УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

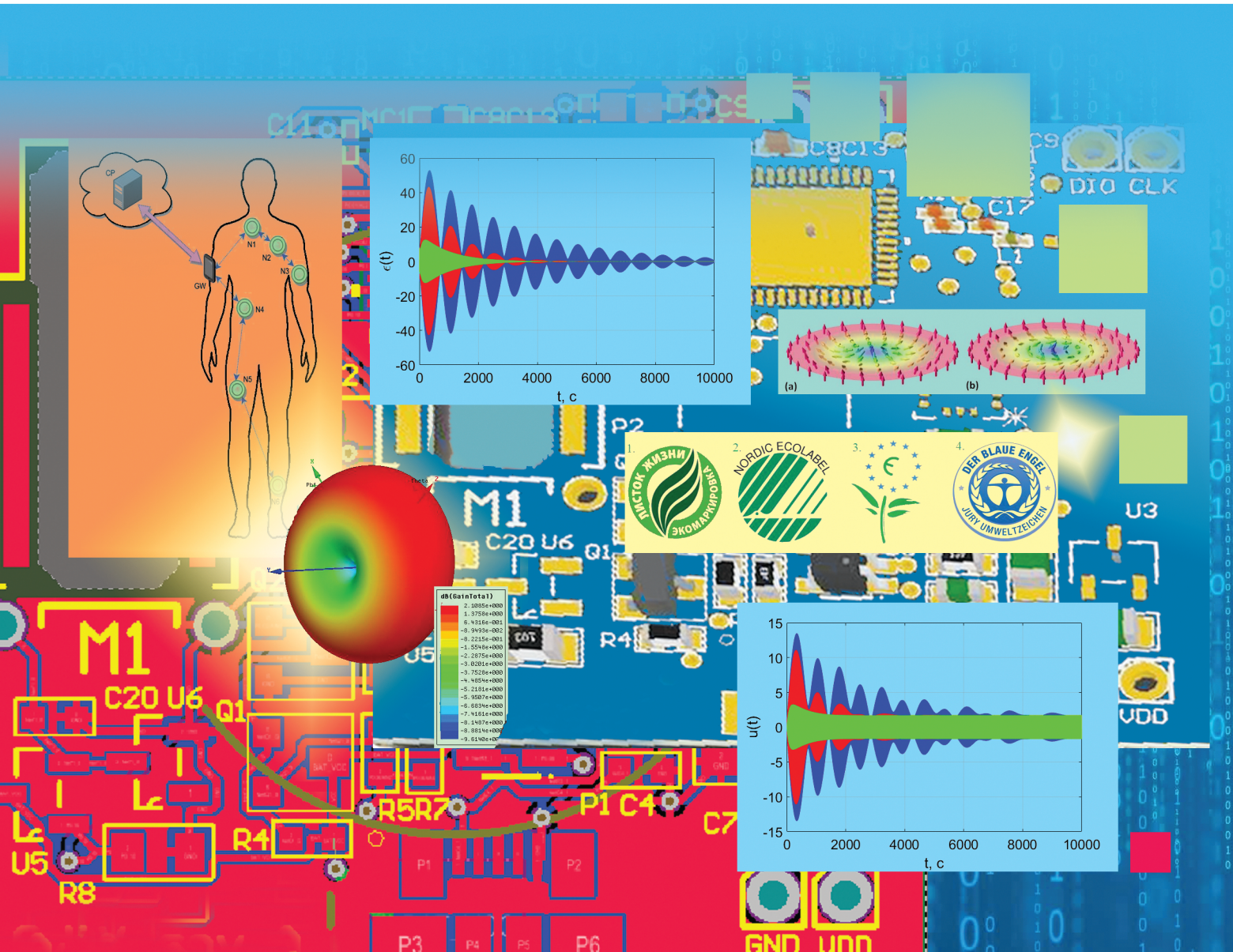
АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

СПЕЦИАЛИСТОВ

БАКАЛАВРОВ

2019



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди бакалавров и специалистов Университета ИТМО

Сборник трудов

Санкт-Петербург

2019

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди бакалавров и специалистов Университета ИТМО / под ред. д.т.н., профессора В.О. Никифорова. Сборник трудов. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 294 с.

В сборнике представлены лучшие научно-исследовательские выпускные квалификационные работы бакалавров и специалистов Университета ИТМО.

Материалы публикуются с целью развития творческого потенциала дипломированных специалистов, их навыков научно-исследовательской работы, стимулирования участия студентов в научных исследованиях, усиления роли научно-исследовательской работы в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием, формирования резерва для кадров высшей квалификации.

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

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

© Университет ИТМО, 2019
© Авторы, 2019

ВВЕДЕНИЕ

«Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди бакалавров и специалистов Университета ИТМО» опубликован по результатам конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу (НИВКР) среди бакалавров и специалистов Университета ИТМО.

На Конкурсе оценивается умение студента проводить самостоятельную творческую исследовательскую работу, профессиональная зрелость выпускника и его способность решать реальные научно-технические задачи. Конкурс проводятся в целях совершенствования системы подготовки кадров высшей квалификации, в рамках реализации программы развития вуза, как Национального исследовательского университета на 2009-2019 годы.

Первый этап Конкурса проводился на выпускающих факультетах университета. На защите Государственная экзаменационная комиссия (ГЭК) рекомендует и определяет лучшие НИВКР по каждому из направлений подготовки выпускников для участия в Конкурсе. По итогам работы ГЭК были окончательно определены 53 лучших НИВКР на 9 факультетах.

Второй этап Конкурса проводился на мегафакультетах университета. По итогам представленных факультетами работ, директорами мегафакультетов был проведен анализ ВКР бакалавров и специалистов и определены победители Конкурса на мегафакультетах. В итоге на мегафакультетах состоялось 5 Конкурсов на «Лучшую НИВКР».

Третий завершающий этап Конкурса проводил Научно-технический совет (НТС) университета. Работы победителей второго этапа Конкурса были рассмотрены на заседании НТС. По итогам которого были определены «Лучшие НИВКР» представленные в университете за 2019 год.

Статистические данные участия бакалавров и специалистов в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители
I	Конкурс факультетов	53	53
II	Конкурс мегафакультетов	53	18
III	Конкурс университета	18	6

По итогам Конкурса среди бакалавров и специалистов было определено 6 победителей на «Лучшую НИВКР университета» и 12 лауреатов, которые стали победителями Конкурсов проведенных на мегафакультетах.

Общее количество бакалавров и специалистов, участвовавших в конкурсе на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу», составило 53 человека.

Организационную работу по Конкурсам проводили следующие структурные подразделения Университета ИТМО: Департамент научных исследований и разработок, Центр студенческой науки.

Основные критерии оценки работ

При оценке НИВКР учитывались следующие критерии:

– актуальность научного исследования;
– степень самостоятельности и качество выполненной работы;
– оригинальность предложенных решений;
– качество оформления (в том числе соблюдение ГОСТов);
– логичность изложения, стиль изложения;
– стадия доведения проекта (частичная реализация; законченный проект; программный продукт, который может быть «внедрен» и т.п.);
– выполнение НИР в качестве соисполнителя;
– наличие выигранных грантов, стипендий Президента и Правительства Российской Федерации;
– доклады по данной тематике на научных конференциях, семинарах, конкурсах, выставках и олимпиадах всех уровней (международных, всероссийских, региональных);
– награды, полученные на всероссийских, региональных и городских конкурсах, наличие патентов, наличие заявок на объекты интеллектуальной собственности;
– основные результаты должны быть опубликованы в научных журналах и изданиях (как в российских, так и зарубежных).

Общие требования к материалам, представляемым на НТС

Для окончательного подведения итогов Конкурса на НТС представлялись следующие документы:

– анкета участника Конкурса;
– служебная записка, подписанная секретарем ГЭК;
– краткое изложение ВКР в форме статьи от 4 до 6 страниц.

Итоги Конкурса были подведены на заседании НТС университета и оформлены приказом ректора Университета ИТМО № 2036-уч от 13.08.2019 года.

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Авсеенко Арина Александровна
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы №V3400,
направление подготовки: 12.03.03 – Оптические и квантовые технологии передачи, записи и обработки информации,
e-mail: arishkaavseenko@mail.ru
Ходзицкий Михаил Константинович (научный руководитель)
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики, лаборатория ТГц биомедицина,
к.ф.-м.н., доцент (квалификационная категория "ординарный доцент"),
e-mail: khodzitskiy@yandex.ru

УДК 535.3, 57.043

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАГРЕВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТГЦ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ

А.А. Авсеенко

Научный руководитель – к.ф-м.н., доцент **М.К. Ходзицкий**

Университет ИТМО

Аннотация
Главной задачей исследования является создание программного пакета, с помощью которого можно определить оптимальные значения параметров терагерцового излучения для его использования в качестве неинвазивной терапии, а также способа диагностики раковых заболеваний. В данной работе представлены результаты работы программы, описывающей тепловое воздействие терагерцового излучения излучения на жидкости. Так же рассмотрена возможность использования возникающих тепловых эффектов для целей диагностики и лечения раковых заболеваний.
Ключевые слова
Терагерцовое излучение (ТГц), тепловые эффекты, модель Дебая, биологические жидкости, онкология.

Введение

Рак кожи – это опухоль, образованная эпителиальными тканями, которые покрывают почти все органы человека. Всемирная организации здравоохранения прогнозирует, что заболеваемость меланомой к 2025 году возрастет на 25%. На данный момент по статистике онкологических заболеваний доля рака кожи составляет до 2%, у каждого четвертого заболевшего наблюдается 3 или 4 стадия заболевания. В России меланома также обладает высокими темпами роста, на 2011 год заболеваемость составила 5,1 случай на 100 тыс. населения, при среднегодовом приросте 4,95% [1]. Врачи и ученые с каждым годом разрабатывают новые методики лечения онкологических заболеваний. В настоящее время для лечения злокачественных

новообразований кожи могут использоваться следующие методы: хирургическое иссечение, лазерная терапия, фотодинамическая терапия, криовоздействие, электрокоагуляция, хирургические методы и лучевая терапия [2]. В сфере диагностики используют инвазивные методы – гистологический и цитологический анализ, и неинвазивные – дерматоскопия, ультразвуковое исследование, рамановская спектроскопия, флоуресцентний методы и т.д. [3]. Но до сих пор актуально создание эффективной методики, направленной на диагностику и борьбу с раком кожи, не уступающей по степени информативности и чувствительности традиционными методами, но при этом не наносящих вред организму человека.

Использование терагерцового излучения в диагностическом медицинском оборудовании теоретически обусловлено малой энергией кванта такого излучения, что, как считается, не вызывает негативных последствий при контакте с живым организмом, как это происходит при использовании излучения более высокоэнергетичного диапазона. Но, как показали последние исследования, ситуация с тепловыми эффектами вовсе не однозначна. Поэтому в настоящее время актуально изучение не только нетермических эффектов воздействия, но и эффектов, вызванных изменением температуры, под воздействием ТГц излучения [4]. В этом и заключается научная новизна проводимого исследования.

Анализ актуальных исследований показал, что источники излучения с различными параметрами по-разному влияют на разные биологические системы, что, к сожалению, не позволяет сделать однозначных выводов по влиянию излучения ТГц диапазона на биообъекты. Малое количество релевантных исследований не позволяет определить необходимые пороги воздействия ТГц излучения и создать достаточную базу для статистики.

Кроме того, отдельные исследования не затрагивают конкретные механизмы взаимодействия и не описывают их, чем не дают подсказок для будущих исследований. Более того, на данный момент неясно, являются ли какие-либо конкретные биологические области (органы, клетки, ткани) особенно чувствительными к излучению данного диапазона.

Модель

В качестве исследуемого объекта был выбран цилиндрический образец воды, поскольку кожа человека обладает высоким содержанием воды (рис. 1).

