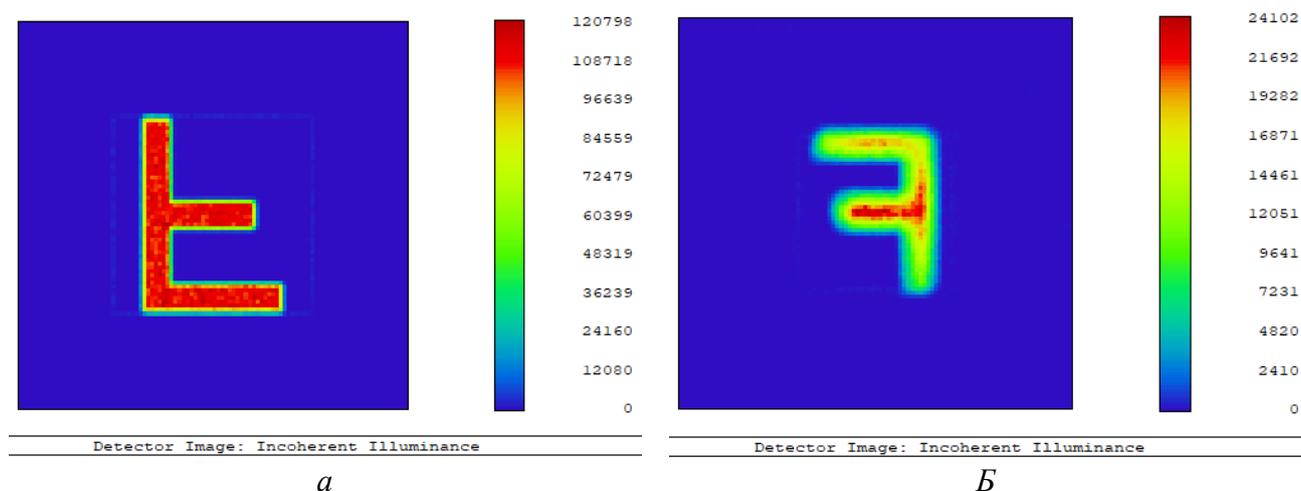


Рис. 7. Исходное изображение (а); изображение, построенное с учетом световодной структуры (б)

Световодная структура обладает рядом достоинств: система получается компактной, могут использоваться как монохроматические, так и полихроматические источники изображения, возможен большой размер выходного зрачка [4].

Таким образом, в результате проделанной работы предложены несколько решений компактной оптической системы дополненной реальности, в которых источником изображения является микродисплей: система с силовым зеркалом; системы на основе трехзеркальной схемы и световодного элемента. Предложенные варианты решений удовлетворяют требуемым характеристикам, а также не содержат трудоемких с точки зрения изготовления и производства элементов.

Публикации

1. Конева Т.А., Романова Г.Э. Анализ схем и особенностей очков виртуальной реальности // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2017. Т. 2. С. 137–141.
2. Koneva T.A., Romanova G.E. Designing of a monocular see-through smart glass imaging system // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10676. P. 106760V.
3. Koneva T.A., Romanova G.E. Design of the augmented reality system with the smartphone as a source of image // Proceedings of SPIE. 2018. Vol. 10690. P. 106901V.
4. Конева Т.А., Романова Г.Э. Анализ оптических схем и особенностей систем виртуальной реальности [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. Спб., 2017. URL: http://old.kmu.itmo.ru/collections_article/5368/analiz_opticheskikh_shem_i_osobennostey_sistem_virtualnoy_realnosti.htm (дата обращения: 24.10.2018).
5. Конева Т.А., Романова Г.Э. Расчет и анализ оптической системы дополненной реальности на основе смартфона [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. Спб., 2018. URL: http://old.kmu.itmo.ru/collections_article/7614/raschet_i_analiz_opticheskoy_sistemy_dopolnennoy_realnosti_na_osnove_smartfona.htm (дата обращения: 24.10.2018).

Литература

1. Rolland J.P., Hua H. Head-mounted display systems // Encyclopedia of optical engineering. New York, 2005. P. 1–13.
2. Pat. 20130033756 USA. Method and apparatus for a near-to-eye display / M.B. Spitzer et al. Published 02.07.2013.

3. Hiroaki H. et al. Off-axial HMD optical system consisting of aspherical surfaces without rotational symmetry // Proceedings of SPIE. 1996. Vol. 2653. P. 233–242.
4. Бахолдин А.В. и др. Оптические устройства виртуальных дисплеев // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 5. С. 17–24.
5. Qiwei W. et al. Stray light and tolerance analysis of an ultrathin waveguide display // Applied Optics. 2015. Vol. 54. No 28. P. 8354–8362.



Костюк Василина Алексеевна
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии
E-mail: k_vasilina1996@mail.ru

БИОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД СОЗДАНИЯ КОНТРОЛИРУЕМОЙ АТМОСФЕРЫ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ПЛОДОВ ПРИ НИЗКИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В.А. Костюк

Научный руководитель – профессор В.С. Колодязная

Обоснованы технологические параметры и сроки хранения яблок осенних сортов при низких положительных температурах в контролируемой атмосфере, создаваемой биологическим путем за счет процессов дыхания плодов и применения мембран, обладающих селективной проницаемостью по отношению к диоксиду углерода, кислороду и азоту.

Цель работы – исследовать и обосновать технологические параметры холодильного хранения осенних сортов яблок в контролируемой атмосфере.

Задачи:

– изучить изменение интенсивности дыхания; содержание моно- и дисахаридов в яблоках осенних сортов в зависимости от продолжительности их холодильного хранения в обычной атмосфере;

– изучить изменение содержания суммы аскорбиновой кислоты в яблоках осенних сортов в зависимости от продолжительности их хранения при низких положительных температурах с применением газоселективных трековых мембран;

– исследовать поражаемость яблок осенних сортов основными возбудителями инфекционных заболеваний при холодильном хранении в контролируемой и обычной атмосфере;

– обосновать технологические параметры и сроки хранения яблок осенних сортов при низких положительных температурах в контролируемой и обычной атмосфере.

В решении проблемы длительного хранения плодово-ягодной продукции с минимальными потерями от инфекционных и физиологических заболеваний определяющее значение имеет поддержание определенной температуры и газового состава воздуха, отличающегося пониженным содержанием кислорода и повышенным – диоксида углерода. В настоящее время в литературе для хранения свежей плодово-ягодной продукции предлагают использовать различные мембраны, изготовленные на основе полимерных или тканевых материалов. Они отличаются коэффициентами вариации, адгезионными

свойствами, проницаемостью, эксплуатационными характеристиками, селективностью и прочностью [1].

Для создания контролируемой газовой среды была использована композиционная газо-селективная мембрана, разработанная в лабораториях ВНИИСК им. С. Лебедева и Физико-технического института им. И.А. Иоффе РАН. Она состоит из подложки на основе трековых мембран (ТМ) из полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и селективного слоя на основе кремнийорганического блок-сополимера (диаметр пор – 0,2 мкм, селективность – 5,0) [2].

Контрольные образцы яблок хранили в обычной атмосфере в контейнерах без крышек; опытные образцы – в контейнерах с герметично закрытыми крышками, в которые вставлены газоселективные мембраны [3]. После сбора урожая и периодически в процессе хранения в контрольных образцах яблок определяли интенсивность дыхания (титрометрическим методом по выделению диоксида углерода), содержание сухих веществ и аскорбиновой кислоты (по методу Тильманса). На рис. 1 показано изменение интенсивности дыхания в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии.

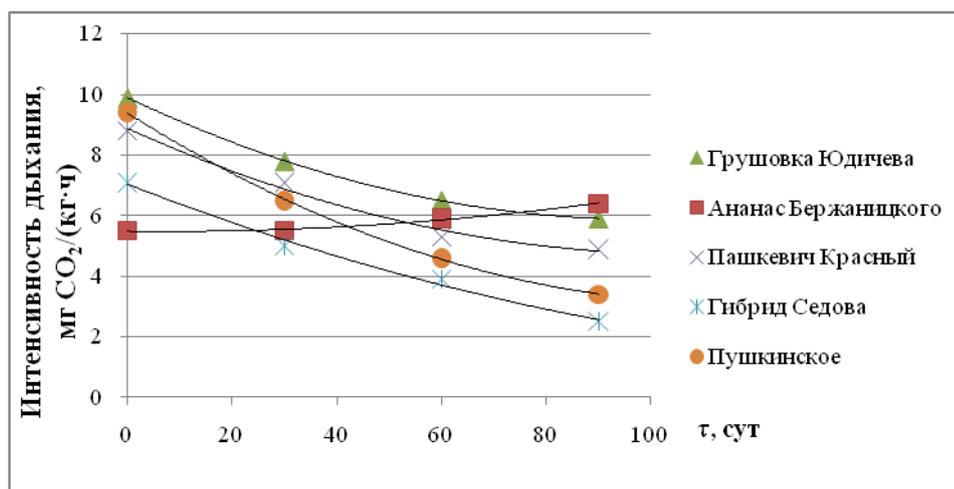


Рис. 1. Кинетические кривые изменения интенсивности дыхания в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии

Как следует из рис. 1, яблоки осенних сортов отличаются разной скоростью изменения интенсивности дыхания и, следовательно, разной сохраняемостью моно- и дисахаридов, а также органических кислот, которые участвуют в окислительно-восстановительных реакциях растительной клетки. Максимальное значение интенсивности дыхания характерно для сорта «Грушовка Юдичева», минимальное – для сорта «Ананас Бержаницкого».

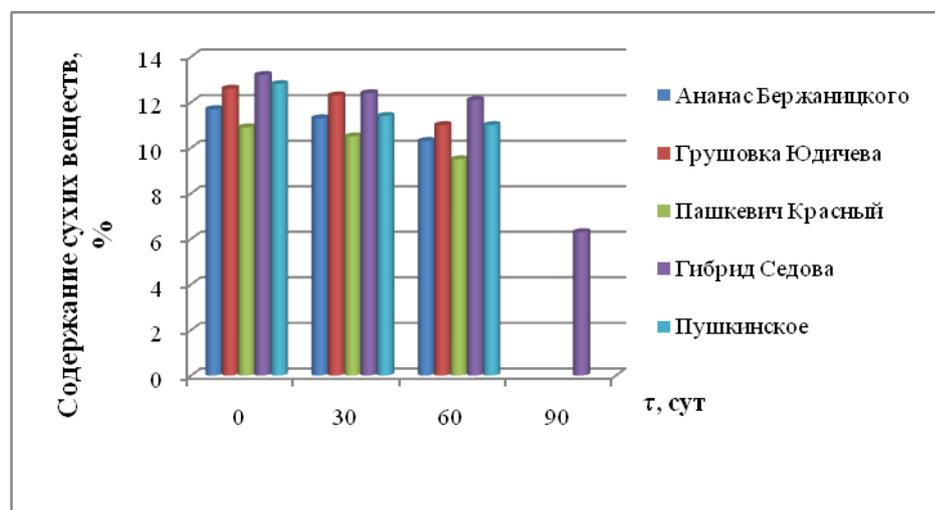


Рис. 2. Динамика содержания моно- и дисахаридов в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии

На рис. 2 показано изменение содержания моно- и дисахаридов в контрольных образцах яблок осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии. Как следует из представленных данных, содержание моно- и дисахаридов в яблоках осенних сортов при их хранении уменьшается. Связано это с их окислением и расходом на дыхание.

Метод определения аскорбиновой кислоты основан на окислительно-восстановительной реакции между ней и индикатором 2,6-дихлорфенолиндофенолом натрия (краска Тильманса) [4]. Исследованы изменения содержания аскорбиновой кислоты $C_{a.k.}$ в зависимости от продолжительности хранения яблок сортов «Ананас Бержаницкого», «Грушовка Юдичева», «Пашкевич Красный», «Гибрид Седова» и «Пушкинское» в охлажденном состоянии. Получены уравнения регрессии, характеризующие эти изменения:

- в яблоках сорта «Ананас Бержаницкого»:
 - $C_{a.k.} = -0,0011\tau^2 + 0,0507\tau + 31,11$ (опыт);
 - $C_{a.k.} = -0,0007\tau^2 - 0,0063\tau + 31,19$ (контроль);
- в яблоках сорта «Грушовка Юдичева»:
 - $C_{a.k.} = -0,0021\tau^2 - 0,0777\tau + 56,53$ (опыт);
 - $C_{a.k.} = 0,0016\tau^2 - 0,4465\tau + 56,84$ (контроль);
- в яблоках сорта «Пашкевич Красный»:
 - $C_{a.k.} = 0,0003\tau^2 - 0,0609\tau + 33,19$ (опыт);
 - $C_{a.k.} = 0,0001\tau^2 - 0,0764\tau + 33,23$ (контроль);
- в яблоках сорта «Гибрид Седова»:
 - $C_{a.k.} = 0,87\tau^2 - 3,856\tau + 43,22$ (опыт);
 - $C_{a.k.} = 0,775\tau^2 - 13,373\tau + 43,65$ (контроль);
- в яблоках сорта «Пушкинское»:
 - $C_{a.k.} = -0,76\tau^2 - 1,89\tau + 34,00$ (опыт);
 - $C_{a.k.} = 0,26\tau^2 - 8,17\tau + 34,00$ (контроль).

С учетом результатов исследований были рассчитаны константы скорости реакций псевдопервого порядка (K) превращения аскорбиновой кислоты (K_1) при хранении яблок осенних сортов в обычной (контроль) и контролируемой атмосфере (опыт) по выражению:

$$K = \frac{1}{\tau} \ln \frac{C_0}{C},$$

где C_0 – концентрация исследуемых веществ перед хранением; C – концентрация их через определенный промежуток времени хранения τ (Табл. 1).

Таблица 1

Константы скорости реакций псевдопервого порядка (K) превращения аскорбиновой кислоты (K_2), $\tau = 90$ сут.

Осенние сорта яблок	$K_1, 10^{-3} \text{ сут}^{-1}$	
	Опыт	Контроль
Ананас Бержаницкого	1,67	2,54
Грушовка Юдичева	6,04	6,97
Пашкевич Красный	1,14	2,17
Гибрид Седова	9,47	12,89
Пушкинское	7,85	10,21

Как следует из Табл. 1, скорость реакций превращения аскорбиновой кислоты при хранении яблок осенних сортов в контролируемой атмосфере ниже, чем в обычной. Это позволяет сохранить биологическую и пищевую ценность яблок в связи с меньшим расходом кислоты на окислительно-восстановительные реакции [5].

В процессе хранения определены фитопатологические показатели сохраняемости яблок осенних сортов (Табл. 2). Как следует из таблицы, основными возбудителями инфекционных заболеваний яблок осенних сортов контрольных и опытных образцов являются грибы

Fusarium culmorum и *Monilia fructigena*. Анализ представленных данных показал, что минимальные потери от микробиальной порчи при хранении контрольных яблок сортов «Ананас Бержаницкого», «Пашкевич Красный» и «Пушкинское» наблюдались через 60 суток, а для сортов «Грушовка Юдичева» и «Гибрид Седова» – через 90 суток. Для опытных образцов яблок сортов «Грушовка Юдичева», «Ананас Бержаницкого», «Пашкевич Красный» и «Пушкинское» минимальные потери наблюдались через 75–90 суток, у сорта «Гибрид Седова» – через семь месяцев.

Таблица 2

Фитопатологические показатели при продолжительности хранения, сут

Осенние сорта яблок	60 суток			90 суток			210 суток		
	Здоровые плоды, %	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Monilia fructigena</i>	Здоровые плоды, %	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Monilia fructigena</i>	Здоровые плоды, %	<i>Fusarium culmorum</i>	<i>Monilia fructigena</i>
Контроль									
Ананас Бержаницкого	91,0	3,7	5,3	80,3	7,1	11,7	-	-	-
Грушовка Юдичева	92,1	1,9	6,0	90,0	3,4	6,6	-	-	-
Пашкевич Красный	90,7	4,6	13,7	82,3	4,5	13,2	-	-	-
Гибрид Седова	100	0	0	96,7	1,3	2,0	-	-	-
Пушкинское	91,7	2,6	4,8	87,5	4,6	7,9	-	-	-
Опыт									
Ананас Бержаницкого	96,2	0	3,8	87,5	4,1	7,4	-	-	-
Грушовка Юдичева	97,0	0	3,0	94,2	2,7	5,1	-	-	-
Пашкевич Красный	96,1	1,0	2,9	88,4	4,3	7,3	-	-	-
Гибрид Седова	100	0	0	100	0	0	94,0	2,0	4,0
Пушкинское	95,4	2,0	2,6	92,0	2,0	6,0	-	-	-

Из исследуемых сортов яблок наиболее устойчив к инфекционным заболеваниям сорт «Гибрид Седова», потери которого за семь месяцев хранения составили 6,0 %.

Заключение

В ходе проведения исследования достигнуты следующие результаты:

- установлены зависимости изменения интенсивности дыхания и содержания моно- и дисахаридов в яблоках осенних сортов при их хранении в охлажденном состоянии. Показано, что максимальное значение интенсивности дыхания характерно для сорта «Грушовка Юдичева», минимальное – для сорта «Ананас Бержаницкого». Содержание моно- и дисахаридов в осенних сортах яблок при хранении снижается;

- выявлены кинетические зависимости изменения содержания аскорбиновой кислоты в яблоках осенних сортов при хранении их в охлажденном состоянии в контролируемой

и обычной атмосфере. Составлены математические модели, которые характеризуют эти зависимости. Рассчитаны константы скорости реакций псевдопервого порядка для аскорбиновой кислоты (K_1);

- показано, что основными возбудителями инфекционных заболеваний яблок осенних сортов являются *Fusarium culmorum* и *Monilia fructigena*;

- по динамике изменения содержания моно- и дисахаридов, а также аскорбиновой кислоты выявлены преимущества холодильного хранения яблок в контролируемой атмосфере (газовый состав: концентрация кислорода $5,2 \pm 0,1$ %, диоксида углерода $3,6 \pm 0,1$ %), создаваемой с помощью газоселективной композиционной мембраны площадью от 18–22 см²/кг;

- по комплексу органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества получены следующие сроки годности яблок осенних сортов при их хранении при температуре $t = (3 \pm 1)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $\varphi = 90 \dots 95$ %:

- контрольные образцы яблок сортов «Ананас Бержаницкого», «Грушовка Юдичева», «Пашкевич Красный» и «Пушкинское» до 60 суток, а «Гибрид Седова» до 90 суток;

- опытные образцы этих сортов до 90 суток, а «Гибрид Седова» до 210 суток (7 месяцев).

Публикации

Костюк В.А. и др. Динамика физиолого-биохимических процессов и показателей качества осенних сортов яблок при холодильном хранении с применением газоселективных трековых мембран // Холодильная техника. 2017. № 12. С. 32–36.

Литература

1. Иванов Т.Н. и др. Технология хранения плодов, ягод и овощей. Орел, 2009. – 203 с.
2. Манжесов В.И. и др. Технология хранения растениеводческой продукции. Воронеж, 2009. – 249 с.
3. Колодязная В.С. и др. Влияние контролируемой атмосферы физиолого-биохимические процессы и показатели качества яблок при холодильном хранении // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 2 (24). С. 53–60.
4. Колодязная В.С. и др. Факторы повышения качества плодов при холодильном хранении // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2013. № 1. С.46–52.
5. Колодязная В.С., Коидов Ш.М. Кинетика реакции окисления аскорбиновой кислоты при холодильном хранении столовых сортов винограда в контролируемой атмосфере // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 1 (23). С. 96–100.



Курдюмов Сергей Александрович
Факультет физико-технический
E-mail: s.kurdjumov@metalab.ifmo.ru

РАЗРАБОТКА НАСТРАИВАЕМОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ КАТУШКИ ДЛЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ МИКРОСКОПИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ 17 Тл

С.А. Курдюмов

Научный руководитель – доцент С.Б. Глыбовский

Цель проекта – создание радиочастотной катушки для магнитно-резонансной томографии (МРТ), настраиваемой с помощью эффекта взаимной связи резонаторов, и использование ее в доклиническом исследовательском томографе напряженностью постоянного магнитного поля 17 Тл.

Задачи:

- выбор материала для изготовления диэлектрических цилиндрических резонаторов;
- численное исследование керамической катушки с целью ее настройки на ларморову частоту в магнитном поле 17 Тл (723 МГц);
- численное исследование используемой сейчас соленоидальной катушки, сравнение катушек по параметрам: полоса пропускания, добротность, значение магнитного поля на резонансе;
- экспериментальные исследования керамической катушки в лаборатории и в томографе.

Одна из ключевых задач нейробиологии – изучение функций и свойств нейронных связей и поведенческого отклика живых существ в ответ на сенсорную стимуляцию головного мозга. Для решения этой задачи применяется магнитно-резонансная (МР) микроскопия – исследование микроскопических объектов с помощью методов МРТ. В МР-микроскопии обычно используются сверхвысокопольные магниты, напряженность поля которых лежит в пределах от 11 до 20 Тл. В таких магнитных полях частота прецессии ядер атомов водорода (ларморова частота) составляет сотни мегагерц. Ларморова частота равна:

$$f_L = \gamma * |B|,$$

где γ – гиромагнитное соотношение для ядра атома водорода (протона), равное $1,4 * 10^{10}$ Гц/Тл.

В качестве приемопередающих антенн (РЧ-катушек) в задачах МР-микроскопии различных образцов в большинстве случаев используются миниатюрные соленоидальные катушки, настроенные в резонанс на ларморовой частоте и согласованные по входному импедансу при помощи сосредоточенных подстроечных конденсаторов. Эффективность таких катушек бывает достаточно низкой из-за высокой концентрации энергии электрического поля в конденсаторах, что приводит к низкому соотношению «сигнал – шум» (SNR). Размеры исследуемых объектов обычно не превосходят 1 мм^2 [1], поэтому важно достигать наибольшего разрешения МР-изображений, что требует наибольшего из возможных значений «сигнал – шум» [2]. Это условие достигается путем создания равномерного распределения магнитного поля в образце и снижения диссипативных потерь катушки. Эффективной альтернативой металлическим соленоидальным РЧ-катушкам являются цилиндрические резонаторы, сделанные из керамики с высокой относительной диэлектрической проницаемостью (≥ 100) и работающие на одной из ТЕ-поляризованных

собственных мод, формирующих однородное распределение магнитного поля внутри резонатора. Распределения электрического и магнитного полей на данной моде показаны на рис. 1. Такие керамические резонаторы имеют высокую добротность, а значит, низкий уровень внутренних потерь. Они удобны в использовании, потому что их резонансные частоты для заданных размеров тем ниже, чем выше значение диэлектрической проницаемости. На рабочих частотах сверхвысокопольных томографов (около 400–700 МГц) их размеры могут составить до нескольких сантиметров [3, 4].

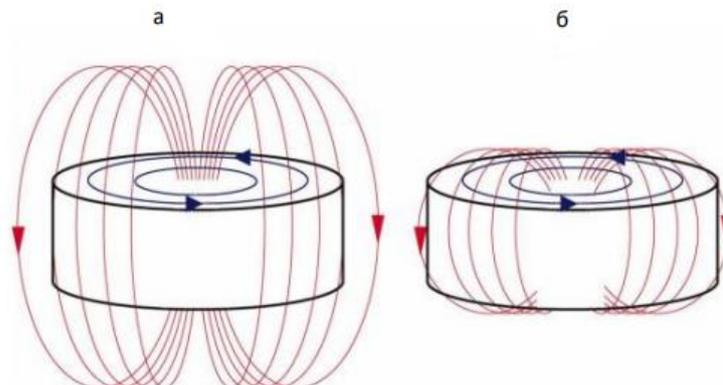


Рис. 1. Схематическое изображение электрического (синие линии) и магнитного (красные линии) полей в случае возбуждения низшей TE-моды в цилиндрическом диэлектрическом резонаторе (ДР): а – случай ДР с низкой относительной диэлектрической проницаемостью, в котором эванесцентные поля выходят за пределы резонатора; б – диэлектрическая проницаемость значительно выше, и поле практически полностью находится внутри резонатора

В свободном пространстве резонатор работает на собственных модах, определяемых его геометрическими размерами. Нами была предложена модель РЧ-катушки, состоящая из двух одинаковых диэлектрических цилиндрических резонаторов. Если резонаторы находятся на близком расстоянии друг от друга, то первый начинает влиять на второй таким образом, что в системе связанных резонаторов возникают две моды Н: симметричная и антисимметричная. Их резонансные частоты зависят от расстояния между резонаторами. Данный эффект позволяет плавно настроить резонансную частоту системы на ларморову частоту. С помощью этого эффекта будет оптимизирована и изучена керамическая катушка для МР-микроскопии при постоянном поле 17 Тл.

Для создания резонатора был использован керамический материал с относительной диэлектрической проницаемостью 520 и тангенсом угла потерь 0,001 [5]. Система из двух резонаторов в корпусе томографа была смоделирована в специализированном пакете *CST Microwave Studio*. Были подобраны размеры резонаторов, при которых резонансная частота системы оказывается близкой к 723 МГц (ларморова частота прецессии атомов водорода в магнитном поле напряженностью 17 Тл). Высота резонатора равна 10 мм, внешний диаметр – 9 мм, а внутренний – 5,6 мм (подбирались типовые размеры цилиндров, выпускаемые на производстве). Внутри полости помещена пластиковая трубка диаметром 2 мм, заполненная водой, в центре которой должен находиться исследуемый биологический образец. Керамика является очень твердым и прочным материалом, поэтому менять размеры резонаторов невозможно, и нужно в эксперименте использовать альтернативный способ их настройки. Резонансная частота катушки зависит от расстояния между резонаторами, и, изменяя его, катушку можно настроить. Приведенные результаты численного моделирования процесса настройки впоследствии были подтверждены экспериментом. Модель исследуемой керамической катушки представлена на рис. 2.

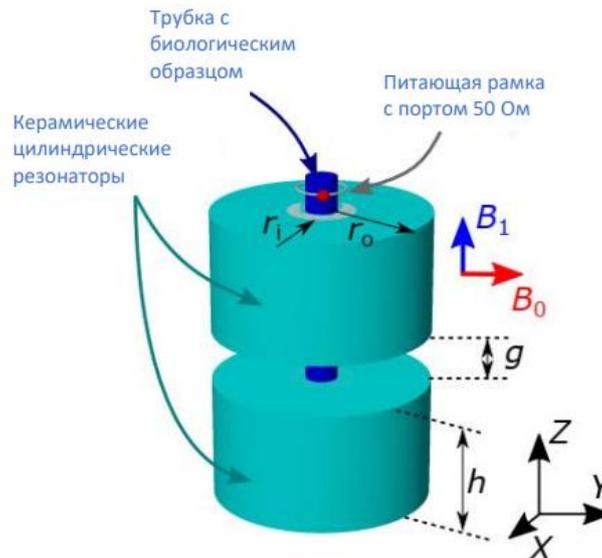


Рис. 2. Схематическое изображение устройства РЧ-катушки, состоящей из двух керамических цилиндрических резонаторов. Настройка на рабочую частоту происходит путем изменения расстояния g между цилиндрами

Результаты работы

- Аналитически было найдено расстояние, при котором резонансная частота катушки равна 723 МГц. Оно оказалось равным 4,26 мм.
- Получена зависимость резонансной частоты катушки от расстояния между двумя резонаторами. График этой зависимости приведен на рис. 3.

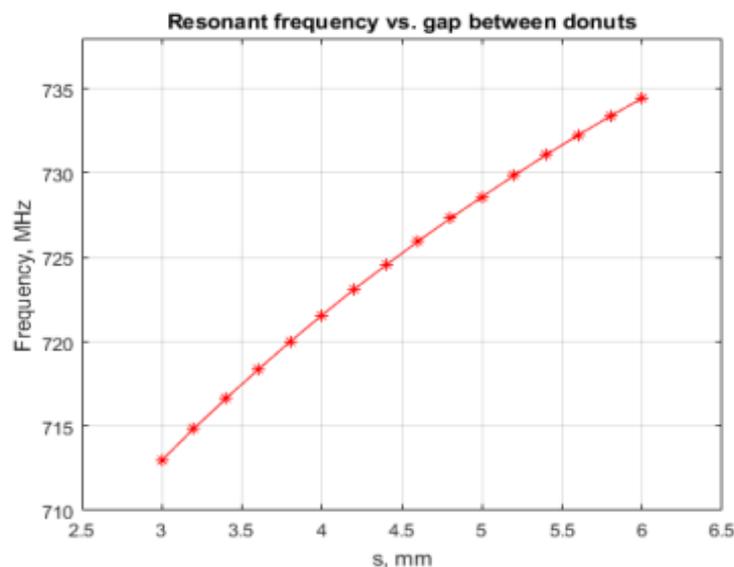


Рис. 3. Зависимость резонансной частоты катушки, состоящей из двух керамических резонаторов, от расстояния между ними. Частоте прецессии ядер атомов водорода в магнитном поле 17 Тл (723 МГц) соответствует расстояние 4,2 мм

- Получены распределения электрического и магнитного полей на резонансной частоте в керамической и соленоидальной катушках (рис. 4).

Из рисунков видно, что для керамической катушки магнитное поле в 1,4 раз больше, чем для соленоидальной, но при этом электрическое поле меньше в три раза, благодаря чему качество получаемых снимков увеличивается, а потери на нагревание биологического образца уменьшаются.

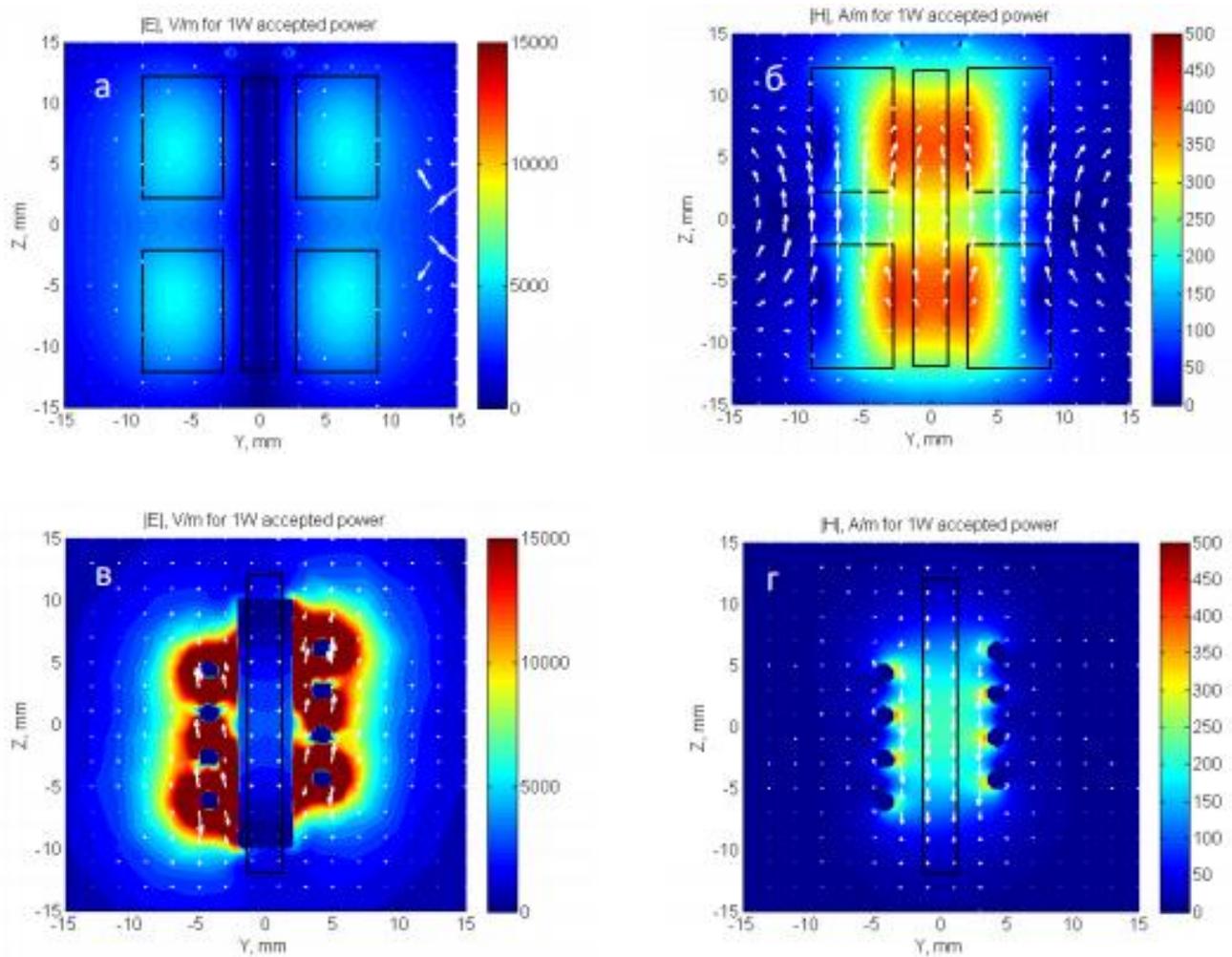


Рис. 4. Распределение полей: а – электрического, керамическая РЧ-катушка; б – магнитного, керамическая РЧ-катушка; в – электрического, соленоидальная РЧ-катушка; г – магнитного, соленоидальная РЧ-катушка

– Измерены в лаборатории с помощью векторного анализатора S-параметры керамической катушки. Схема эксперимента, а также результаты измерений представлены на рис. 5.