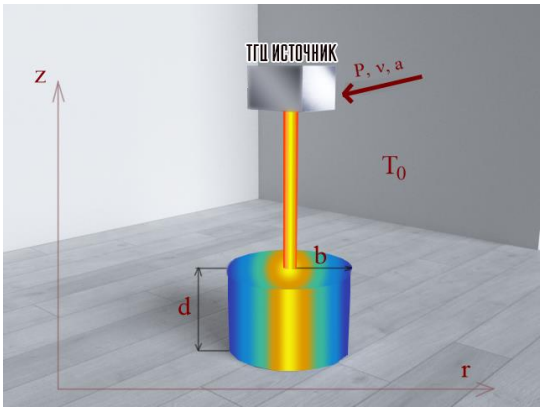


Рис. 1. Схематичное изображение моделируемого опыта

Разработанный программный пакет выполняет расчеты (путем решения уравнения теплопроводности (1) с использованием модели Дебая для цилиндрического образца воды, с частотой излучения от 0 до 25 ТГц при температурах от 0 C^{o} до 100 C^{o} [5].

$$\nabla(k(T)\nabla T) = -g(z), \quad (1)$$

где k(T) – коэффициент теплопроводности, T – температура, g(z) – рассеиваемая плотность мощности на толщине z.

Результаты

Интерфейс программы включает в себя ряд входных параметров, включающих параметры падающего излучения, параметры образца и параметры среды (рис. 2).

Рис. 2. Интерфейс программы

Нагрев моделируемого объекта на 1 ^{0}C

На первом этапе моделирования стояла задача получить значения параметров источника (для образца толщиной 5 мм и радиусом 50 мм), необходимые для нагрева такого образца на 1 ^{0}C. Данные, полученные путём подбора, основанном на параметрах существующих источников, представлены в таб. 1, 2.

Таблица 1

Экспериментальные значения параметров образца и излучения для расчетов

Входной параметр	Значение
Радиальная координата	[-2:2]
Входная мощность, мВт	5
Радиус луча, мм	2
Начальная температура, К	293
Частота, ТГц	0,1
Радиус образца, мм	50
Толщина образца, мм	5

Очевидно, что при этих значениях входных параметров, повышение температуры достигает 1 градуса в центре образца и 0.35 градусов на периферии, что представлено на рис. 3.

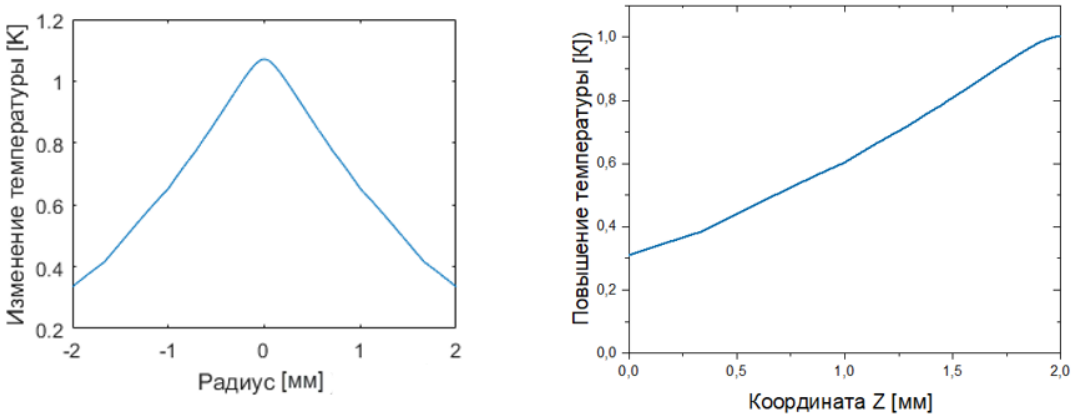


Рис. 3. Зависимость повышения температуры образца в зависимости от радиальной координаты

Апоптоз клеток

Целью второго этапа было проверить, можно ли с помощью современных источников излучения ТГц диапазона частот вызвать реакцию апоптоза клеток. В качестве начальной температуры была выбрана температура кожи человека (33.8), измеренная бесконтактным способом с помощью инфракрасного термометра Fluke 62 max+.

В качестве моделируемого источника излучения был выбран генератор ТГц излучения фирмы TeraSense (рис. 4). Такой выбор был обусловлен тем, что генераторы данной фирмы активно используются в технологиях ТГц визуализации, что подразумевает непосредственный контакт с человеком.

Рис. 4. Генератор ТГц излучения (TeraSense)

Моделируемый источник обладает следующими входными параметрами: максимальная мощность – 30 мВт, частота излучения – 0,14 ТГц. Задачей было определить, при каких параметрах источника (с помощью изменения мощности), температура моделируемых клеток превысит 40 – 42 ^{0}C, что будет означать апоптоз клеток. В таб. 3 представлены параметры, использованные в моделировании.

Таблица 2

Экспериментальные значения параметров для расчетов

Входной параметр	Значение
Радиальная координата, мм	[-1:1]
Входная мощность, мВт	30, 20, 10, 5
Радиус луча, мм	1,2
Начальная температура, К	306,8
Частота, ТГц	0,14
Радиус образца, мм	50
Толщина образца, мм	5

Моделирование показало, что уже мощности в 20 мВт достаточно для получения апоптоза клеток (рис. 5). Данный факт означает, что использование ТГц источников в сферах, связанных с непосредственным контактом с человеком, может представлять опасность за счет теплового воздействия. Поскольку реальная клетка человека содержит меньшую концентрацию воды, то можно ожидать более высокий нагрев при тех же параметрах источника излучения.

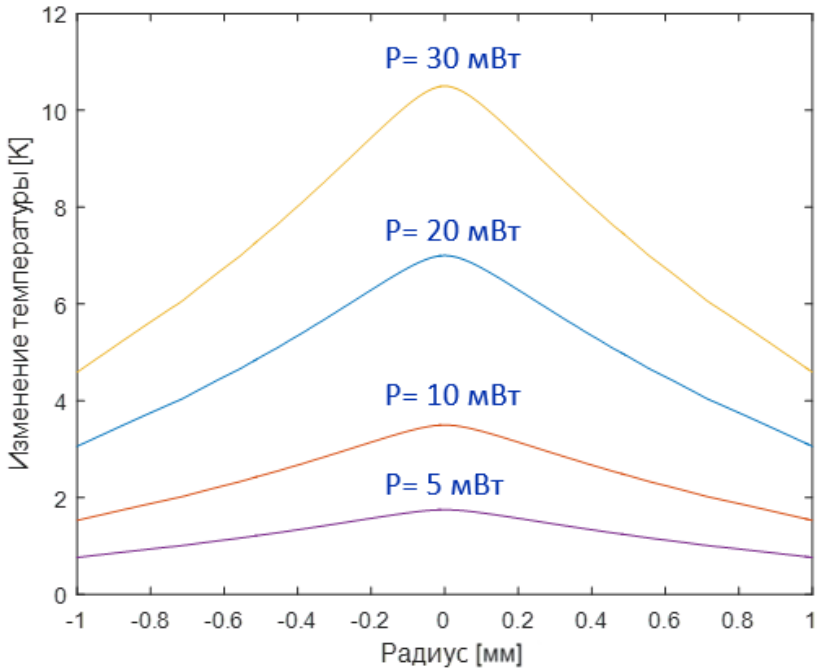


Рис. 5. Зависимости изменения температуры от координаты для разных мощностей

Определение пороговых значений параметров излучения

Главной задачей на последнем этапе было определить, при каких параметрах источников излучения не будет возникать тепловых эффектов (нагрев модели будет не более 1^0C). В качестве моделируемых источников, как и во втором опыте, были выбраны генераторы ТГц излучения фирмы TeraSense. Для генератора каждой частоты (0,1 ТГц; 0,14 ТГц; 0,2 ТГц; 0,3 ТГц) была построена зависимость повышения температуры от мощности источника (рис. 6).

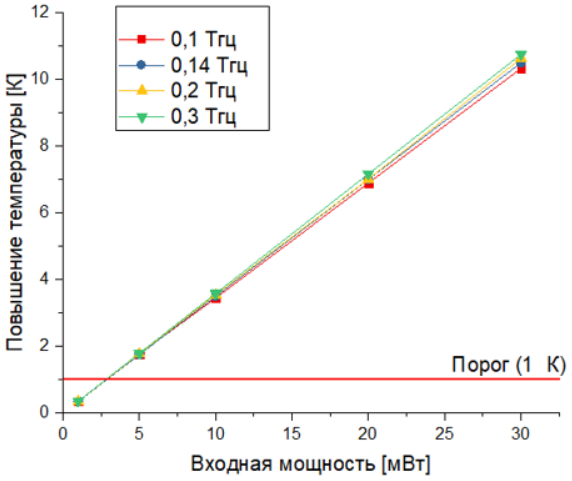


Рис. 6. Зависимости изменения температуры от мощности источника для разных частот

Анализ показал, что изменение частоты незначительно сказывается на общем виде зависимости, а критическая мощность (при которой превышался порог в 1^0C) оказалось равной примерно 2,7 мВт.

Заключение

В данной работе были исследованы тепловые эффекты, возникающие при воздействии излучения ТГц диапазона частот на биообъекты, а именно:

1. Разработан программный продукт, позволяющий количественно описать возникающие тепловые эффекты в биологическом объекте.
2. Показано, что для нагрева моделируемых клеток на 1 градус необходим источник со следующими параметрами: мощность излучения 5 мВт, радиус пучка 2 мм и частота 0,1 ТГц.
3. Продемонстрировано, что для получения реакции апоптоза клеток достаточно источника (например, TeraSense) со следующими параметрами: мощность излучения 30 мВт, радиус пучка 1,2 мм и частота 0,14 ТГц.
4. На основе полученных результатов предложено использовать разработанный программный пакет для оценки теплового воздействия ТГц излучения с заданными характеристиками на биологические объекты.

Литература

1. Ковалёв А.А., Венидиктова Д.Ю. Оценка эффективности комплексной телемедицинской системы «Паспорт кожи» в диагностике меланомы кожи // Смоленский медицинский альманах. 2018. №1. С.153–155.
2. Simões M., Sousaa J., Paisb A. Skin cancer and new treatment perspectives: A review // Cancer Letters. 2015. № 357 (1). С. 8 – 42.
3. Zoe Apalla. Skin Cancer: Epidemiology, Disease Burden, Pathophysiology, Diagnosis, and Therapeutic Approaches // Dermatology and Therapy. 2017. №7. С. 5–19.
4. Borovkova M. Terahertz time-domain spectroscopy for non-invasive assessment of water content in biological samples // Biomedical Optics Express. 2018. Т. 9. С. 2266-2276.
5. Torben T.L. Kristensen, Withayachumnankul W., Jepsen P., Abbott D. Modeling terahertz heating effects on water // Optics Express: OSA. 2010. 18. №. 5.

Бокатый Илья Олегович
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
мегафакультет фотоники,
факультет прикладной оптики,
студент группы № B5608,
направление подготовки: № 12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения,
e-mail: bokatyi.ilia@bk.ru

УДК 681.78

РАЗРАБОТКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ

И.О. Бокатый

Научный руководитель – к.т.н., доцент **В.А. Рыжова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР-ПРИКЛ № 35087 «Разработка прототипа высокочувствительного полевого гамма-спектрометра на базе твердотельных кремниевых ФЭУ».