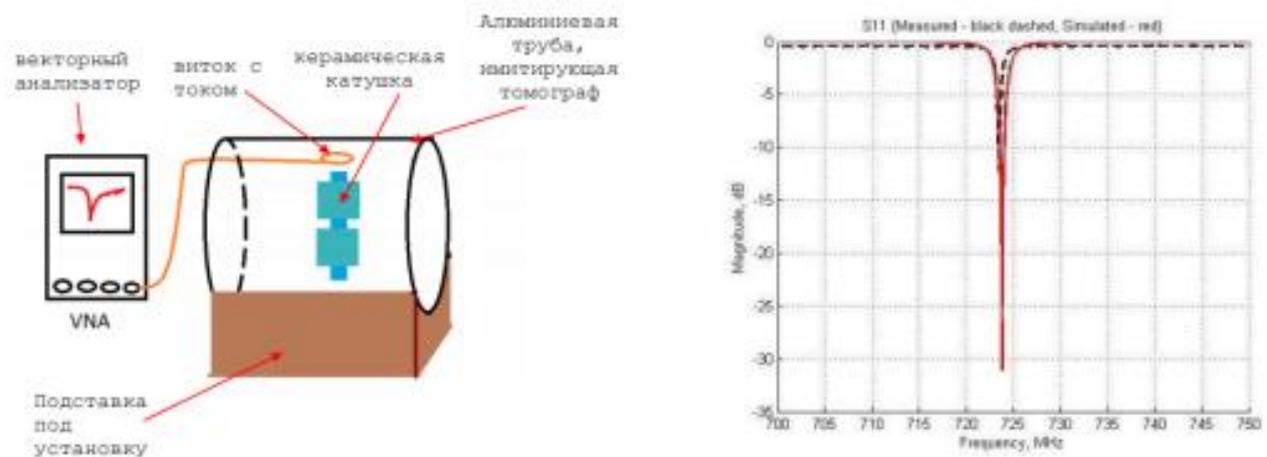


Рис. 5. Схема эксперимента, результаты моделирования в CST MWS и эксперимента. Настройка на рабочую частоту 723 МГц и согласование импеданса на 50 Ом были достигнуты и в моделировании, и в эксперименте

Публикации

1. *Kurdjumov S.A. et al.* A mechanically tunable and efficient ceramic probe for MR-microscopy at 17 Tesla // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1874. P. 030011.
2. *Kurdjumov S.A. et al.* Positron annihilation spectroscopy studies of bronze exposed to sandblasting at different pressure // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 929. No 1. P. 012029.

Литература

1. *Radecki G. et al.* Functional magnetic resonance microscopy at single-cell resolution in *Aplysia californica* // PNAS. 2014. Vol. 111. No 23. P. 8667–8672.
2. *Ocali O., Atalar E.* Ultimate intrinsic signal-to-noise ratio in MRI // Magnetic Resonance in Medicine. 1998. Vol. 39. No 3. P. 462–473.
3. *Haines K. et al.* High Q calcium titanate cylindrical dielectric resonators for magnetic resonance microimaging // Journal of Magnetic Resonance. 2009. Vol. 200. No 2. P. 349–353.
4. *Webb A.G.* Dielectric materials in magnetic resonance // Concepts in Magnetic Resonance. Part A. 2011. Vol. 38A. No 4. P. 148–184.
5. *Nenasheva E.A. et al.* Low loss microwave ferroelectric ceramics for high power tunable devices // Journal of the European Ceramic Society. 2010. Vol. 30. No 2. P. 395–400.



Куренкова Мария Александровна
Факультет систем управления и робототехники
E-mail: kurenkovamaria1998@gmail.com

РАЗРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ КРЕПЛЕНИЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

М.А. Куренкова

Научный руководитель – заведующий лабораторией К.Ю. Бодров

В проекте описаны этапы разработки деталей для крепления мехатронного модуля. Представлено несколько вариантов различных компонентов, оценены их достоинства и недостатки. Оптимальная конструкция мехатронного модуля учитывает все особенности входящих в нее компонентов. Полученное устройство станет основой для создания омниплатформы, а также может быть использовано в качестве стенда для проведения лабораторных работ.

Задачи проекта:

- рассмотреть различные варианты комплектующих мехатронного модуля;
- описать их достоинства и недостатки;
- выбрать компоненты, удовлетворяющие поставленным требованиям;
- разработать крепление омниколеса к мотору и общему корпусу;
- разработать крепление энкодера к мотору, драйвера и управляющей электроники – к общему корпусу.

При разработке какого-либо робототехнического устройства, относящегося к классу колесных роботов, самыми важными вопросами являются выбор силовой (мотор) и управляющей (микроконтроллер, микрокомпьютер, драйвер) электроники, а также

возможность обеспечения обратной связи. Далее следует стадия разработки крепления всех выбранных устройств между собой и к общему каркасу робота. Колесные роботы постоянно совершенствуются, а вместе с ними изменяются и их составные компоненты. Следовательно, должны разрабатываться новые, более надежные, функциональные и совершенные способы закрепления компонентов роботов.

Цель проекта – создание конструкции крепления для мехатронного модуля, состоящего из микрокомпьютера, микроконтроллера, шагового двигателя, драйвера, энкодера и омниколеса, которая сможет обеспечить защищенность компонентов от внешних воздействий и минимизировать риск их поломки, а также позволит расположить их компактно и обеспечить легкий доступ к каждому из них.

Обоснование выбора компонентов

В последнее время омниколеса стали распространенным решением для обеспечения подвижности мобильных роботов. Главным их преимуществом перед обычными колесами является то, что они могут обеспечить перемещение робота в любую сторону (на все 360° в плоскости), не меняя при этом ориентацию его самого [1]. Возможно также вращение робота вокруг своей оси, движение по кругу и по спирали. Достигается это регулированием скорости и направлением вращения каждого мотора. С точки зрения кинематики движения робота задача решается векторным сложением.

Омниколеса делятся на два основных типа:

- с роликами, расположенными под углом 90° по отношению к плоскости вращения колеса;

- с роликами, расположенными под углом 45° (колеса Илона).

У всех омниколес существуют серьезные недостатки.

Первый из них – высокая стоимость. Из-за нестандартной сложной конструкции стоимость изготовления омниколес значительно выше стоимости изготовления обычных, что не позволяет использовать их в малобюджетных разработках.

Второй – проскальзывание. Из-за пассивных роликов, расположенных по периметру колеса, при остановке мотора колесо останавливается не сразу, а будет ехать дальше по той же траектории. Так, в случае смещенного центра тяжести:

- при движении платформы ее положение можно компенсировать поправками к скоростям вращения моторов;

- при остановке платформа сменит свою траекторию в сторону смещения центра масс и продолжит движение по инерции [2].

Однако, несмотря на эти недостатки, области применения платформ на омниколесах постоянно расширяются, так как только они способны обеспечить колесным роботам большую маневренность, удобную для работы на складских помещениях, в лабораториях и труднодоступных местах.

По итогам изучения доступных конструкций омниколес были приняты следующие решения:

- омниплатформа должна быть четырехколесной;

- для ее разработки целесообразно использовать колеса Илона;

- из доступных в продаже выбраны омниколеса диаметром 127 мм с полиуретановыми роликами (для улучшения сцепления с поверхностью).

Двигатели – важнейший элемент колесных роботов. Именно они определяют, как будет двигаться разрабатываемое устройство: с какой скоростью, ускорением, какие грузы сможет перевозить [3]. В настоящее время выбор в основном стоит между бесколлекторными двигателями и шаговыми.

Несмотря на то, что шаговые двигатели имеют более скромные технические характеристики, простота их управления, низкая стоимость и высокая точность позиционирования стали решающими параметрами при их выборе на данном этапе

разработки. Существуют аналоги омниплатформ, в которых использованы бесколлекторные двигатели.

Для решения поставленной задачи был выбран двухфазный гибридный шаговый двигатель *AD-200-32*. Он имеет высокие точность позиционирования и надежность. Максимальный ток фазы – 2,8 А, а максимальный крутящий момент – 31 кг*см. К этому двигателю подобран драйвер *SMD-9.0*. Он предназначен для управления двух- и четырехфазными гибридными шаговыми двигателями с током фазы до 9 А и обеспечивает высокую точность, скорость и низкий уровень вибрации. Для улучшения помехоустойчивости и гибкости интерфейса в блоке используются дифференциальные входы. Интерфейс позволяет принимать однонаправленные управляющие сигналы от контроллера, а блок – дробить шаг до 1/16.

Для того чтобы контролировать работу системы, в мехатронном модуле необходимо обеспечить обратную связь. Для этого используется энкодер, который крепится к валу мотора [4]. В случае с роботом, на котором установлены омниколеса, энкодер не может с большой точностью определять пройденный роботом путь или просчитывать расстояние, которое необходимо ему проехать. Это связано в основном с проскальзыванием омниколес. После остановки двигателей с энкодера тоже не будет поступать никаких данных о перемещении платформы. Она же, в свою очередь, продолжит движение по инерции.

Однако при работе моторов энкодеры будут осуществлять свою функцию корректно, что позволит получить данные обратной связи, хоть они и будут не абсолютно точными. Эта информация позволит скорректировать работу моторов и, как следствие, добиться некоторой точности в позиционировании омниплатформы.

С учетом представленной информации был выбран инкрементальный энкодер *LIR-350*.

Для осуществления управления мехатронным модулем необходимо выбрать управляющую электронику. Наиболее простым решением является использование микроконтроллера *Arduino Due*, который будет заниматься обработкой данных обратной связи. Также целесообразно использовать микрокомпьютер *Raspberry Pi 3*, который позволяет управлять устройством удаленно, через интернет, так как имеет встроенный модуль *Wi-Fi*.

Команды от пользователя будут переданы на микрокомпьютер, оттуда на микроконтроллер и далее вниз по иерархии. Таким образом, получаем полностью управляемый автономный мехатронный модуль.

Следующей стадией после выбора всех необходимых компонентов является разработка крепления их между собой и к общему каркасу омниплатформы, который выполнен из алюминиевого конструкционного профиля серии 20. Сам процесс осуществляется поэтапно и подробно описан далее. На рис. 1 представлен чертеж полученного мехатронного модуля в разрезе с указанием всех составных частей.

Для крепления омниколеса 1 к мотору 2 был разработан вал 5 (рис. 2), который крепится одним концом к выходному валу мотора, а другим – к омниколесу.

Для того чтобы выдержать момент, передаваемый от мотора к колесу, и избежать пространственных колебаний, к валу предъявляются требования повышенной прочности. Для выполнения этих условий он был выполнен из стали 45.

С помощью двух подшипников вал соединяется с корпусной деталью 4 (рис. 3), которая обеспечивает крепление всей системы к каркасу омниплатформы. Деталь изготовлена из алюминия. С торцевой стороны предусмотрено отверстие, позволяющее беспрепятственно крепить вал 5 к выходному валу мотора 2.

Одним из основных условий при разработке корпусной детали было требование преодоления омниплатформой препятствий высотой в 1 см. Для этого решено крепить корпусную деталь 4 к каркасу мехатронного модуля сверху. С этой целью над корпусной деталью специально был проложен дополнительный алюминиевый профиль 7 серии 30, к которому она и крепилась.

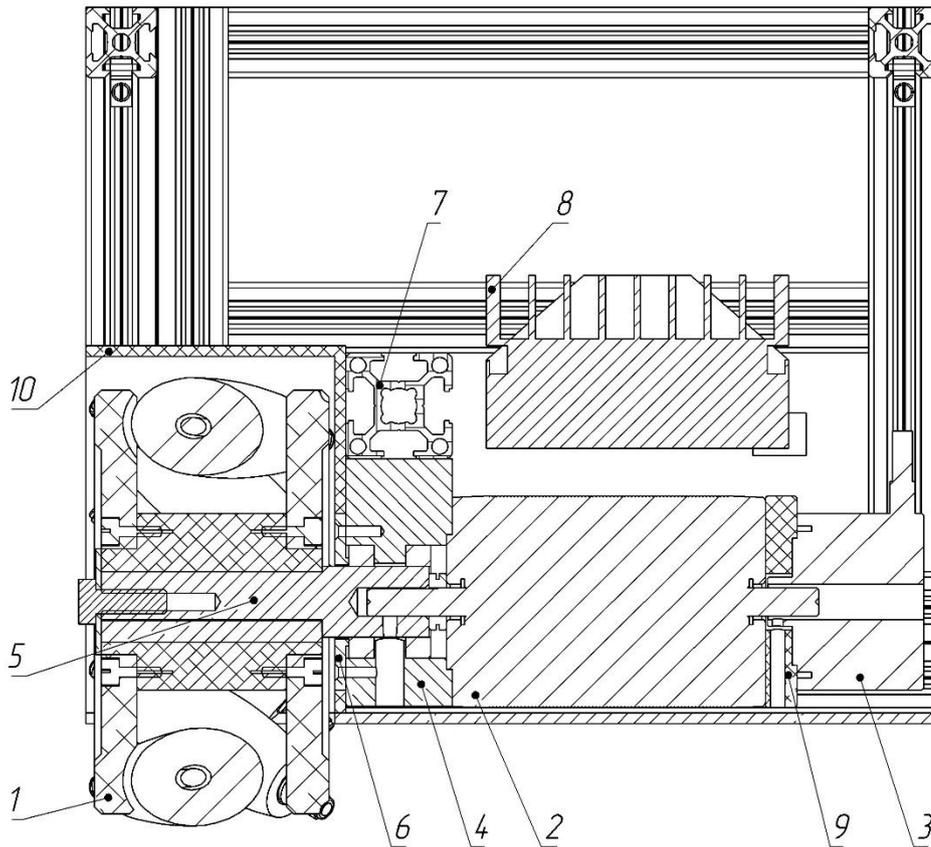


Рис. 1. Чертеж мехатронного модуля в разрезе

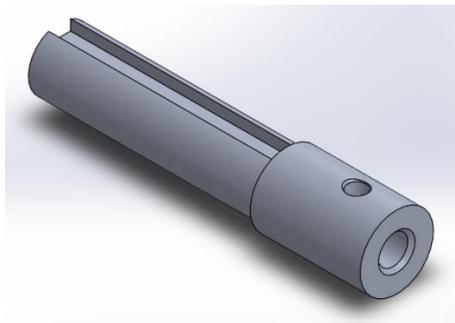


Рис. 2. Вал

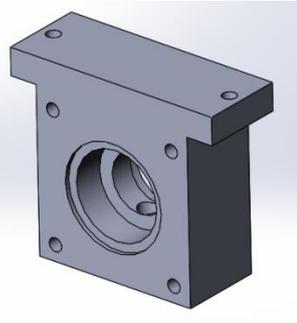


Рис. 3. Корпусная деталь

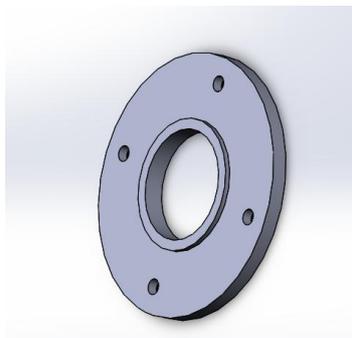


Рис. 2. Фланцевая крышка

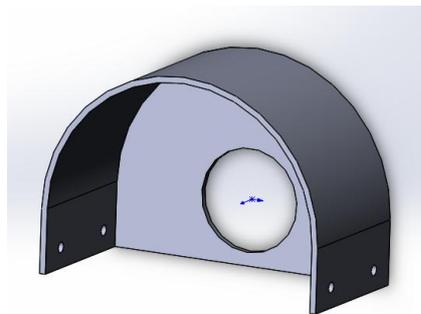


Рис. 3. Кожух омниколеса

Подшипники закрываются алюминиевой фланцевой крышкой 6 (рис. 4), которая крепится к корпусной детали 4.

Чтобы изолировать омниколеса от электронных компонентов и закрыть внутреннюю часть модуля, был разработан кожух 10 (рис. 5). Задней частью он надевается на фланцевую крышку 6. Выступающая полукруглая часть огибает омниколесо и по бокам крепится к профилю. Данная деталь изготовлена из ABS-пластика с использованием технологии 3D-печати.

Для завершения конструкции основной части модуля необходимо закрепить энкодер 3, для чего была разработана деталь 9, соединяющая его и мотор (рис. 6а).

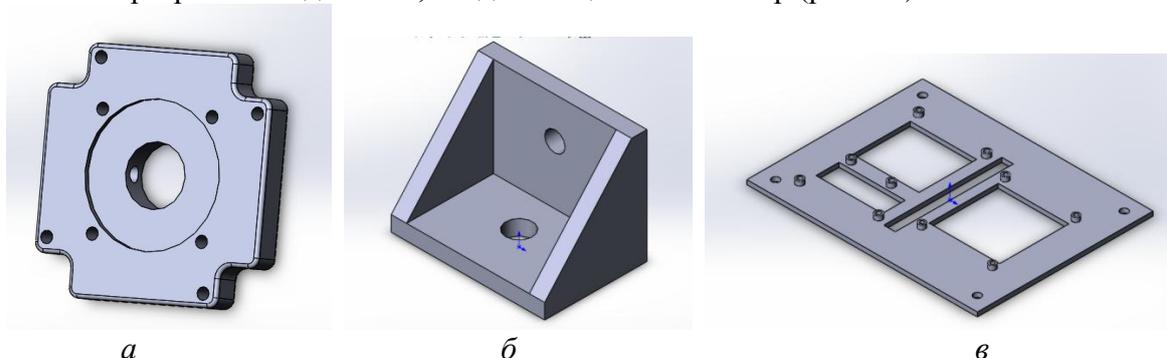


Рис. 4. а – вариант крепления для энкодера; б – вариант крепления для драйвера; в – плата

Размеры ее совпадают с размерами корпуса мотора 2, а ширина – с расстоянием между корпусами мотора и энкодера. На торцевой стороне находится отверстие для крепления полого вала энкодера 3 к валу мотора 2.

Для того чтобы не увеличивать корпус, драйвер 8 было решено закрепить поверх мотора. Для этого также были разработаны детали (рис. 6б), которые крепили драйвер к алюминиевому профилю за выступы на его корпусе.

Управляющую электронику было решено вынести за пределы модуля, чтобы обеспечить быстрое прототипирование и легкий доступ ко всем проводам. Для крепления была разработана плата (рис. 6в), в которой сделаны спейсеры, соответствующие отверстиям на *Arduino Due* и *Raspberry Pi 3*. Для того чтобы избежать перегрева, были предусмотрены отверстия, расположенные прямо под устройствами. Посередине между ними сделано продольное отверстие для проводов.

Все перечисленные в данном пункте детали изготовлены из ABS-пластика с использованием технологии 3D-печати.

После выполнения работы получен полностью управляемый мехатронный модуль (рис. 7), который послужит основой для создания корпуса омниплатформы. Были учтены все конструкционные требования и особенности крепления при работе с различными компонентами.

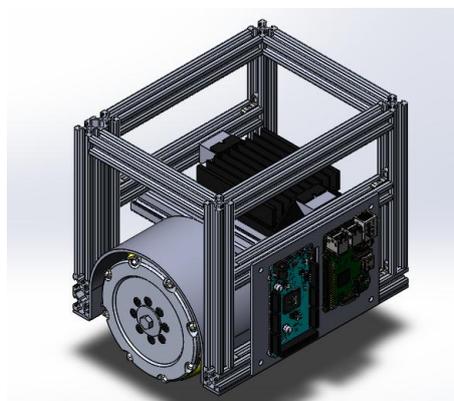


Рис. 5. Мехатронный модуль

В дальнейшем на его основе планируется провести исследования работы мотора. Например, можно оснастить модуль дополнительными датчиками температуры и отследить, как сильно нагреваются драйвер и двигатель при различных режимах работы. В перспективе такой модуль можно будет использовать не только по прямому назначению в робототехнических системах, но и создавать на его основе стенды для проведения лабораторных работ с возможностью их удаленного выполнения.

Публикации

1. *Kurenkova M.A., Zhang Z.* Algorithm for calculating the constancy parameter of the musculoskeletal system // Proceedings of the 17th International Symposium Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering, Doctoral School of Energy and Geotechnology. Kuressaare, 2018. P. 262–264.
2. *Куренкова М.А. и др.* Разработка пользовательского интерфейса и системы управления омниплатформой [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб, 2017. URL: http://openbooks.ifmo.ru/ru/collections_article/5438/razrabotka_polzovatelskogo_interfeysa_i_sistemy_upravleniya_omniplatformoy.html (дата обращения: 03.07.2018).

Литература

1. *Hamid T. et al.* Kinematic model of a four mecanum wheeled mobile robot // International Journal of Computer Applications. 2015. Vol. 113. No 3. P. 134–138.
2. *Kálmán V., Vajta L.* On modeling and control of omnidirectional: PhD thesis. Budapest, 2013. – 87 p.
3. *Вяльцев Г.Б.* Оценка выбора электродвигателей для привода колесных роботов малого размера // Научные итоги года: достижения, проекты, гипотезы. 2013. № 3. С. 108–114.
4. *Muir P., Neuman C.* Kinematic modeling for feedback control of an omnidirectional wheeled mobile robot // Proceedings of 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation. Raleigh, 1991. P. 1772–1778.



Мальчикова Надежда Сергеевна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
E-mail: nadya.malchikova@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ CRM-ТЕХНОЛОГИЙ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ

Н.С. Мальчикова

Научный руководитель – старший преподаватель Е.С. Гаврилюк

Исследование, проводимое в данной статье, посвящено решению проблемы выбора торговыми компаниями организационно-управленческих инноваций и ИТ-технологий для совершенствования взаимоотношений с клиентами. В работе раскрывается суть инновационных клиентоориентированных технологий с применением искусственного интеллекта (ИИ) как одной из форм организационно-управленческих инноваций.

На данном этапе развития экономической системы общества для сохранения конкурентных позиций на рынке и удержания целевой аудитории компаниям необходимо оперативно реагировать на изменения во внешней среде, в том числе за счет внедрения новых методов управления, то есть непрерывно реализовывать организационно-управленческие инновации (бизнес-процессы или инновационные управленческие технологии). К одной из форм организационно-управленческих инноваций относится применение в деятельности компании концепции *CRM (Customer Relationship Management)*, предусматривающей использование новаторских управленческих и *IT*-технологий для совершенствования взаимоотношений с клиентами, преимущественно в сфере торговли и оказания услуг.

Современный рынок *CRM*-технологий и услуг стремительно развивается. Одним из новых направлений стало развитие сегмента *IT*-технологий, основанных на использовании искусственного интеллекта *ИИ* в совершенствовании процесса продаж. Это стало возможно благодаря использованию больших массивов информации и низкой стоимости мощных облачных вычислителей. Данная технология существенно снижает издержки при внедрении и позволяет усовершенствовать бизнес-процессы компаний. Все это подтверждает актуальность данного исследования.

Цель проекта – выявление эффективной инновационной клиентоориентированной технологии для торговых компаний.

Поставленная цель предполагает необходимость решения ряда задач:

- изучение специфики клиентоориентированных технологий, функционирующих на основе алгоритмов искусственного интеллекта;
- проведение сравнительного анализа технологий и выбор оптимальной системы из существующих на рынке.

Термин «*CRM*» появился во второй половине 1990-х годов, позаимствовав многое из маркетинга взаимоотношений [1]. Исследования в данной области открыли путь к повышению качества обслуживания за счет более детальной концентрации на потребностях клиентов и позволили применять полученную информацию при разработке маркетинговой стратегии.

Система *CRM* – это бизнес-подход, ориентированный на достижение максимального притока прибыли в компанию и основанный, в том числе, на использовании *IT*-технологий в стратегическом маркетинге взаимоотношений. *CRM* в сочетании с новыми тенденциями рынка содействует компаниям в создании и поддержании выгодных длительных отношений с клиентами.

За последние три года *CRM*-системы стали *digital*-помощниками: они собирают, анализируют огромные объемы данных и предлагают компаниям варианты решений тех или иных проблем. *ИИ* находится еще на стадии развития, но разработчики программного обеспечения уверены, что эти инновационные технологии заменят традиционные *CRM*-системы и радикально изменят методы продаж и взаимодействия с клиентами. Поэтому сейчас, когда внедрение *CRM*-систем носит массовый характер, появление клиентоориентированных решений с *ИИ* позволит компаниям занять лидирующие позиции в определенных сегментах рынка.

Согласно статистическим данным, 44 % западных топ-менеджеров уверены, что *ИИ* может быть им полезен подбором релевантных для принятия решений данных [2]. Большие данные, пропущенные через алгоритмы *ИИ*, позволят отбирать потенциальных клиентов и разрабатывать стратегии развития бизнеса.

Клиентоориентированное решение с *ИИ* способно отвечать на вопросы пользователей круглосуточно, обращаясь к службе поддержки только в случаях возникновения задачи, которая не встречалась до этого. Получая текстовый или голосовой запрос из любого канала, технология самостоятельно обрабатывает его, определяет смысл и автоматически предоставляет ответ клиенту. Например, таким образом работает технология *ABBYY Compeno*, подключающая нужного специалиста только при возникновении сложного

запроса. При этом она предварительно классифицирует тему обращения и подготавливает возможный ответ.

По данным исследования консалтинговой компании *Accenture*, 83 % клиентов меняют поставщика услуг, если другая компания предлагает лучший уровень сервиса. Отдельные исследования показывают, что 84 % россиян не оставляют жалоб, а сразу уходят к конкурентам. [3] Количество отказов от услуг компании может существенно сократиться, если применить инновационные технологии, которые облегчат жизнь клиентов и сэкономят ресурсы компании.

Поскольку большинство крупных торговых компаний, периодически расширяясь, работают через социальные сети и иные интернет-ресурсы, им необходима CRM-система с ИИ, которая сможет наладить отсутствующее во многих компаниях предпродажное обслуживание клиентов, а также поможет проводить более глубокий анализ рынка. На текущий момент на рынке CRM-систем с ИИ существуют три: *OneBox Next*, *Salesforce Einstein*, *Microsoft Dynamics CRM*. Проанализируем их.

Украинская компания *WebProduction* разработала в 2016 году CRM-систему с ИИ – *OneBox Next*. Программа самостоятельно ведет переписку с клиентами и партнерами, принимает решения, генерирует и выполняет задачи от имени сотрудников компании и даже осуществляет поиск новых клиентов. При осуществлении процесса продаж нейросеть анализирует вопрос клиента и предыдущий опыт всех sales-менеджеров, а затем предлагает продавцам наиболее удачные варианты ответов, на основании которых состоялись сделки и была осуществлена оплата. Сотрудникам отдела продаж остается только выбрать вариант ответа и в случае необходимости скорректировать его. Иногда система, проанализировав статистику, предлагает совершить звонок, если считает, что он необходим. Звонок может быть как менеджеру, так и клиенту (прогноз звонков и писем от клиента виден в карточке контакта и заказа).

OneBox подсказывает, кому лучше всего поручить выполнение задачи, сколько времени это займет у конкретного сотрудника и к какому результату приведет. То есть можно предсказать состояние продажи и сколько времени займет сделка [4]. *OneBox Next* связывает всех работников предприятия в единый слаженный организм. К тому же система обучается на предыдущем опыте и становится с каждым разом наиболее эффективной.

В версии 2017 года система самостоятельно выбирает клиентов из базы холодных контактов, ведет с ними переписку (предлагает товары/услуги, отвечает на вопросы), принимает решения, генерирует и решает задачи от имени сотрудников компании.

В 2016 году *Salesforce* представила своего ИИ-персонажа – Эйнштейна, который станет персональным помощником руководителей и сотрудников, занятых в продажах и поддержке клиентов. Например, программа подсказывает продавцу, какой следующий шаг предпринять в той или иной сделке, или подготавливает ответ клиенту для сотрудника службы поддержки, или прогнозирует объем продаж в следующем месяце для руководителя. Сервис-инженер может использовать *Salesforce Sales Cloud* и *Einstein*, чтобы определить, действительно ли покупатель, которому вы предлагаете продукт, имеет покупательную способность. *Einstein* проверит сообщения электронной переписки с вашим клиентом и отметит фразы вроде «Спросите моего начальника» или «Вам лучше обратиться к руководству». Таким образом, вы заранее сможете узнать, не тратите ли вы свое время впустую. Если *Einstein* встретит эти фразы, он предупредит вас о том, что вы разговариваете совсем не с тем, кто принимает решения.

Маркетологи смогут использовать функции *Einstein* для автоматического создания сегментов кампании на основе данных о предыдущих взаимодействиях. *Einstein* может предсказать, откроет ли клиент сообщение или перейдет по ссылке в нем. Он сможет разбить вашу аудиторию на сегменты, чтобы отделить «магазинных зевак» от реальных покупателей. Кроме того, *Einstein* будет рекомендовать иного рода контент различным посетителям, чтобы те кликнули на ссылку и совершили покупку. Это общие случаи использования программы, связанные с упрощением стандартных задач любого инструмента CRM. Помимо этого,

Einstein поможет вам улучшить рабочий процесс, поскольку способен обрабатывать миллиарды точек данных, повторений и изображений.

Инструмент достаточно гибок и рационален, он позволяет программировать определенную автоматизацию и прогнозировать события за пределами стандартных случаев использования *CRM*. Система анализирует ваши действия, чтобы рекомендовать усовершенствованные рабочие процессы, которые характерны именно для вашей организации.

На данный момент *Microsoft Dynamics CRM* является одной из самых популярных *CRM*-систем с ИИ в России. В конце 2016 года вышла обновленная версия данной системы с элементами ИИ. Интегрированный в *Dynamics CRM 2016* сервис машинного обучения *Azure Machine Learning* позволяет составлять персонализированные рекомендации по товарам, повышать уровень продаж и эффективнее решать проблемы клиентов, а встроенный голосовой помощник *Cortana* дает возможность взаимодействовать с системой, как с живым человеком (на данный момент лишь на английском языке) [5].

Dynamics CRM 2016 необходима для получения полезных данных из огромных массивов информации, которые накапливаются у каждой компании. *Microsoft* строит открытую платформу для разработчиков, чтобы они создавали приложения с ИИ. Ключевыми примерами внедрения ИИ в собственные продукты *Microsoft* служат следующие сервисы: *Cortana* (персональный помощник), *Office 365* (инструменты для повышения производительности), *Dynamics CRM* (инструменты для автоматизации работы с клиентами и аналитики), *Skype* (боты и мгновенный перевод).

Dynamics CRM 2017 усовершенствовала интеграцию с *Office 365*, *Outlook* и добавила средства, позволяющие создавать мобильные приложения, основанные на задачах, которые предоставляют сотрудники, работающие «в полях», при взаимодействии с клиентами. Стоимость облачной версии системы составляет 5 700 рублей в месяц за сотрудника.

С целью выбора клиентоориентированного решения с ИИ для внедрения в торговые компании проведем их сравнение в Таблице.

В результате сравнительного анализа установлено, что технология *Salesforce Einstein* обладает большими функциональными возможностями, разработана под продажи на рынке *B2C* и легко подстраивается под любую сферу бизнеса. Достоинства данной системы позволяют многим торговым компаниям устранить распространенные проблемы, существующие в данном сегменте.

Чат-бот системы поможет в предпродажной работе с клиентами и определит степень вовлечения каждого потребителя через общение в социальных сетях. *Salesforce Einstein* создаст базу клиентов на основе данных с сайтов, электронной почты, календаря, а также позволит настроить персонализированную рекомендацию товаров для покупателей на интернет-страницах магазина в социальных сетях. Кроме того, данное программное обеспечение предоставит торговым компаниям аналитическую оценку продаж для более точного понимания факторов, влияющих на уровень продаж, и даст рекомендации по улучшению мерчендайзинга и планированию стратегий развития магазинов. Получив прогнозные отчеты, компании легко продадут что угодно и кому угодно. А среда интернета вещей создаст общую базу данных, что облегчит получение данных со всех устройств магазинов в любое удобное время.

Все эти преимущества системы *Salesforce Einstein* помогут торговым компаниям выйти на более высокий уровень продаж с увеличением оборота, а открытые *API*-системы предоставляют множество возможностей для разработки дополнительного функционала к системе.

Однако перед тем, как внедрять данную систему в торговую компанию, стоит более детально проанализировать все плюсы и минусы, а также оценить эффективность и учесть риски. Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, обладают высокой практической значимостью, поэтому могут быть использованы в деятельности любых торговых компаний.

Таблица

Сравнительный анализ клиентоориентированных технологий с ИИ

Сравнительные характеристики	<i>Salesforce Einstein</i>	<i>Microsoft Dynamics CRM</i>	<i>OneBox Next</i>
Стоимость лицензии на облако руб./мес. за пользователя	4200	5700	4500
Модель <i>SaaS</i>	+	+	+
<i>B2C</i>	+	+	–
Роботизированная система продаж	+	+	+
Автоматизированная оценка потенциальных клиентов	+	+	+
Автоматизированный учет активности	+	+	+
Предсказание оттока клиентов	+	–	–
Предсказание изменения доходов	+	–	–
Анализ поведения покупателей в соответствии с их геолокацией	+	–	–
Чат-бот	+	+	+
Среда интернета вещей	+	–	–
Позволяет составлять персонализированные рекомендации по товарам	+	+	–
Прогнозирует объем складских запасов с использованием оценки спроса	+	–	–
Поиск и анализ информации из миллионов комбинаций данных, в течение нескольких минут	+	+	+
Позволяет создавать приложения, управляемые искусственным интеллектом	+	+	–

Литература

1. *Пейн Р.* Руководство по CRM / пер. с англ. С.В. Кривошеин. Минск, 2015. – 373 с.
2. Искусственный интеллект – продажи без продавцов [Электронный ресурс] // I am Smart and Marketing [Сайт]. URL: <http://smartandmarketing.com/искусственный-интеллект-продажи-бе/> (дата обращения: 04.06.2018).
3. Как искусственный интеллект меняет работу бизнеса с компаниями [Электронный ресурс] // Forbes [Сайт]. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/335039-allo-priemnaya-kak-iskusstvennyu-intellekt-menyat-rabotu-biznesa-s-klientami> (дата обращения: 04.06.2018).
4. OneBox Next [Электронный ресурс] // OneBox [Сайт]. URL: <https://crm-onebox.com/ru/crm-onebox-new-release-2017m1> (дата обращения: 04.06.2018).
5. Системы для работы с клиентами [Электронный ресурс] // CRM2Web [Сайт]. URL: http://www.crm2web.ru/tags/sistemy_dlja_raboty_s_klientami/ (дата обращения: 04.06.2018).



Масюков Максим Сергеевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
E-mail: msmasyukov@corp.ifmo.ru

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КИРАЛЬНОЙ МЕТАПОВЕРХНОСТИ

М.С. Масюков

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук А.В. Возианова

В работе при помощи численного моделирования было исследовано влияние геометрических параметров киральной метаповерхности на ее поляризационные свойства. При помощи метода лазерной гравировки были изготовлены прототипы метаповерхности и проведена оценка влияния неточности ее изготовления на ее спектральные свойства.

Начиная с 2000-х годов, терагерцовые (ТГц) волны, располагающиеся в диапазоне от 0,1 до 10 ТГц, представляют особый интерес для ученых благодаря их использованию в сфере биомедицины, систем защиты окружающей среды, коммуникациях и других [1].

Однако ТГц-излучение не было полноценно исследовано ввиду недостатка качественных источников, приемников и пассивных элементов, например поляризационных компонент, которые бы могли быть очень полезны в диагностике диабета и раковых заболеваний.

Метаматериалы – класс искусственно полученных композиционных материалов, свойства которых обусловлены не столько особенностями его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой [2]. Совокупность субволновых элементарных ячеек, или метаатомов, влияет на характеристики взаимодействующего с материалом излучения. В последние годы, благодаря прогрессу в разработке и изготовлении ТГц-метаматериалов различного применения, особое значение имеет достижение возможности управления поляризацией при прохождении электромагнитной волны через метаматериал. Более того, интерес ученых привлекают киральные метаматериалы, благодаря своим уникальным поляризационным свойствам.

Цель проекта – разработка преобразователя поляризации с управляемыми характеристиками на основе киральной метаповерхности в ТГц-диапазоне частот. В ходе исследования необходимо решить следующие задачи:

- провести численное моделирование киральных метаповерхностей с различными формой, шириной и положением резонатора в элементарной ячейке в частотном диапазоне 0,1–0,8 ТГц;
- выполнить расчет поляризационных характеристик для каждой метаповерхности по результатам моделирования;
- провести анализ влияния формы, ширины и положения резонатора на рабочую частоту и поляризационные характеристики метаповерхности;
- изготовить прототипы метаповерхности для исследования их спектральных свойств во временной области при помощи импульсной ТГц-спектроскопии;
- сравнить экспериментальные результаты исследования метаповерхности с численным моделированием;
- предложить механизмы имитации изменения геометрии кирального элемента метаповерхности для возможности управления поляризационными характеристиками излучения.

Ввиду того, что изучение киральных метаматериалов для управления характеристиками электромагнитного излучения очень актуально, разработаны различные киральные элементы-резонаторы [3]: гаммадионы, пересеченные кресты, спирали, знак «Тайчи» и другие. Среди этого множества в качестве резонатора был выбран гаммадион с симметрией четвертого порядка и лепестками в виде полуколец (рис. 1). Выбор такой структуры обосновывается относительной простотой ее изготовления, а также тем, что поляризационные свойства метаповерхности с такой элементарной ячейкой в ТГц-диапазоне частот не исследовались.

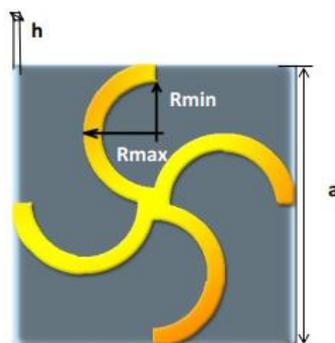


Рис. 1. Схематическое изображение элементарной ячейки исследуемой метаповерхности

Поляризационные характеристики метаповерхности зависят от геометрических параметров ее резонаторов [4]. Для работы в диапазоне 0,1–1 ТГц были выбраны следующие размеры метаповерхности:

- внешний радиус лепестка $R_{max} = 150$ мкм. Он согласуется с размером $a = 600$ мкм стороны элементарной ячейки для возможности поворота резонатора вокруг центра ее симметрии в плоскости подложки;
- чтобы избежать потерь, возникающих при переотражении электромагнитных волн, выбрана толщина подложки $h = 65$ мкм;
- материал подложки – пластик *PET* ($\epsilon = 3,5$);
- киральный резонатор изготовлен из алюминия, что связано с доступностью образцов из напыленного на *PET*-слой алюминия, из которых можно изготовить метаповерхность.

Ширина лепестка резонатора определяется как разность между внешним и внутренним радиусами лепестков R_{max} и R_{min} . Анализировалось влияние ширины лепестка w на поляризационные характеристики метаповерхности. Величина минимальной ширины лепестка была равна $w = 2,5$ мкм, максимальная $w = 150$ мкм, то есть ширина лепестка изменяется с шагом 2,5 мкм до того момента, когда окружность с радиусом R_{min} преобразуется в точку (рис. 2).

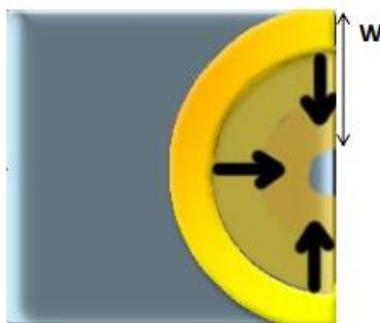


Рис. 2. Изменение ширины лепестка резонатора

В связи с тем, что киральность определяется геометрическими свойствами объекта, также было решено исследовать влияние отношения полуосей эллипса, образующих лепестки метаповерхности, где a – полуось вдоль оси «х», b – полуось вдоль оси «у». В базовой структуре указанное соотношение составляет $b/a = 1:1$, так как в этом случае

форма лепестков имеет вид полуокружности. В работе исследуются соотношения $b/a = 2:1$ и $b/a = 1:2$. В одном случае (отношение 2:1) лепесток полностью опирается на все четыре грани четверти элементарной ячейки (наблюдается эффект «растягивания эллипса»), а в другом – (отношение 1:2) наблюдается обратный эффект «стягивания» лепестка до формы креста.

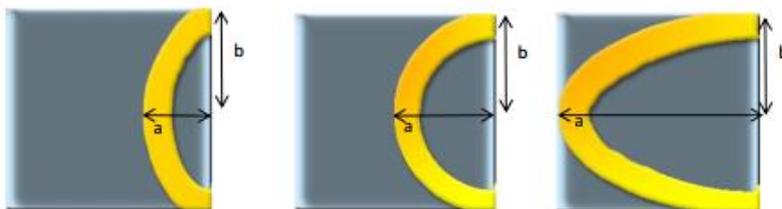


Рис. 3. Изменение отношения полуосей эллипса: $a - b/a = 2:1$; $b - b/a = 1:1$; $v - b/a = 0,5$

Исследовано влияние поворота кирального лепестка вокруг собственной оси в плоскости метаповерхности на 15° , 30° и 45° . Большие углы поворота не рассматриваются, так как структура симметрична и результаты моделирования будут либо повторять предыдущие, либо накладываться на исходную структуру. Схематическое изображение поворота кирального элемента изображено на рис. 4.

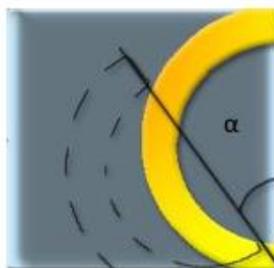


Рис. 4. Поворот гаммадиона вокруг собственной оси вращения

Численное моделирование структуры проводилось в пакете *CST Microwave Studio*. Из спектральных характеристик пропускания был рассчитан угол эллиптичности η для каждой метаповерхности, характеризующий эллипс поляризации пройденного через метаповерхность излучения. При $\eta = 45^\circ$ получаем циркулярную правозакрученную поляризацию, при $\eta = -45^\circ$ – циркулярную левозакрученную, при этом промежуточные результаты соответствуют эллиптической поляризации излучения. Результаты численного моделирования представлены на рис. 5.

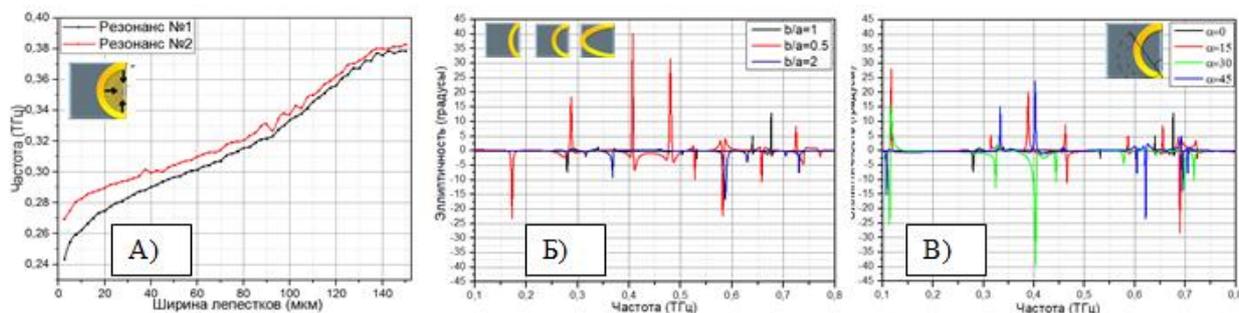


Рис. 5. Результаты численного моделирования метаповерхностей с различными параметрами: *а* – зависимость частоты резонанса от ширины лепестка; *б* – зависимость угла эллиптичности от отношения полуосей эллипса лепестков b/a ; *в* – зависимость угла эллиптичности от угла поворота кирального элемента α

Таким образом, по результатам моделирования было выяснено, что увеличение ширины лепестков резонатора влечет за собой смещение резонансных частот метаповерхности в область высоких частот (рис. 5а).

Доступным методом изготовления метаповерхности в ТГц-диапазоне частот оказался метод лазерной гравировки, который позволяет наносить изображения на поверхность материала путем воздействия лазерного излучения. Если мощность излучения высока, то происходит частичное расплавление и испарение материала в области воздействия пучка [5].

Для анализа спектральных характеристик метаповерхности использовался импульсный ТГц-спектрометр в пропускающем режиме. Его принципиальная схема изображена на рис. 6.

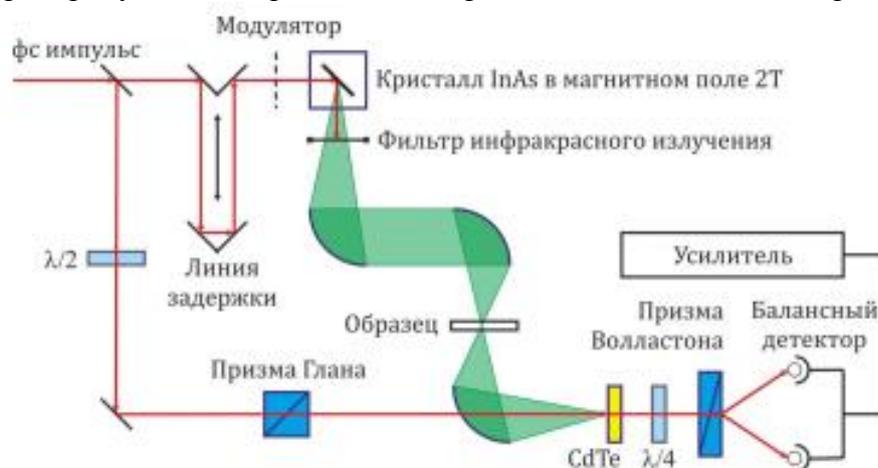


Рис. 6. Схема проведения экспериментального исследования спектральных характеристик метаповерхности

Для расчета спектральной зависимости пропускания использовалось Фурье-преобразование. Спектр пропускания метаповерхности представлен на рис. 7.

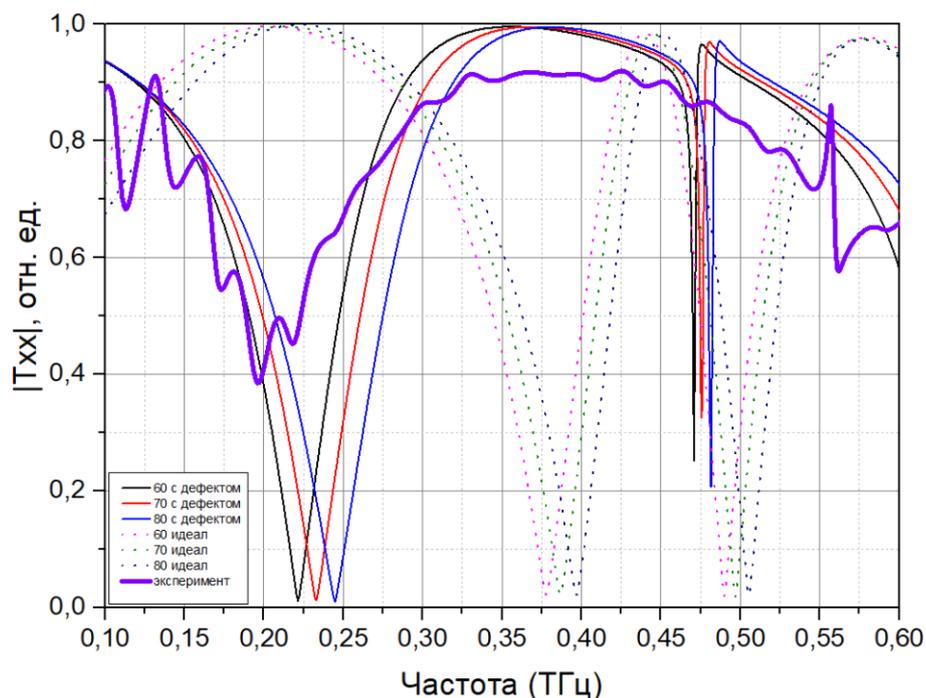


Рис. 7. Спектр излучения, пройденного через метаповерхность (фиолетовый цвет), полученный экспериментальным путем, и результаты численного моделирования пропускания излучения, прошедшего через структуры с дефектами, а также через структуру с «идеальной» формой

Как видно, частоты первых двух резонансов в экспериментальных данных крайне близки по значению к данным, полученным при помощи численного моделирования. Эффект усечения влияет на спектральные характеристики пропускания метаповерхности:

при усечении лепестков киральной метаповерхности происходит сдвиг резонансов область меньших частот. Изменения в ширине лепестков $\Delta w = \pm 10$ мкм ведет к погрешности в частоте резонанса, равной $\Delta \nu = \pm 0,03$ ТГц.

Созданные при помощи лазерной гравировки прототипы имеют значительные погрешности геометрической формы. Планируется изготовить киральные метаповерхности с помощью более точного метода, например химического травления. После этого предполагается экспериментально исследовать их поляризационные свойства, модернизировав установку импульсной ТГц-спектроскопии путем добавления двух волновых пластинок, преобразующих исходную поляризацию излучения в линейную. Это позволит оценить эллипс поляризации излучения, пройденного через метаповерхность.

Публикации

1. *Masyukov M.S. et al.* Simulation of polarizer based on chiral medium for terahertz frequency range // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol. 735. No 1. P. 012089.
2. *Masyukov M.S. et al.* Polarizing properties of chiral metasurface based on gammadion crosses with different geometry in THz frequency range // *Proceedings of SPIE*. 2017. Vol. 10343. P. 1034338.
3. *Masyukov M.S. et al.* Chiral characteristics of metasurface based on gammadion cross in THz frequency range // *Наносистемы: физика, химия, математика*. 2017. Т. 8. № 3. С. 339–341.

Литература

1. *Woolard D.L. et al.* Terahertz sensing technology. Vol. 2: Emerging scientific applications and novel device concepts. Singapore, 2003. – 428 p.
2. *Кившарь Ю.С., Орлов А.А.* Перестраиваемые и нелинейные метаматериалы // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2012. № 3 (79). С. 1–10.
3. *Philip E. et al.* Review on polarization selective terahertz metamaterials: from chiral metamaterials to stereometamaterials // *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. 2017. Vol. 38. No 9. P. 1047–1066.
4. *Masyukov M.S. et al.* Polarizing properties of chiral metasurface based on gammadion crosses with different geometry in THz frequency range // *Proceedings of SPIE*. 2017. Vol. 10343. P. 1034338.
5. *Антонов Д. Н. и др.* Окрашивание поверхности металлов под действием импульсного лазерного излучения // *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84. № 10. С. 83–86.



Мороз Мария Владимировна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
E-mail: morozmaria95@mail.ru

ПРИМЕР ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

М.В. Мороз

Научный руководитель – доцент Д.В. Соловьева

В статье изложено маркетинговое исследование рынка с целью наглядного представления методологии формирования стратегии позиционирования в инновационных образовательных проектах. Достижению поставленных задач способствует авторская модель формирования и управления стратегией позиционирования, а также метод формирования стратегии позиционирования в инновационных образовательных проектах.

Выполнено маркетинговое исследование рынка изучения немецкого языка, направленное на выявление его специфики с целью дополнения методологии формирования уникальной стратегии позиционирования для инновационных образовательных проектов новыми моделями, а также наглядного представления поэтапного исследования на примере школы немецкого языка «ДасПРОЕКТ».

Границы исследования – рынок изучения немецкого языка в Санкт-Петербурге.

Цель проекта – разработка методологии проведения исследования и создания уникальных стратегий позиционирования для инновационных образовательных проектов на рынке изучения немецкого языка и формирования соответствующих рекомендаций по реализации необходимого комплекса маркетинга.

Задачи проекта:

- маркетинговый анализ образовательных проектов на рынке Санкт-Петербурга;
- разработка оптимальных моделей для агрегации получаемой в ходе формирования стратегии позиционирования информации;
- апробация разработанной методологии, уникальной стратегии позиционирования и рекомендаций относительно комплекса маркетинга на примере школы немецкого языка «ДасПРОЕКТ».

Индикатор проблемы – низкая степень информированности потенциальной целевой аудитории о существовании и особенностях деятельности инновационных образовательных проектов на рынке.

Управленческая проблема – необходимость поиска возможных путей развития немецких инновационных образовательных проектов, а также выявление стратегических тонкостей, которые препятствуют их дальнейшему продвижению на рынке Санкт-Петербурга.

Исследовательская проблема – отсутствие достаточного количества информации относительно деятельности инновационных образовательных проектов, вызывающее неопределенность в отношении возможных вариантов поиска целевого рынка и построения стратегии позиционирования.

В процессе работы над статьей были применены следующие маркетинговые методы исследования:

- полевые и кабинетные;
- сбор информации: экспертный опрос (выборка неслучайная, квотированная; пять респондентов), традиционный анализ документов, глубинное интервью (выборка

неслучайная, квотированная; 15 респондентов), анкетирование (случайная, стратифицированная; родители – 205, взрослые – 188, участники разговорных клубов – 147, доверительная вероятность 85 %, доверительный интервал – 5 %), фокус-группы (неслучайная, квотированная; две по десять респондентов).

При подготовке проекта были использованы достоверные актуальные и релевантные поставленным задачам источники информации. В рамках кабинетного исследования использовались обзоры и анализ рынка, отраслевые сайты и порталы, отчетность и сайты конкурентов, интернет-СМИ, специализированные журналы. В рамках полевого исследования источниками информации выступили эксперты, компетентные в данной области, и потребители, предоставившие релевантные сведения о характере потребности и поведении в процессе принятия решения.

Сначала был проведен первичный обзор рынка, который позволил сформулировать гипотезы относительно его особенностей, затем укрупненно без учета специфики для конкретного инновационного образовательного проекта. Для подтверждения гипотез был выбран метод кабинетного анализа.

Гипотеза 1. Число изучающих немецкий язык сокращается.

По статистике, за последние пять лет количество изучающих немецкий язык сократилось на 24 % [1]. Об этом свидетельствует и то, что с 2003 года число преподавателей немецкого сократилось приблизительно на 57 % [2].

Гипотеза 2. Знание одного иностранного языка больше не актуально. Требуется владение как минимум двумя языками.

В качестве второго иностранного языка немецкий выбирается многими российскими школами, а для отдельных учебных заведений, например гимназий, это выбор номер один. Существует около 16 800 школ, в которых немецкий язык преподается как иностранный (из них в 1 405 школах он преподается как второй иностранный). По результатам кабинетного исследования, 174 333 школьников изучают немецкий как второй иностранный.

Гипотеза 3. Популяризация немецкого высшего образования и возможности переезда в Германию.

Согласно результатам количественного опроса, больше половины тех, кто учит немецкий, планирует использовать его на работе или продолжать образование в Германии. С 2014/2015 учебного года образование в Германии стало бесплатным, в том числе для иностранных студентов [3]. Современная система высшего образования Германии состоит примерно из 440 учебных заведений, 80 % из них – государственные. Сегодня в вузах страны обучается более 160 тысяч иностранцев, в том числе более 8 тысяч наших соотечественников [4]. Немаловажным фактором выбора в пользу получения высшего образования в Германии является то, что для иностранных студентов не проводятся вступительные экзамены. В 2015 году Германия впервые перешагнула отметку в 300 тысяч иностранных студентов. В отчете *Wissenschaft Weltoffen* Германской службы академических обменов DAAD говорится, что в страну приехали 301 350 человек.

Гипотеза 4. Рост спроса на коммерческие курсы немецкого языка.

Анализ статистики запросов на курсы немецкого языка в Санкт-Петербурге свидетельствует о росте спроса на них в 2016 году (в 2015 году был спад). В результате кабинетного исследования также было выявлено, что 2017 год – год немецкого языка в туризме и год российско-австрийского туризма. Однако турпоток в Германию из России в 2015 году сократился на 29 % и составил 677 тысяч человек. Об этом сообщила глава национального туристического офиса Германии в России Алла Беликова [5].

Рынок коммерческих курсов немецкого языка открыт для появления новых игроков, особенно инновационно ориентированных. Сокращение количества преподавателей и изучающих немецкий язык как раз и связано преимущественно с переориентацией бюджетных образовательных учреждений на другие иностранные языки (в частности, на английский).

Поскольку в нашем исследовании проект нацелен на получение прибыли, можно переходить к исследованиям в локальном формате (рынок изучения немецкого языка в Санкт-Петербурге).

Для проведения следующего этапа исследования был использован метод «Тайный покупатель». Было выбрано семь курсов немецкого языка: «ДасПРОЕКТ», Гете-Институт; *Deutsch Zentrum*; *Deutsch Effect*; *Deutsch Klub*; *DAZ*; *drb* (инновационный образовательный проект «ДасПРОЕКТ» и его шесть основных конкурентов), а тайным покупателем стал автор статьи, уровень немецкого языка которого соответствует международному уровню C1.2. (подтверждено международным сертификатом *TestDaF*). Ранее в рамках экспертного опроса (в качестве экспертов выступили генеральные директора и собственники проектов на рынке Санкт-Петербурга) были сгенерированы и отобраны критерии, наиболее важные для клиента, первоначально по отзывам на разнообразных сайтах в интернете (кабинетное исследование), а впоследствии и с помощью экспертов. В дальнейшем в соответствии с качеством предоставляемых услуг школам по каждому из критериев были проставлены оценки.

Для подтверждения полученной информации, а также для более глубокой проработки внутренней структуры проекта и его позиции на рынке была использована модель *SWOT*-анализа. Для определения значимости сильных и слабых сторон проекта применялся метод анкетирования и фокус-групп, а для выявления наиболее весомых возможностей и угроз были проведены экспертные интервью с собственниками и генеральными директорами крупных школ немецкого языка в Санкт-Петербурге, а также организаторами разговорных клубов.

Для школы немецкого языка «ДасПРОЕКТ» наиболее весомыми критериями стали: маленькие группы в сочетании с приемлемой ценой и представленность в социальных сетях; наиболее перспективным представляется привлечение учеников, изучающих немецкий язык как второй иностранный, а наибольшей угрозой – переход на более дешевое и удобное обучение в интернете. Ядром целевой аудитории для школы немецкого языка «ДасПРОЕКТ» является молодежь, на которую и будет преимущественно направлена стратегия позиционирования.

Для оценки действующей стратегии был использован метод «Воронка конкурентоспособности». В проведенном эксперименте приняли участие три представителя управления школы «ДасПРОЕКТ» и четыре педагога. На первом этапе им было предложено выписать все преимущества школы. Далее из них вычеркивались все, что есть у конкурентов. На третьем этапе было необходимо вычеркнуть все, что не нужно потребителю. То, что осталось, предполагалось развить и сделать уникальным товарным предложением (УТП).

Также был рассчитан чистый индекс промоутера, или чистый индекс поддержки. Он оказался равным 73 %, довольно высокий показатель, свидетельствующий о наличии на рынке большого количества положительной информации о школе. А это значит, что вероятность выбора этой компании потенциальным клиентом очень высока.

В процессе исследования было выявлено, что школа «ДасПРОЕКТ» для учеников – это место, где приятно не только учиться, но просто проводить время. Базируясь на этих данных, было принято решение изменить позиционирование школы, основанное на ее уникальных качествах, на новое – эмоциональное.

В качестве мероприятий по закреплению позиционирования и работы на лояльность была предложена особая стратегия, включающая совершенствование каналов коммуникации и корректировку коммуникационного сообщения. Была рекомендована следующая механика взаимодействия и инструменты коммуникации.

Точки контакта: личное общение, лидеры мнений, образовательные мероприятия, развитие партнерских отношений.

Инструменты онлайн-коммуникации: продвижение в социальных сетях, работа с онлайн-отзывами, создание посадочной страницы для продвижения конкретных курсов и мероприятий.

Конкретные решения: квесты на немецком языке для школьников и студентов, формат – приключение в городской среде; онлайн-эксперимент (участвует лидер мнений), в режиме онлайн рассказывает о своих успехах, предположительно учит язык с нуля, должна присутствовать реальная цель, например, подойти и познакомиться с девушкой или успешно пройти собеседование; бесплатные интенсивы для мам школьников, условие участия – отзыв о курсе; участие в форуме «Старшее поколение – 2017» для привлечения более зрелой аудитории; проведение интерактивных уроков с использованием *Google Maps* для студентов, школьников, взрослых групп; киноклуб для студентов, взрослых групп и старшего поколения.

Глобальные результаты: повышение известности бренда, привлечение новых клиентов, увеличение заполняемости аудиторий.

Локальные результаты: партнерство с Профкомом ИТМО, координационным центром «Горизонт», антикафе «Мансарда», тремя разговорными клубами Санкт-Петербурга; подбор лидеров мнений, общение по вопросам сотрудничества; рекомендации по контенту для социальных сетей; медиаплан; рекомендации по введению бота в *Telegram*.

Данное исследование, во-первых, обладает прикладной ценностью, поскольку разработанная стратегия позиционирования образовательного проекта на рынке Санкт-Петербурга и рекомендации по ее применению дали заметные результаты, а также прошли апробацию. Во-вторых, имеет научную ценность ввиду того, что в ходе выполнения проекта для построения уникальной стратегии позиционирования информации была использована новая комбинация аналитических инструментов.

Публикации

1. Баева Я.М., Мороз М.В. Анализ восприятия инновационного товара потребителями и формирование его позиционирования [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4843/4843.pdf> (дата обращения: 22.03.2019).
2. Мороз М.В. Исследование поведения потребителей инновационных образовательных проектов с целью формирования их стратегии позиционирования [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/4858/issledovanie_povedeniya_potrebiteley_innovacionnyh_obrazovatelnyh_proektov_s_celyu_formirovaniya_ih_strategii_pozicionirovaniya.htm (дата обращения: 02.10.2018).
3. Мороз М.В. Исследование представленности в Интернет операторов Санкт-петербургского рынка дошкольного англоязычного образования // Труды XX Международной объединенной конференции «Интернет и современное общество». СПб., 2017. С. 31–34.
4. Мороз М.В. Методология исследования рынка технологических инноваций в условиях цифровой экономики // Сборник научных трудов по итогам Международной научно-практической конференции «Архитектура финансов: новые решения в условиях цифровой экономики» / под ред. д-ра экон. наук, проф. Е.А. Горбашко. СПб., 2018. С. 64–66.
5. Мороз М.В. Перспективы развития комбинированных и онлайн-программ изучения иностранных языков // Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные проблемы менеджмента». СПб, 2018. С. 204–208.

Литература

1. Шенхаген А.Р. Наша задача – «разбудить» учителей немецкого [Электронный ресурс] // Онлайн-журнал Language Travel. URL: <http://www.language-travel.ru/01.01.01.08/729.aspx> (дата обращения: 05.06.2017).

2. Шибалов А. Для чего нужен немецкий язык? [Электронный ресурс] // Новости переводов Flarus. URL: <http://news.flarus.ru/?topic=5370> (дата обращения: 04.06.2017).
3. Высшее образование в Германии стало бесплатным, в том числе и для армян [Электронный ресурс] // Всеармянская сеть PanARMENIAN.Net. URL: <http://www.panarmenian.net/rus/news/183529/> (дата обращения: 02.06.2017).
4. Обучение в Германии [Электронный ресурс] // Учеба за рубежом [Сайт]. URL: <http://www.studyabroad.ru/guide/germany/> (дата обращения: 05.06.2017).
5. Турпоток из России в Германию сократился на треть [Электронный ресурс] // Интернет-газета Lenta.ru. URL: <https://lenta.ru/news/2016/04/18/germanytour/> (дата обращения: 05.06.2017).



Осадчая Татьяна Сергеевна
Факультет программной инженерии и компьютерной техники
E-mail: taniaosadchaya6@gmail.com

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ АТАК С ПРАВАМИ ПРИВИЛЕГИРОВАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Т.С. Осадчая

Научный руководитель – профессор А.Ю. Щеглов

Работа посвящена решению задачи защиты от атак с правами привилегированных пользователей. В процессе выполнения проекта был предложен принципиально новый общий подход к реализации защиты, состоящий в переносе решения задач защиты на конечные устройства. Он был реализован на практике с использованием комплексной системы защиты информации «Панцирь+» для ОС *Microsoft Windows*. Разработаны методы защиты от атак с правами привилегированных пользователей, сформулированы требования к построению механизмов для осуществления защиты, реализована разработанная ролевая модель контроля доступа привилегированных пользователей. Представлены примеры разграничительных политик доступа, определяющих выбор методов защиты.

Цель работы – повышение уровня безопасности обработки информации в корпоративных информационных системах. В рамках данной цели исследуемым направлением является защита от атак с правами привилегированных пользователей.

Основными задачами защиты от актуальных угроз, связанных с привилегированными пользователями, являются:

- исследование угроз, связанных с наличием привилегированных прав;
- исследование и анализ существующих средств контроля и управления действиями привилегированных пользователей, выявление их недостатков;
- разработка методов защиты от атак с правами привилегированных пользователей, обеспечивающих повышение уровня безопасности обработки информации в корпоративных информационных системах;
- разработка политик доступа, удовлетворяющих разработанным требованиям, с целью апробации реализуемости предложенных методов защиты и их практического использования.

Большинство атак на информационные системы в настоящее время предполагают взлом привилегированной учетной записи [1]. В то же время привилегированный пользователь является одним из самых опасных инсайдеров – внутренних пользователей [2].

Были исследованы и проанализированы существующие средства контроля и управления действиями привилегированных пользователей, такие как *PUM*- и *DLP*-системы. Решения по управлению привилегированными пользователями (*Privileged User Management, PUM*) реализуются внешними средствами и, в первую очередь, ориентированы на задачи контроля привилегированных пользователей. Описание основных задач, решаемых данными средствами, представлено в [3]. Однако задачу по усечению возможностей администрирования пользователей, имеющих повышенные привилегии, с их помощью в полной мере решить невозможно.

Для защиты от инсайдерских атак со стороны привилегированных пользователей используются системы защиты от утечек конфиденциальной информации (*Data Loss Prevention, DLP*). Описание основных задач, решаемых *DLP*-системами, представлено в [4]. В первую очередь они позволяют реализовать защиту от некорректных действий пользователей, однако применение данных систем связано с большой вероятностью ошибок первого и второго рода.

Разработанный подход к реализации защиты принципиально отличается от методов, с помощью которых осуществляется анализ действий привилегированных пользователей на специально выделенном компьютере и которые используются только для решения задач контроля. Отличие состоит в том, что предлагаемый подход предполагает перенос средства защиты на конечный (защищаемый) объект для обеспечения полноценной защиты. Это позволит не только контролировать действия привилегированных пользователей, но и осуществлять защиту от атак путем реализации разграничительных политик.

Необходимо отметить, что реализация иерархии привилегированных пользователей является общим требованием к построению защиты. Разработан метод, заключающийся в том, что средством защиты реализуется три уровня иерархии привилегированных пользователей: начальник отдела информационной безопасности, администратор безопасности, остальные привилегированные пользователи. Это позволит контролировать и усекать возможности по администрированию пользователей, имеющих повышенные привилегии, реализуя соответствующую ролевую модель контроля доступа.

Данная иерархия должна быть обеспечена реализацией механизма самозащиты, который не позволяет привилегированными пользователями влияния на функционирование средства защиты любым способом. Кроме того, должна реализовываться эшелонированная (многоуровневая) защита, где каждый последующий уровень будет построен, исходя из предположения о возможном преодолении злоумышленником предыдущего уровня защиты. Первый уровень – злоумышленник не имеет прав привилегированного пользователя; второй уровень – злоумышленник получил права привилегированного пользователя, или сам привилегированный пользователь рассматривается в качестве инсайдера.

Разработанные методы защиты, реализующие сформулированные требования

Защита от несанкционированного получения и использования привилегированных прав злоумышленником. Реализация дополнительного механизма идентификации и аутентификации позволит осуществлять вход в систему только в том случае, если идентификатор безопасности соответствующего пользователя внесен и в базу ОС, и в собственную базу средства защиты, в которой хранятся пароли пользователей, не связанные с паролями ОС и не передающиеся по сети. Это защитит от несанкционированного заведения нового аккаунта пользователя в системе с последующим входом под его учетной записью, а также от осуществления несанкционированного входа в систему при компрометации пароля, создаваемого в ОС.

Поскольку, зная пароль привилегированного пользователя, злоумышленник может получить полный контроль над доменной инфраструктурой с возможностью осуществления

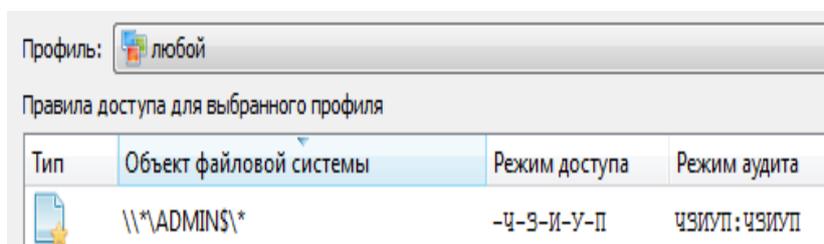
удаленного администрирования всех рабочих станций, важно пресечь эту возможность. Для этого необходимо организовать выделенное рабочее место доменного администратора, с которого будет разрешено администрирование остальных рабочих станций:

- установить разграничительную политику доступа к скрытым административным общим ресурсам (в частности, к общему ресурсу *ADMIN\$*, который позволяет с правами администратора получить удаленный доступ к корневому каталогу удаленной ОС) на всех компьютерах, кроме выбранного (рис. 1);

- запретить модификацию корневого каталога целевой машины, не являющейся выделенным рабочим местом администратора, локально для доменного пользователя «Администратор» (рис. 2);

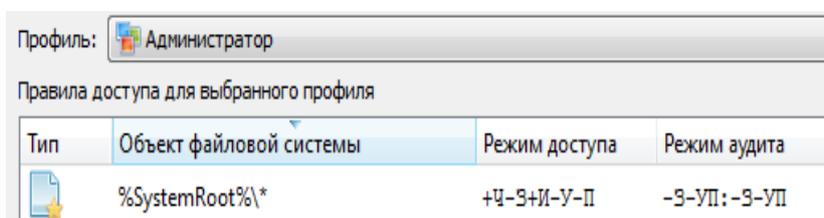
- при необходимости использовать механизм идентификации и аутентификации средства защиты для блокировки учетной записи доменного пользователя «Администратор» на целевой машине.