В настоящее время спектральные методы обнаружения и анализа источников ионизирующих излучений широко применяются во многих областях науки и техники. Гамма-спектрометры (ГС) являются одним из наиболее распространённых средств неразрушающего контроля радиоактивных материалов, благодаря возможности изотопного анализа образцов, содержащих сложную смесь радионуклидов, и возможности количественного описания их активности. На сегодняшний день на рынке отечественного приборостроения присутствуют сцинтилляционные ГС, выполненные на элементной базе, не удовлетворяющей многим требованиям области их использования [1]. Однако, доступные предложения по данному классу приборов реализованы на основе вакуумных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), использование которых в качестве чувствительных элементов ограничивает эргономические и тактико-технические параметры предлагаемого оборудования. С другой стороны, развитие производства твердотельных фотоэлектронных приёмников сделало кремниевые ФЭУ коммерчески доступным вариантом чувствительного элемента в приборах сцинтилляционной спектрометрии [2]. Несмотря на это, сцинтилляционные детекторы на базе кремниевых ФЭУ для задач гамма-спектрометрии в промышленных отраслях на данный момент отсутствуют [3].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка детектора полевого ГС на основе кремниевых ФЭУ для задач полевой гамма-спектрометрии и сопутствующие исследования относительно нового класса твердотельных ФЭУ. Практическое значение замены вакуумных на кремниевые ФЭУ заключается в увеличении фактической продолжительности срока эксплуатации прибора и увеличении производительности измерений, осуществляемых на местности.

Далее приведён неполный список задач, решённых для достижения поставленной цели:

– обоснован выбор элементов структурной схемы детектора;
– выполнен габаритно-энергетический расчёт;
– произведены экспериментальные исследования детектора.

Разработанная структурная схема конструируемого прибора приведена на рис. 1 и состоит из следующих блоков: БРС – блок регистрации сигнала, СК – сцинтилляционный кристалл, ОС – оптическая система, КФЭУ – кремниевый фотоэлектронный умножитель, БПОС – блок первичной обработки сигнала, БК – буферный каскад, УВС – усилитель вольтового сигнала, ПД – пиковый детектор, АЦП – аналогово-цифровой преобразователь, Комп. – компаратор, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, ЦСО – цепь сигнала очистки, МК – микроконтроллер, ВИ – внешний интерфейс, БП – блок питания, ВЭП – внешний элемент питания, ЦОСП – цепь обработки сигнала питания.

Выбор модели КФЭУ осуществлялся на основе его динамического и спектрального диапазонов, площади фоточувствительной поверхности и числа фоточувствительных элементов. Наиболее приемлемой моделью является кремниевый ФЭУ ArrayC-60035 компании SenseL.

Выбор кристалла сцинтиллятора производился на основе анализа результатов экспериментального исследования спектральной чувствительности, выбранного КФЭУ [4] и расчета коэффициента использования приемником излучения сцинтилляционного кристалла. Рассчитанный коэффициент является основополагающим компонентом при выборе оптимальной пары кристалл и ФЭУ по критерию используемого числа фотонов сцинтилляций.

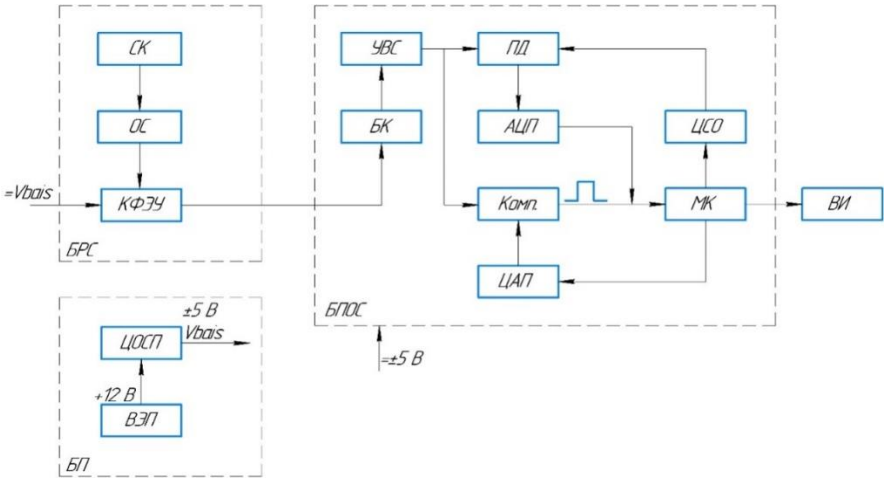


Рис. 1. Схема структурная принципиальная детектора ГС

Расчёты проводились согласно следующим формулам:

$$k = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_\lambda(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_\lambda(\lambda)\, d\lambda}, \qquad n_{h\nu} = k \cdot \omega;$$

где $k -$ коэффициент использования оптического излучения сцинтиллятора приёмником; $S(\lambda) -$ спектральной чувствительности ФЭУ; $\Phi_\lambda(\lambda) -$ функция спектрального распределения потока излучения сцинтиллятора; $\omega -$ световыход

сцинтиллятора, фотон/МэВ; $n_{h\nu}$ – эффективное число фотонов, фотон/МэВ. Результаты расчётов для разных сцинтилляционных материалов приведены в таблице

Таблица

Результаты расчётов эффективного числа фотонов

Материал СК	k	ω, фотон/МэВ	$n_{h\nu}$, фотон/МэВ
NaI(Tl)	0,797	38,0	30,29
CsI(Tl)	0,729	54,0	47,39
LYSO	0,875	32,0	28,00
PWO	0,794	32,0	25,41

Наивысшим числом эффективных фотонов в паре с ФЭУ ArrayC-60035 обладает сцинтилляционный материал йодид цезия, активированный таллием.

Для оценки работоспособности предложенной системы было рассчитано отношение сигнал/шум на выходе с кремниевого ФЭУ. Расчёт проведён при условиях регистрации гамма-излучения от эталонного источника ^{137}Cs с номинальной активностью равной 106 Бк по пику энергии в 662 кэВ. Полученный результат соответствует требованиям к качеству сигнала и составляет 56 дБ.

Инновационной составляющей работы является обоснование вариантов использования оптических световодов различных конфигураций с целью равномерного распределения излучения сцинтиллятора в фотоприёмной плоскости. Обоснование проводилось по средствам анализ компьютерной модели детектора ГС [5]. На основе полученных данных можно установить, что оптимальным вариантом исполнения является полый световод прямоугольной формы, который можно реализовать за счёт попарно параллельных зеркал.

Для подтверждения теорий и выбора оптимального отражающего покрытия оптического световода были проведены исследования экспериментального образца детектора. Предметом исследований стали разрешающая способность и характеристики линейности ГС в трёх исполнения: без световода, со световодом с зеркальным покрытием и диффузным покрытием. Разрешающая способность определялась по полуширине пика ^{137}Cs в 662 кэВ. Линейность детектора определялась с помощью эталонных источников ^{137}Cs, ^{152}Eu, ^{60}Co за счёт построения аппроксимирующих прямых зависимости энергии пиков от соответствующих им энергетических каналов АЦП. Были получены следующие результаты разрешающей способности: $\varphi_1 = 11{,}07\%$, $\varphi_2 = 13{,}37\%$, $\varphi_3 = 13{,}84\%$; и коэффициента детерминации: $R_1^2 = 0.9976$, $R_2^2 = 0.9931$, $R_3^2 = 0.9912$; для конструктивное решение без световода, с зеркальным и диффузным световодами соответственно.

Таким образом, обоснована возможность создания прибора, работающего по классическому принципу сцинтилляционной гамма-спектрометрии, но воплощённого на современной материальной базе. Перспективным направлением развития проекта является экспериментальные исследования влияния длины и проводящей среды световода на качество выходного сигнала.

Литература

1. Ушаков В.С. Радиационные приборы. Эксплуатация (2018) «Издательские решения», ISBN 978-5-44-902309-4.

2. Клемин С., Кузнецов Ю., Филатов Л. Кремниевый фотоэлектронный умножитель: новые возможности: журнал Электроника: Наука, Технология, Бизнес 8/2007.
3. Denisov V.M., Korotaev V.V., Titov A.B., Blokhina A.A., Kleshchenok M.A. Overview of field gamma spectrometries based on Si-photomultiplier // Proceedings of SPIE - 2017, Vol. 10231, pp. 1023121.
4. Бокатый И.О., Романова Г.Э., Денисов В.М., Титов А.Б., Рыжова В.А., Радилов А.В. Компьютерное моделирование и исследование детектора гамма-излучения на основе сцинтилляционного кристалла и кремниевого фотоумножителя // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. No 6. С. 932–938.
5. Romanova G.E., Radilov A.V., Denisov V.M., Bokatyi I.O., Titov A.B. Simulation and research of the gamma-ray detectors based on the CsI crystals and silicon photomultipliers // Proceedings of SPIE - 2017, Vol. 10231, pp. 10231.

Зенкин Артемий Михайлович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3435,
направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника,
e-mail: a.zenkin@corp.ifmo.ru
Капитонов Алксандр Александрович
Год рождения: 1988
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: kapitonov.aleksandr@itmo.ru

УДК 623.746-519

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА

А.М. Зенкин

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.А. Капитонов**

Аннотация
В данной работе была реализована математическая модель движения квадрокоптера с шестью степенями свободы в симуляторе Gazebo под управлением ROS (Robot Operating System). Был реализован П-Регулятор, который в дальнейшем был проверен в сценариях симуляции.
Ключевые слова
ROS, MAVROS, математическая модель, квадротор, Gazebo, симулятор.

На сегодняшний день ведутся активные исследования применимости беспилотных летательных аппаратов для задач, которые ранее было сложно и затратно автоматизировать. В наибольшей степени беспилотники привлекательны для выполнения мониторинга за крупной по площади территорией. В частности, дроны способны эффективно выполнять противопожарный мониторинга леса и поиск незаконной деятельности на запретной территории. Несмотря на многочисленные прототипы, массового внедрения подобных систем еще не случилось. Одна из причин – необходимость в отладке и оптимизации флота дронов для конкретных сценариев мониторинга. Тестирование реального флота сопряжено с рисками, поэтому необходимы практичные системы симуляции, в которых учитываются нюансы выполняемых работ. В этой работе выполнен обзор моделирования беспилотного летательного аппарата. Для выполнения симуляции используются открытое программное обеспечение: робототехнический симулятор Gazebo, фреймворк для создания робототехнических приложений ROS, протокол взаимодействия для малых беспилотных аппаратов MAVLink и автопилотная система PX4. В качестве прототипа для симуляции выбран квадрокоптер 3DR Iris+ [1–3].

Iris +, представленный на рис. 1 – это квадрокоптер, который был разработан и построен компанией 3DR (3D Robotics) для энтузиастов и любителей воздушных RC-моделей, и может быть оснащен камерой для выполнения аэрофотосъемки. На боту

установлен LiPo (lithium-ion polymer battery) – 12 В и 5100 Ампер-час, которая в сочетании с 4 четырьмя бесколлекторными двигателями обеспечивает до 22 минут полета. Двигатели создают силу тяги, которой достаточно, чтобы поднять непосредственно сам БПЛА в воздух и нести до четырехсот граммов полезной нагрузки. Iris+[4–6].

Рис. 1. Модель квадрокоптера IRIS + в симуляторе Gazebo

Для построения математической модели квадрокоптера важно сначала определить систему координат для описания поступательного и вращательного движения квадротора. Используемые в математической модели системы координат, а также силы, действующие на нее показаны на рис. 2.