Примеры разграничительных политик, упоминаемые в данной работе, были созданы с использованием КСЗИ «Панцирь+» для ОС *Microsoft Windows*. Здесь и далее «←» – запрет на действие, «+» – разрешение на действие, «Ч» – чтение, «З» – запись, «И» – исполнение, «У» – удаление, «П» – переименование.



Тип	Объект файловой системы	Режим доступа	Режим аудита
	ADMIN\$	-Ч-З-И-У-П	ЧЗИУП:ЧЗИУП

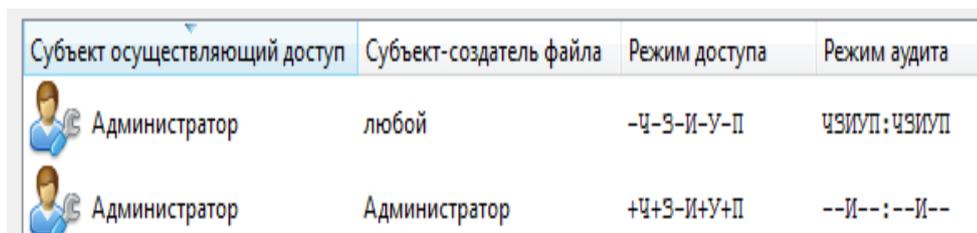
Рис. 1. Запрет доступа к административному общему ресурсу *ADMIN\$*



Тип	Объект файловой системы	Режим доступа	Режим аудита
	%SystemRoot%*	+Ч-З+И-У-П	-З-УП: -З-УП

Рис. 2. Правило доступа для доменного администратора

Защита обрабатываемых данных от привилегированных пользователей. В общем случае задача защиты данных от привилегированных пользователей заключается в том, чтобы они не имели доступа к файлам других пользователей. Данная задача решается введением разделительной политики доступа с использованием механизма контроля доступа к создаваемым файлам (рис. 3).



Субъект осуществляющий доступ	Субъект-создатель файла	Режим доступа	Режим аудита
Администратор	любой	-Ч-З-И-У-П	ЧЗИУП:ЧЗИУП
Администратор	Администратор	+Ч+З-И+У+П	--И--:--И--

Рис. 3. Разделительная политика доступа к создаваемым файлам

Защита от обхода привилегированными пользователями политик доступа. С целью осуществления несанкционированного доступа к обрабатываемым данным привилегированный пользователь может попытаться обойти существующие политики доступа. К основным способам обхода могут быть отнесены прямой доступ к дискам (доступ

напрямую к данным, расположенным на дисках, без соответствующего запроса доступа к файлу) и повышение привилегий до системных путем использования сервисов олицетворения или внедрения кода в системные процессы.

Следовательно, для защиты от обхода политик доступа привилегированными пользователями необходимо установить для них ограничения по прямому доступу к дискам, олицетворению с системой и внедрению кода в процессы.

Защита системных ресурсов от привилегированных пользователей и усечение их возможностей по администрированию системы и приложений с учетом выполняемых ими задач. При реализации ролевой модели контроля доступа привилегированным пользователям может разрешаться доступ только к определенным данным, причем с использованием только определенных процессов. Администрирование системы и приложений должно разрешаться привилегированным пользователям только с использованием предоставляемых для этой ОС средств администрирования, располагающихся в каталоге `%SystemRoot%\System32`. При этом содержимое данного каталога также должно модифицироваться только хранящимися в нем исполнимыми объектами (Табл. 1).

Таблица 1

Пример разграничительной политики доступа

Пользователь (процесс)	Объект	Права доступа
Администратор (<code>%SystemRoot%\System32*</code>)	<code>%SystemRoot%*</code> ; <code>%ProgramFiles%*</code> ; <code>%ProgramFiles(x86)*</code>	+Ч +З +И +У +П
Система (<code>%SystemRoot%*</code>)	<code>%SystemRoot%*</code> ; <code>%ProgramFiles%*</code> ; <code>%ProgramFiles(x86)*</code>	+Ч +З +И +У +П
Любой (Любой)	<code>%SystemRoot%*</code> ; <code>%ProgramFiles%*</code> ; <code>%ProgramFiles(x86)*</code>	-Ч -З -И -У -П

Разрешая привилегированному пользователю запуск только определенных исполнимых файлов и файлов динамических библиотек, можно предотвратить выполнение им определенных функций администрирования. Для усечения возможностей по администрированию привилегированных пользователей разработан пошаговый метод:

- выбор функции администрирования и определение динамической библиотеки или исполняемого файла, при помощи которого возможна работа с интерфейсом, связанным с выполнением рассматриваемой функции;

- обеспечение невозможности модификации выделенных на предыдущем шаге динамических библиотек или исполняемых файлов для любого субъекта доступа;

- обеспечение возможности осуществления записи только из выбранного интерфейса (то есть производить запись в защищаемый объект файловой системы или реестра должен только один конкретный процесс, всем остальным процессам запись в данный объект запрещена);

- разрешение или запрет запуска этой динамической библиотеки или исполняемого файла при создании разграничительной политики для привилегированного пользователя.

В качестве примера было рассмотрено разграничение возможностей по администрированию сервера виртуализации *Microsoft Hyper-V Windows Server 2012*.

Для предотвращения атак со стороны привилегированного пользователя гипервизора необходимо разграничить доступ к файлу образа виртуальной машины (`windows 7.vhdx`), файлам кэша виртуальной машины (хранящимся в каталоге виртуальной машины), а также к файлу настроек виртуальной машины (`1ED3A91.xml`). Доступ к данным объектам должен разрешаться только соответствующим субъектам доступа (Табл. 2).

Контроль действий привилегированных пользователей. Для контроля действий привилегированных пользователей необходимо настроить параметры аудита, задав объекты, доступ к которым будет регистрироваться в журналах.

Существуют следующие виды контроля действий:

- регистрация отказов доступа (в журналах аудита будут отображаться только выполненные пользователем действия, запрещенные ему разграничительной политикой);
- контроль разрешенных действий (в журналах аудита будут отображаться все выполненные пользователем действия).

Таблица 2

Пример разграничительной политики доступа

Пользователь (процесс)	Объект	Права доступа
NT VIRTUAL MACHINE\windows7 (%SystemRoot%\System32\vmwp.exe)	*\Users\Public\Documents\Hyper-V\Virtual hard disks\windows 7.vhdx %ProgramData%\Microsoft\Windows\Hyper-V\Virtual Machines\1ED3A91* %ProgramData%\Microsoft\Windows\Hyper-V\Virtual Machines\1ED3A91.xml	+Ч +3 –И +У –П +Ч +3 –И +У –П +Ч +3 –И +У –П
Система (%SystemRoot%\System32\vmms.exe)	*\Users\Public\Documents\Hyper-V\Virtual hard disks\windows 7.vhdx %ProgramData%\Microsoft\Windows\Hyper-V\Virtual Machines\1ED3A91.xml	+Ч –3 –И –У –П +Ч +3 –И +У –П
Система (System)	*\Users\Public\Documents\Hyper-V\Virtual hard disks\windows 7.vhdx	+Ч +3 –И +У –П
Любой (Любой)	*\Users\Public\Documents\Hyper-V\Virtual hard disks\windows 7.vhdx %ProgramData%\Microsoft\Windows\Hyper-V\Virtual Machines\1ED3A91* %ProgramData%\Microsoft\Windows\Hyper-V\Virtual Machines\1ED3A91.xml	–Ч –3 –И –У –П –Ч –3 +И –У –П –Ч –3 +И –У –П

Заключение

В процессе выполнения работы была решена задача повышения уровня безопасности обработки информации в корпоративных информационных системах благодаря защите от атак с правами привилегированных пользователей.

Разработан и применен на практике общий подход к реализации защиты, состоящий в переносе решения задач защиты на конечные устройства. Разработаны методы защиты от атак с правами привилегированных пользователей, сформулированы требования к построению механизмов защиты, а также представлена созданная ролевая модель контроля доступа привилегированных пользователей. Полученные результаты были апробированы при разработке комплексной системы защиты информации «Панцирь+» для ОС Microsoft Windows (сертификат ФСТЭК России № 3473).

Область возможного использования полученных результатов определяется областью применения облачных технологий и защищенных информационных систем, с помощью которых осуществляется обработка конфиденциальной и критически важной информации, а также при построении дата-центров.

Публикации

1. Осадчая Т.С. Подходы к реализации разграничения прав доступа к объектам // Сборник трудов VIII научно-практической конференции молодых ученых «Вычислительные системы и сети (Майоровские чтения)» / под ред. д. т. н., проф. Т.И. Алиева. СПб., 2017. С. 119–122.
2. Осадчая Т.С. Контроль действий и усечение возможностей привилегированных пользователей // Сборник трудов VI Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2017. С. 169–172.

3. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Разграничение прав и контроль действий привилегированных пользователей // Вопросы защиты информации. 2017. № 2 (117). С. 19–29.
4. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Возможности защиты от инсайдерских атак со стороны системного администратора // Вопросы защиты информации. 2018. № 1 (120). С. 20–27.
5. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Комплексное решение задачи защиты от атак с правами привилегированного пользователя // Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 2. С. 104–109.
6. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Реализация ролевой модели для защиты от инсайдерских атак // Вопросы защиты информации. 2018. № 2 (121). С. 18–24.
7. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Защита от атак на учетную запись привилегированного пользователя // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 10. С. 881–886.

Литература

1. *Брук К.* 88% сетей уязвимы к взлому привилегированных аккаунтов [Электронный ресурс] // Новостной сайт Threatpost. URL: <https://threatpost.ru/88-percent-of-networks-susceptible-to-privileged-account-hacks/13219/> (дата обращения: 20.10.2018).
2. *Беляева М., Синельников А.* Защита от инсайдеров – миф или реальность? // Журнал «Information Security / Информационная Безопасность». 2008. № 3. С. 34-35.
3. *Гридасов В.* Контроль привилегированных пользователей (PUM) – обзор мирового и российского рынка [Электронный ресурс] // Интернет-портал Anti-Malware.ru. URL: https://www.anti-malware.ru/reviews/privileged_user_management_market_russia_2016 (дата обращения: 20.10.2018).
4. Защита от утечек конфиденциальной информации (Data Loss Prevention – DLP) [Электронный ресурс] // Компания «Микротест» [Сайт]. URL: <http://security-microtest.ru/resheniya/application-content-security/data-loss-prevention-dlp/> (дата обращения: 20.10.2018).



Останин Степан Андреевич
Факультет прикладной оптики
E-mail: stepan.ostanin1995@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ПОЛИУРЕТАНОВ-ПОЛИМОЧЕВИН МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

С.А. Останин

Научный руководитель – профессор В.В. Зуев

Исследовано влияние химического состава, параметра растворимости сегментов и их длины на размер доменов, толщину межфазного слоя и степень фазового разделения в полиуретан-полимочевинах. Измерения проведены с помощью различных методик, таких как протонная спин-диффузионная твердотельная спектроскопия ядерного магнитного резонанса и спектроскопия ядерного магнитного резонанса с кросс-поляризацией, использующих определенные импульсные последовательности. Выяснено, что свойства

сегментированных полиуретан-полимочевин прямо зависят от степени разделения фаз между жесткими сегментами и подвижной матрицей.

Полиуретан (ПУ) – промышленно важный синтетический каучук, обладающий превосходной гибкостью, эластичностью и способностью амортизировать. В сочетании с высокоплавкостью и перестраиваемыми физическими свойствами этот термопластичный эластомер становится незаменим в производстве покрытий, клеев, пенопластов, биомиметических и других материалов в различных областях современных технологий [1].

ПУ – мульти-блок-сополимер, который составляют чередующиеся жесткие и подвижные сегменты (рис. 1). Жесткий сегмент (ЖС) состоит из диизоцианата и цепи фрагментов наполнителя. В качестве эластомерной матрицы – подвижного сегмента (ПС) – были использованы полибутадиен с концевыми гидроксильными группами и гибкие полиолы: полипропиленоксид (ППО) и полиэтиленгликоль (ПЭГ) – вещества, имеющие широкое применение в полимерной химии и являющиеся основой для различных термопластов реактопластов и связующих полимеров.

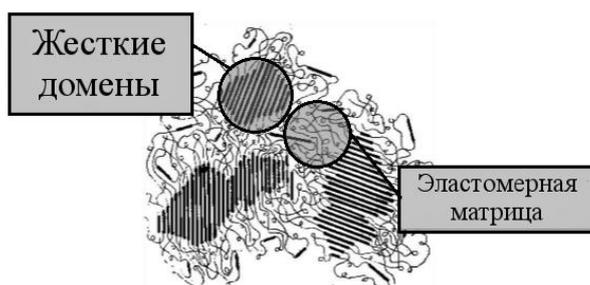


Рис. 1. Структура полиуретан-полимочевины

ЖС и ПС термодинамически несовместимы при низких температурах, что приводит к микрофазному разделению структуры ПУ [2]. Морфология является доминирующим фактором, определяющим механические и другие свойства ПУ. Однако применение его по-прежнему ограничено их малой жесткостью. Один из путей решения этой проблемы – синтез и исследование сегментированных полиуретанов-полимочевин (СПУМ), состоящих из отдельных блоков полиуретана и блоков полимочевин. Жесткие сегменты образуют жесткие домены, которые выступают в качестве эффективного армирующего наполнителя, а также служат физическим сшивателем сторон для эластомерной подвижной матрицы, обеспечивая тем самым стабильность полимера. Немалое влияние на динамику и свойства полимера оказывает размер интерфазы – граничной области между жесткими доменами и подвижной матрицей (рис. 2). В хорошо дисперсных системах благодаря большому количеству обособленных жестких доменов зона межфазного слоя может занимать большую часть полимера, и, таким образом, ее свойства становятся доминирующими во всем объеме.



Рис. 2. Жесткий домен с окружающей его интерфазой

Целью данного исследования была оценка влияния химического состава на размеры доменов и степень их фазового разделения методами твердотельного ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Для этого были поставлены следующие задачи:

- проверить наличие фазового разделения в ПУ-системах с различными полиолами;
- количественно определить размер жестких доменов и толщину межфазной области в этих системах;
- изучить зависимость размера жесткого домена и толщины межфазной области от объемной концентрации жестких сегментов;
- исследовать молекулярную подвижность в ПУ.

Изоцианат, использованный в работе, это олигомерный ароматический изоцианат на основе метилendifенилдиизоцианата (МДИ, *MDI Wannate PM-200*, предоставленный «*Yantai Wanhua*» (Китай). Одним из ключевых параметров конструкции является длина ЖС, которая была увеличена путем добавления в форполимер расчетного количества метиленис-(2-хлоранилина) (куамин М) из «*Ihara Chemical Ind.*» (Япония). *VORANOL 2000L* из «*Huntsman*» был использован как содержащий полипропиленоксид (ППО) мономер. СКД-ГТРА из «НИИ ВНИИСК» (Санкт-Петербург, Россия) – олигомер Бут, на концах которого содержатся гидроксильные группы. В качестве мономера, содержащего ПЭГ, был использован ПЭГ 2000, предоставленный «*LOBA Chemie*». Все образцы были изготовлены с использованием форполимерной техники с предварительным смешением МДИ и куамина и последующим введением в смесь полиолов (рис. 3).

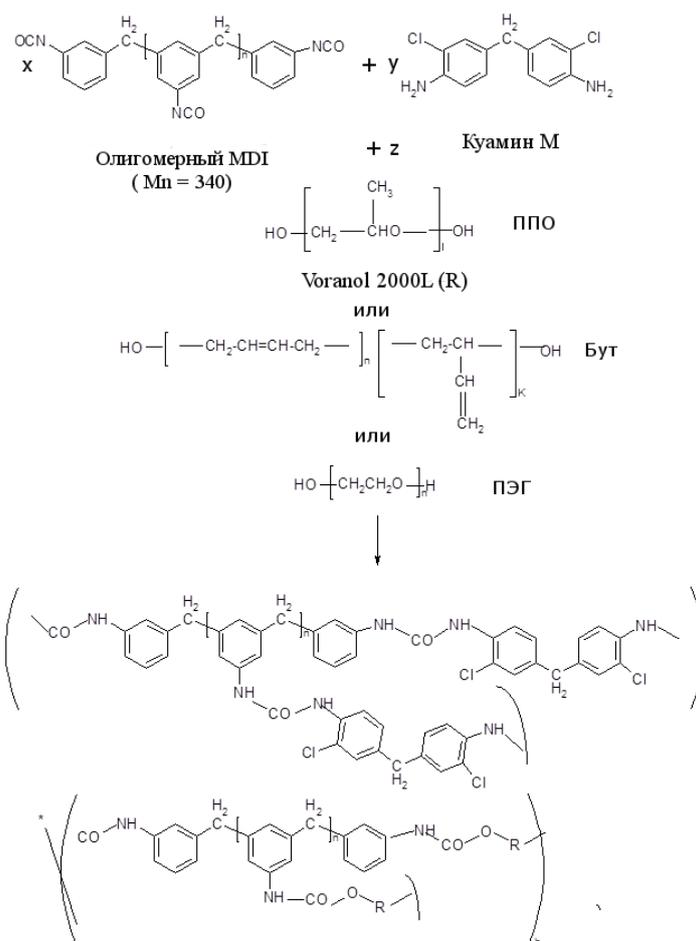


Рис. 3. Синтез СПУМ

Основываясь на различиях в молекулярной подвижности в разных фазах, протонный спин-диффузионный метод ЯМР широко применяется для исследования структуры микрофазы в твердых полимерах. В получении экспериментальных данных были задействованы такие последовательности импульсов и обработки полученных сигналов, как

дипольный (для определения толщины интерфазы) и двойной квантовый (для определения доли жестких доменов) фильтры. 1H Ханн-эхо ЯМР был использован для измерения поперечной релаксации намагниченности (T_2) ядер водорода в образцах. Данные поперечной релаксации могут применяться для получения протонного коэффициента спин-диффузии для подвижных полимеров по методике Меллингера [3].

В ходе выполнения работы было выяснено, что полиуретан-мочевины на основе полиэтиленгликолевых мягких блоков не образуют жестких доменов из-за отсутствия микрофазного расслоения. Размеры доменов жестких сегментов практически не показали зависимости от своего состава, однако было выявлено, что толщина интерфазы выше для систем с мягкими блоками на основе полибутадиена. Это означает, что степень разделения фаз сильно зависит не только от бинарного термодинамического взаимодействия между твердыми и мягкими сегментами в полиуретан-мочевинах, но и от их молекулярной архитектуры в экспериментальном диапазоне температур. Полученные данные приведены в Таблице.

Таблица

Полученные результаты и данные, использованные для расчета

Образцы	Степень фазового разделения	Коэффициент диффузии подвижной фазы, $\text{нм}^2/\text{мс}$	Коэффициент диффузии жесткой фазы, $\text{нм}^2/\text{мс}$	Размер интерфазы, нм	Размер полимерной матрицы, нм
1-ППО	0,82	0,19	0,24	0,28	9,5
2-ППО	0,84	0,30	0,24	0,27	8,3
3-ППО	0,85	0,30	0,23	0,24	7,1
1-Бут	0,68	0,30	0,13	0,37	8,1
2-Бут	0,73	0,31	0,21	0,42	9,1
3-Бут	0,74	0,31	0,21	0,47	9,4

Выполнено комплексное описание модели полиуретан-полимочевины. Методом форполимера были получены СПУМ с различной длиной и долей объема ЖС. Исследовалось влияние химического состава подвижной фазы на размер домена и толщину межфазной области в СПУМ с ПЭГ, ППО и полибутадиеновыми подвижными сегментами методами ^1H и ^{13}C твердотельного ЯМР. Микрофазное разделение СПУМ и значения $\lambda_{\text{СФР}}$ были также получены из ИК-спектров.

Выяснилось, что размеры жестких доменов в ПУ с полибутадиеновыми гибкими фрагментами растут с увеличением доли жестких сегментов. Та же зависимость существует и для размеров интерфазы. В ПУ с ППО-фрагментами такой четкой зависимости не наблюдается. Было установлено, что толщина интерфазы незначительно зависит от парных термодинамических взаимодействий между ЖС и блоками ПС, но сильно зависит от их химического состава.

Как предполагается, механические свойства СПУМ напрямую связаны со степенью разделения фаз между твердыми блоками и подвижной фазой, а высокая ее степень приводит к повышению склонности жестких доменов изолироваться в матрице ПС. Благодаря наличию большего количества жестких доменов СПУМ становятся тверже.

Таким образом, данная работа, направленная на исследование внутреннего строения и внутренних взаимодействий в полиуретан-полимочевинах, вносит немалый вклад в изучение фазово-разделенных систем. Понимание процесса формирования полимера, распределения по объему составляющих его частей, знание предрасположенности образовывать те или иные связи может быть использовано для дальнейшего развития полиуретановых составов и улучшения таких его свойств, как твердость, пластичность, стойкость к воздействию температур, что является необходимым для современного рынка полимерных покрытий и деталей.

Публикации

- 1 *Ostanin S.A. et al.* Microphase structure of polyurethane-polyurea copolymers as revealed by solid-state NMR: effect of molecular architecture // *Polymer*. 2018. Vol. 150. P. 72–83.
- 2 *Останин С.А. и др.* Исследование внутреннего строения полиуретанов-полимочевин методом спектроскопии ядерного магнитного резонанса // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2018. Т. 18. № 1 (113). С. 65–71.

Литература

- 1 *Chattopadhyay D.K., Raju K.V.S.N.* Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications // *Progress in Polymer Science*. 2007. Vol. 32. P. 352–418.
- 2 *Mishra A. et al.* From nanostructure to microstructure self-assembly of aliphatic polyurethanes: the effect on mechanical properties // *Journal of Physical Chemistry B*. 2010. Vol. 114. No 16. P. 5292–5300.
- 3 *Mellinger F. et al.* Calibration of ^1H NMR spin diffusion coefficients for mobile polymers through transverse relaxation measurements // *Macromolecules*. 1999. Vol. 32. No 14. P. 4686–4691.



Петряева Мария Александровна
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии
E-mail: petryaeva-95@mail.ru

ВЫДЕЛЕНИЕ ЛАКТОФЕРРИНА ИЗ МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ С ПОМОЩЬЮ АФФИННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

М.А. Петряева

Научный руководитель – профессор Л.А. Забодалова

Лактоферрин – полифункциональный белок из семейства трансферринов. Он содержится в различных секреторных жидкостях, таких как молоко, слюна, слезы, секреты носовых желез.

Основные биологические функции лактоферрина: иммуномодулирующая, противовоспалительная, антибактериальная, противовирусная, противогрибковая, дезоксирибонуклеазная и рибонуклеазная активности.

Благодаря широкому спектру биологических функций возможно применение данного белка в области лечения и профилактики различных заболеваний.

Питательные вещества, поступающие в организм с пищей, активно влияют на все обменные процессы, состояние иммунобиологической реактивности, функцию органов и систем организма. В условиях современного ритма жизни и режима питания повседневный рацион не способен адекватно обеспечить организм человека необходимыми пищевыми нутриентами, что подтверждают исследования рациона питания разных групп населения, проводимые на регулярной основе НИИ питания РАМН. Они указывают на несбалансированность и недостаточность по нутриентному составу питания как детей, так и взрослых [1].

Традиционно считается, что одним из важнейших и эффективных способов решения проблемы оптимизации питания является дополнительное употребление биологически

активных веществ в составе биологически активных добавок к пище или функциональных продуктов питания. Молоко содержит защитные компоненты, обеспечивающие поддержание гомеостаза в постнатальный период, когда собственный иммунитет сформирован еще недостаточно. В большей степени эту функцию выполняет комплекс биологически активных сывороточных белков: иммуноглобулинов, лактоферрина, лактопероксидазы, нуклеаз [2].

Многофункциональность лактоферрина перспективна для использования в качестве активной основы продуктов лечебно-профилактического назначения.

Цель проекта – получение лактоферрина из молочного сырья для обогащения пищевых продуктов.

Задачи:

– выделить из молочного сырья лактоферрин с помощью метода аффинной хроматографии;

– получить биологически активную форму.

В настоящее время потребность в лактоферрине во много раз превышает предложение. Кроме того, он находится в ряду дорогостоящих белков ввиду значительного внимания исследователей к исключительным свойствам этого лекарственного белка и имеющихся трудностей выделения его в чистом виде. В связи с этим достаточно актуальной проблемой является удешевление и увеличение его производства [3].

Анализ литературных данных показал, что современным и перспективным способом, позволяющим получать сывороточные белки молока в нативном состоянии, является хроматография. Для выделения лактоферрина преимущественно применяют ионообменную хроматографию и мембранную технологию [4].

Хроматография – метод разделения и определения веществ, основанный на распределении компонентов между двумя фазами – подвижной и неподвижной. Неподвижная фаза представляет собой твердое пористое вещество (сорбент), подвижная – жидкость или газ, протекающий через неподвижную фазу. Компоненты анализируемой смеси вместе с подвижной фазой передвигаются вдоль неподвижной. Неподвижную фазу помещают в трубку, называемую колонкой.

Аффинная хроматография – это метод разделения биологических молекул, который основан на особых взаимодействиях между белком и специфическим лигандом, связанным с матрицей (носителем). Ключевые этапы аффинного разделения представлены на рис. 1.

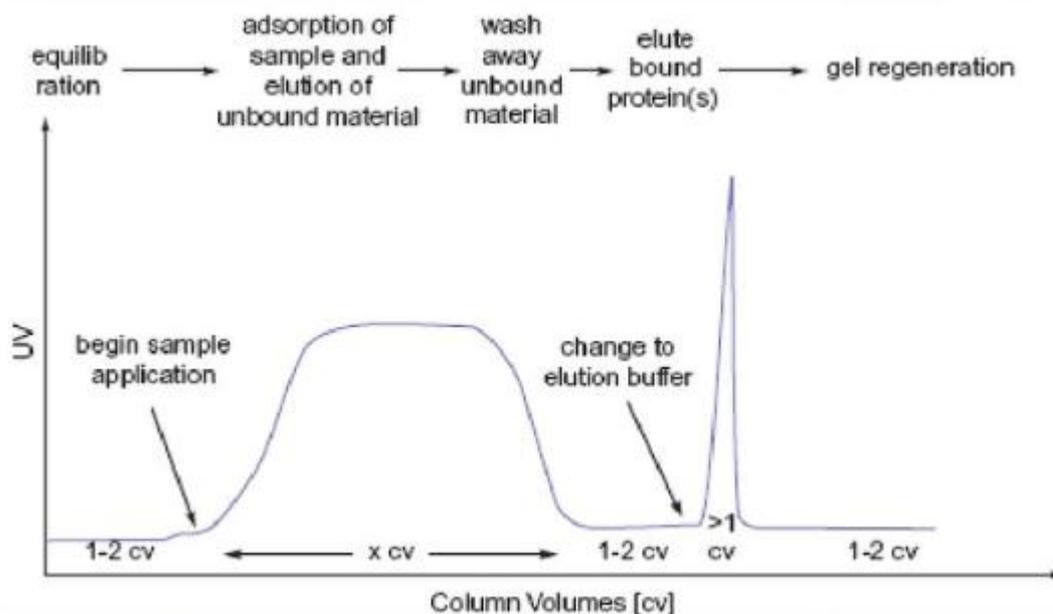


Рис. 1. Этапы аффинного разделения белков

Техника обладает высокой селективностью, и вещество очищается в несколько тысяч раз. Один шаг аффинной очистки дает экономию времени по сравнению с менее селективными многоступенчатыми процедурами [5].

В качестве образцов для исследований использовались молочные сыворотки из-под творога и сыра, полученные от молочных предприятий. Сначала был подобран и оптимизирован состав сорбента. Далее для оценки эффективности выделения проводилось концентрирование и определение рибонуклеазной активности белка, являющейся главным показателем предполагаемого его наличия в молочной сыворотке. Количество выделенного и сконцентрированного белка рассчитано через измеряемую спектрофотометрически оптическую плотность.

Литература

1. *Рытченкова О.В.* Выделение лактоферрина и лактопероксидазы из молочной сыворотки // Экология и промышленность России. 2011. № 10. С. 48–51.
2. *Гудок А.А.* Лактоферрин – перспективы использования и анализ имеющихся результатов // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 2. С. 135–144.
3. *Дейкин А.В.* Лактоферрин – перспективы использования в пищевой, фармацевтической и сельскохозяйственной промышленности // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. 2016. Т. 1. № 9. С. 421–424.
4. *Зобкова З.С.* Технология экстрагирования лактоферрина из сырого молока. М., 2009. С. 21–22.
5. *Шаповалова Е.Н.* Хроматографические методы анализа: методическое пособие для спец. курса. М., 2007. – 203 с.



Позднякова Виктория Владимировна
Факультет низкотемпературной энергетики
E-mail: viktoriya.17@mail.ru

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОТВЕДЕНИЯ ЛИВНЕВЫХ СТОКОВ НА ПРИМЕРЕ КАМПУСА БРЮССЕЛЬСКОГО СВОБОДНОГО УНИВЕРСИТЕТА И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

В.В. Позднякова

Научный руководитель – доцент О.А. Пинчук

В статье приведены основные моменты проектирования системы ливневой канализации в кампусе Брюссельского свободного университета (*Vrije Universiteit Brussel*), а также рассмотрены вопросы модернизации ливневой канализационной системы при расширении территории и постройки новых зданий. Приведены методы снижения ливневых стоков, рассмотрена возможность применения подобных методов в Санкт-Петербурге.

Основная функция канализационной системы состоит в том, чтобы передать ливневые стоки и/или сточные воды от определенной местности через сеть труб в водный объект.

Разработка систем ливневой канализации в Российской Федерации осуществляется в соответствии с нормативными документами. Однако в них не рассматриваются вопросы модернизации ливневых стоков с учетом экологического подхода. Санкт-Петербург переходит на новую стадию урбанизации. По данным Росстата, за последние два года плотность населения в Северной столице выросла на восемьдесят человек на квадратный километр.

Чтобы использовать имеющиеся системы канализации и расширять их, уменьшая при этом капитальные затраты, необходим экологический подход. Существует множество проблем, вызванных неправильным водоотведением, например затопляемость, некачественная вода и другие. В зависимости от демографических и климатических изменений система водоотведения должна периодически проверяться.

Цель работы – построение модели ливневой канализации с учетом строительства новых зданий в Брюссельском свободном университете с использованием новых устойчивых экологических методов и технологий.

В задачи входило:

- изучить и проанализировать современные технологии утилизации ливневых стоков и выбрать наиболее перспективные;
- построить модель интенсивности дождя;
- построить модель существующей ливневой канализации и провести анализ ее пригодности;
- включить в полученную модель здания, планирующиеся к постройке;
- найти оптимальный метод по снижению ливневых стоков.

Областью исследования является кампус *Etterbeek* Брюссельского свободного университета в столице Бельгии. Кампус находится в густонаселенном районе южной части города и занимает площадь около 17 га [1], из которых около 10 га (70 %) составляют в основном строительные или асфальтированные участки, а остальные 30 % – зеленые зоны, которые сокращаются из-за новых построек.

Канализационная система в кампусе Брюссельского свободного университета была разработана в 1970-х годах. Максимальный сток в систему канализации регулируется властями, имеет ограничения и составляет $0,115 \text{ м}^3/\text{с}$.

В рамках существующего кампуса система ливневой канализации работала достаточно хорошо и обеспечивала сток в пределах назначенного лимита. Однако в 2015 году было принято решение о расширении кампуса и строительстве новых зданий на его территории, в результате чего объемы ливневых стоков увеличатся. Окончание строительных работ планируется в 2020 году.

Для проведения расчетов была построена модель интенсивности дождя с периодом повторяемости в два года. Были проанализированы разные подходы. В результате выбран метод, основанный на соотношении интенсивности, продолжительности и частоты осадков, называемый *IDF*-методом [2]. Для построения модели использовались статистические данные по интенсивности дождя, предоставленные Географическим институтом Фландрии с метеостанции для района Уккел. Полученная модель рассчитана по эмпирическому уравнению и представлена на рис. 1. Этот расчет необходим для оценки состояния существующей канализационной сети.

Далее было проведено моделирование существующей системы канализационной сети с учетом модели интенсивности осадков, рассчитанной ранее. Чтобы проанализировать предложенный сценарий, было использовано программное обеспечение под названием *Storm Water Management Model (SWMM)* [3], разработанное Агентством по охране окружающей среды США [4]. Исследуемая территория была разделена на 48 водосборных площадок, представленных на рис. 2 в соответствии с планами строительства существующей канализационной сети.

Результаты моделирования подтвердили правильность расчетов, то есть показали, что существующая система эффективно управляет стоками в пределах назначенного лимита.

Однако решение о расширении кампуса и строительстве новых зданий на его территории приведет к дополнительной нагрузке на существующую систему ливневой канализации. Поэтому следующей задачей стоит оценка влияния увеличения кампуса на канализационную сеть.

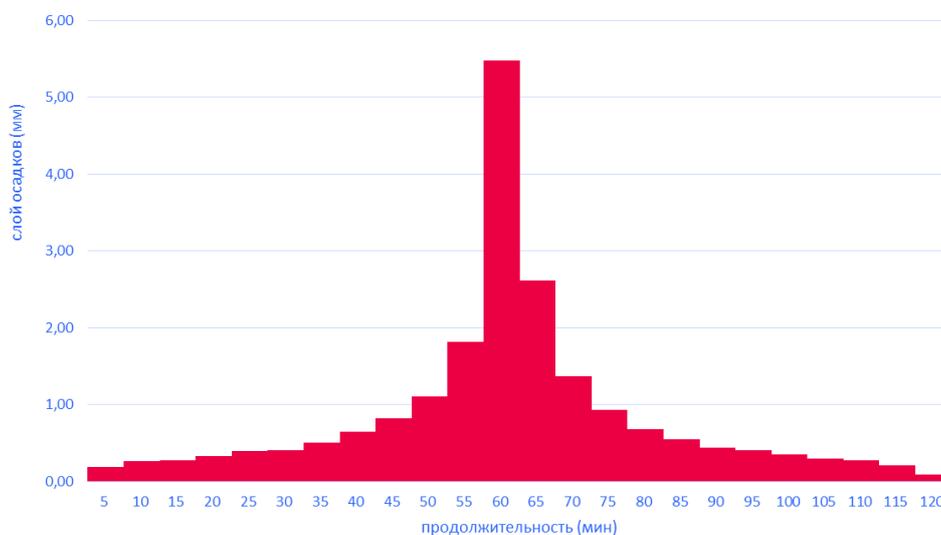


Рис. 1. Модель интенсивности дождя

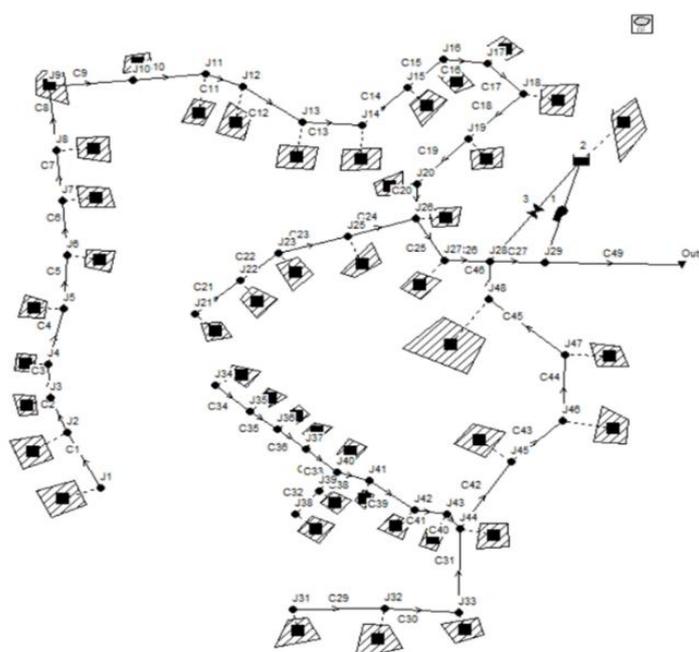


Рис. 2. Существующая сеть ливневой канализации

Для этого расширенная территория кампуса была разбита на водосборные участки, где были размещены трубопроводы и узлы, гидротехнические объекты и сооружения, проведен расчет наклона поверхности, а также разработана расширенная схема ливневой канализации с использованием программного обеспечения *AutoCad* (рис. 3).

Расчеты показали, что при включении новых участков в канализационную сеть без изменения ее структуры общий сток превысит норматив (рис. 4). В связи с этим стала ясна необходимость использования методов, которые позволили бы его снизить.

В целях соблюдения лимита предлагается использование *LID* (*Low Impact Development*) методов, так как они являются альтернативой традиционному управлению ливневыми стоками, а также экономически эффективны, более экологичны и устойчивы. К ним относятся: зеленые крыши, водопроницаемые мостовые, дождевые сады и т. д. *LID*-методы

способствуют сохранению земель и минимизации воздействия на гидрологию. Основная их цель – воссоздать природный ландшафт и тем самым минимизировать непроницаемость.

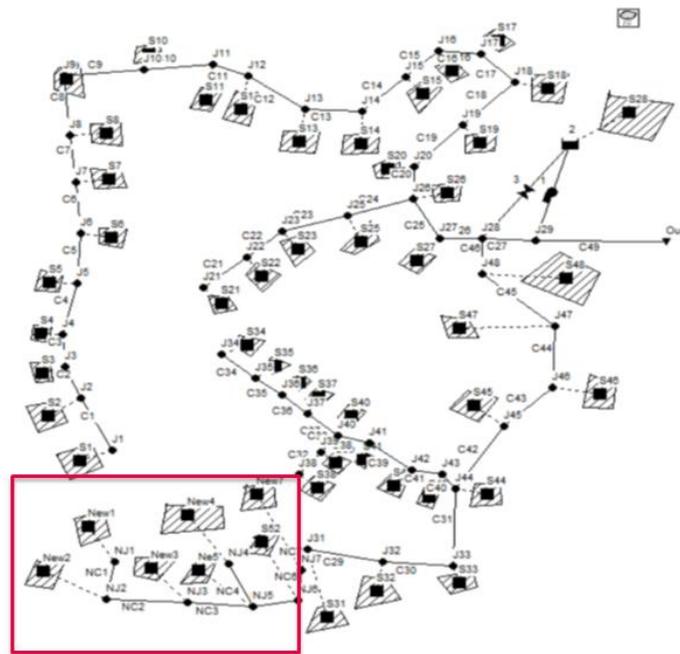


Рис. 3. Расширенная модель канализационной сети

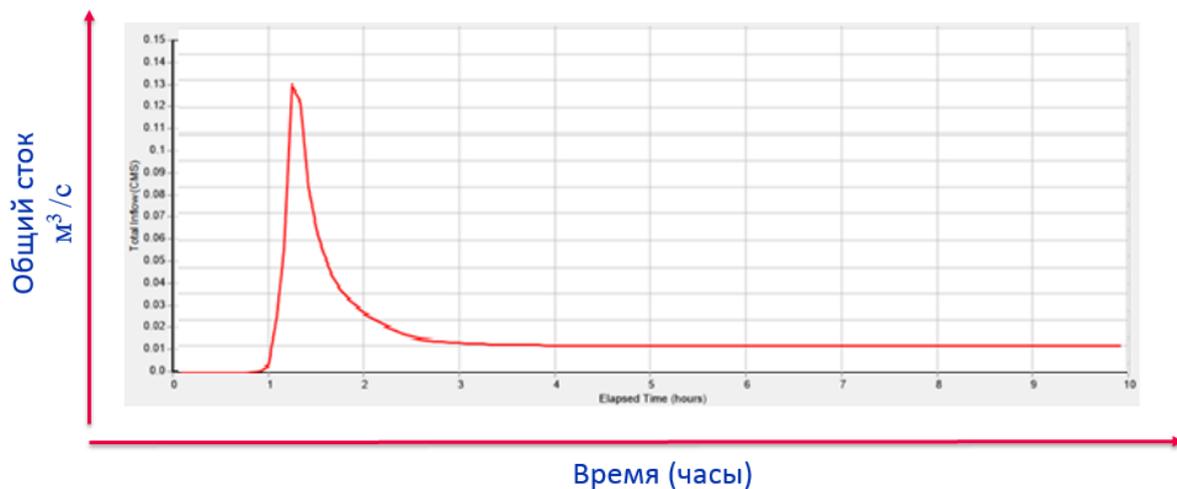


Рис. 4. Зависимость общего стока от времени

После анализа существующих *LID*-методов были выбраны зеленые крыши и водопроницаемые мостовые (рис. 5) из-за их высокой водопроницаемости и наличия поверхностей для реализации.

Расчеты показали, что после включения в систему зеленых крыш и проницаемых мостовых общий сток составил $0,114 \text{ м}^3/\text{с}$.

На рис. 6 представлены графики, показывающие, как применение *LID*-методов (синяя линия) позволило уложиться в установленный нормативный лимит.

На рис. 7 представлены графики изменения количества осадков в Санкт-Петербурге за последние 150 лет. На них красная линия показывает среднегодовую норму осадков, синяя – динамику изменения их количества, а голубая – является линией тренда. Этот график позволяет утверждать, что в Санкт-Петербурге с каждым новым десятилетием увеличивается количество осадков, а следовательно, количество ливневых стоков тоже возрастает. Это означает, что управление ими становится все более значимой проблемой.

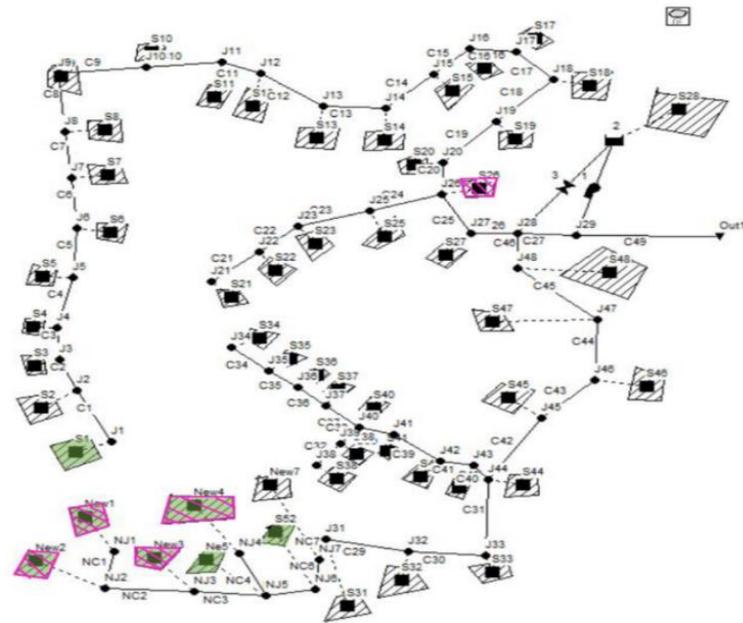


Рис. 5. Введение LID-методов в обновленную систему канализации (зеленая штриховка – зеленые крыши, розовая – проницаемые мостовые)

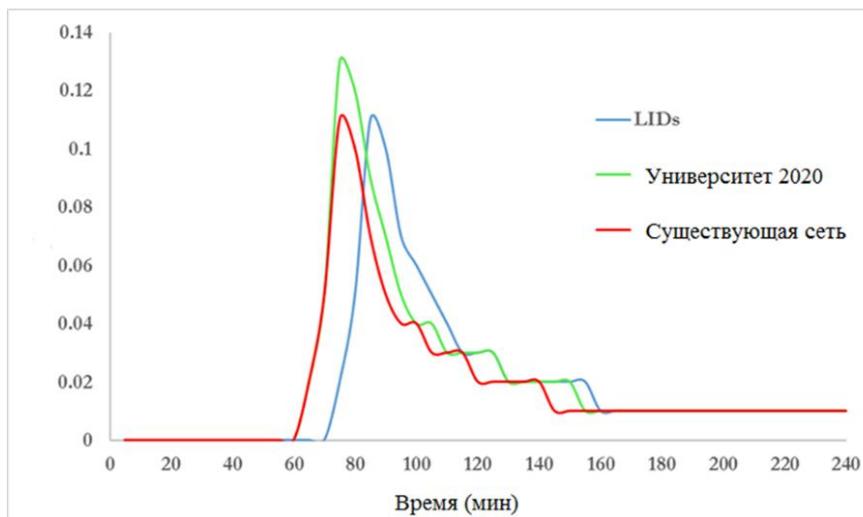


Рис. 6. Зависимость общего стока от времени

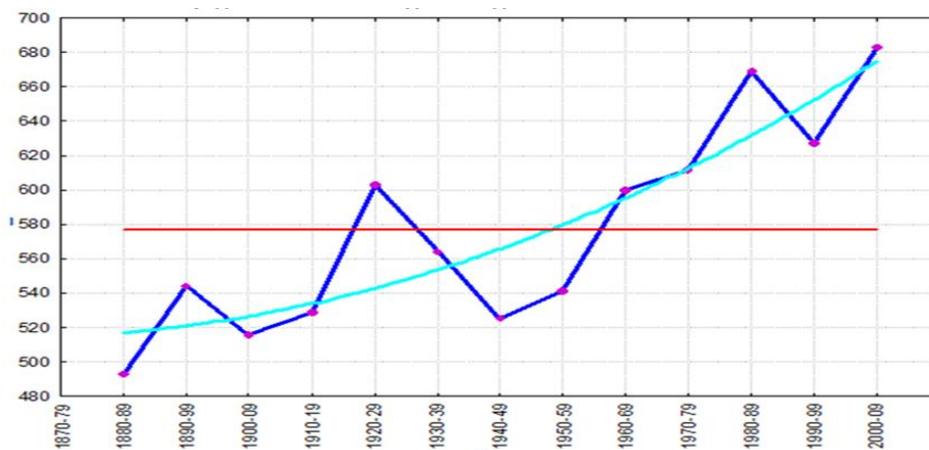


Рис. 7. Среднее количество осадков в Санкт-Петербурге по десятилетиям с 1880 по 2009 год [5]

Изучив обстановку в нашем городе, можно сделать следующие выводы:

– в Санкт-Петербурге недостаточно сетей ливневой канализации. Из-за этого существуют затруднения в отведении стока вод в период сильных осадков и весеннего половодья;

– описанные методы управления ливневыми стоками могут быть использованы при проектировании районов новостроек и в пригородах Санкт-Петербурга.

Полученные данные показали, что при включении новых сооружений в существующую канализационную сеть общий объем ливневых стоков превысит разрешенный администрацией региона лимит. Для предотвращения подтоплений и перегрузки канализационной сети было предложено использование зеленых крыш и водопроницаемых мостовых. Кроме того, для обновленной модели были выполнены расчеты общего объема ливневых стоков, результаты которых уложились в установленный нормативный лимит.

Публикации

1. Позднякова В.В. Организация контроля ливневых стоков в Санкт-Петербурге // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2017. Т. 5. С. 57–61.
2. Позднякова В.В., Пинчук О.А. Необходимость модернизации системы ливневой канализации в кампусе Брюссельского свободного университета [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/8189/8189.pdf> (дата обращения: 07.06.2018).
3. Позднякова В.В. Проектирование системы ливневой канализации для кампуса Брюссельского свободного университета // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2018. Т. 3. С. 182–185.

Литература

1. Facts & Figures VUB 2017 [Electronic resource] // Educationdocbox [Website]. URL: http://educationdocbox.com/Graduate_School/69327375-Facts-figures-vub-2017.html (accessed: 19.01.2018).
2. Williams E.S., Wise W.R. Hydrologic impacts of alternative approaches to storm water management and land development // Journal of the American Water Resources Association. 2006. Vol. 42. No 2. P. 443–455.
3. Gironás J. et al. A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM) // Environmental Modelling and Software. 2010. Vol. 25. No 6. P. 813–814.
4. Incorporating low impact development into municipal stormwater programs [Electronic resource] // U.S. Environmental Protection Agency [Website]. URL: <https://www3.epa.gov/region1/npdes/stormwater/assets/pdfs/IncorporatingLID.pdf> (accessed: 01.11.2017).
5. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoeco.ru/> (дата обращения: 16.01.2017).



Полякова Дарья Александровна
Факультет программной инженерии и компьютерной техники
E-mail: poodaba@gmail.com

ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА ПРИ 3D-ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ (FDM)

Д.А. Полякова

Научный руководитель – доцент Е.В. Шалобаев

Работа посвящена решению проблемы адаптации трехмерных моделей для 3D-печати с помощью использования элементов генеративного дизайна. Рассматриваются ограничения технологий аддитивного производства и влияние особенностей сборки 3D-принтера на печатный процесс и качество изготовленной модели при FDM-печати. Предложены методы адаптации трехмерных моделей с помощью использования программы подготовки *Autodesk Netfabb*.

Цель проекта – разработка методики адаптации 3D-моделей для 3D-печати с помощью внедрения в процесс подготовки алгоритмов генеративного дизайна.

Задачи:

- выявить ограничения технологий аддитивного производства;
- исследовать влияние особенностей сборки 3D-принтера на печатный процесс и качество изготовленной модели при FDM-печати;
- провести анализ использования специализированного программного обеспечения при подготовке трехмерных моделей для FDM-печати (на примере программы *Autodesk Netfabb*);
- проанализировать влияние алгоритмов генеративного дизайна на конфигурации цифровых 3D-моделей.

В исследованиях зарубежных и российских ученых до настоящего времени не разработано общепринятой четкой методологии подготовки 3D-моделей для 3D-печати, однако большинство исследователей [1, 2] рекомендуют использовать программы восстановления и проверки моделей, например *Autodesk Netfabb*. Но даже мощные инструменты исправления и оптимизации моделей, предсказание результатов их печати не гарантируют стопроцентный качественный результат. 3D-модели не могут быть обработаны только в автоматическом режиме, их изготовление требует ручного вмешательства.

Неадаптированные 3D-модели крайне негативно влияют на эргономику и производительность производства. Невостребованный испорченный пластик, который не будет в дальнейшем переработан, и энергия, затраченная на работу принтера впустую, заставляют задуматься о влиянии печатного производства на окружающую среду.

Развитие концепции совершенствования технологий и методов аддитивного производства актуализировало проблему адаптации трехмерных моделей для объемной печати.

Во-первых, необходимо принимать во внимание ограничения аддитивного производства. В зависимости от используемых технологий и материалов изменяется процесс построения 3D-модели и ее подготовки к выводу на печать. При использовании технологий аддитивного производства в большинстве случаев необходима генерация поддерживающих структур [3], не только для фиксации изделия и возможности осаждения материала на нависающих элементах, но и для компенсации термических влияний (теплоотвода). Однако,

несмотря на ограничения аддитивного производства согласно Таблице, 3D-печать позволяет создавать сложные геометрические формы, которые невозможно получить с помощью традиционных субтрактивных методов.

Таблица

Ограничения технологий аддитивного производства

Критерий	Показатель
Габариты детали	Для металла рекомендуется не более 240*240*300 мм Для пластика: не более 400*400*400 мм
Форма	Каналы менее $\varnothing 1$ мм, большая площадь сечения, горизонтальные отвесы, замкнутые полости
Требуемый материал детали	Выбор материалов ограничен
Характеристики материала	Анизотропия свойств, усадка, порошковый материал, пористость и несплошности
Технологические поддержки	Увеличение материалоемкости, сложность постобработки, увеличение стоимости
Финишная обработка	Возможность фиксации при обработке, возможность обработки стандартным инструментом
Серийность и номенклатура	Производительность ограничена
Стоимость	Зависит не только от объема

Во-вторых, аддитивное производство позволяет воплотить в материале концепции генеративного дизайна, который стремительно набирает популярность в различных сферах производства: от разработки оптимизированного кронштейна для установки замков ремней безопасности на заднем сиденье в *General Motors* до разработки облегченной конструкции гоночных санок на XXIII зимних Олимпийских играх в Пхёнчхане. Генеративный дизайн использует для синтеза геометрических форм математические алгоритмы и набор физических показателей, заданных пользователем компьютера. Ученые стремятся внедрить в процессы генеративного дизайна интуитивный выбор, которого исследователи планируют достичь с помощью алгоритмов машинного обучения.

Алгоритмы генеративного дизайна применялись при моделировании корпуса для счетчика Гейгера. Практическая эффективность их внедрения показана на рис. 1а. Первые слои плоскости основания печатались сплошным заполнением и подверглись деламинации, в то время как последующие слои, заполненные паттерном, плотно прилегают к другу и не расслаиваются.



Рис. 1. Ограничения FDM-печати: а – деламинация первых слоев основания модели; б – скругление прямых углов

В целом прямые углы, резкие перепады высот, ровные поверхности и идеальные геометрии сложны для воспроизведения на принтере *FDM*-технологии. Альтернатива «геометрическому» ограничению – применение биоморфных форм и сложных «природных» структур. На рис. 1б показано непредусмотренное скругление углов на крышке детали. К алгоритмам автоматической подготовки *3D*-моделей в среде *Autodesk Netfabb* также относятся: топологическая оптимизация моделей, *2D*-/*3D*-упаковка моделей на платформе сборки, анализ толщины стенок, автоматические сценарии восстановления трехмерных моделей, генерация поддерживающих структур (рис. 2).

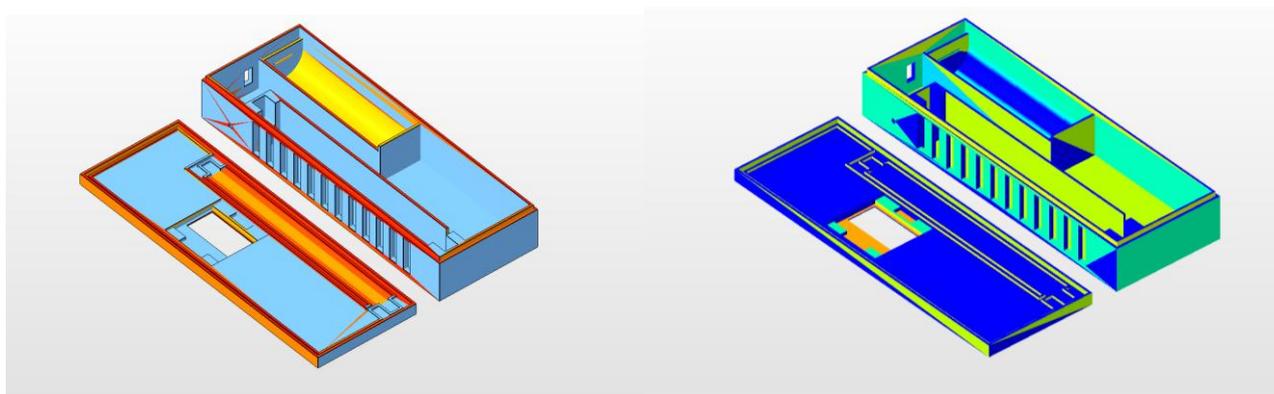


Рис. 2. Автоматические алгоритмы *Autodesk Netfabb*:
а – порог вхождения тонких граней; б – анализ толщины стенок

Благодаря проведению оптимизации была предотвращена деламация первых слоев модели за счет комбинирования паттернов заполнения и покрывающих слоев достигнута прочность конструкции. Однако, несмотря на перечисленные достоинства, сохраняется сложность удаления артефактов *3D*-печати в решетчатой структуре, через которую датчик регистрирует частицы. Прямоугольные поддержки нуждаются в оптимизации и проведении дальнейшего исследования.

В ходе сборки *3D*-принтера *EngineerV2* были выявлены проблемы сходимости корпуса и комплектующих деталей, взаимозаменяемости компонентов, усадки пластиковых деталей (из пластика *PLA*), напечатанных на *3D*-принтере, и другие расхождения, которые непосредственно оказывают воздействие на качество печатного процесса. Внесены изменения в конструкцию охлаждающего кулера для экструдера (при отсутствии датчика движения отслеживание происходит за счет временного образования цветов, которое отображается при быстром вращении кулера с размещенными на нем цветными фильтрами).

Таким образом, можно сделать вывод, что на качество окончательного изделия влияет конструкция *3D*-принтера (зачастую заводских установок не хватает, некоторым из них необходима модернизация), свойства материалов, способы изготовления модели и ее тип.

В результате проделанной работы:

- предложен алгоритм адаптации трехмерных цифровых моделей для *3D*-печати с помощью внедрения в процесс их подготовки автоматических сценариев и алгоритмов генеративного дизайна;
- усовершенствована конструкция *3D*-принтера *EngineerV2* с учетом анализа критических элементов сборки;
- изготовлен прототип оптимизированного корпуса счетчика Гейгера методом *FDM* по заказу Школьной лиги РОСНАНО для проведения мастер-классов лаборатории «Ядерная физика» в рамках летней школы «Наноград-2018» (30 июня – 10 июля, Владивосток, о. Русский).

Публикации

1. Полякова Д.А. и др. Использование специализированного программного обеспечения при подготовке трехмерных моделей для FDM-печати // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. СПб., 2018. С. 73–74.
2. Полякова Д.А. Разработка алгоритма восстановления печатного процесса при прерывании 3D-печати методом послойного наплавления // Инновации молодежной науки. Тезисы докладов. СПб., 2018. С. 221–222.
3. Полякова Д.А. Разработка алгоритма восстановления печатного процесса при прерывании 3D-печати методом послойного наплавления // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2018. № 2. С. 58–63.

Литература

1. Cain P. Supports in 3D printing: a technology overview [Electronic resource] // 3D Hubs [Website]. URL: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/supports-3d-printing-technology-overview> (accessed: 15.09.2018).
2. Biehler J., Fane B. 3D printing with Autodesk: create and print 3D objects with 123D, AutoCAD, and Inventor. Que Publishing, 2014. – 264 p.
3. Зленко М.А. и др. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров. М., 2015. – 220 с.



Рябчиков Игорь Александрович
Факультет информационных технологий и программирования
E-mail: i.a.ryabchikov@gmail.com

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПЛАТФОРМЫ УМНОГО ГОРОДА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕРВИСОВ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИТЕЛЕЙ

И.А. Рябчиков

Научный руководитель – доцент Н.Н. Тесля

В рамках проекта была разработана системная архитектура и основные принципы работы платформы умного города, осуществляющей консолидацию гетерогенной информации города и управление персональной информацией жителей. Назначением платформы является информационное обеспечение сервисов персонализированной информационной поддержки жителей, что позволит упростить их разработку и повысить интеллектуальность.

Цель проекта – разработка системной архитектуры и основных принципов функционирования платформы для информационного обеспечения сервисов персонализированной поддержки жителей. Платформа позволит упростить разработку и повысить интеллектуальность сервисов за счет предоставления консолидированной городской информации и персональной информации жителей.

Общие задачи, возникающие при разработке сервисов персонализированной поддержки жителей – это использование многочисленных городских источников данных и персональной информации жителей. На данный момент существует ряд платформ,

осуществляющих консолидацию данных с целью упрощения их дальнейшего использования, в том числе [1, 2]. Наиболее высокий уровень консолидации реализован платформой *Km4City* [1], которая собирает сведения из многочисленных городских источников, сопоставляет их с общей онтологией и записывает в единую публичную *RDF*-базу данных. Основными недостатками *Km4City* являются низкая производительность из-за использования централизованной *RDF*-базы данных и потеря точности при консолидации информации, изменяющейся в режиме реального времени, в силу сохранения лишь ее агрегатов. Предложенная в рамках данного проекта архитектура платформы основана на *Km4City* и учитывает обозначенные недостатки посредством реализации медиаторов для доступа к источникам информации, изменяющейся в режиме реального времени, и ее масштабирования за счет репликации данных.

Использование персональной информации с целью повышения качества предоставляемых услуг описано в ряде работ, например в [3, 4]. В работе [3] представлен шаблон для создания онтологического профиля пользователя с целью персонализированной рекомендации питания. В [4] предлагается применение онтологического профиля для персонализации информационных сервисов, учитывающих динамически изменяющийся контекст пользователя. Применение онтологий для представления профилей пользователей обосновано гетерогенностью персональной информации и возможностью ее модификации с развитием проектов. Существующие работы в основном сосредоточены на использовании персональной информации локальными сервисами и не затрагивают задачу ограничения прав доступа, что необходимо при предоставлении персональной информации сторонним сервисам. В рамках данного проекта предложен гибкий механизм управления правами доступа к онтологическим профилям жителей.

Город содержит множество источников информации: городские службы, частные организации, социальные сети, открытые базы данных, информационные сервисы. В них содержатся сведения о транспорте (расписание, состояние движения), о событиях или происшествиях (мероприятиях, авариях, работах), о предложениях, поведении жителей, погоде и т. д. На основе этих данных разрабатываются сервисы, обеспечивающие информационную поддержку жителей. При этом провайдерами сервисов могут быть различные организации и индивидуальные разработчики. Но использование информации города с целью разработки сервисов иногда затруднительно в силу гетерогенности источников и самой информации. Данные могут быть представлены в различных форматах (*XML*, *HTTP*, *EXCEL*, *JSON*, *CSV* и т. д.) и по различным протоколам (*REST*, *WSDL*-сервисы, *XML*-документы и т. д.). Кроме того, информация из различных источников часто плохо согласована: используются различные системы идентификации одних и тех же сущностей, разные единицы измерения и т. д. В результате разработчикам необходимо иметь дело с несколькими протоколами, осуществлять приведение информации к единому формату и проводить сопоставление элементов. Упростить использование гетерогенной информации города, а также открыть малоизвестные источники может платформа, осуществляющая сбор информации из различных источников, приведение ее к единому формату, фильтрацию, унификацию общих элементов разных источников и формализацию связей между элементами разных наборов. После этого к консолидированной информации может быть предоставлен доступ через единое *API*.

На рис. 1 представлена системная архитектура компонента консолидации информации предложенной платформы, которая автоматически загружается из различных статических источников (практически неизменяемых), полустатических (редко изменяемых, например, погодных сводок) и источников реального времени (изменяемых с более высокой периодичностью). Также платформа предоставляет интерфейс для публикации информации доверенными источниками (*Push Data Acceptor*). Информация из статических и полустатических источников отображается в общей онтологии и полностью записывается в *Message Queue* в виде добавляемых/удаляемых *RDF*-триплетов, которые затем будут загружены в *RDF*-базу данных (удаляться может устаревшая/неактуальная информация).

Информация из источников реального времени предварительно агрегируется (например, усредняется за определенный период). Очередь, в которую записываются изменения онтологии, предоставляется сторонним разработчикам сервисов для чтения. Предполагается, что разработчики могут развернуть свои собственные *RDF*-хранилища, оптимизированные под запросы их собственных сервисов, загружать только необходимую информацию и настроить индивидуальные индексы. При этом для сервисов, не имеющих высокой интенсивности запросов, платформа загружает информацию в собственное *RDF*-хранилище и предоставляет к нему доступ. Помимо загрузки информации в единое *RDF*-хранилище, платформа содержит медиаторы для источников реального времени. Медиаторы перенаправляют запросы пользователей в нижележащие источники и преобразуют возвращаемую информацию в соответствии с общей онтологией. Для оптимизации медиаторы осуществляют кратковременное кэширование информации.

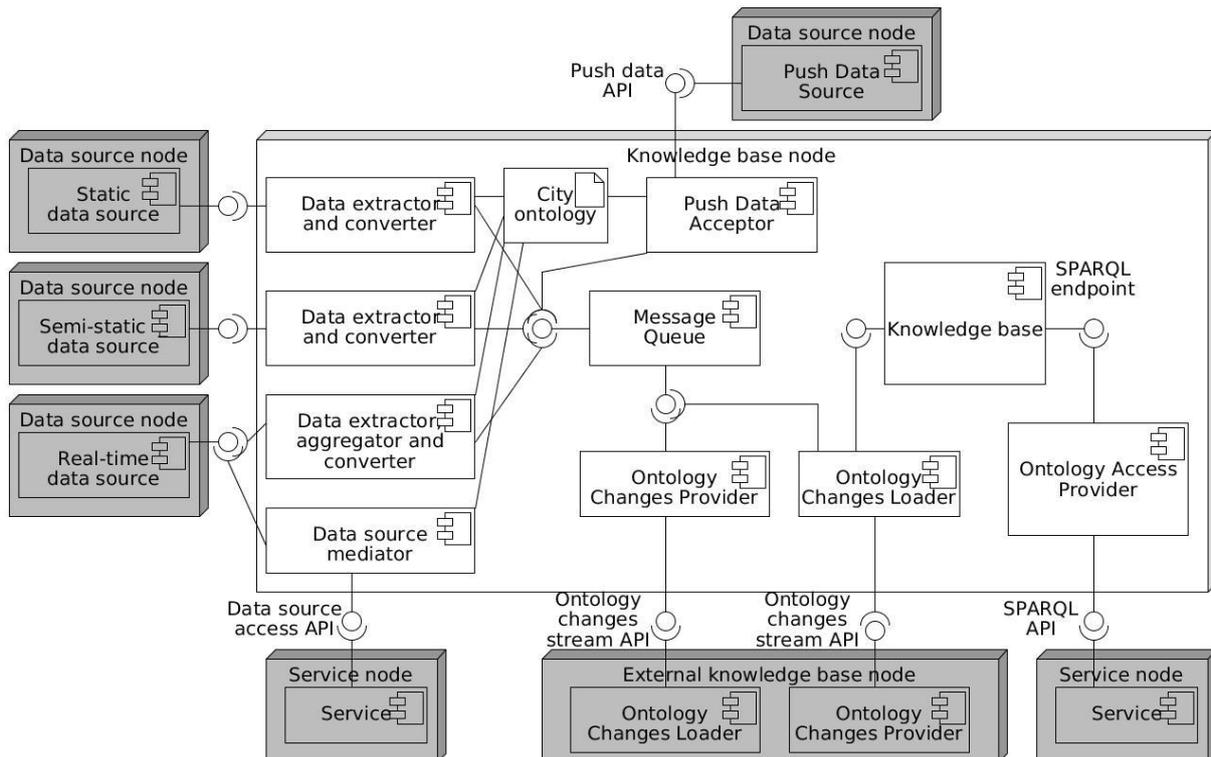


Рис. 1. Системная архитектура компонента консолидации информации города

Управление персональной информацией жителей является второй задачей платформы для информационного обеспечения персонализированных сервисов. С этой целью платформа осуществляет сбор персональной информации, управление правами доступа и предоставление информации сервисам. Системная архитектура соответствующего компонента платформы представлена на рис. 2. Основными компонентами являются база знаний, хранящая профили жителей, и *Profile management and access component*, осуществляющий управление доступом к профилям и предоставляющий соответствующее *API*. Информация профилей заполняется самими пользователями через соответствующий *UI*, автоматически считывается из сторонних источников (таких как социальные сети) и загружается сторонними сервисами. Для работы с персональной информацией сервис-клиент должен отправить запрос на получение прав доступа, содержащий описание требуемой части профиля. Запрос должен быть подтвержден самим пользователем, после чего сервис может считывать информацию этой части профиля посредством *SPARQL*-запросов.

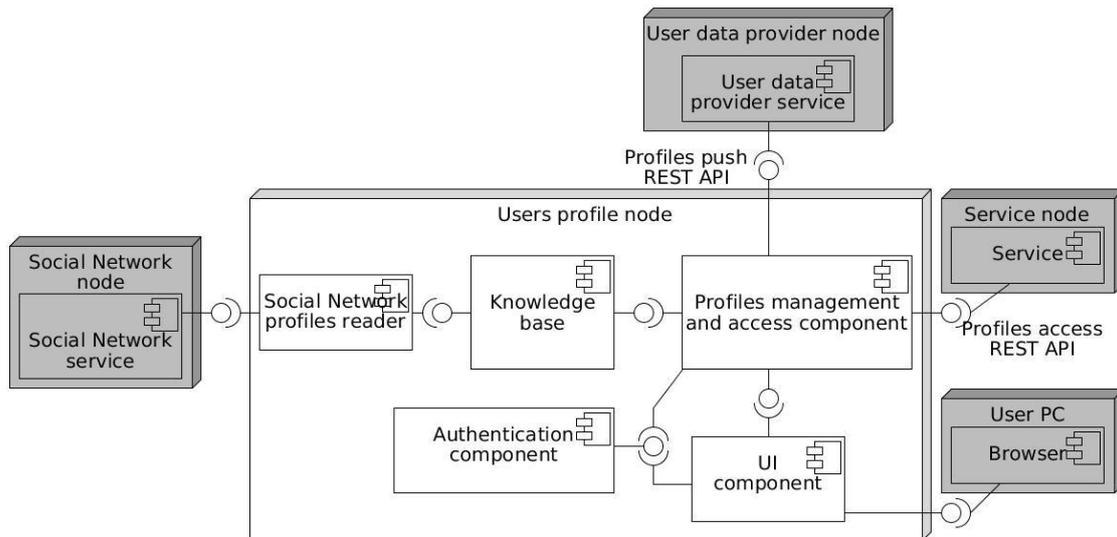


Рис. 2. Системная архитектура компонента управления профилями жителей

В силу гетерогенности персональной информации и возможности модификации или дополнения ее структуры с развитием системы подходящим для нее представлением является онтология, описанная *RDF*-моделью. На рис. 3 представлен пример части онтологии профиля, которая описывает несколько компетенций и образование пользователя.