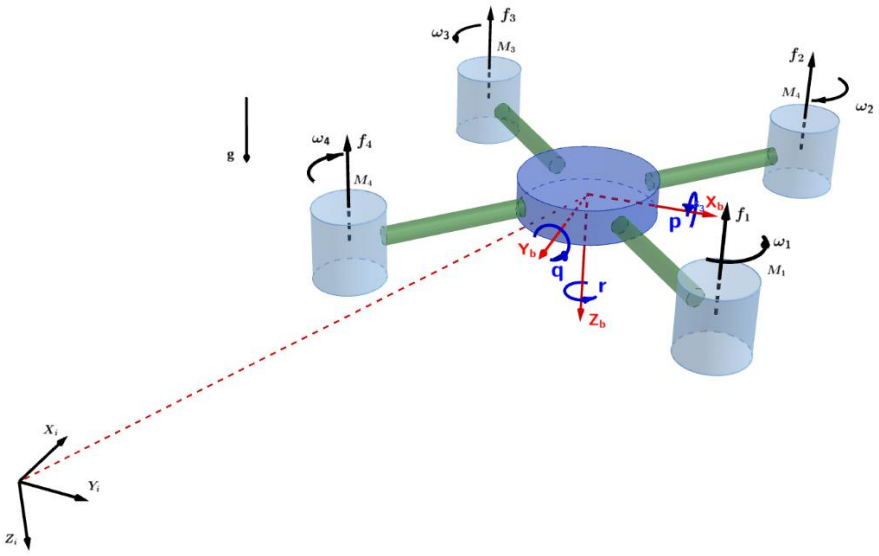


Рис. 2. Расположение систем координат в математической модели

– Инерциальная система координат {i} (inertial frame). Траектория полета БПЛА, которая определяется посредством ГЛОНАС, рассчитывается относительно инерциальной системы координат;

– Система координат {b}, жестко связанная с корпусом квадрокоптера (fixed-body frame). Центром данной с.к. является центр тяжести квадрокоптера. Данная система координат вращается вместе с квадротером.

Уравнения движения квадрокоптера с 6 степенями свободы можно записать в виде (1) – (4):

$$\sum \bar{F}^b = m\begin{bmatrix}\ddot{x}_b\\ \ddot{y}_b\\ \ddot{z}_b\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-mg\cdot s\theta\\ mg\cdot c\theta\cdot s\phi\\ mg\cdot c\theta\cdot c\phi - K_T(\omega_1^2+\omega_2^2+\omega_3^2+\omega_4^2)\end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\sum \bar{M}^b = I\begin{bmatrix}\dot{p}\\ \dot{q}\\ \dot{r}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}K_T\cdot l_y\cdot(-\omega_1^2-\omega_2^2+\omega_3^2+\omega_4^2)\\ K_T\cdot l_x\cdot(\omega_1^2-\omega_2^2-\omega_3^2+\omega_4^2)\\ K_D\cdot(\omega_1^2-\omega_2^2+\omega_3^2-\omega_4^2)\end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix}\ddot{x}_b\\ \ddot{y}_b\\ \ddot{z}_b\end{bmatrix} = \frac{1}{m}\begin{bmatrix}-mg\cdot s\theta\\ mg\cdot c\theta\cdot s\phi\\ mg\cdot c\theta\cdot c\phi - K_T(\omega_1^2+\omega_2^2+\omega_3^2+\omega_4^2)\end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix}\dot{p}\\ \dot{q}\\ \dot{r}\end{bmatrix} = \frac{1}{I}\begin{bmatrix}K_T\cdot l_y\cdot(-\omega_1^2-\omega_2^2+\omega_3^2+\omega_4^2)\\ K_T\cdot l_x\cdot(\omega_1^2-\omega_2^2-\omega_3^2+\omega_4^2)\\ K_D\cdot(\omega_1^2-\omega_2^2+\omega_3^2-\omega_4^2)\end{bmatrix}, \quad (4)$$

где:
u – линейная скорость квадрокоптера вдоль оси X в с.к. {b};
v – линейная скорость квадрокоптера вдоль оси Y в с.к. {b};
w – линейная скорость квадрокоптера вдоль оси Z в с.к. {b};
$\dot{p}$ – ускорение крена квадрокоптера вдоль оси X в с.к. {b};
$\dot{q}$ – ускорение тангажа квадрокоптера вдоль оси Yв с.к. {b};
$\dot{r}$ – ускорение рыскания квадрокоптера вдоль оси Z в с.к. {b};
ϕ – угол крена квадрокоптера в с.к. {i};
θ – угол тангажа квадрокоптера в с.к. {i};
ψ – угол рыскания квадрокоптера в с.к. {i};
x^i – положение квадрокоптера вдоль оси X в в с.к. {i};
y^i – положение квадрокоптера вдоль оси Y в в с.к. {i};
z^i – положение квадрокоптера вдоль оси Z в в с.к. {i};

Из линейных параметров на квадрокоптере Iris+ можно управлять $\dot{\phi}_{com}$, $\dot{\theta}_{com}$ и $\dot{\psi}_{com}$ Уравнения пропорционального закона управления для коэффициентов ориентации показаны в уравнениях (5-6):

$$\dot{\phi}_{com} = K_{P,\phi}(\phi_{com} - \phi_{meas}) = K_{P,\phi}\cdot e_\phi(t) \quad (5)$$

$$\dot{\theta}_{com} = K_{P,\theta}(\theta_{com} - \theta_{meas}) = K_{P,\theta}\cdot e_\theta(t) \quad (6)$$

$$\dot{\psi}_{com} = K_{P,\psi}(\psi_{com} - \psi_{meas}) = K_{P,\psi}\cdot e_\psi(t) \quad (7)$$

Воспользуемся правилом Циглера-Николса, разработанное в [7] и [8] для настройки PID регуляторов. Существует два метода применения правила Циглера – Николса. В данной работе будет рассмотрен метод, основанный на использовании запасов устойчивости. В этом методе пропорциональный коэффициент усиления для контура управления (настраивается каждый контур управления индивидуально) увеличивается до критического значения, где выход канала демонстрирует колебательное поведение. Этот пропорциональный коэффициент также известен как критическое значение коэффициента усиления, КЧР, которое вызывает на выходе системы осциллировать. Соответствующий период Кцр (т. е. ПЦР) определяется по графику выхода системы. Используя найденные значения Lcr и Pcr, выигрыши для PID-контроллера в каждом цикле можно найти с помощью отношения, определенного в таблице. Передаточная функция для ПИД-регулятора с использованием правила Циглера-Николса показана в уравнении (5).

Таблица

Настройка коэффициентов ПИД-Регулятора с использованием метода Циглера-Николса

Тип регулятора	Kp	Ti	Td
Пропорциональный	$0.5 \cdot K_{cr}$	∞	0
Пропорциональный и интегральный	$0.45 \cdot K_{cr}$	$\frac{1}{12} \cdot P_{cr}$	0
Пропорциональный, интегральный и дифференциальный	$0.6 \cdot K_{cr}$	$0.5 \cdot P_{cr}$	$0.125 \cdot P_{cr}$r

Результат симуляции приведен на рис. 3.

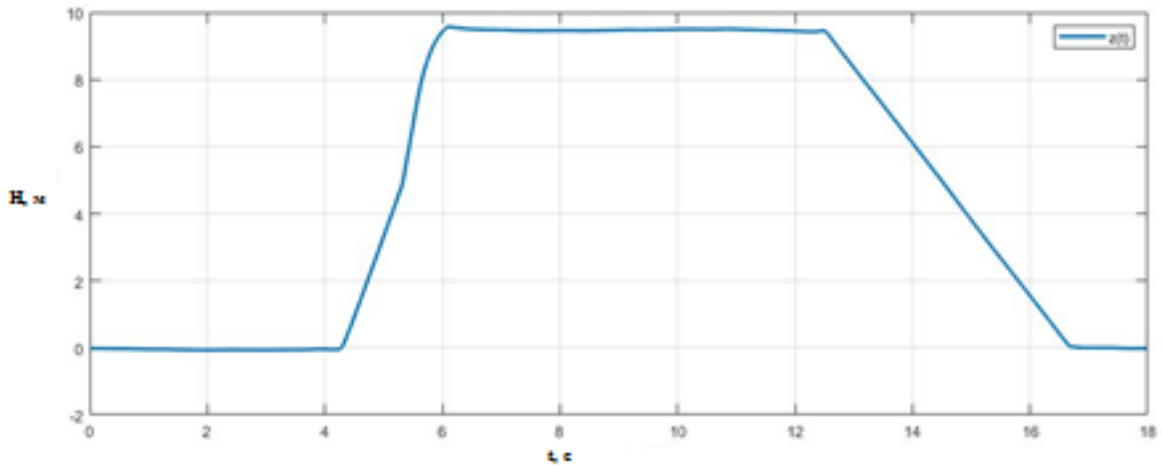
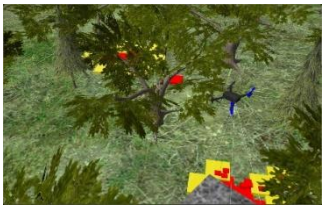


Рис. 3. Моделирование работы П-Регулятора по высоте

Все модели были выполнены в Blender – программном обеспечении для создания 3D изображений. Модели выполнены в формате COLLADA, и спроектированы так, чтобы иметь низкое количество полигонов и при этом сохранять соответствующие аспекты геометрии БПЛА и его окружения.

В Gazebo было создано окружение, которое включало в себя три зоны: лесной массив с возгоранием (рис. 4а), область незаконной деятельности (рис. 4б), область с автомобилем правонарушителей на территории с ограниченным доступом (рис. 4в).



а) б) в)

Рис. 4. Сценарии симуляции: а) пожар в лесу, б) незаконная деятельность, в) автомобиль нарушителей

Общий сценарий симуляции выглядит следующим образом. Для каждой задачи заранее были определены границы полета и высота. Алгоритм управления квадрокоптером осуществлял взлет над территорией, затем направлял квадрокоптер в исследуемую область и начинал патрулирование.

Результатом данной работы стало математическое моделирование квадрокоптера в симуляторе. Рассматриваемая в работе математическая модель удобна в использовании, инженерно привлекательна в плане программной реализации, а использованный П регулятор справляется с поставленной задачей при отсутствии возмущающих воздействий

Литература

1. Fum W.Z., “Implementation of simulink controller design on iris+ quadrotor,” Master’s thesis, Naval Postgraduate School, 2015.
2. Alessandro Freddi, Alexander Lanzon, Sauro Longhi, “A Feedback Linearization Approach to Fault Tolerance in Quadrotor Vehicles”, IFAC Proceedings Volumes, Volume 44, Issue 1, 2011, Pages 5413-5418, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902661937.
3. Amazon Prime air. (n.d.). Amazon. [Online]. Available: http://www.amazon.com/b?node=8037720011. Accessed Mar. 5, 2015.
4. Bouabdallah S., “Design and control of quadrotors with application to autonomous flying,” M.S. thesis, Dept. Sci and Eng., EPFL, Lausanne, Switzerland, 2007.
5. Beard W.R. (2008, Oct. 3). Quadrotor dynamics and control. [Online]. Available: http://rwbclasses.groups.et.byu.net/lib/exe/fetch.php?media=quadrotor:beardsquadrotornotes.pdf.
6. 3DR product, Pixhawk autopilot. (n.d.). 3D Robotics. [Online]. Available: https://store.3drobotics.com/products/3dr-pixhawk. Accessed Mar. 15, 2015.
7. Mian A.A. and W. Daobo, “Nonlinear flight control strategy for an underactuated quadrotor aerial robot,” in *IEEE Intl. Conf.*, Sanya, China, 2008. pp. 938–942.
8. Linearization Approach to Fault Tolerance in Quadrotor Vehicles”, IFAC Proceedings Volumes, Volume 44, Issue 1, 2011, Pages 5413-5418, ISSN 1474-6670, ISBN 9783902661937.