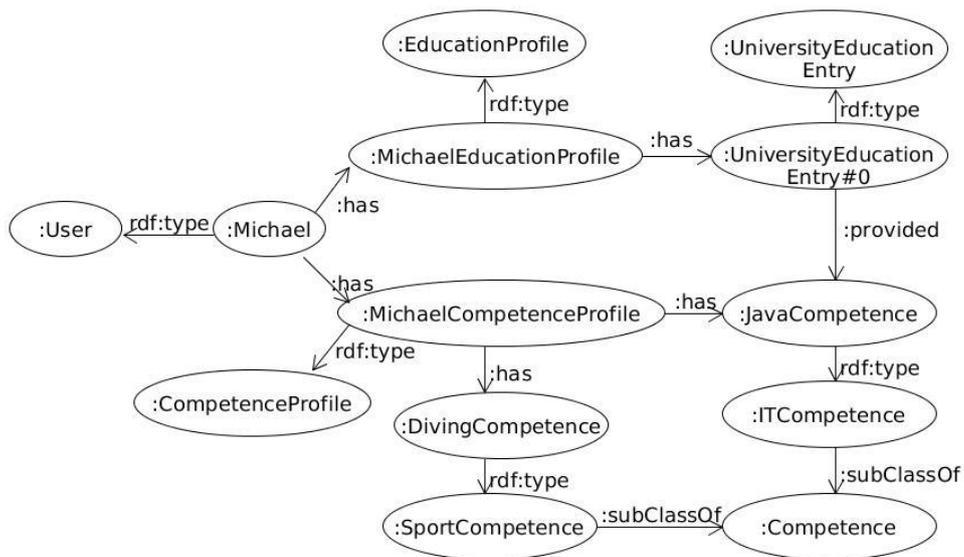


Рис. 3. Часть онтологии профиля жителя

Для учета прав доступа с каждым сервисом-клиентом ассоциируются специальные маски профилей, определяющие, к какой части профиля конкретного жителя данный сервис имеет доступ. Маска представляет собой *RDF*-онтологию, составленную из триплетов профиля, вместо концептов которых указываются их типы. На рис. 4б представлен пример маски профиля, соответствующей *IT*-компетенциям, описанным в профиле (рис. 4а). Использование таких масок позволяет отображать запрашиваемые у пользователя права доступа в удобном виде (в виде графа) и в случае изменения структуры профилей не захватывать лишние данные.

Следует отметить, что в силу слабой связности задач консолидации информации города и управления персональной информацией жителей описанные компоненты платформы объединяются лишь общими системами аутентификации и пользовательского интерфейса, а также могут разрабатываться независимо.

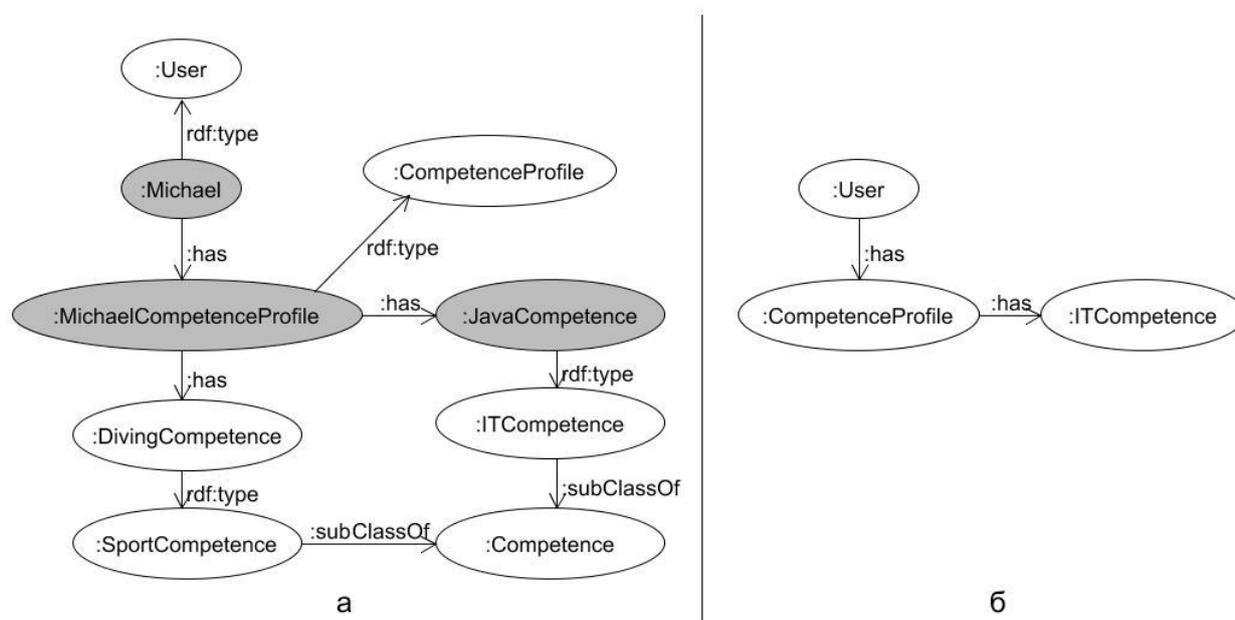


Рис. 4. Пример маски профиля жителя: а – часть онтологии профиля; б – маска профиля для IT-компетенций

Заключение

В рамках проекта была представлена системная архитектура компонентов платформы умного города для информационного обеспечения персонализированных сервисов, а также описаны основные принципы ее работы. Представленные компоненты направлены на консолидацию информации многочисленных источников города и управление персональной информацией (профилями) жителей. Платформа позволит упростить разработку персонализированных сервисов, использующих информацию города и ориентированных на информационную поддержку жителей, а также создать инфраструктуру для предоставления новых источников информации. Результаты данного исследования лягут в основу дальнейшей разработки платформы, ориентированной на жителей и источники городской информации.

Публикации

Рябчиков И.А. Архитектура информационной платформы умного города для персонализированной поддержки жителей [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/8208/8208.pdf> (дата обращения: 19.10.2018).

Литература

1. Bellini P. et al. Km4City ontology building vs data harvesting and cleaning for smart-city services // *Journal of Visual Languages & Computing*. 2014. Vol. 25. No 6. P. 827–839.
2. Aguilera U. et al. Citizen-centric data services for smarter cities // *Future Generation Computer Systems*. 2017. Vol. 76. P. 234–247.
3. Al-Nazer A. et al. User's profile ontology-based semantic framework for personalized food and nutrition recommendation // *Procedia Computer Science*. 2014. Vol. 32. P. 101–108.
4. Skillen K. et al. A user profile ontology based approach for assisting people with dementia in mobile environments // *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*. San Diego, 2012. P. 6390–6393.



Самко Марина Леонидовна
Факультет систем управления и робототехники
E-mail: marina_94@inbox.ru

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ ВНЕДРЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

М.Л. Самко

Научный руководитель – доцент С.Ю. Сергеев

Проект посвящен разработке комплекса методов и приемов, позволяющих усовершенствовать существующую на предприятии авиаприборостроения систему управления качеством. В рамках исследования проведен анализ существующей системы контроля качества изготовления деталей. Разработана методика контроля качества изготовления тестовой детали. Предполагается, что она позволит не только сократить время проведения контроля, но и минимизировать влияние человеческого фактора, а также упростить контрольные операции и автоматизировать процесс контроля.

Приборостроение является основной отраслью всей промышленности, обеспечивающей научно-технический прогресс общества. Одно из достижений приборостроительных предприятий – внедрение комплексной автоматизации производства. Использование станков с числовым программным управлением (ЧПУ) позволило сократить время обработки изделия. Однако методы и средства измерения, используемые в настоящее время на отечественных серийных приборостроительных предприятиях, по большей части устарели. В связи с этим приборостроительные предприятия столкнулись с необходимостью фундаментального переосмысления и радикального перепроектирования бизнес-процессов. Данные мероприятия служат основными средствами для достижения существенных улучшений в таких ключевых для современного бизнеса показателях результативности, как затраты, качество, уровень обслуживания и оперативность.

Система управления качеством является фундаментом обеспечения качества деятельности всей компании, ее разработка и внедрение – неотъемлемая часть функционального развития любого предприятия.

Для обеспечения конкурентоспособности продукции перед руководством предприятия стоит задача не только по созданию и внедрению системы управления качеством, но и по своевременному совершенствованию и актуализации действующей системы.

Цель работы заключается в модернизации системы контроля качества изготовления деталей на этапе внедрения управляющих программ. Для ее реализации необходимо решить ряд задач, а именно:

- изучить теоретические аспекты управления качеством продукции;
- исследовать существующую систему контроля качества изготовления деталей и выявить недостатки;
- предложить направления развития системы контроля качества;
- разработать инструкцию по ведению архива программ измерений в *PDM*-системе;
- разработать проект стандарта предприятия (СТП) для хранения и использования программ измерений.

Как уже было заявлено ранее, первоначальной задачей является изучение существующей системы контроля качества предприятия. Система управления качеством представляет собой структуру, состоящую из организации, процессов, документов

и ресурсов, направленную на формирование политики и целей в области качества, а также на достижение этих целей.

Для того чтобы продукция, разрабатываемая и изготавливаемая на предприятии авиаприборостроения, оказалась конкурентоспособной, необходимо руководствоваться нормативными документами, представленными в Таблице.

Таблица

Средства достижения конкурентного уровня разрабатываемой и изготавливаемой продукции

Средство	Назначение
ГОСТ ИСО Р 9001 – 2015	Настоящий стандарт может использоваться внутренними и внешними сторонами, включая органы по сертификации, с целью оценки способности организации выполнять требования потребителей, а также требования к продукции, являющиеся обязательными для исполнения в соответствии с действующим законодательством
ГОСТ Р ЕН 9100 – 2011	Настоящий стандарт содержит требования ИСО 9001 и дополнения к ним, отражающие специфику жизненного цикла продукции авиационной, космической и оборонных отраслей промышленности
АП – 21	Правила устанавливают обязательный для выполнения предприятиями, организациями и другими юридическими и физическими лицами государств, подписавших «Соглашение о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства», порядок сертификации и контроля над соответствием гражданских воздушных судов и их компонентов действующим авиационным правилам

Одна из особенностей контроля качества – использование четко определенных элементов управления. Большинство организаций имеют отдел контроля качества, который обеспечивает соблюдение стандартов. Именно они обладают наиболее существенными материально-техническими предпосылками (испытательным оборудованием, контрольно-измерительными приборами, оснасткой, помещениями и т. п.) для проведения квалифицированной и всесторонней оценки качества изделий [1].

В настоящее время многие предприятия приборостроения столкнулись с проблемами в этой области. Достоверность результатов контроля качества, осуществляемого персоналом отдела технического контроля (ОТК), нередко вызывает обоснованные сомнения в связи с низкой квалификацией сотрудников, а также с недостаточной оснащенностью ОТК современными измерительными устройствами.

Принцип действия, конструкция и точность изготовления измерительного прибора влияют на точность измерения. При решении вопроса об использовании того или иного средства измерения необходимо провести анализ номенклатуры изделий, воспользовавшись соответствующей конструкторской документацией на них. Верный выбор средств, условий и методики измерения, качественная подготовка их к работе и правильное использование обеспечивают требуемую точность измерения. Выбор способа и средства измерений связан с множеством факторов, которые определяются метрологическими параметрами средств измерений, конструктивно-технологическими особенностями измеряемых величин, задачами на их измерения, организационными, техническими и экономическими факторами.

Одним из средств технического контроля, способствующего повышению объективности проверок и облегчению работы персонала контрольных служб, является использование координатно-измерительной машины (КИМ). Она представляет собой измерительное средство с числовым программным управлением, применяемое для

осуществления контрольно-измерительных операций с целью проверки соответствия геометрических параметров изделия конструкторско-технологической документации. Использование КИМ позволяет упростить техническую подготовку производства нового изделия. Ее использование исключает необходимость создания значительного количества средств специальной измерительной оснастки, позволяет значительно повысить производительность и оперативность контроля за счет того, что измерения контролируемых размеров геометрических элементов детали в большинстве случаев можно провести за одну установку. Благодаря этому сокращается время на транспортирование детали, ожидание между контрольными операциями, переустановку и выверку на различных приборах.

Кроме того, применение КИМ дает возможность автоматизировать процесс контроля, а также выполнять его для крупногабаритной и сложной продукции. При этом исключается влияние человеческого фактора, сокращается время проведения контрольно-измерительных операций. Однако при этом необходимо создание программ измерений (ПИ). В настоящее время на приборостроительных предприятиях к написанию ПИ приступают после того, как деталь изготовлена или же находится в процессе изготовления. Для повышения производительности труда предлагается приступать к разработке ПИ параллельно с написанием управляющих программ, необходимых для изготовления детали на станках с ЧПУ. На рис. 1 представлена схема, которую планируется использовать для создания методики контроля тестовой детали.

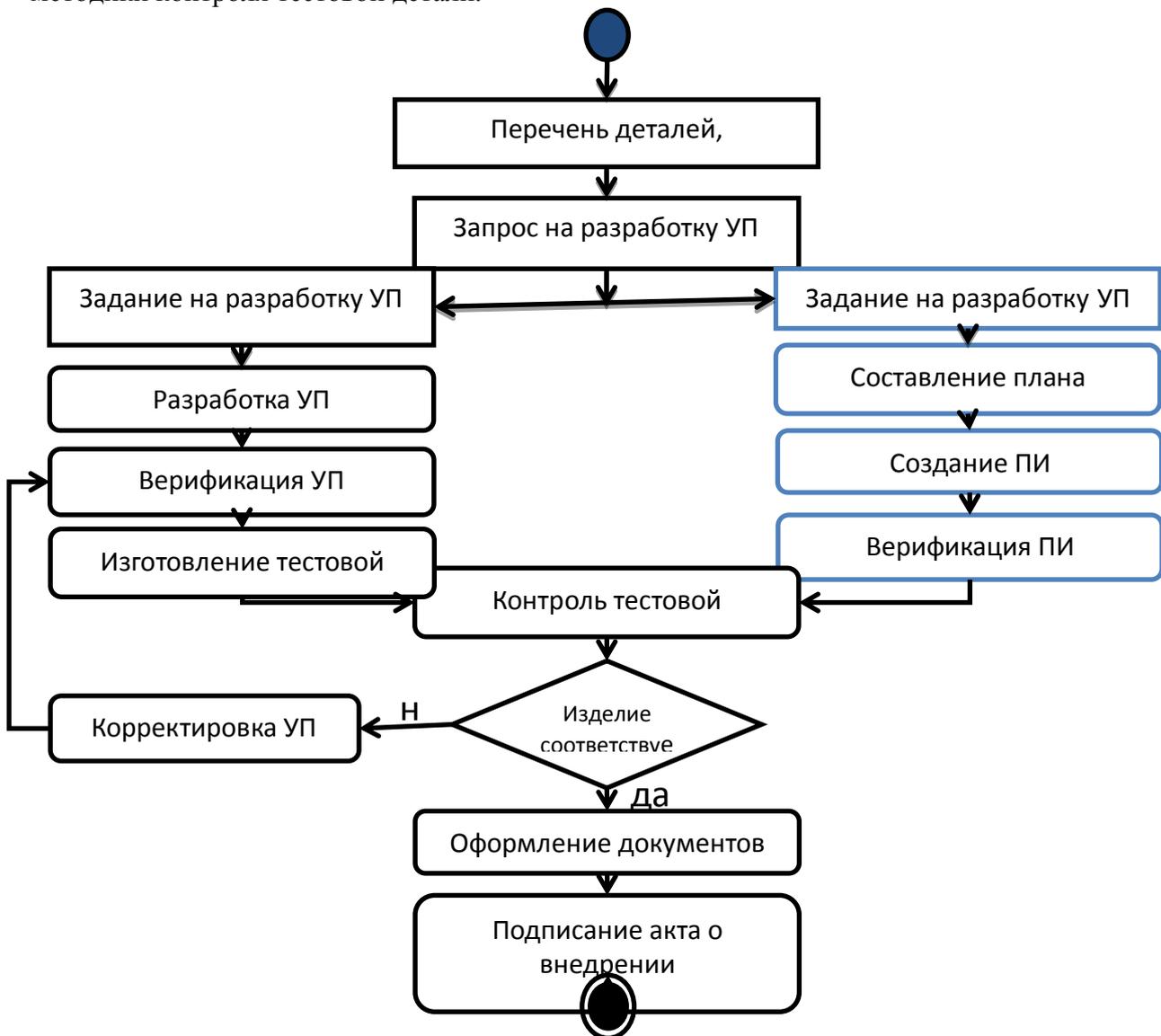


Рис. 1. Алгоритм контроля качества изготовления тестовой детали

Формирование и поддержка эффективной системы управления качеством – необходимое условие успешного функционирования предприятия.

Ключевыми особенностями системы контроля качества является то, что система документирована, понятна, стабильна, надежна и поддерживает непрерывное улучшение качества. Использование КИМ вводит процесс измерения в структуру технического контроля, при этом появляется необходимость в корректировке существующих технологических процессов и в использовании новых подходов при составлении карт контроля вновь проектируемых.

В рамках реализации цели данной работы предполагается, что хранение программ измерений и протоколов результатов измерений будет происходить в PDM-системе. В дальнейшем необходимо создание архива этих программ в PDM-системе предприятия. На данном этапе разработана инструкция по ведению такого архива.

Организация электронного архива технической документации – первый шаг к автоматизации документооборота и управлению бизнес-процессами в инженерных службах. Внедрение ее решает задачи по формированию единого информационного ресурса. Появляется возможность объединения технических документов и данных предприятия, предоставления оперативного доступа к ним, в том числе удаленного, а также обеспечение надежности и безопасности хранения информации.

Одно из важнейших требований международного стандарта ИСО серии 9000 – обеспечение строго документального оформления порядка выполнения всех работ в рамках создаваемой и функционирующей системы менеджмента качества. В связи с этим действия по разработке, утверждению, выпуску и изменению документов требуют особого внимания при формировании и функционировании системы [2].

Учитывая данные условия, возникает необходимость в дополнении документации системы менеджмента качества предприятия. На завершающем этапе следует разработать проект стандарта предприятия (СТП) для использования и хранения программ измерений.

Стандарт предприятия – нормативный документ по стандартизации, содержащий правила, общие принципы, характеристики объектов стандартизации, касающиеся определенных видов деятельности или их результатов, утвержденный руководителем организации [3].

В процессе выполнения данной работы была исследована система контроля качества изготовления деталей на участке станков с ЧПУ авиаприборостроительного предприятия ПАО «ТЕХПРИБОР», проанализирована работа ОТК данного предприятия, выявлены недостатки. Основным из них в настоящий момент является отсутствие современных средств измерений, что не позволяет в полной мере повысить качество изготовления деталей. В качестве одного из способов улучшения работы ОТК было предложено использование КИМ. Разработан проект стандарта предприятия, регламентирующий действия по хранению и использованию программ измерений. В настоящее время осуществляется тестирование методики проведения контроля качества изготовления тестовой детали, разработанной автором.

Публикации

1. Самко М.Л., Сергеев С.Ю. Влияние геометрии детали на выбор способа ее измерения [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/8052/8052.pdf> (дата обращения: 15.10.2018).
2. Самко М.Л. Разработка методики контроля групп деталей с использованием координатно-измерительной машины dea global perfomance 05.07.05 [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5744/5744.pdf> (дата обращения: 15.10.2018).

Литература

1. Контроль качества продукции и работы предприятия. Понятие и виды контроля качества продукции и работы // Информационный бизнес-портал Market-Pages.ru. URL: <http://market-pages.ru/manpred/24.html> (дата обращения: 19.12.2017).
2. Шевчук Д.А. Управление качеством: учебник. М., 2008. – 216 с.
3. Глухов В.В. Производственный менеджмент. Анатомия резервов. Lean production: учебное пособие. СПб., 2008. – 352 с.



Самусевич Ксения Леонидовна
Факультет низкотемпературной энергетики
E-mail: k.l.samusevich@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИЦИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

К.Л. Самусевич

Научный руководитель – доцент Г.Н. Исаченко

В настоящее время активно ведутся поиски вариантов замены классических термоэлектрических материалов на новые, более эффективные и отвечающие современным требованиям. В данном проекте исследуются термоэлектрические свойства материалов на основе твердых растворов Mg_2Si-Mg_2Sn со сложным легированием, а также виртуально, с использованием численного моделирования – эффективность работы термоэлектрического генератора (ТЭГ), построенного на основе этих материалов.

Термоэлектрическое преобразование энергии как альтернативный источник электрической энергии в настоящее время востребовано только в узкоспециализированной области. Широкому распространению препятствует низкая эффективность таких преобразователей и высокая стоимость изделия, созданного на основе дорогих токсичных материалов. Поиск альтернативных материалов для термоэлектрических холодильников и генераторов – главная задача термоэлектрического материаловедения. Перспективными с этой точки зрения являются материалы на основе кремния как самого распространенного элемента. Последние исследования показали, что твердые растворы на основе силицида магния имеют термоэлектрическую добротность (параметр, связывающий свойства материала и КПД устройства) для материалов электронного типа проводимости до 1,5 [1] и для материалов с дырочной проводимостью 0,5 [2]. Термоэлектрическая добротность материалов, используемых в настоящее время, составляет около 1.

Цель проекта – разработка высокоэффективных термоэлектрических материалов обоих типов проводимости на основе твердых растворов между силицидом и станнидом магния для построения термоэлектрического генератора, работающего в диапазоне температур от 300 до 700°C.

В рамках проекта решались следующие задачи:

– исследование влияния различных легирующих добавок на термоэлектрические свойства твердых растворов обоих типов проводимости $Mg_2Si - Mg_2Sn$ для получения максимальной термоэлектрической добротности;

– измерение температурных зависимостей коэффициентов термоэдс, электропроводности и теплопроводности, а также определение состава с максимальной термоэлектрической добротностью для разных температурных режимов;

– построение модели ТЭГ с ветвями n- и p-типа проводимости из твердых растворов $Mg_2Si_xSn_{1-x}$ и виртуальное изучение работы модуля с помощью метода конечных элементов в среде *COMSOL Multiphysics*;

– построение нагрузочных кривых и оценка эффективности работы модуля.

Объектами исследований были выбраны твердые растворы $Mg_2Si_{0.3}Sn_{0.7}$ в качестве основы для ветви p-типа и $Mg_2Si_{0.4}Sn_{0.6}$ в качестве основы для ветви n-типа. Как оказалось, наилучшими термоэлектрическими свойствами обладают твердые растворы со стороны олова с электронным типом, поскольку в этом случае происходит пересечение двух подзон зоны проводимости, что делает энергетический спектр более выгодным. Для получения оптимальной концентрации электронов использовалась сурьма, а для дырок – литий или галлий. Материал для исследования изготовлялся прямым синтезом исходных компонентов индукционным нагревом в атмосфере аргона. Далее синтезированные слитки подвергались длительному отжигу для гомогенизации состава, затем из них вырезались образцы для измерения термоэлектрических свойств. Составы исследуемых образцов и их свойства, полученные при комнатной температуре, приведены в Таблице.

Таблица

Основные параметры соединений, измеренные при комнатной температуре

Состав	Тип	Концентрация свободных носителей, 10^{20} см^{-3}	Коэффициент термоэдс S, мкВ/К	Электропроводность σ , См/см	Теплопроводность κ , Вт/(м·К)
$Mg_2(Si_{0.4}Sn_{0.6})_{0.99}Sb_{0.01}$	n	2,44	-131	1937	3,28
$Mg_2(Si_{0.3}Sn_{0.7})_{0.98}Ga_{0.02}$	p	4,52	74,8	1010	3,16
$(Mg_{0.98}Li_{0.02})_2Si_{0.3}Sn_{0.7}$	p	2,67	79,7	1150	3,24
$Mg_{1.95}Ca_{0.05}(Si_{0.3}Sn_{0.7})_{0.98}Ga_{0.02}$	p	2,84	79,8	815	2,77

Измерения коэффициентов термоэдс и электропроводности при температуре от 300 до 800 К выполнялись на оборудовании *Linseis LSR-3*, а для измерения температуропроводности и теплопроводности (от 300 до 600 К) использовался прибор *XFA-500*. Результаты измерений представлены на рис. 1–3. Небольшое расхождение данных в Таблице и на рисунках объясняется использованием различных установок и методик измерений при комнатной температуре и при высоких температурах.

Как было сказано выше, термоэлектрическая добротность рассматриваемых твердых растворов с электронным типом проводимости значительно выше, чем у материалов с дырочным типом. Поэтому в данной работе изучались возможности оптимизации термоэлектрических свойств и увеличения термоэлектрической добротности образцов p-типа проводимости с различными легирующими примесями. Один из образцов был модифицирован изовалентным замещением атома магния на атом кальция. Как видно из рис. 1, сложнолегируемый образец демонстрирует наименьшую теплопроводность. При увеличении температуры зависимость теплопроводности от состава снижается. С другой стороны, присутствие кальция оказывает значительное влияние на подвижность свободных носителей и, как следствие, снижает электропроводность (рис. 2). Образцы, легируемые различными примесями при почти двукратном отличии в концентрации дырок, имеют одинаковую электропроводность. Таким образом, можно утверждать, что тип легирующей примеси сильно сказывается на подвижности свободных носителей.

Коэффициент термоэдс ведет себя согласно теории для вырожденного полупроводника. Можно видеть, что для всех дырочных образцов он достигает своего максимального значения при более низких температурах, чем для образца n -типа. Это связано с более низкой подвижностью дырок по сравнению с подвижностью электронов и более ранним началом вклада носителей второго знака. При этом от типа легирующей примеси коэффициент термоэдс практически не зависит.

Сравнивая образцы по всем трем параметрам, можно утверждать, что наибольшей термоэлектрической добротностью из рассматриваемых образцов обладает образец, легированный литием. Его свойства будут использованы в дальнейшем при построении модели.

Материалы для практического использования в ТЭГ должны обладать не только высокими значениями термоэлектрической добротности, но и быть согласованы между собой по ряду параметров. Одним из важнейших является коэффициент теплового расширения. Среди силицидных термоэлектриков привлекает внимание пара n - Mg_2Si и p - $MnSi_{1.75}$, термоэлектрическая добротность которых близка к единице, но коэффициент теплового расширения различается почти в два раза. Согласование этой пары в одном устройстве требует значительного усложнения конструкции термоэлектрического модуля [3].

Для построения мультифизической модели ТЭГ использовались температурные зависимости твердых растворов $Mg_2Si - Mg_2Sn$ n -типа и легированного литием образца p -типа проводимости. Рассматриваемая пара основана на близких друг к другу твердых растворах, а значит, обладает одинаковыми коэффициентами теплового расширения. Однако присутствие олова в составе материала приводит к снижению максимальной рабочей температуры и ослаблению его химической стабильности. В настоящее время вопрос с защитой этого материала не решен, определить потенциал его применения в термоэлектрическом модуле возможно посредством построения физической модели и расчета электрических и тепловых процессов методом конечных элементов.

Мультифизическая модель ТЭГ включает описание электрических, тепловых и термоэлектрических эффектов. Она имеет трехмерную размерность и рассчитывается как стационарная. За основу была выбрана серийная модель термоэлектрического модуля, состоящая из 127 ветвей. Для определения ключевых параметров работы ТЭГ к трехмерной модели генератора была подключена электрическая цепь, не имеющая размерности, но обладающая сопротивлением. Наличие сопротивления нагрузки позволило определять ток, проходящий через электрическую цепь, подключенную к генератору. Тепловое сопротивление нагрузки не принималось в расчет.

Математическое описание модели включает уравнение теплопроводности, которое имеет вид:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot q = Q,$$

где ρ – плотность материала, T – абсолютная температура, c_p – теплоемкость при постоянном давлении, t – время, Q – источник тепла; q – вектор плотности теплового потока, который в свою очередь определялся как

$$q = -\kappa \nabla T + STJ,$$

где κ – коэффициент теплопроводности материала, ∇T – градиент температуры, S – коэффициент Зеебека, J – вектор плотности электрического тока:

$$J = \sigma (\nabla V + S \nabla T),$$

где V – электрический потенциал, σ – коэффициент электропроводности.

Закон сохранения заряда имеет вид:

$$\nabla \cdot J = 0.$$

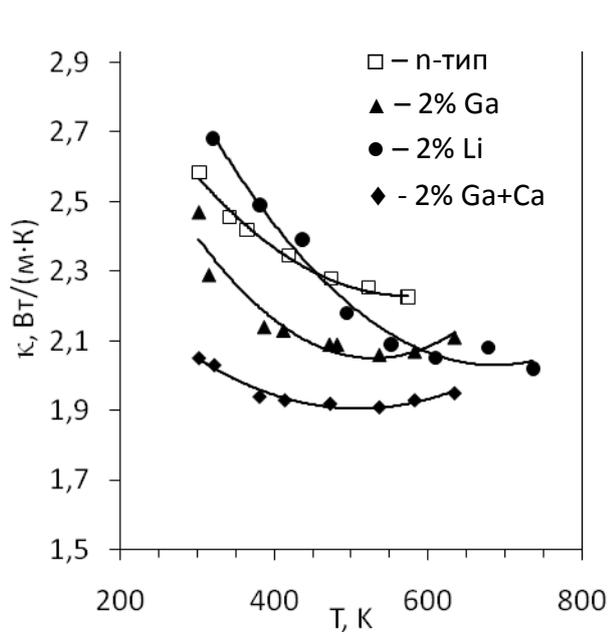


Рис. 1. Температурная зависимость теплопроводности

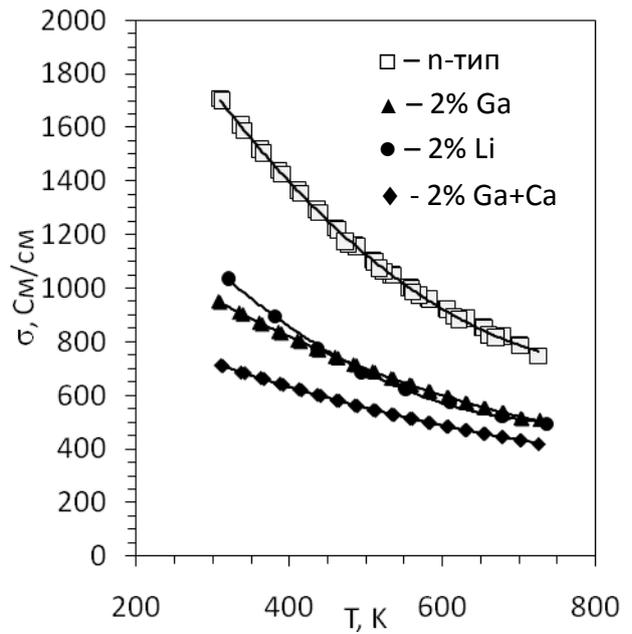


Рис. 2. Температурная зависимость электропроводности

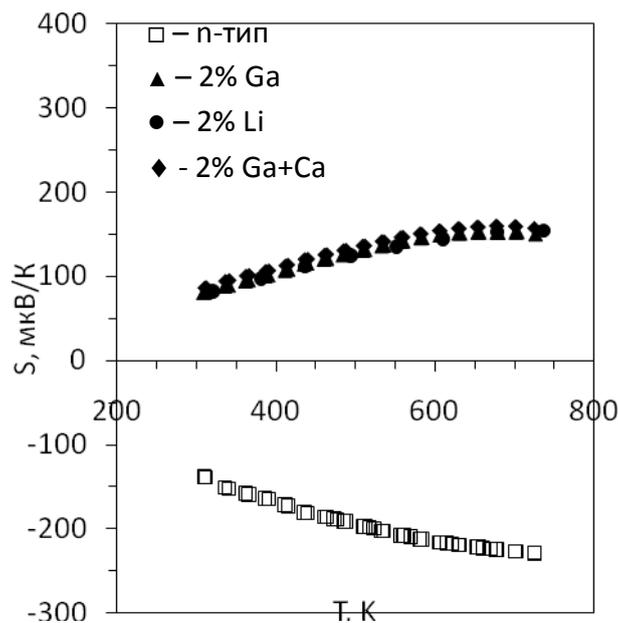


Рис. 3. Температурная зависимость термоэдс

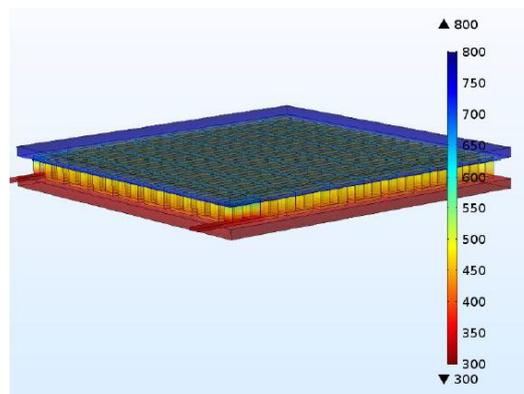


Рис. 4. Распределение поля температур в ТЭГ на твердых растворах

Граничные условия, используемые в модели, были следующими: для тепловых величин выбрано условие конвективного теплообмена между всеми боковыми поверхностями и окружающей средой. На поверхностях керамических пластин применялось граничное условие первого рода. Температура горячей стороны составила 800 К, холодной – 300 К, что соответствует режиму работы среднетемпературного ТЭГ.

Результаты моделирования ТЭГ на твердых растворах представлены на рис. 5 и рис. 6. Они получены для величины тепловой нагрузки 300 Вт.

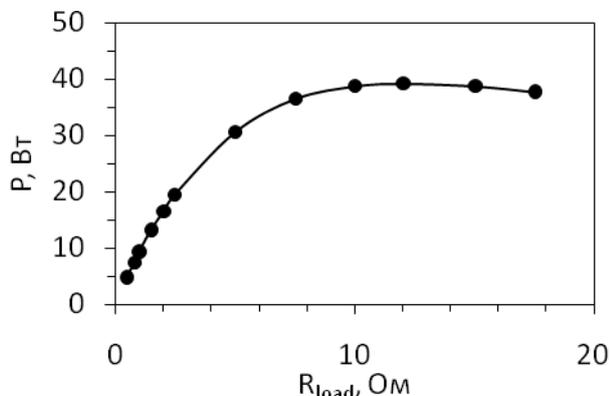


Рис. 5. Электрическая мощность ТЭГ на твердых растворах $Mg_2(Si-Sn)$ от сопротивления внешней нагрузки

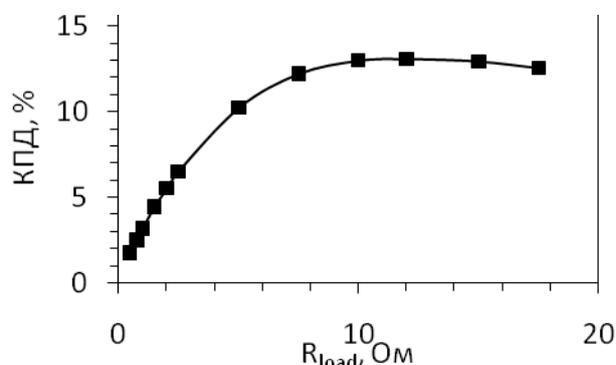


Рис. 6. КПД ТЭГ на твердых растворах $Mg_2(Si-Sn)$ от сопротивления внешней нагрузки

Как видно на рис. 5 и рис. 6, величина мощности и КПД увеличиваются с ростом сопротивления внешней нагрузки и достигают своего максимума при $R_{load} = 12$ Ом.

Значение мощности полученной модели соответствует зависимостям реальных коммерческих устройств [4]. Значение внутреннего электрического сопротивления и КПД ТЭГ на твердых растворах получилось несколько выше, чем у реально выпускаемых ТЭГ, следовательно, требуется более детальная проработка модели.

Полученные величины внутреннего сопротивления ТЭГ являются расчетными. Определение реальной величины этого параметра остается открытым. Для уточнения данных необходимо провести более детальное исследование диффузионных, переходных и контактных слоев и возникающих на них сопротивлений.

Полученные положительные результаты дают надежду, что после решения ряда технологических проблем, связанных с коммутацией и защитой материала, будет возможна организация выпуска ТЭГ на основе силицидных материалов, которые по стоимости и массогабаритным параметрам составят конкуренцию модулям, выпускаемым в настоящее время.

Публикации:

1. Самусевич К.Л. и др. Влияние нановключений на теплопроводность в твердых растворах на основе станнида магния [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2018. URL: <https://openbooks.ifmo.ru/ru/file/7982/7982.pdf> (дата обращения: 24.10.2018).

Литература

1. Gao P. et al. Transport and mechanical properties of high-ZT $Mg_{2.08}Si_{0.4-x}Sn_{0.6}Sb_x$ thermoelectric materials // Journal of Electronic Materials. 2013. Vol. 43. P. 1790–1803.
2. Fedorov M.I. et al. High effective thermoelectrics based on the Mg_2Si-Mg_2Sn solid solution // Solid State Phenomena. 2011. Vol. 170. P. 286–292.
3. Skomedal G. et al. Design, assembly and characterization of silicide-based thermoelectric modules // Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 110. P. 13–21.

4. Среднетемпературные генераторные модули серии Mars [Электронный ресурс] // Сайт компании «Криотерм». URL: <http://kryothermtec.com/ru/medium-temperature-generating-modules-mars-series.html> (дата обращения: 22.10.2018).



Сапарова Валерия Бяшимовна
Химико-биологический кластер
E-mail: saparova@scamt-itmo.ru

УСИЛЕНИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИМИОПРЕПАРАТОВ ПРИ РАЗОБЩЕНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЛКОВ p53 и MDM2

В.Б. Сапарова

Научный руководитель – доктор медицинских наук А.А. Штиль

Работа посвящена изучению влияния разобщения белкового комплекса p53/MDM2 на выживаемость раковых клеток в условиях *in vitro*. На основании литературных данных была выдвинута гипотеза, что активаторы белка p53 будут действовать синергично с ДНК-повреждающими химиопрепаратами. Полученные в планируемом исследовании результаты могут лечь в основу создания теоретической базы для разработки инновационных комбинированных подходов противораковой терапии.

Цель данного исследования – определение характера противоопухолевой активности новосинтезированных разобщителей взаимодействия белков p53 и MDM2 в комбинации с ДНК-повреждающими химиопрепаратами

Задачи проекта:

- оценка уровня цитотоксического действия новосинтезированных соединений в сравнении с нутлином-3а;
- оценка специфичности токсического действия новосинтезированных соединений;
- исследование влияния новосинтезированных соединений на клеточный цикл;
- исследование возможных лекарственных взаимодействий с широко известными ДНК-повреждающими химиопрепаратами (доксорубицином, цисплатином, 5-фторурацилом);
- оценка активности белков, вовлеченных в процессы апоптоза в культуре клеток рака кишки человека.

В настоящее время внимание научного сообщества сконцентрировано на разработке методов таргетной терапии раковых заболеваний. В сравнении с классическими токсическими химиопрепаратами, современные подходы позволяют разрабатывать более действенные соединения, не обладающие опасными побочными эффектами. Благодаря пониманию молекулярных механизмов малигнизации клеток стало возможно определение важнейших протоонкогенных и онкосупрессорных белков.

Транскрипционный фактор p53, известный как «страж генома», играет ключевую роль в регуляции клеточного цикла, апоптоза, репарации ДНК и процессов старения клеток [1]. Нарушения в сигнальном пути, связанном с белком p53, наблюдаются примерно в 50 % всех злокачественных опухолей человека [2]. В большинстве случаев инактивация p53 происходит вследствие точечных мутаций, однако существуют и более сложные механизмы. Второе по распространенности нарушение – это дупликация MDM2, первичного негативного

регулятора белка *p53*. Белок *MDM2* является частью сигнального пути, обеспечивающего отрицательную обратную связь при активации *p53*: *p53* служит транскрипционным фактором для *MDM2*, который в свою очередь является *E3* убиквитинлигазой и направляет *p53* на протеасомную деградацию [3]. Разбалансировка между *p53* и *MDM2* ведет к злокачественному перерождению клеток. Таким образом, *p53*-опосредованный сигнальный путь является привлекательной мишенью для современной противораковой терапии.

Разобщение взаимодействия *p53-MDM2* ведет к активации и стабилизации *p53* в клетке, позволяя белку выполнять протективные функции. Первое удачное использование этого потенциала произошло в 2004 году, когда Любомир Васильев с коллегами синтезировали нутлин-3а [4]. Нутлины представляют собой низкомолекулярные производные имидозолина. Нутлин-3а связывается с *MDM2*, предотвращая его взаимодействие с *p53*. На данный момент ведется поиск новых разобщителей взаимодействия *p53-MDM2*. Уже синтезированные и изученные аналоги нутлин-3а классифицируются по механизму их действия.

Среди широко известных химиопрепаратов первого поколения преобладают ДНК-повреждающие агенты. Считается, что повреждения ДНК стимулируют остаточную активность *p53* в опухоли [5]. Метод комбинированной противораковой терапии широко используется в клинике при лечении пациентов, доказано, что монотерапия зачастую менее эффективна и сопровождается более значительными побочными эффектами. Научное сообщество, в свою очередь, изобретает все новые комбинации лекарств со все лучшими терапевтическими характеристиками. Современным подходом считается не просто сочетание соединений, не мешающих биодоступности и фармакологическому действию друг друга, но поиск комбинаций синергичных соединений, которые будут усиливать общую эффективность терапии. Таким образом, имеющиеся литературные данные указывают на перспективный доклинический потенциал исследований комбинированного воздействия химиопрепаратов и разобщителей белков *p53/MDM2*, подчеркивая важность наличия *p53* дикого типа в опухоли.

Ожидаемые результаты исследования

Согласно выдвинутой гипотезе, комбинированное применение ДНК-повреждающих химиопрепаратов и активаторов белка *p53* позволит достичь синергии в действии компонентов. В настоящей работе будут рассмотрены механизмы действия новосинтезированных активаторов белка *p53*, а также механизмы совместного действия комбинаций препаратов.

В результате проделанной работы планируется составление комплексной характеристики новосинтезированных соединений, их действующих концентраций и механизмов, посредством которых достигается ингибирование роста опухолевых клеток. Важной характеристикой кандидатов для доклинических исследований является направленность их действия, которая также будет детально проанализирована в настоящем исследовании.

Такая комплексная оценка позволит выявить возможных кандидатов для дальнейших исследований, в том числе доклинических, а также составить протокол работы с активаторами *p53* в условиях *in vitro*.

Предварительные результаты

На данном этапе исследования установлены спектр действующих концентраций нутлина-3а и концентрация полумаксимального ингибирования (IC₅₀ – 2 микромоль) для клеточной линии НСТ116 – раковые клетки толстой кишки человека (рис. 1).

Также проанализировано цитотоксическое действие комбинаций нутлина-3а с химиопрепаратами: доксорубицином (рис. 2), цисплатином (рис. 3) и 5-фторурацилом (рис. 4). Полученные данные позволяют в дальнейшем перейти к изучению цитотоксических свойств новосинтезированных модифицированных аналогов нутлина-3а.

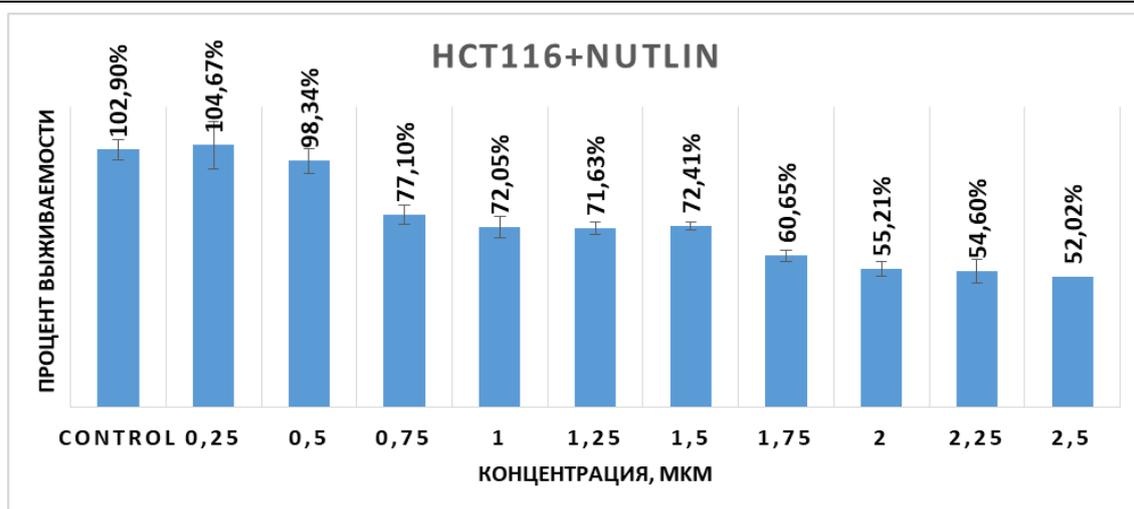


Рис. 1. Цитотоксическое действие нутлина-3а на клеточной линии HCT116. На диаграмме представлены усредненные результаты серии из трех повторов МТТ-теста

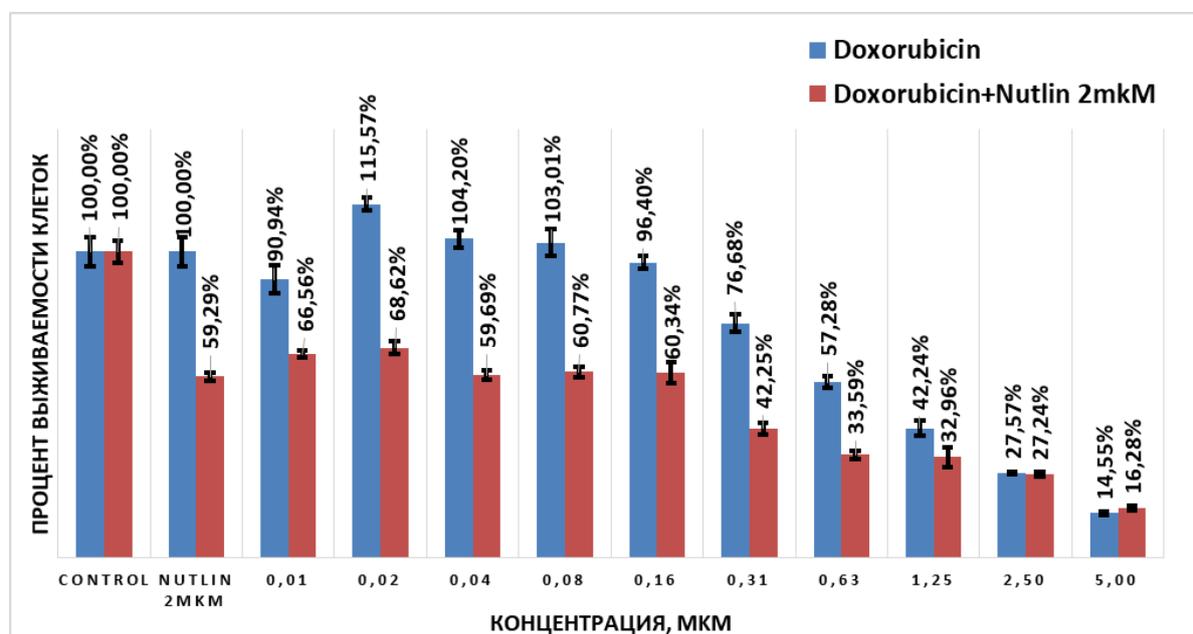


Рис. 2. Цитотоксическое действие комбинации нутлина-3а и доксорубицина на клеточной линии HCT116

На диаграммах рис. 2–4 представлены усредненные результаты серий из трех повторов МТТ-теста. Синим цветом обозначен процент выживаемости клеток при монотерапии доксорубицином (рис. 2), цисплатином (рис. 3) и фторурацилом (рис. 4), красным – результаты выживаемости после комбинированного воздействия серий двукратного разведения доксорубицина и 2 микромоляр нутлина-3а (рис. 2), цисплатина и 2 микромоляр нутлина-3а (рис. 3) и 5-фторурацила и 2 микромоляр нутлина-3а (рис. 4).

Заключение

Детальная характеристика клеток, подвергшихся экспериментальному воздействию, открывает новые возможности современной терапии раковых заболеваний. Настоящее исследование указывает на перспективный доклинический потенциал указанных комбинаций. Применение синергичных соединений позволит сохранить сильный цитотоксический эффект при уменьшении побочного воздействия.

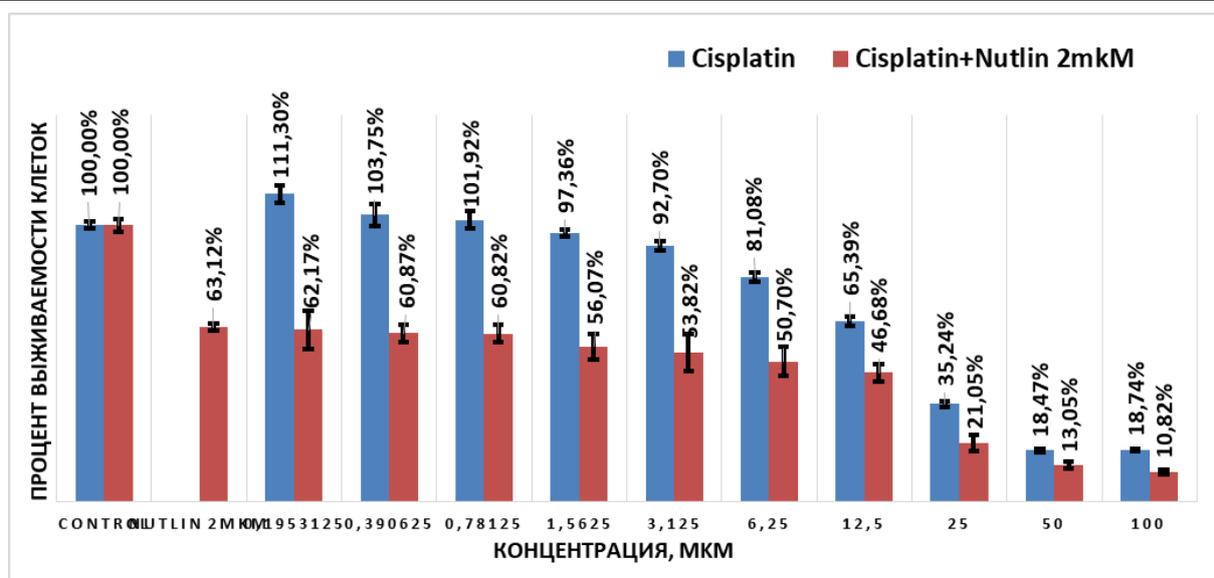


Рис. 3. Цитотоксическое действие комбинации нутлина-3а и цисплатина на клеточной линии HCT116

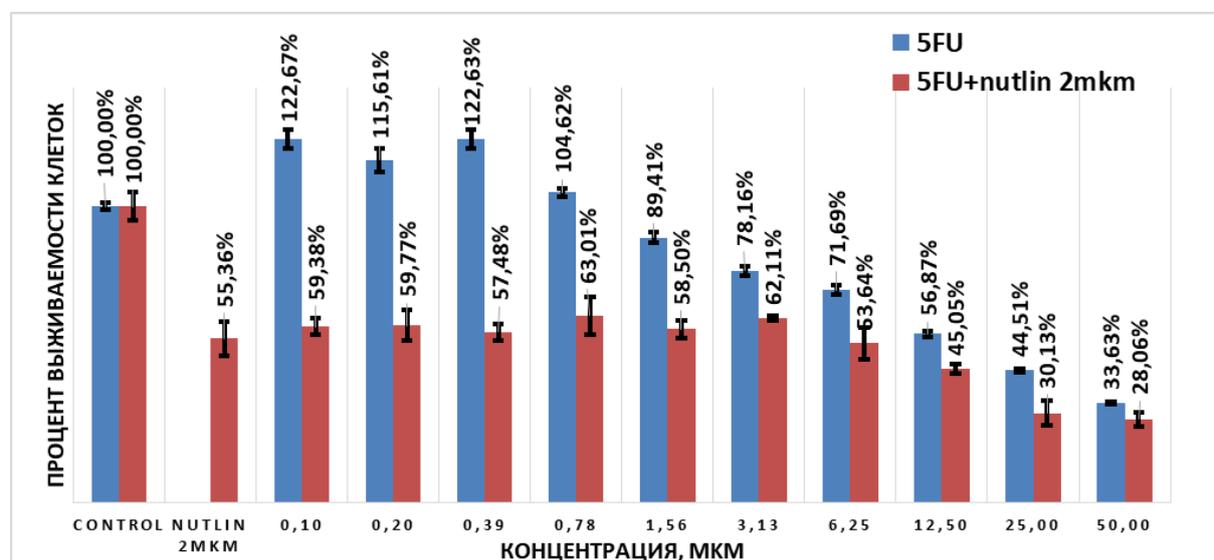


Рис. 4. Цитотоксическое действие комбинации нутлина-3а и 5-фторурацила на клеточной линии HCT116

Литература

1. Lane D.P. p53, guardian of the genome // Nature. 1992. Vol. 358. P. 15–16.
2. Burgess A. et al. Clinical overview of MDM2/X-targeted therapies // Frontiers in Oncology. 2016. Vol. 6. No 1. P. 661.
3. Pant V., Lozano G. Limiting the power of p53 through the ubiquitin proteasome pathway // Genes & Development. 2014. Vol. 28. P. 1739–1751.
4. Vassilev L.T. et al. In vivo activation of the p53 pathway by small-molecule antagonists of MDM2 // Science. 2004. Vol. 303. P. 844–848.
5. Ohnstad H.O. et al. MDM2 antagonist Nutlin-3a potentiates antitumour activity of cytotoxic drugs in sarcoma cell lines // BMC Cancer. 2011. Vol. 211. P. 1–11.



Соловицкая Анастасия Александровна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
E-mail: a-solov@list.ru

ИННОВАЦИОННАЯ СТРАТЕГИЯ В УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

А.А. Соловицкая

Научный руководитель – профессор И.Г. Сергеева

В работе проведен анализ концепции взаимодействия учреждений высшего образования с работодателями и органами власти в области инновационной деятельности. Выявлены особенности инновационной стратегии для адаптации матричной организационной структуры в университете, ориентированном на инновационную деятельность.

Цель исследования – сформировать инновационную стратегию управления университетом.

В ходе исследования необходимо:

- рассмотреть организационно-управленческие инновации и организационные структуры;
- проанализировать концепцию взаимодействия учреждений высшего образования с работодателями и органами власти в инновационной деятельности;
- составить матричную организационную структуру управления для внедрения технологии перевернутых классов;
- сформировать инновационную стратегию университета.

Важно понимать, что для качественного внедрения любой стратегии, в том числе инновационной, необходим системный подход, под которым в данном случае подразумевается комплексный анализ и комплексное изменение структуры университета. Другими словами, системный подход – это база для формирования вузом новой инновационной стратегии [1].

В данном случае при формировании инновационной стратегии стоит обратить внимание на изменения, касающиеся организационной структуры, то есть на организационно-управленческие инновации.

Под организационно-управленческими инновациями понимаются изменения в структуре управления организацией, проводимые с целью усовершенствования ее функционирования, достижения поставленных задач и целей, а также повышения конкурентоспособности.

Для построения системы коммуникационных связей в университете предлагается внедрение кардинально новой организационной структуры в сфере образования [2].

В соответствии с моделью тройной спирали Генри Ицковица университет взаимодействует с двумя другими институтами: с бизнес-структурами и с органами власти [3, 4]. При формировании концепции взаимодействия учреждений высшего образования с работодателями и органами власти в инновационной области было выделено пять сфер деятельности университета: исследования, преподавание, взаимодействие с регионом, интернационализация и трансфер знаний (рис. 1).

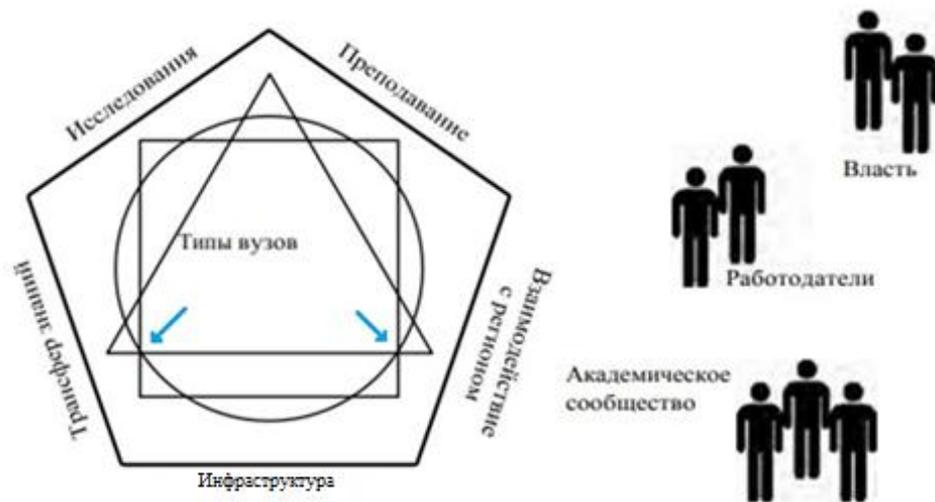


Рис. 1. Объекты и целевые группы концепции

На основании анализа параметров деятельности университета были выделены особенности, присущие стратегии университета, ориентированного на инновационное развитие:

- осуществление современных исследований и инновационной деятельности в университете как обязательной составляющей качественного учебного процесса;
- внедрение элементов исследования в учебный процесс для формирования у студентов системного подхода к овладению знаний с первых курсов;
- организация различных исследований, базирующихся в лабораториях университета;
- повышение фундаментальности образовательного процесса;
- повышение важности участия студентов в прикладных исследованиях, что необходимо для освоения производственных и отраслевых технологий, связанных с их будущей профессией; получение опыта практической работы;
- создание определенной инновационной инфраструктуры, усиление тех участков, которые отвечают за исследования, разработку, защиту интеллектуальной собственности;
- внедрение современных технологий обучения при проведении практических занятий;
- организация базовых кафедр, исследовательских учебных лабораторий;
- улучшение подготовки преподавателей посредством дополнительных профессиональных курсов, повышения квалификации и т. д.;
- целевая подготовка специалистов;
- увеличение количества заказов на НИОКР;
- прозрачность, то есть публичность и открытость информации о вузе через доступные информационные источники.

При анализе профиля выпускника университета были выделены некоторые подразделения, которые обязательно должны быть учтены при составлении матричной структуры управления университетом, ориентированным на инновации (рис. 2).

В вузе следует создавать научно-исследовательские центры, в которых работают сотрудники и студенты с различных кафедр по определенным направлениям. Это могут быть как факультетские, так и университетские центры исследования. Им отводится значимая роль, так как именно их деятельность направлена на поддержание концепции взаимодействия учреждений высшего образования с работодателями и органами власти в инновационной деятельности. Таким образом, они отвечают за развитие в большей степени научно-исследовательских лабораторий, базовых кафедр, курсов повышения квалификации для преподавателей и административных сотрудников университета и т. д.

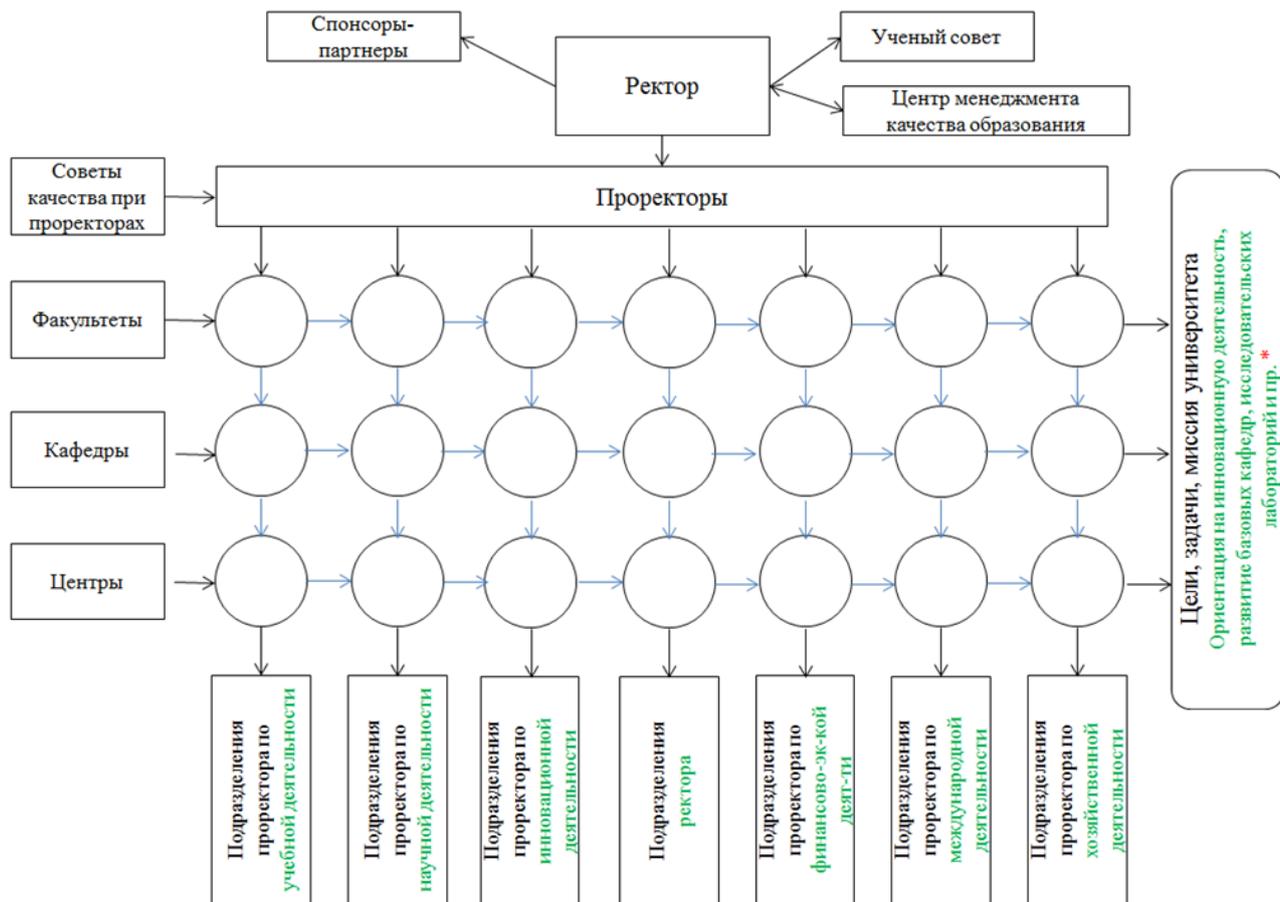


Рис. 2. Матричная структура университета, ориентированного на инновационную деятельность

Деятельность университета и всех его отделов должна осуществляться с учетом общей цели, задач и миссии. При формировании инновационной стратегии университета обязательно должны быть приняты во внимание особенности концепции взаимодействия вуза с работодателями и органами власти. Если это будет реализовано, то у вуза появится возможность быть более конкурентоспособным на рынке образовательных услуг, особенно в силу того, что он будет учитывать требования своих целевых групп: работодателей и органов власти. Кроме того, благодаря увеличению количества научных разработок появится возможность увеличить приток в вуз денежных средств.

Сильные и слабые стороны внедрения адаптированной матричной структуры для университета, ориентированного на инновационную деятельность, представлены на рис. 3. При этом преимущества явно преобладают. Главные из них связаны с возможностью выполнять сложные задачи в условиях быстро изменяющейся, нестабильной окружающей среды.

У матричной структуры есть и недостатки, которые при определенных условиях могут оказаться не столь существенными. Длительная подготовка и адаптация сотрудников и студентов возможна не только при внедрении предложенной структуры. Нельзя однозначно оценить, насколько было бы проще какое-либо другое изменение или нововведение. Частичное дублирование некоторых функций может предполагать больший контроль и возможность получения за счет этого более качественного результата.

Значительное количество денежных средств, необходимое на поддержание новой организационной структуры, также можно частично компенсировать. Улучшение оснащения лабораторий, а также работы функционирующих малых инновационных предприятий приведет к увеличению числа заказов на научные и конструкторские разработки со стороны

частных и государственных компаний, что позволит университету получить необходимые денежные средства на внедрение и адаптацию матричной структуры.

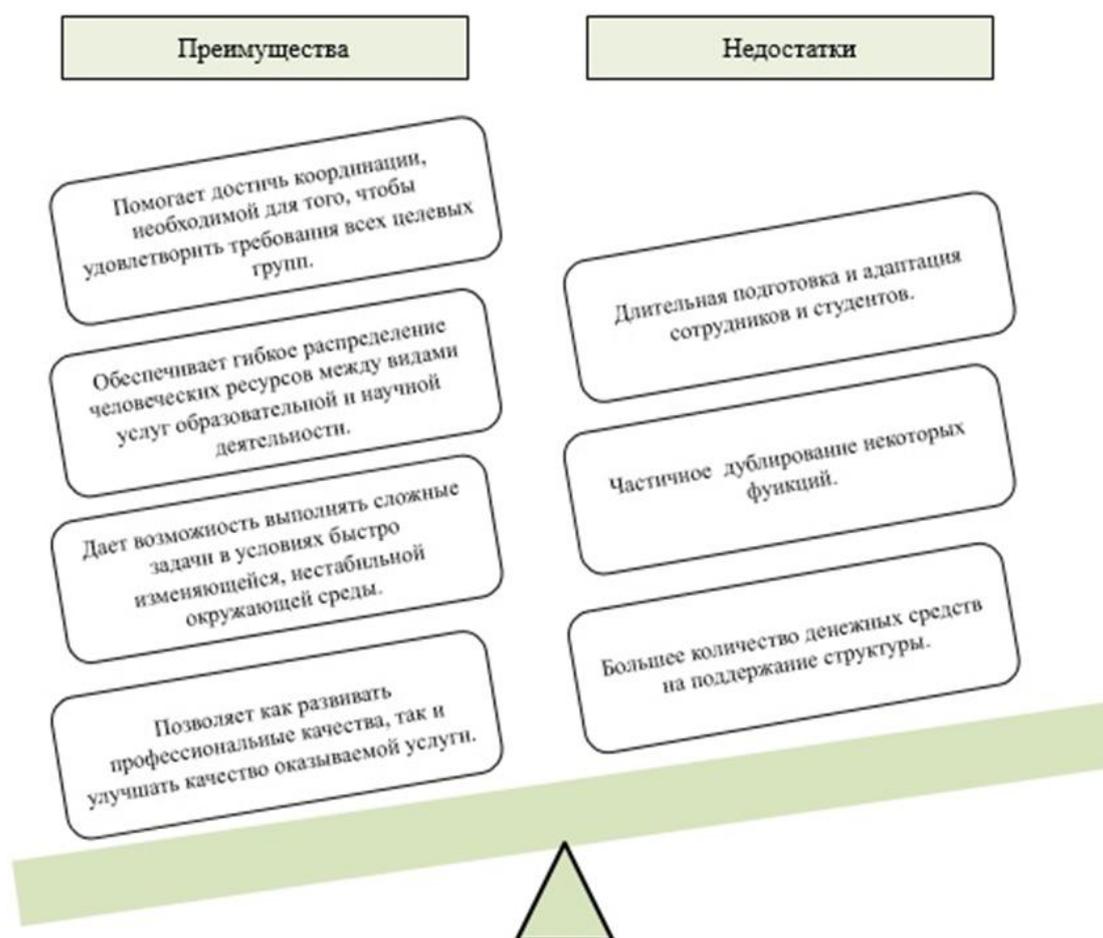


Рис. 3. Сильные и слабые стороны матричной структуры в университете, ориентированном на инновационную деятельность

Важно отметить, что вторым инструментом при формировании инновационной стратегии становится внедрение в университете технологии перевернутых классов, которая позволит ему в большей степени соответствовать требованиям работодателей и органов власти. Преподаватели смогут выстраивать план занятий таким образом, чтобы он был практико-ориентированным, при этом весь лекционный материал студенты смогут изучать самостоятельно с помощью информационной образовательной платформы, которая может быть как готовой и адаптированной под цели вуза (например, *Moodle*) или же индивидуальной, разработанной на базе университета. В любом случае она должна удовлетворять целям, задачам и миссии университета, который ориентирован на инновационную деятельность.

На практических занятиях студенты смогут проводить опыты и научно-исследовательские работы в научных лабораториях университета и в компаниях-партнерах, решать актуальные бизнес-кейсы и прочие задачи в зависимости от направлений подготовки.

Таким образом, инновационная стратегия в управлении университетом, ориентированном на инновационную деятельность, основана на использовании двух инструментов: адаптации матричной структуры для высшего учебного заведения и внедрении технологии перевернутых классов.

В результате проделанной работы:

- адаптирована матричная организационная структура для университета, ориентированного на инновационную деятельность;

– обоснована необходимость использования инструментов реализации инновационной стратегии университета – матричной организационной структуры, технологии перевернутых классов.