Киреев Валерий Юрьевич
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P3411,
направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия,
e-mail: kk@cs.ifmo.ru
Жмылёв Сергей Александрович
Год рождения: 1992
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
ассистент,
e-mail: korg@cs.ifmo.ru

УДК 004.75

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО МОДУЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ OPENNEBULA

В.Ю. Киреев

Научный руководитель – **С.А. Жмылёв**

Университет ИТМО

Аннотация
Проанализированы существующие решения масштабирования облачных систем. Выявлены недостатки существующих подходов. Предложен и реализован алгоритм прогнозирования нагрузки, основанный на методах теории массвого обслуживания. В результате получен модуль автоматического масштабирования, работающий на основе прогнозных моделей. Практическая значимость разработанного модуля состоит в обеспечении облачных систем способом масштабирования, приводящим к повышению их энергетической эффективности.
Ключевые слова
Система массового обслуживания, облачные системы, автоматическое масштабирование, прогнозные модели, OpenNebula.

На сегодняшний день активно происходит перенос вычислительных мощностей в облачные системы. Облачная система – это способ организации вычислительных процессов, при которомоблачное приложение размещается на сторонних вычислительных ресурсах [1]. Такой подход также называется Infrastructure-as-a-Service – инфраструктура как сервис.

Под облачным приложением понимается программа, обслуживающая клиентов в серверном режиме и имеющая свойство горизонтальной масштабируемости, то есть показывающая рост производительности при увеличении числа её запущенных экземпляров [2].

Подобные системы используются при решении задач, которые могут поступать от множества пользователей одновременно, при этом процесс их решения может происходить параллельно [3]. Примерами таких задач могут являться математические вычисления, обработка изображений, звука. Запросы множества клиентов на решение

подобного рода задач могут быть выполнены на различных виртуальных машинах [1, 4], что и позволяет создать так называемое «облако» из вычислительных узлов. Зачастую, облачная система изменяет количество используемых виртуальных машин с изменением потока клиентов, являющегося, как правило, нестационарным [3]. Такой процесс называется автоматическим масштабированием облачной системы (autoscaling) [1]. Он необходим для повышения энергетической эффективности работы облачной системы, что прямо влияет на затрачиваемые денежные средства арендатора [3].

В ходе работы выявлено три основных способа функционирования средств автоматического масштабирования облачных систем [4]:

- управление по расписанию – арендатор облака устанавливает соответствие времени и необходимого числа экземпляров приложения;
- управление на основе граничных значений – масштабирование производится в соответствии со снимаемыми с вычислительных узлов характеристиками, такими как загрузка CPU, сетевых интерфейсов;
- управление с применением прогнозных моделей – работающие на основе предположений о потоке клиентов.

При управлении числом виртуальных машин по расписанию, система не учитывает мгновенную нагрузку, поэтому данный способ наименее эффективен. При управлении по граничным значениям реакция на изменение характеристик потока нагрузки происходит с запаздыванием. Поэтому, в настоящее время, наибольшую эффективность имеет способ управления с помощью прогнозных моделей [2–4].

В ходе исследования существующих систем автоматического масштабирования было установлено, что в открытом доступе отсутствуют решения, работающие на основе прогнозных моделей. В соответствии с этим была сформулирована цель работы – повышение энергетической эффективности функционирования облачных систем. Для достижения цели поставлен следующий ряд задач.

1. Выполнить обзор предметной области.
2. Выбрать платформу построения IaaS-систем для реализации модуля.
3. Разработать и реализовать алгоритм адаптивного управления облачной системой на основе прогнозных моделей.
4. Оценить эффективность разработанного решения.

Для обеспечения возможности оценки разрабатываемого продукта, выполннен сравнительный анализ значимых средств автоматического масштабирования, предлагаемые в составе лидирующих в корпоративной среде облачных платформ. Результаты сравнительного анализа представлены в таб. 1.

Ни одно из рассмотренных средств е обладает открытыми исходными кодами. Кроме того, только Amazon Elastic Compute Cloud позволяет организовать автоматическое масштабирование на основе прогнозных моделей, реализованное при помощи нейронной сети, обученной на данных о загрузке виртуальных машин и количестве клиентов в предыдущие моменты функционирования приложения [5]. Таким образом, в качестве эталонной системы автоматического масштабирования выбрана система Amazon EC2.

Для выбора платформы, с которой будет интегрирован модуль, выполнен сравнительный анализ платформ организации облачных вычислений. Выбор производился среди решений, позволяющих подобное расширение функциональности. Характеристики для сравнения были выбраны исходя из требований возможности организации тестового окружения и пригодности сравниваемой платформы к практическому использованию. Результаты сравнительного анализа IaaS-платформ представлены в таб. 2.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа средств масштабирования

	Amazon EC2	Microsoft's Windows Azure	Oracle Cloud	GCP
Открытость исходных кодов				
Поддерживаемые операционные системы	Linux, Windows	Linux, Windows	Linux, FreeBSD, Windows	Linux, Container-Optimized OS from Google, Windows
Управление по расписанию	+	+		
Управление по граничным значениям	+	+	+	+
Управление на основе прогнозных моделей	+			
Учёт истории изменения потока клиентов	+			

Таблица 2

Результаты сравнительного анализа IaaS-платформ

	Amazon AWS	CloudStack	OpenNebula	OpenStack
Открытость исходных кодов		+ (частично)	+	+ (частично)
Возможность организации частного облака		+	+	+
Возможность организации публичного облака		+	+	+
Совместимость с Amazon AWS	+	+	+	+
Необходимое количество физических машин	0	3	1	2
Готовность к использованию в корпоративной среде	+	+	+	

По результатам сравнительного анализа в качестве расширяемого продукта была выбрана OpenNebula.

На следующем шаге к разрабатываемому модулю предъявлен ряд функциональных и технических требований:

- интегрируемость с OpenNebula;
- прогнозирование нагрузки с учётом истории;
- использование методов ТМО при построении прогнозной модели;

- полиномиальная сложность алгоритмов по скорости и памяти;
- хранение расчётных данных в оперативной памяти;
- реализация, совместимая с Perl 5.24.

В соответствии с выставленными требованиями, разработан адаптивный модуль автоматического масштабирования. В качестве языка разработки выбран современный язык высокого уровня Perl 5.24. Разработана архитектура, в соответствии с которой модуль представляет собой независимое приложение, работающее в фоновом режиме, внешнее по отношению к OpenNebula. Для управления виртуальными машинами и штатным инструментом автоматического масштабирования OneFlow, использовался набор утилит, входящих в поставку OpenNebula:

- onetemplate – создание виртуальных машин из шаблонов. Шаблоном является образ виртуальной машины, включающий в себя операционную систему и запускаемое в ней облачное приложение;
- onevm – запуск, останов и удаление виртуальных машин;
- virsh – сбор характеристик функционирования виртуальных машин.

В процессе параллельного функционирования двух и более модулей автоматического масштабирования, применяющих различные алгоритмы управления вычислительными ресурсами, возможна конкуренция из-за различий в принятых решениях. Таким образом, возникла необходимость в получении возможности отключения стандартного модуля автоматического масштабирования OpenNebula. Так как данный модуль реализован в виде сервиса операционной системы, было принято решение управлять его состоянием посредством стандартных средств управления сервисами, предоставляемых операционной системой.

Таким образом, получен способ интеграции разрабатываемого модуля с платформой OpenNebula. После проработки механизма интеграции модуля, был разработан и реализован алгоритм построения прогнозной модели для управления числом виртуальных машин.

Нагрузка может быть стационарной, либо нестационарной. Реальные нагрузочные процессы свойством стационарности не обладают. Таким образом, при проектировании энергетически эффективных вычислительных систем необходимо учитывать нестационарность наргузки, создаваемой потоком клиентских запросов.

Выделяются следующие классы нестационарных процессов [4]:

- апериодические – процессы, в которых параметры распределения (к примеру, математическое ожидание) меняется без какого-либо периода;
- периодические – процессы, в которых изменяющиеся параметры распределения описываются периодическими функциями;
- хаотические – процессы, не попадающие в описанные ранее классы.

Анализируя данные, получаемые с реальных вычислительных систем, можно увидеть, что нагрузка, создаваемая клиентскими запросами обладает свойством периодичности.

Таким образом, свойства нестационарности и периодичности, которыми характеризуются естественные нагрузочные процессы, требуют применения соответствующих методов теории массового обслуживания для построения корректных прогнозных моделей таковых. Исходя из этого, в качестве методической базы алгоритма прогнозирования нагрузки предложено использовать методы теории массового обслуживания, применяемые для работы с периодическими нестационарными процессами.

Для построения прогнозной модели скомбинированы метод оценки длины периода нестационарных процессов в облачных системах и метод аппроксимации

нестационарных вероятностных распределений. Преимущества используемого метода оценки длины периода перед существующими состоит в следующем [3]:

- возможность обработки сигналов, не обладающих синусоидальной формой;
- возможность обработки сигналов с отсутствующей основной гармоникой;
- малое число операций с плавающей точкой;
- способность к оценке периода на неполном наборе данных;
- устойчивость к выбросам и разрывам;
- полиномиальная сложность используемых алгоритмов по скорости и памяти;
- устойчивость к погрешностям измерений.

Метод аппроксимации нестационарных периодических распределений позволяет получить коэффициенты сиусоидальной функции, описывающей поведение интенсивности потока клиентских запросов [4]. Определение методической базы позволило реализовать работающий на основе прогнозных моделей алгоритм автоматического масштабирования. Диаграмма состояний разработанного модуля представлена на рис. 1.

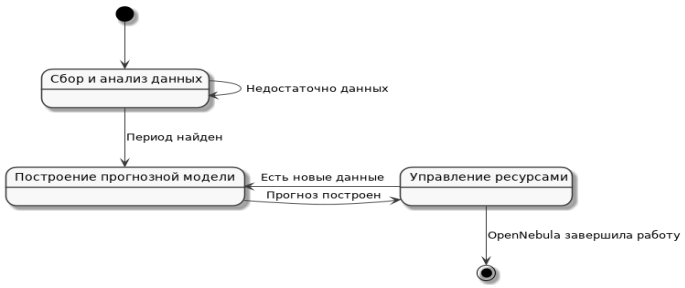


Рис. 1. Диаграмма состояния разработанного модуля

Для оценки разработанного адаптивного модуля масштабирования был собран тестовый стенд, включающий в себя следующие компоненты:

- программное обеспечение OpenNebula;
- балансировщик нагрузки HAProxy;
- облачное приложение;
- разработанный модуль автоматического масштабирования.

Для иллюстрации тестового стенда приводится диаграмма развёртывания, представленная на рис. 2.

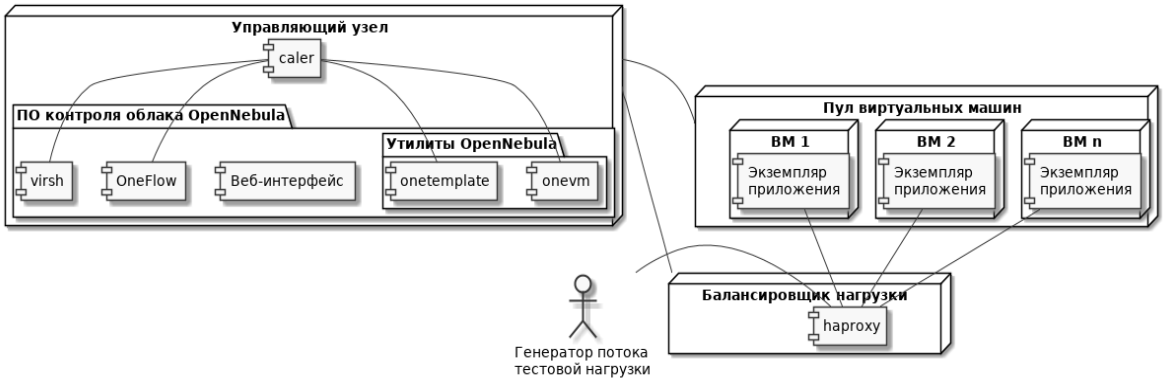


Рис. 2. Диаграмма развёртывания тестового окружения

Конфигурация вычислительного узла представлена в таб. 3.