Публикации

Соловицкая А.А., Мишура Л.Г. Факторы, влияющие на выбор инновационной стратегии // Стратегии и инструменты управления экономикой: отраслевой и региональный аспект: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб., 2017. Т. 2. С. 195–201.

Литература

1. Соловицкая А.А., Мишура Л.Г. Факторы, влияющие на выбор инновационной стратегии // Стратегии и инструменты управления экономикой: отраслевой и региональный аспект: материалы VII Международной научно-практической конференции. СПб., 2017. Т. 2. С. 195–201.
2. Плехова Ю.О., Картомин А.Г. Применение матричных организационных структур в практике управления // ИТпортал. 2014. № 2 (2). С. 3–5.
3. Ицковиц Г. Модель тройной спирали // Инновации. 2011. № 4 (150). С. 5–10.
4. Пахомова И.Ю. Модель «Тройной спирали» как механизм инновационного развития региона // Научные ведомости БелГУ. История. Политология. Экономика. Информатика. 2012. № 7-1 (126). С. 12–18.



Трушкин Максим Александрович
Факультет безопасности информационных технологий
E-mail: maksim.trushkin@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭРГОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БОРТОВЫХ СРЕДСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

М.А. Трушкин

Научный руководитель – профессор И.О. Жаринов

В данной работе проводится исследование эргономических характеристик средств отображения и управления индикацией, а также пилотажно-навигационных кадров на бортовых средствах отображения информации, выполненных на базе жидкокристаллической панели с разрешением 640×480 , 800×600 и 1024×768 пикселей. Исследуется цветовосприятие знаков символической информации с линейными размерами букв (цифр): 3; 4,5; 6 и 8 мм, белого, красного, желтого, зеленого и синего цветов.

Цель проекта – исследовать эргономические параметры средств отображения информации на тестовом оборудовании, представленном многофункциональным цветным индикатором (МФЦИ) и многофункциональным пультом управления (МФПУ).

Задачи проекта:

– разработать метод проверки качества представления информации с экранов МФПУ и МФЦУ;

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

- разработать метод проверки надежности восприятия знаковой информации;
- разработать программное обеспечение для проведения исследований;
- провести анализ полученных результатов.

В составе бортового вычислительного комплекса МФЦИ является основным средством отображения пилотажно-навигационной информации. В современных летательных аппаратах система индикации состоит из определенного количества МФЦИ. При этом количество индикаторов зависит от численного состава экипажа воздушного судна и количества информации, представляемой летчикам [1].

В состав аппаратуры для отображения информации на борту самолета, кроме многофункциональных индикаторов, входят различные пульта управления [2], которые могут представлять собой как панель, на которую выведены устройства управления (кнопки, переключатели, тумблеры и т. п.), так и многофункциональное устройство с экраном для индикации полезной информации совместно со средствами ввода и управления.

Обычно пульта используются для осуществления навигации, получения/отправки текстовых сообщений, управления системами вооружений, контроля топливной системы, связи, а также для управления другими различными процессами на борту самолета [3].

Таким образом, современные средства индикации в кабине летательного аппарата обладают большим количеством свойств и параметров, в том числе серьезно влияющих на эргономику. Чтобы оценить эргономические характеристики многофункциональных индикаторов, нужно провести исследование эргономики следующих характеристик индикатора:

- расположения и размеров кнопочного обрамления;
- доступности кнопочного обрамления в сложных условиях эксплуатации;
- структур отображаемых кадров;
- разрешения экрана;
- размера и цвета выводимых символов.

Первым этапом исследования стал контроль качества представления знаковой информации с экранов МФЦИ и МФПУ. Определялись доступность средств управления индикацией; параметры, не обеспечивающие оптимальных условий для восприятия информации при различных условиях эксплуатации; осуществлялся поиск пространственных искажений изображения (дрожания, ступенчатости линий), а также проверялось функциональное программное обеспечение индикатора, влияющее на качество, расположение и оформление элементов индикации на пилотажно-навигационных кадрах МФЦИ [4].

На втором этапе осуществлялся тест надежности восприятия знаковой информации с экранов МФЦИ и МФПУ, цель которого – получение числовых значений надежности восприятия знаковой информации таких характеристик, как разрешение экрана, размер символа и яркостный контраст [5].

Для данного теста разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять контроль символов различных алфавитов с учетом их цвета и размера. Для теста использовались шрифты со следующими размерами:

- 10 угловых минут = 3 мм = 10 пт;
- 15 угловых минут = 4,5 мм = 14 пт;
- 20 угловых минут = 6 мм = 18 пт;
- 30 угловых минут = 8 мм = 22 пт.

С помощью данного программного обеспечения контролировалось:

- восприятие знаков разного размера (10, 15, 20 и 30 угловых минут) и цвета (красный, желтый, зеленый и синий) при разрешениях экрана 640×480 , 800×600 и 1024×768 пикселей и фиксированном яркостном контрасте 0,5;
- восприятие знаков размера (10, 15, 20 и 30 угловых минут) и цвета (красный, желтый, зеленый и синий) при разрешениях экрана 640×480 , 800×600 и 1024×768 пикселей и изменяемом яркостном контрасте 0,2; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0 и 1,4.

В ходе первого этапа эксперимента были выявлены неточности отображения пилотажно-навигационной информации, большой коэффициент диффузного отражения, даны рекомендации по улучшению тактильного ощущения нажатия на кнопки.

На втором этапе эксперимента в первом тесте определили, что знаки размером 30 угловых минут успешно распознаются испытуемым при любых настройках разрешения экрана (рис. 1). Знаки размером 20 угловых минут при имитации разрешения в 640×480 пикселей дают вероятность распознавания в 70–80 %, но при увеличении разрешения до 800×600 пикселей вероятность распознавания сразу повышается до 96 %. Данные сведения говорят о безошибочном распознавании и восприятии. Дальнейшее увеличение разрешения практически не сказывается на их качестве.

Для знаков размером 15 и 10 угловых минут вероятность распознавания увеличивается с увеличением разрешения экрана. При этом при заданном уровне яркостного контраста (0,5) и разрешении экрана в 800×600 пикселей, безошибочное восприятие обеспечивается только в 50 % и 45 % случаев. При разрешении экрана в 1024×768 вероятность увеличивалась до 60 %.

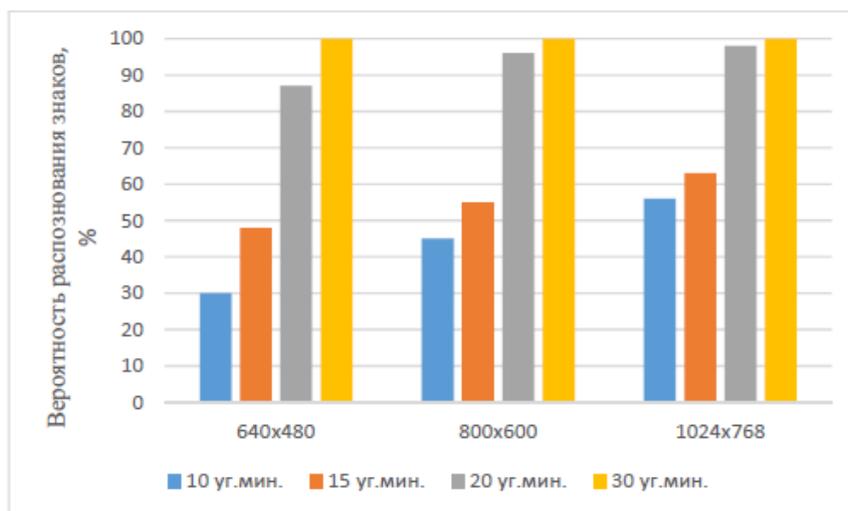
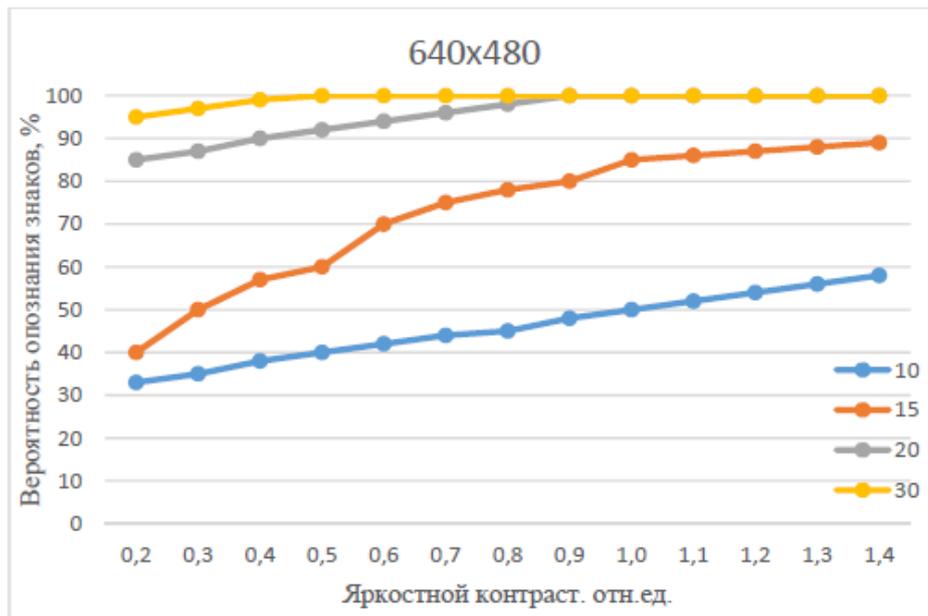


Рис. 1. Вероятность распознавания знаков белого цвета относительно разрешения экрана

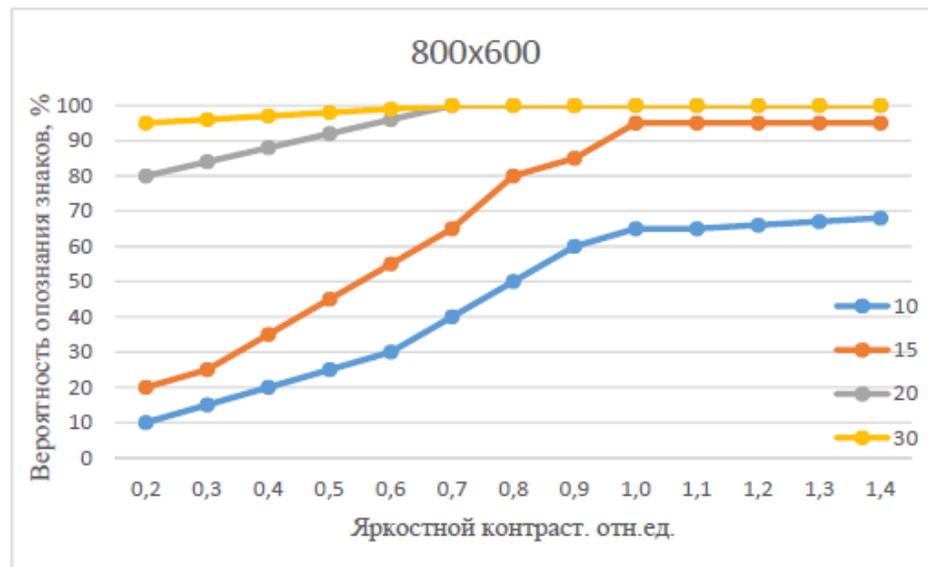
Результаты второго теста, при котором менялся яркостной контраст, представлены на рис. 2. На рисунке видно, что при минимальном контрасте в 0,2 и минимальном разрешении 640×480 пикселей знаки, имеющий размер меньше 20 угловых минут, не обеспечивают достаточную вероятность распознавания. Но при повышении значения яркостного контраста вероятность распознавания тоже увеличивается.

Для знаков размером 30 угловых минут при минимальном разрешении безошибочное распознавание обеспечивается при контрасте выше 0,5. Для знаков размером 20 угловых минут при минимальном разрешении для безошибочного распознавания следует обеспечить контраст не меньше 0,8. Знаки размером в 15 угловых минут во всем диапазоне контрастов имеют вероятность распознавания, возрастающую с увеличением значения контраста, но не превышающую 80 %. У знаков размером 10 угловых минут при тех же условиях вероятность распознавания не поднимается выше 50 %. Исходя из этого, можно утверждать, что дальнейшее увеличение контраста не даст значительного прироста надежности распознавания знаков размером 15 и менее угловых минут.

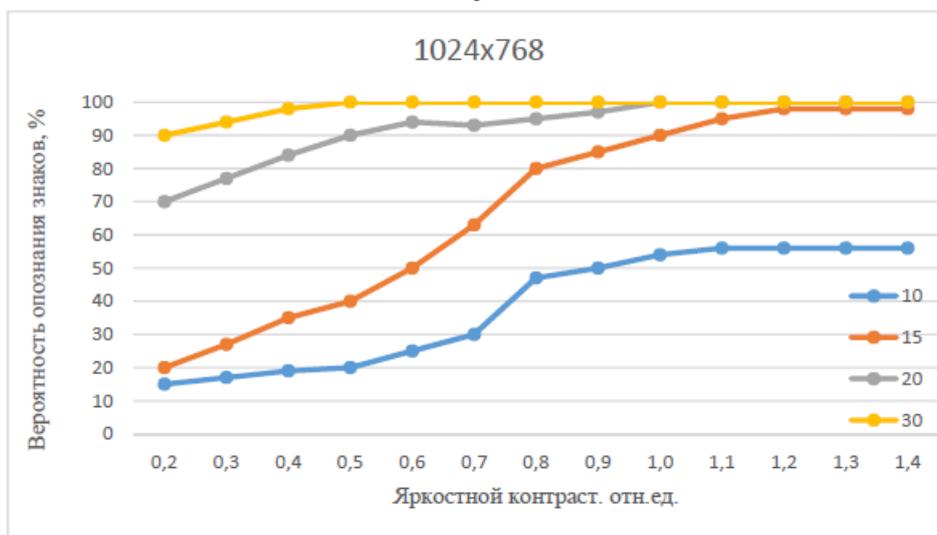
Рассматривая зависимости вероятности распознавания знаков от их яркостного контраста при разрешении экрана 800×600 и 1024×768 пикселей, скажем, что увеличение контраста знаков на экране с более высоким разрешением повышает вероятность распознавания.



а



б



в

Рис. 2. Вероятность распознавания знаков белого цвета при различных значениях яркостного контраста и разрешения экрана: а – 640 × 480; б – 800 × 600; в – 1024 × 768

Использование экрана с разрешением в 1024×768 и 600×800 пикселей позволяет распознавать знаки размером 15 угловых минут при яркостном контрасте 1,0 практически безошибочно (вероятность равна 98 %). А вероятность распознавания знаков размером 10 угловых минут для максимального разрешения не превышала 60 % при яркостном контрасте более 1,0. Из этого следует, что при использовании экранов с разрешением 640×480 пикселей, выводимые на них символы не должны иметь размер менее 20 угловых минут. А на экраны с разрешением 800×600 и более можно выводить символы размером не менее 15 угловых минут. При этом яркостный контраст не должен быть менее 1,0.

Таким образом:

- надежность восприятия информации с МФЦИ прямо зависит от совместного влияния параметров экрана, углового размера элементов и яркостного контраста с фоном;
- использовать минимальные размеры знаков при минимальном разрешении экрана не эффективно, даже увеличивая контрастный коэффициент;
- для экранов с разрешением менее 800×600 пикселей эффективный размер знака должен быть не менее 20 угловых минут при яркостном контрасте выше 1,0;
- для экранов с разрешением равным 800×600 и выше пикселей эффективный размер знака не менее 15 угловых минут при яркостном контрасте выше 1,0;
- самые эффективные для восприятия цвета для символов минимального размера (10, 12 пт), отображаемых на черном фоне, – белый, красный и синий.

Публикации

1. Трушкин М.А. и др. Применение оптоэлектронных технологий для управления бортовым средством индикации // Автоматизированные технологии и производства. 2017. № 1 (15). С. 65–70.
2. Trushkin M.A. et al. Time guidance in the navigational complex of aircraft // International Review of Aerospace Engineering (I.RE.AS.E). 2018. Vol. 11. No 4. P. 170–175.

Литература

1. Пармонов П.П. и др. Многофункциональные индикаторы на плоских жидкокристаллических панелях: наукоемкие аппаратно-программные решения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2004. Т. 4. № 3. С. 238–244.
2. Пармонов П.П. и др. Проектирование систем бортового информационного обмена и их функциональных элементов: монография. Тула, 2010. – 208 с.
3. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики. М., 2010. – 223 с.
4. Иванов А.И. и др. Экспериментальное исследование надежности восприятия знаковой информации с авиационного жидкокристаллического индикатора // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2014. № 4. С. 33–36.
5. Лемещенко Н.А. и др. Особенности восприятия летчиком пилотажной информации, отображаемой на бортовых жидкокристаллических индикаторах // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 11. С. 36–40.



Функнер Анастасия Александровна
Факультет информационных технологий и программирования
E-mail: funkner.anastasia@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИНИЧЕСКИХ ПУТЕЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ РАЗНОРОДНОСТИ ПОТОКА ПАЦИЕНТОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ СЛУЧАЕВ ОСТРОГО КОРОНАРНОГО СИНДРОМА

А.А. Функнер

Научный руководитель – кандидат технических наук С.В. Ковальчук

Работа посвящена актуальной задаче моделирования клинических путей при лечении пациентов с социально-значимым заболеванием – острым коронарным синдромом (ОКС). Представлены три алгоритма идентификации и кластеризации клинических путей. Осуществлены экспериментальные исследования предложенных методов, основанные на данных электронных медицинских карт пациентов с ОКС. Полученные клинические пути интерпретированы медицинским экспертом. Описана и реализована имитационная модель обслуживания потока пациентов в медицинском центре. Проведены два эксперимента на базе имитационной модели.

В 2008 году был предложен ценностно-ориентированный подход в медицине, основанный на четырех принципах: профилактика заболеваний, персонализация, возможность предсказывать течение болезни и активное участие самого пациента в процессе лечения и профилактики [1]. Один из способов повысить уровень персонализации – это классифицировать пациентов не только на основе их диагнозов, но и разделять их внутри диагноза на характерные группы с учетом, например, их клинических путей. Это позволит оказывать внимание пациентам внутри одной группы, ориентируясь на их особенности, и подбирать более точное лечение в рамках группы, а не только диагноза. Зная параметры, характерные для групп, можно предсказывать течение болезни и определять вероятности разнообразных исходов при наличии прецедентов для каждой группы. Такое разделение пациентов позволит оптимизировать использование ресурсов медицинских учреждений, что соответствует принципам развивающегося ценностно-ориентированного подхода в медицине [2].

Цель исследования – разработка универсальных методов структурирования пространства клинических путей с целью их идентификации и деления пациентов на характерные группы.

Одним из способов описать, что, где и как происходит с пациентом в больнице или клинике – это составить его клинический путь (*clinical pathway*). У данного понятия нет четкого определения. Оно зависит от страны, к которой относится клиника или больница, от университета или ученого, которые используют его в своих исследованиях. Однако можно определить его общие характеристики: клинический путь подчиняется какой-то цели и содержит ключевые моменты лечения и ухода за больным. Он определяется в соответствии с успешными передовыми практиками и ожиданиями пациентов, должен включать этапы документирования, текущего контроля и поддерживать вариативность развития событий. При составлении клинического пути также необходимо принимать во внимание доступные ресурсы.

Цель создания клинических путей – развитие качества обслуживания в медицинских учреждениях, уменьшение рисков неблагоприятных событий, повышение уровня удовлетворенности пациентов и оптимизация использования ресурсов [3]. Существующие

методы идентификации и кластеризации клинических путей обычно строго направлены на идентификацию и кластеризацию клинических путей какого-то определенного лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ) или больных с определенным заболеванием. В данной работе представлены три универсальных алгоритма для выявления клинических путей на основе любых последовательных непересекающихся состояний пациента.

На вход предложенным алгоритмам подается множество цепочек, каждая из которых является последовательностью изменений состояний одного пациента. Состояниями могут быть отделения, в которых пребывал пациент, диагнозы или события, происходившие с ним в медицинском учреждении. Результатом работы алгоритмов являются кластеры пациентов и структурированные типичные клинические пути для каждого кластера. Все алгоритмы имеют общую схему работы и отличаются на некоторых этапах:

- сбор последовательности состояний, восстановление их структуры;
- кластеризация последовательности состояний методом k -средних (первый и второй алгоритм) или на основе эволюционных шаблонов (третий алгоритм);
- поиск обобщающих шаблонов: подбор экспертом (первый алгоритм) или с помощью генетического алгоритма (второй и третий алгоритмы);
- структурирование клинических путей;
- интерпретация полученных клинических путей.

В первом и втором алгоритмах метод k -средних ищет лучшее расположение центров кластеров в пространстве входных данных таким образом, чтобы расстояние от точки до центра кластера было минимальным для всех кластеров. В нашем случае входные данные – это множество последовательностей, а расстояние между ними может быть найдено с помощью расстояния Левенштейна, которое позволяет определять расстояние между строками разной длины, вычисляя, какое количество удалений, вставок и замен символов необходимо провести, чтобы первую строку превратить во вторую. На вход методу k -средних подается матрица расстояний для последовательностей, а также число кластеров, определяемое с помощью несколько кластерных метрик. В данном исследовании использовалась метрика, определяемая отношением внутрикластерной и межкластерной метрики.

Далее необходимо выявить основные паттерны поведения пациентов внутри каждого кластера, то есть обобщить все их пути. С этой целью подбирается шаблон для каждого кластера, который представляет собой обобщение группы последовательностей состояний и позволяет выявить особенности каждого кластера. В случае первого алгоритма шаблон подбирается медицинским экспертом, а для второго и третьего алгоритмов шаблоны выращиваются автоматически с помощью генетического алгоритма.

Для определения обобщающего шаблона необходимо решить задачу поиска кратчайшей общей надстроки, которая не выполняется за полиномиальное время. Чтобы выбрать наилучший шаблон, подходящий для определенного множества последовательностей состояний, нужно решить задачу многокритериальной оптимизации. Для этого используется генетический алгоритм, поскольку он подходит для поиска глобального экстремума и его можно при необходимости модифицировать.

Определим функцию выравнивания $V = V(T, B)$, по выбранному шаблону $T \in \Omega$ и множеству последовательностей B определяющую количество последовательностей, которое нельзя выровнять по данному шаблону T . Выявим функцию длины шаблона $L = L(T)$, которая выбранному шаблону $T \in \Omega$ ставит в соответствие его длину. Тогда функции V и L являются целевыми, и задача многокритериальной оптимизации формулируется следующим образом:

$$\min_{T \in \Omega} \{V(T, B), L(T)\}. \quad (1)$$

Далее с помощью генетического алгоритма найдем решения (1), оптимальные по Парето. Решение $\hat{T} \in \Omega$ называется оптимальным по Парето, если не существует $T \in \Omega$

такого, что $f_i(T) \leq f_i(\hat{T})$ для всех $i = \overline{1, k}$ и $f_i(T) < f_i(\hat{T})$ для хотя бы одного i . Функции f_i – это целевые функции. Данное определение также сформулировано для задачи минимизации всех целевых функций. Множество оптимальных по Парето решений называется фронтом.

Для генетического алгоритма необходимо определить вид генотипов, функции приспособленности и способы скрещивания, мутации и селекции генотипов. В нашем случае генотипами являются шаблоны. Начальная популяция генотипов формируется случайным образом на основе всех состояний, которые встречаются во множестве V . Функция приспособленности в данном случае является вектор-функцией и состоит из двух компонентов: функций выравнивания и длины.

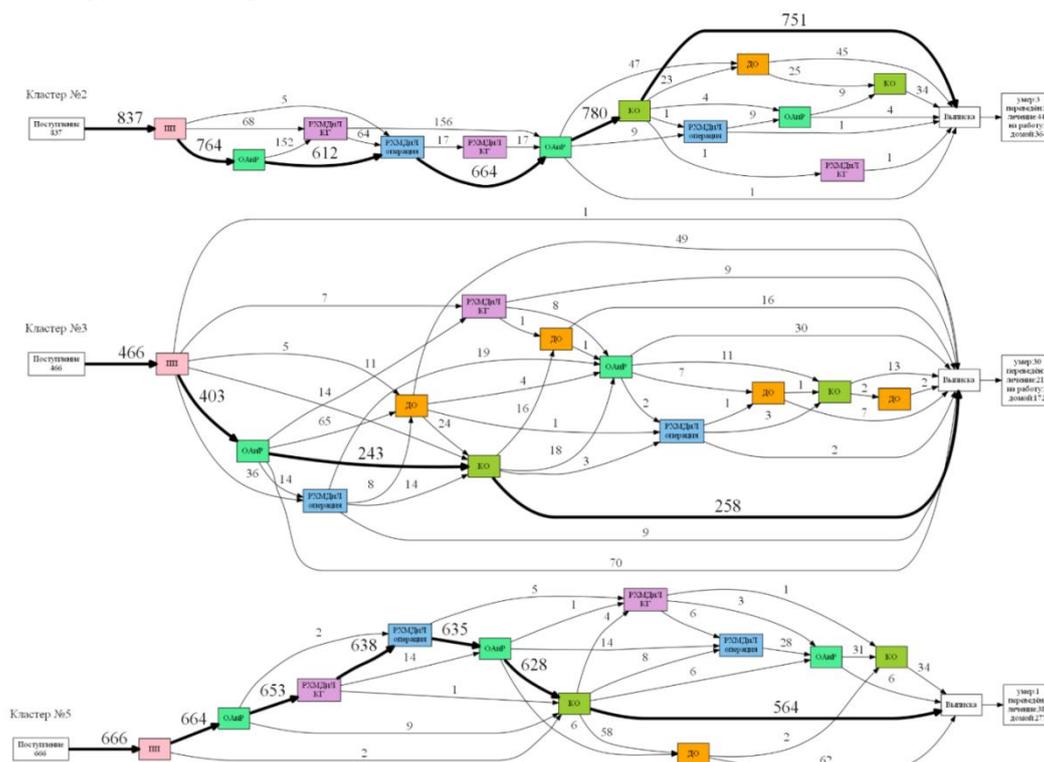


Рис. 1. Наиболее многочисленные кластеры № 2, № 3 и № 5, полученные с помощью эволюционных шаблонов клинических путей (алгоритм № 2)

Селекция происходит на основе определения фронта Парето: решения, лежащие на фронте Парето, определяются как самые приспособленные, становятся родителями и остаются в популяции вместе с новым поколением. Скрещивание и получение генотипов нового поколения происходит на основе кроссинговера. Мутации генотипов осуществляются по тому же принципу, что и в геномах живых организмов. Используется три вида мутации: инсерция, делеция и замена. Результатом работы генетического алгоритма является множество шаблонов, являющихся фронтом Парето в последнем поколении. Получив решения из фронта Парето, необходимо выбрать наиболее значимые из них. Chaudari и другие предлагают выбирать значимые решения на основе кластеризации [4].

В третьем алгоритме не используются методы кластеризации машинного обучения. Сначала выращиваются с помощью генетического алгоритма шаблоны, из них выбираются наиболее значимые, а затем определяется, под какой шаблон подходит конкретный пациент.

После определения шаблона клинические пути структурируются с помощью графа для каждого кластера. На рис. 1 показаны три наиболее многочисленных кластера, полученных с помощью второго алгоритма.

В рамках данного проекта были разработаны три метода идентификации и кластеризации клинических путей, которые различаются способом кластеризации и определением шаблонов для структурирования. Были проведены экспериментальные

исследования на выборке пациентов с острым коронарным синдромом. С помощью первого метода идентификации были получены десять кластеров пациентов, которые были легко классифицированы медицинским экспертом. С помощью второго метода были получены похожие результаты, однако он работает без участия человека, что позволяет сделать его частью автоматической системы моделирования процессов здравоохранения и медицины. Третий метод показал лучшие результаты согласно кластерным метрикам и смог идентифицировать клинические пути для всех пациентов, кроме одного. Третий метод также работает автоматически, но полученные в результате кластеры трудно поддаются интерпретации. Этот метод может быть улучшен с помощью добавления новых целевых функций к задаче многокритериальной оптимизации, которая решается с помощью генетического алгоритма.

Полученные кластеры клинических путей были использованы для имитационного моделирования работы медицинского центра. В данном исследовании описан эксперимент, в котором с помощью имитационной модели было выбрано оптимальное количество операционных для больницы. Также было показано, что учет разнородности потока пациентов позволяет улучшить имитационную модель.

Описанные методы идентификации клинических путей, а также разработанная имитационная модель могут стать основой для системы поддержки принятия решений в ЛПУ. Такая система в режиме реального времени может идентифицировать клинические пути пациентов, что позволит планировать ресурсы больницы, составлять расписание медицинского персонала и искать узкие места в работе ЛПУ. Кроме того, зная, какие клинические пути возможны для пациента рассматриваемого медицинского учреждения с некоторым диагнозом, можно разработать систему поддержки принятия решений для предсказания развития клинического пути конкретного пациента. Принципы работы такой системы были разработаны и описаны в [5].

Публикации

Funkner A.A. et al. Data-driven modeling of clinical pathways using electronic health records // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 121. P. 835–842.

Литература

1. *Hood L.E., Galas D.J.* P4 medicine: personalized, predictive, preventive, participatory. A change of view that changes everything [Electronic resource] // Computing Research Association's Computing Community Consortium [Website]. URL: https://cra.org/ccc/wp-content/uploads/sites/2/2015/05/P4_Medicine.pdf (accessed: 18.09.2018).
2. *Brown G.C.* Value-based medicine: the new paradigm // *Current Opinion in Ophthalmology*. 2005. Vol. 16. No 3. P. 139–140.
3. *De Bleser L. et al.* Defining pathways // *Journal of Nursing Management*. 2006. Vol. 14. No 7. P. 553–563.
4. *Chaudhari P. et al.* Computing the most significant solution from pareto front obtained in multi-objective evolutionary // *IJACSA*. 2010. Vol. 1. No 4. P. 63–68.
5. *Funkner A.A. et al.* Data-driven modeling of clinical pathways using electronic health records // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 121. P. 835–842.

СОДЕРЖАНИЕ

Управление подвижностью молекул красителей с помощью селективного фотовозбуждения при прохождении через пористое стекло <i>Г.Г. Анчуткин</i>	4
Автоматизация портирования приложений между системами распознавания речи <i>М.В. Беленко</i>	8
Контроль свежести мясных продуктов поляриметрическим методом <i>А.А. Блохина</i>	11
Стабилизация квадрокоптера с помощью многослойной нейронной сети <i>К.Р. Бушуев</i>	15
Резонансы на метрическом графе с оператором четвертого порядка <i>Я.М. Ван-Юн-Сян</i>	19
Исследование инновационных <i>event</i> -проектов, популяризирующих науку (на примере <i>VK Fest</i>) <i>А.А. Воробьева</i>	24
Разработка супергидрофобного противообрастающего покрытия наносекундными лазерными импульсами <i>Е.Ю. Грачкова</i>	28
Исследование генераторов псевдослучайных последовательностей, применяемых для защиты данных в киберфизических системах <i>В.А. Грозов</i>	32
Изучение проводимости и спектральных характеристик углеродных нанотрубок при оптической накачке в терагерцовом диапазоне частот методом импульсной терагерцовой спектроскопии <i>П.С. Демченко</i>	37
Разработка оптической системы длиннофокусной хирургической насадки для оборудования на основе CO_2 -лазера <i>К.Г. Завацкая</i>	41
Использование твердотельных охладителей на магнито- и электрокалорическом эффектах <i>Н.А. Карелина</i>	46
Исследование эффективности наноструктурированных антибиотиков против резистентных штаммов бактерий <i>И.С. Кассиров</i>	47
Проект оценки целесообразности внедрения высокоскоростного сообщения в СЗФО РФ <i>К.Б. Квитко</i>	51
Разработка компактной оптической схемы очков дополненной реальности <i>Т.А. Конева</i>	55
Биологический метод создания контролируемой атмосферы в процессе хранения плодов при низких положительных температурах <i>В.А. Костюк</i>	61
Разработка настраиваемой и эффективной керамической радиочастотной катушки для магнитно-резонансной микроскопии в магнитном поле напряженностью 17 Тл <i>С.А. Курдюмов</i>	65

Разработка деталей крепления мехатронного модуля <i>М.А. Куренкова</i>	69
Исследование <i>CRM</i> -технологий с искусственным интеллектом <i>Н.С. Мальчикова</i>	74
Разработка управляемого преобразователя поляризации терагерцового излучения на основе киральной метаповерхности <i>М.С. Масюков</i>	79
Пример формирования стратегии позиционирования инновационных образовательных проектов <i>М.В. Мороз</i>	84
Методы защиты от атак с правами привилегированных пользователей <i>Т.С. Осадчая</i>	88
Исследование внутреннего строения полиуретанов-полимочевин методом спектроскопии ядерного магнитного резонанса <i>С.А. Останин</i>	93
Выделение лактоферрина из молочного сырья с помощью аффинной хроматографии <i>М.А. Петряева</i>	97
Разработка системы отведения ливневых стоков на примере кампуса брюссельского свободного университета и возможность ее применения в Санкт-Петербурге <i>В.В. Позднякова</i>	99
Внедрение алгоритмов генеративного дизайна при <i>3D</i> -печати изделий методом послойного наплавления (<i>FDM</i>) <i>Д.А. Полякова</i>	105
Разработка архитектуры платформы умного города для информационного обеспечения сервисов персонализированной поддержки жителей <i>И.А. Рябчиков</i>	108
Модернизация системы управления качеством изготовления деталей на этапе внедрения управляющих программ <i>М.Л. Самко</i>	113
Исследование термоэлектрических свойств силицидных материалов для термоэлектрического генератора <i>К.Л. Самусевич</i>	117
Усиление противоопухолевой эффективности химиопрепаратов при разобщении взаимодействия белков <i>p53</i> и <i>MDM2</i> <i>В.Б. Сапарова</i>	122
Инновационная стратегия в управлении организацией <i>А.А. Соловицкая</i>	126
Исследование эргономических характеристик бортовых средств отображения информации <i>М.А. Трушкин</i>	130
Моделирование клинических путей в условиях высокой разнородности потока пациентов на основе данных на примере случаев острого коронарного синдрома <i>А.А. Функнер</i>	135

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов
Правительства Санкт-Петербурга / Под редакцией проф. В.О. Никифорова. –
СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 140 с.

СБОРНИК РАБОТ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО,
ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА ГРАНТОВ
ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Под редакцией проф. В.О. Никифорова
Дизайн обложки А.В. Тикка
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Редакторы: А.В. Бутина, И.А. Лапшина
Подписано в печать **xx.xx.2019** г.
Заказ № **xxxx**
Тираж 100 экз.