Таблица 3

Конфигурация вычислительного узла

Процессор	Intel Xeon X5570
Ёмкость ОЗУ	8 ГБ
HDD	1TB WDC WD10JPVX-22J
Пропускная способность канала связи	1 Гб/с

Тестовое окружение подверглось нагрузочному тестированию, поток клиентов моделировался при помощи фреймворка организации нагрузочного тестирования Apache JMeter, позволяющего автоматизированно моделировать потоки запросов к веб-сервисам. Период нагрузки менялся от 12 часов до трёх суток с шагом в 12 часов, измерения проводились в течение шести недель модельного времени.

В процессе тестирования производились измерения среднего числа виртуальных машин, участвующих в обработке запросов клиентов и потребляемой вычислительным узлом мощности.

Описанный тестовый сценарий был воспроизведён для OneFlow (штатного модуля автоматического масштабирования OpenNebula) и caler (разработанного модуля). Результаты тестирования представлены в таб. 4.

Таблица 4

Результаты тестирования

Характеристика	OneFlow	caler
Среднее число виртуальных машин, шт	17 ± 5	15 ± 3
Среднее энергопотребление, Вт	381 ± 60	343 ± 40

Из таб. 4 можно увидеть, что при использовании разработанного модуля среднее число виртуальных машин было снижено. Кроме того, снизилась потребляемая вычислительным узлом. Таким образом, при заданной конфигурации вычислительного узла, характеристиках потока тестовой нагрузке и решаемой облачным приложением задачи, получено снижение энергопотребления на 10\% при снижении среднего числа работающих виртуальных машин на 12\%.

В ходе выполнения работы получены следующие результаты.

Проанализирована эффективность процесса автоматического масштабирования облачных систем с применением прогнозных моделей и выявлено, что такой подход позволяет уменьшить число задействованных компьютеров в условиях нестационарных периодических нагрузочных процессов.

Выполнен анализ алгоритмов автоматического масштабирования, сделан вывод, что в открытом доступе отсутствуют системы, в основе которых лежит использование прогнозных моделей.

Для интеграции стороннего модуля автоматического масштабирования, среди существующих платформ построения IaaS-решений, выбрана система OpenNebula,

поскольку, при прочих равных, имеет более широкие возможности разработки, интеграции и тестирования, а также требует меньшего объема вычислительных ресурсов для её функционирования.

Разработан модуль автоматического масштабирования удовлетворяющий поставленным требованиям. Модуль демонстрирует более высокую эффективность, чем стандартный модуль масштабирования платформы OpenNebula. В спроектированном тестовом окружении применение разработанного модуля позволяет снизить среднее число виртуальных машин на 12\%, энергопотребление при этом понижается на 10\%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что поставленная цель повышения энергетической эффективности облачной системы достигнута.

Литература

1. Optimal cloud resource auto-scaling for web applications / Jiang J., Jie Lu, Guangquan Zhang [и др.] // 2013 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing. IEEE, 2013. С. 58–65.
2. Bermudez I., Traverso S., Mellia M. Exploring the cloud from passive measurements: The Amazon AWS case // 2013 Proceedings IEEE INFOCOM. IEEE, 2013. С. 230–234.
3. Оценка длины периода нестационарных процессов в облачных системах / Жмылёв С.А., Мартынчук И.Г., Киреев В.Ю. [и др.] // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, No 8. С. 645–651.
4. Analytical methods of nonstationary processes modeling / Zhmylev S., Martynchuk I., Kireev V. [и др.] // CEUR Workshop Proceedings. 2019.
5. Amazon Web Services Inc. Amazon EC2 Instances / AWS Documentation. URL: https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/Instances.html (дата обращения: 28.05.2019).

Пономарева Евгения Андреевна
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V3400,
направление подготовки: 12.03.03 – фотоника и оптоинформатика,
e-mail: ponomareva_eugene@mail.ru
Цыпкин Антон Николаевич
Год рождения: 1986
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
к.ф.-м.н.,
e-mail: tsypkinan@mail.ru

УДК 535-14

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ФИЛАМЕНТАЦИИ В ПЛОСКИХ СТРУЯХ ВОДЫ И ЭТАНОЛА

Е.А. Пономарева

Научный руководитель – к.ф.-м.н. **А.Н. Цыпкин**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 713553 «Разработка физических принципов и систем оптических, быстрых и защищенных коммуникаций и дистанционного зондирования объектов».

Аннотация
Экспериментально и теоретически исследовано влияние параметров лазерной накачки на генерацию терагерцового излучения при лазерной филаментации в плоских струях воды и этанола. Выявлен квазиквадратичный рост терагерцовой энергии с увеличением энергии накачки. Показано, что для достижения максимального выхода по энергии терагерцового излучения, пространственный размер импульса должен быть соизмерим с толщиной струи. Учет протекающей в жидкости ионизации, ее плотности и поглощения в терагерцовом диапазоне позволяет определить потенциал жидкой среды в качестве эффективного терагерцового источника. Полученная эффективность оптико-терагерцового преобразования составляет порядка 10^{-4} при использовании этанола.
Ключевые слова
Терагерцовое излучение, нелинейная оптика, плазма, лазерная филаментация, сверхкороткие импульсы.

Введение

Проблема создания универсального и экономичного терагерцового источника является актуальной с самого изобретения лазеров ультракоротких импульсов (УКИ). Своей популярностью терагерцовый интервал обязан целому спектру перспективных применений. Излучение этого диапазона не ионизирует материю, слабо подвержено рассеянию и в связи с этим широко используется при идентификации химических

веществ, в медицинской диагностике, контроле качества продуктов, высокоскоростной передаче информации [1].

На данное время существует ряд методов для генерации терагерцового излучения, однако наиболее высокими показателями по эффективности преобразования оптического излучения в терагерцовое обладают методы, основанные на явлении оптического выпрямления в кристаллах (до 3%) и двуцветной лазерной филаментации в газах (до 0.01%). До 2017 года терагерцовая наука охватывала лишь изучение механизмов генерации в твердых телах, газах и плазме. Жидкие среды считались неперспективными, так как многие из них (в частности, вода) достаточно эффективно поглощают терагерцовые волны. Тем не менее, жидкие струи выделяются характерными преимуществами, например, высоким порогом повреждения в сравнении с твердотельными источниками и более эффективным процессом ионизации, чем в газовой среде. Так, с 2017 года вышли работы по терагерцовой генерации в водной пленке [2], кюветах с различными жидкостями [3] и струе воды [4], основным механизмом испускания в которых принято считать динамику свободных электронов при плазмообразовании. Процесс филаментации, объединяющий в себе ряд нелинейных явлений при взаимодействии мощного лазерного импульса со средой, является удачным решением проблемы образования высокоэнергетичного плазменного канала для последующей терагерцовой эмиссии.

Тем не менее, в настоящее время научная литература не содержит комплексного анализа физики явления терагерцовой генерации в жидких средах, где учитывались бы различные входные параметры и физико-химические свойства жидкостей. Безусловно, это открывает широкое поле для исследований в данной области.

В этой работе рассмотрены зависимости выходной терагерцовой энергии от ряда входных параметров лазерного излучения и свойств среды. Показан квазиквадратичный рост энергии при увеличении энергии накачки. С помощью экспериментальных данных и результатов численного моделирования продемонстрировано существование оптимальной величины длительности входного импульса для определенной толщины жидкой струи. Используя одноцветную оптическую накачку жидких струй возможно преобразование в терагерцовое излучение с эффективностью до 10^{-4}, что сопоставимо с наиболее популярным методом двуцветного возбуждения воздуха. Все вышеперечисленное указывает на актуальность настоящего исследования и высокий потенциал использования жидких струй в качестве сред для генерации терагерцовых волн.

Экспериментальная установка

На рис. 1.a изображена экспериментальная установка. В исследованиях используется фемтосекундный лазер с излучением на длине волны 800 нм, горизонтальной поляризацией, энергией до 2 мДж и варьируемой длительностью импульса от 30 до 700 фс. Лазерный пучок разделяется на две части, одна их которых детектируется типичной электрооптической схемой, а вторая непосредственно используется для генерации терагерцового излучения, фокусируясь на жидкую струю параболическим зеркалом П31 с фокусным расстоянием 5 см. Оптимальные углы падения излучения на струю выбирались исходя из результатов прошлой работы, где $\varphi = 65°$ для воды и $\varphi = 60°$ для этанола [4]. Лазерное возбуждение жидкой среды наглядно изображено на рис. 1.b.

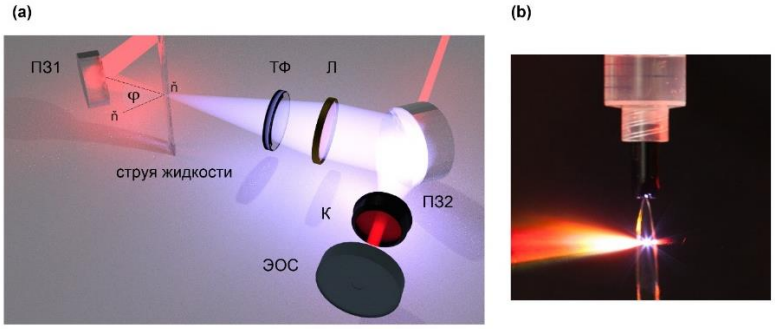


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования генерации терагерцового излучения в струях жидкостей, где П31, П32 – параболические зеркала, Л – ТРХ линза, ТФ – тефлоновый фильтр, ЭОС – электрооптическая система, К – электрооптический кристалл ZnTe толщиной 1 мм (а); Снимок лазерного возбуждения жидкой струи (б)

Теоретическая модель

Теоретическое описание взаимодействия сверхкороткого импульса с изотропной оптической средой должно содержать динамику нелинейных явлений, индуцируемых протекающей ионизацией жидкости, и учитывать сверхуширение спектра.

В данной работе используется система уравнений из [5]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial E}{\partial z} - a\dfrac{\partial^3 E}{\partial \tau^3} + gE^2\dfrac{\partial E}{\partial t} + \dfrac{\partial}{\partial \tau}\left(g_1 E\left(\dfrac{\partial E}{\partial \tau}\right)^2 + g_2 E^2 \dfrac{\partial^2 E}{\partial \tau^2}\right) + \dfrac{2\pi}{cn_0} j = 0 \\ \dfrac{\partial j}{\partial \tau} + \dfrac{j}{\tau_c} = \beta\rho E^3 \\ \dfrac{\partial \rho}{\partial \tau} + \dfrac{\rho}{\tau_p} = \alpha E^2 \end{cases} \quad (1)$$

где n_0 и a вводятся для описания нормальной дисперсии $n(\omega) = n_0 + ca\omega^2$; g характеризует Керровскую безинерционную нелинейность и связан с нелинейным показателем преломления через $g = 2n_2 / c$; коэффициенты g_1, g_2 описывают дисперсию нелинейного показателя преломления, $\alpha\beta$ характеризует эффективность перехода электронов в квазисвободные состояния, ρ и j есть населенность высоковозбужденных уровней и плотность тока квазисвободных носителей; τ_c и τ_p – времена столкновительной релаксации и релаксации высоковозбужденных уровней, соответственно; z – направление распространения импульса; $\tau = t - zn_0 / c$ – время в движущейся системе отсчета, где t – время, c – скорость света в вакууме.

Важным параметром, описывающим эффективность плазмообразования является коэффициент $\alpha\beta$, пропорциональной плотности среды ρ, и обратно пропорциональный энергиии межуровневых переходов (энергии ионизации E_{ion}). Известно, что чем меньше потенциал ионизации, тем легче перевести электрон в свободное состояние. В то же время генерация определяется и плотностью среды, описываемой количеством молекул, составляющих вещество. Необходимо учитывать и поглощение жидкости в терагерцовом диапазоне κ^{THz}, значительно ослабляющее генерацию по прохождении импульса через среду толщиной L. Оно учитывается нами пропорционально : $\exp(-\kappa^{THz} L)$.

Для сравнения были выбраны две жидкости с разными вышеприведенными характеристиками – дистиллированная вода и этанол. Все описанные выше параметры для данных веществ отображены в таблице.

Таблица

Численные значения параметров, используемых для моделирования терагерцовой генерации в воде и этаноле

	$n_2 \cdot 10^{13}, esu$	E_{ion}, eV	$\rho, kg/m^3$	$\kappa^{THz}\left(0.1 \div 2[THz]\right),\ cm^{-1}$
вода	1.7	10.92	997	~ 200
этанол	2.5	9.66	787	~ 100

Результаты

Принципиально важным является вопрос о повышении эффективности оптико-терагерцового преобразования. Для изучения влияния входных параметров лазерного импульса на выход по терагерцовой энергии были проведены экспериментальные исследования эффективности генерации терагерцового излучения в зависимости от энергии накачки, длительности импульса, а также толщины струи. Энергия сигнала измерялась при интегрировании поля, полученного в эксперименте.

Одной из особенностей, отличающей генерацию терагерцового излучения в газах и жидких средах, является наличие оптимальной величины по длительности в последнем случае. Рис. 2.а демонстрирует описанный локальный максимум, равный 350-400 фс для струи толщиной 150 мкм и 500 фс для струи толщиной 270 мкм. Помимо этого, для более тонкой струи в 150 мкм энергия на выходе больше. Ослабление сигнала вызвано усилением поглощения по распространению импульса в жидкой среде. Данные измерения проводились при энергии накачки равной 600 мкДж. Другим важным результатом является то, что рост выходной терагерцовой энергии при соответствующем увеличением накачки имеет квазиквадратичный характер (рис. 2.б). Измерения были выполнены для импульса длительностью 400 фс.

Были проведены аналогичные измерения для струи этанола. Этанол показал в два раза большую эффективность преобразования оптического излучения в терагерцовое с оценкой в 0.005 %. Подробный анализ сравнения жидкостей будет приведен ниже.

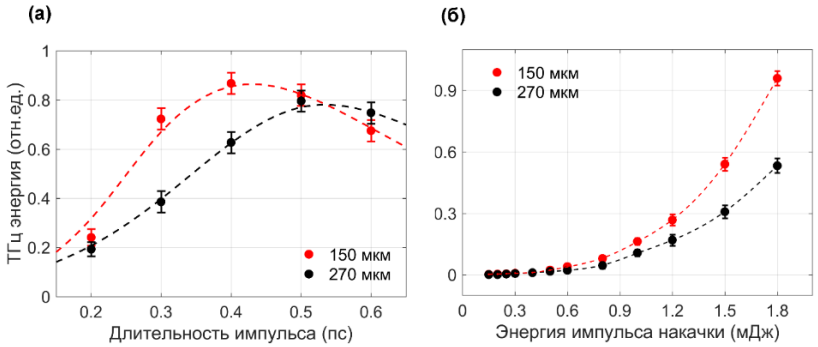


Рис. 2. Зависимость энергии терагерцового излучения, генерируемого в плоской струе воды различной толщины (150 мкм(красн.) и 270 мкм (черн.) от длительности импульса при энергии 600 мкДж (а); Результат измерения терагерцовой энергии, генерируемой из плоских струй воды в зависимости от энергии накачки при оптимальной длительности импульса (б)

В данной работе было использовано численное моделирование на основе вышеприведенной теории для выявления соответствия экспериментальным результатам. В экспериментах, в индуцированном плазменном канале происходит разделение носителей тока и последующая коническая эмиссия терагерцовых волн в двух направлениях (рис. 3.а). В настоящей работе представлено моделирование для однонаправленного распространения терагерцового излучения. Для сопоставления с результатами эксперимента, мы рассматриваем спектральный интервал до 3 ТГц.

На рис. 3.б продемонстрирован теоретически смоделированный контур распределения выходной терагерцовой энергии при увеличении длительности импульса и дистанции распространения. Ниже на рис. 3.в, сплошными линиями приведены результаты численного моделирования, удовлетворяющие экспериментально полученным данным. Подтверждено наличие оптимума по длительности и его рост при увеличении толщины среды. Такой результат можно интерпретировать через увеличение временной области взаимодействия излучения с средой при соответствующем увеличении длительности импульса. Соответственно, оптимальная длительность импульса должна иметь пространственные размеры, большие или равные толщине среды. При наиболее эффективном заполнении объема жидкости излучением происходит рост числа ионизованных частиц и, впоследствии, более эффективная генерация терагерцового излучения. В то же время увеличение длительности импульса приводит к уменьшению пиковой мощности и уменьшению плотности свободных электронов. Из всего вышеуказанного и следует наличие локального максимума по длительности.

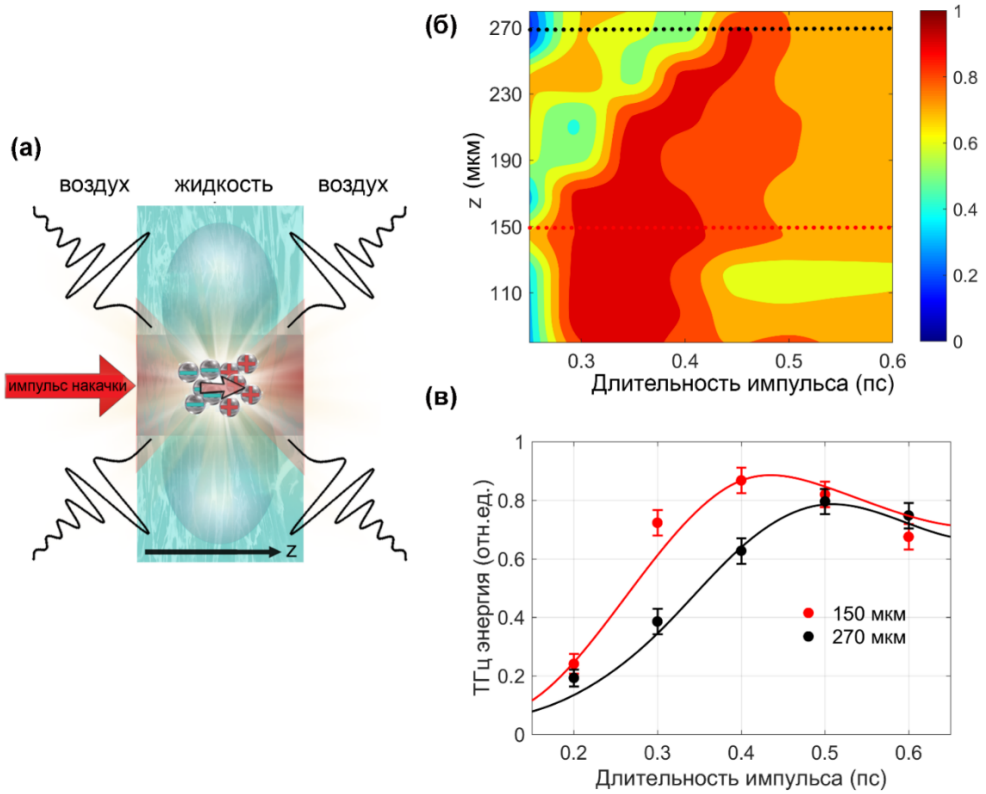


Рис. 3. Визуализация модели терагерцовой генерации (а); Численное моделирование зависимости терагерцовой энергии от дистанции распространения в струе воды для различных длительностей импульса (б); Сравнение результатов эксперимента с численным моделированием генерации терагерцового излучения в плоской струе воды с толщиной 150 мкм (красн.) и 270 мкм (черн.) от длительности импульса (в)

Применяя описанную ранее теоретическую модель, было изучено влияние различных параметров жидкой среды на эффективность терагерцовой генерации. При исследуемом методе генерации терагерцового излучения, правильный выбор вещества принципиально важен. Численное моделирование подтвердило преимущество этанола в полтора раза в сравнении с водой, основываясь на отношении параметров, приведенном в теоретической части (рис. 4.а и 4.б).

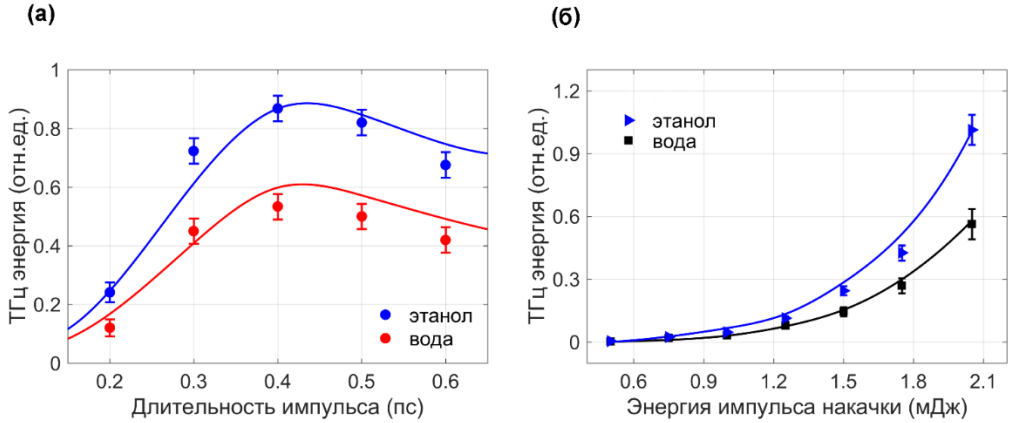


Рис. 4. Зависимость терагерцовой энергии от длительности импульса накачки для воды и этанола (а); Квазиквадратичный рост терагерцовой энергии с увеличением энергии импульса накачки для этанола и воды. Экспериментальные данные изображены точками, численно смоделированные аппроксимированы линиями (б)

Изучив набор жидкостей с разными свойствами, и, дополнив этот ряд влияющих факторов другими, мы станем на шаг ближе к пониманию условий, усиливающих потенциал использования жидких струй как эффективных генераторов терагерцового излучения.

Заключение

В работе проведено исследование генерации терагерцового излучения при лазерной филаментации в плоских струях воды и этанола. Численно и экспериментально изучены зависимости терагерцовой энергии от различных параметров входного лазерного излучения и характеристик среды генерации. Показано, что для достижения максимальной энергии терагерцового излучения пространственный размер импульса должен быть соизмерим с толщиной струи. Выявлен квазиквадратичный рост терагерцовой энергии при увеличении энергии накачки.

Используемая теоретическая модель позволила получить зависимости по терагерцовой генерации, совпадающие с экспериментальными данными. Показано, что для достижения максимальной величины терагерцовой энергии необходимо учитывать ионизацию среды, ее плотность и поглощение в терагерцовом интервале частот. Полученная эффективность преобразования составила около 0.005 % при использовании этанола, что сравнимо с величиной, получаемой при двуцветной филаментации в воздухе. Проведенное исследование станет очередным шагом к созданию универсального источника терагерцового излучения.

Литература

1. Zhang X.-C., Shkurinov A., Zhang Y. Extreme terahertz science // Nat. Photon. 2017. Т. 11. С. 16–18.

2. Jin Q., Yiwen E., Williams K., Dai J., Zhang X.-C. Observation of broadband terahertz wave generation from liquid water // Appl. Phys. Lett. 2017. T. 111. № 7. 071103.
3. Dey I., Jana K., Fedorov V., Koulouklidis A., Mondal A. et al. Highly efficient broadband terahertz generation from ultrashort laser filamentation in liquids // Nat. Commun. 2017. T. 8. № 1. 1184.
4. Yiwen E., Jin Q., Tcypkin A., Zhang X.-C. Terahertz wave generation from liquid water films via laser-induced breakdown // Appl. Phys. Lett. 2018. T. 113. № 18. 181103.
5. Stumpf S., Korolev A., Kozlov S. Few-cycle strong light field dynamics in dielectric media // Proc. SPIE. 2007. 661408.

Хмелевская Дарья
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики, студент группы №V3436,
направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: khmelevskaya.dasha@yandex.ru
Коншина Елена Анатольевна
Год рождения: 1948
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
д.ф.-м.н., с.н.с.,
e-mail: eakonshina@mail.ru

УДК 536.016;538.958

ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CDSE/ZNS В ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ С ГРАНУЛИРОВАННЫМИ ПЛЕНКАМИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Д. Хмелевская

Научный руководитель – д.ф.-м.н., с.н.с. **Е.А. Коншина**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 713561 «Оптические и электрические свойства гибридных наноматериалов на основе углеродных, полупроводниковых и металлических наноструктур».

Аннотация
Получено плазмонное усиление фотолюминесценции квантовых точек CdSe/ZnS в ПММА с помощью Au наночастиц. Вариация концентрации ПММА позволяет снизить вероятность безызлучательных переносов энергии. Фотолюминесценция КТ десятикратно усилена перекрытием в спектрах поглощения Au наночастиц и и эмиссии КТ.
Ключевые слова
Наночастицы, гибридные наноструктуры, полупроводниковые квантовые точки, локализованный поверхностный плазмонный резонанс, экситон-плазмонное взаимодействие.

Развитие технологий, позволяющих достичь усиления интенсивности фотолюминесценции (ФЛ) квантовых точек (КТ), расширяет возможности их потенциального применения. Полупроводниковые КТ обладают рядом уникальных свойств в реализуемых при создании сенсоров и других применениях [1, 2]. Научный и практический интерес вызывает экситон-плазмонное взаимодействие полупроводниковых КТ и наночастиц (НЧ) металла, возникающего под действием электромагнитного излучения. Актуальность этой работы связана с перспективностью усиления ФЛ квантовых точек с помощью локализованного поверхностного плазмонного резонанса (ЛППР). На интенсивность ФЛ КТ в ближнем поле плазмонных НЧ влияют положение локализованного поверхностного плазмонного резонанса

(ЛППР), степень перекрытия спектров поглощения НЧ и КТ, а также расстояние между ними. Увеличению интенсивности ФЛ КТ способствует уменьшение безызлучательных переносов энергии путем обеспечения эффективного расстояния между КТ и НЧ металла. Для этого используют пассивацию поверхности КТ материалом с большей шириной запрещенной зоны. Сдвиг пика ЛППР может способствовать перекрытию полос поглощения и люминесценции в спектрах КТ и металлических НЧ. Смещение максимума ЛППР в синюю область спектра было получено в гибридных структурах Au НЧ на поверхности пленок аморфного гидрогенизированного углерода (a-C:H) в результате вариации ширины оптической щели [3], а также их отжига [4].

Цель данной экспериментальной работы заключалась в получении многократного усиления интенсивности ФЛ КТ CdSe/ZnS в ближнем поле плазмонных наночастиц Ag и Au в тонкопленочной гибридной структуре с a-C:H в результате экситон-плазмонного взаимодействия. Для достижения данной цели были исследована фотолюминесценция КТ осажденных на поверхность тонкопленочных гибридных структур Ag НЧ/ a-C:H, а также КТ в полиметилметакрилате (ПММА) на поверхности Au НЧ/ a-C:H, схематичное изображение структуры представлено на рис. 1.

Гранулированная наноструктурированная Au пленка с гравеметрической толщиной 2 нм была получена термическим испарением в вакуумной камере (PVD 75, Kurt J. Lesker Company) при остаточном давлении ~ 10–7 Торр и комнатной температуре. Эта пленка наносилась на поверхность пленки a-C:H толщиной 50 нм на кварцевой подложке. Пленка a-C:H осаждалась из паров толуола в плазме тлеющего разряда на постоянном токе при комнатной температуре. Использовались полупроводниковые гидрофобные КТ CdSe/ZnS, полученные методом высокотемпературного металлоорганического синтеза, с диаметром ядра ~ 3.2 нм в оболочке TOPO.

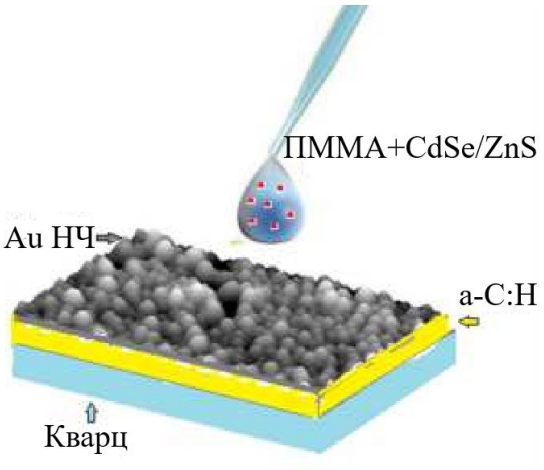


Рис. 1. Схематичное изображение способа осаждения КТ CdSe/ZnS в полимерной матрице на поверхности Au НЧ/a-C:H

Частота ЛППР зависит не только от природы металла, но также от размера и формы наночастиц и показателя преломления окружающей среды. Вариация показателя преломления достигалась использованием a-C:H пленок с шириной оптической щели 0.7 и 2.1 эВ, характеризующей их электронную структуру. На рис. 2 показаны спектры поглощения НЧ Ag, осажденных в вакууме на поверхность тонких пленок a-C:H й, а также на поверхность кварца, для сравнения.

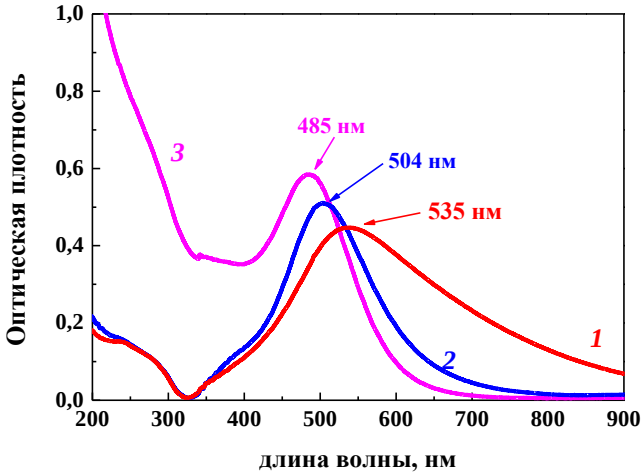


Рис. 2. Спектр оптической плотности НЧ Ag на поверхности кварца (1), на пленках a-C:H с узкой (2) и широкой (3) шириной оптической щели

Неоднородное уширение спектра Ag НЧ на поверхности кварца связано с агрегацией наночастиц. В то время как Ag пленки на поверхности a-C:H имеют более узкие полосы ЛППР. С увеличением оптической щели пленки a-C:H в спектре увеличивается интенсивность и происходит синий сдвиг пика ЛППР в спектре. Смещение полос поглощения в гибридных структурах Ag на поверхности пленок углерода связано с уменьшением их показателя преломления, т.к. морфологии гранулированной пленки НЧ Ag не изменялась.

На рис. 3 приведены спектры поглощения полупроводниковых КТ CdSe/ZnS на чистой кварцевой подложке, а также на поверхности исследуемых гибридных структур. Раствор КТ CdSe/ZnS в толуоле наносился на поверхность гранулированной серебряной пленки. Наблюдалось увеличение поглощения КТ на пленках НЧ Ag/a-C:H (образец 3 и 4), по сравнению с НЧ серебра на кварце (образец 2). Следует отметить, что при этом полоса поглощения КТ смещалась в красную область спектра.

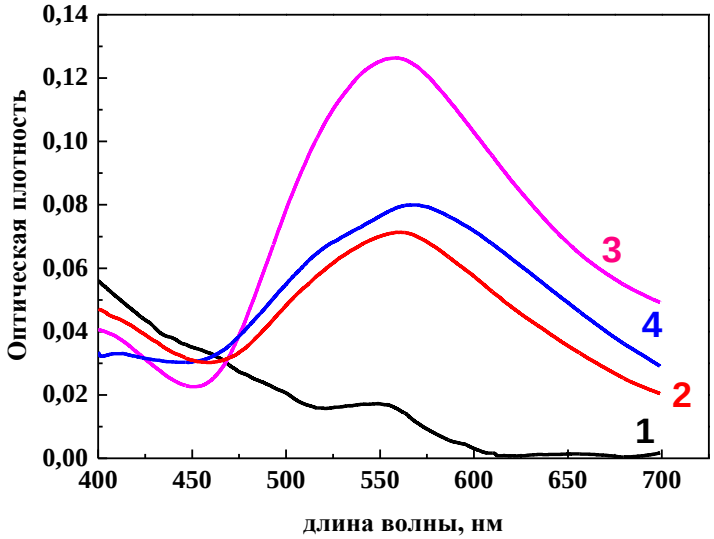


Рис. 3. Спектр поглощение КТ CdSe/ZnS нанесенный на поверхность чистого кварца (1), Ag НЧ/кварц (2), гибридных структурах Ag НЧ/ a-C:H с шириной оптической щели 2.7 eB(3) и 0.7eB (4)

На рис. 4 приведены спектры ФЛ КТ, осажденных на поверхность исследуемых образцов из раствора толуола методом центрифугирования, которые свидетельствует о тушении ее интенсивности.

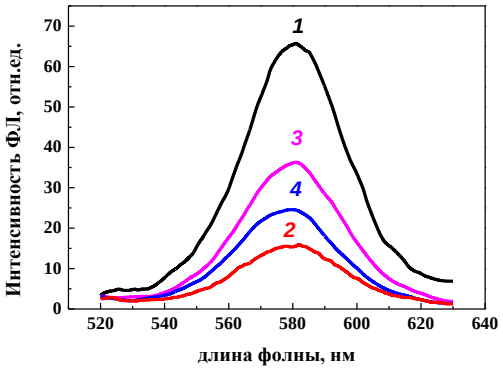


Рис. 4. Спектр фотолюминесценции КТ CdSe/ZnS, нанесенных на поверхность чистого кварца (1), Ag НЧ/кварц (2), гибридных структурах Ag НЧ/ a-C:H шириной оптической щели 2.7 eB(3) и 0.7eB (4)

Интенсивность ФЛ КТ в ближнем поле Ag наночастиц (рис. 4), осажденных на пленки a-C:H (образец 3 и 4), была выше по сравнению с НЧ Ag на поверхности кварца (образец 2). Тушение люминесценции КТ вблизи плазмонных НЧ происходило в результате безызлучательного переноса энергии, осуществляемого по механизму Ферстера (FRET). Результаты исследований показали, что использование a-C:H на границе с серебром позволяет смещать положение пика локализованного поверхностного плазмонного резонанса, что может способствовать перекрытию спектра поглощения металлических НЧ с полосой люминесценции КТ [5].

Для усиления интенсивности ФЛ КТ CdSe/ZnS в ближнем поле Au НЧ был использован способ введения их в ПММА матрицу. На рис. 5 приведены спектры фотолюминесценции КТ в ПММА матрице, нанесенные на поверхность гранулированной наноструктурированной пленки золота с эффективной толщиной 2 нм. С увеличением концентрации ПММА в растворе от 0 до 3.3 мг/мл наблюдается усиление интенсивности ФЛ КТ. Введение КТ в ПММА матрицу позволило усилить ФЛ по сравнению с непосредственным нанесением их на поверхность Au НЧ/a-C:H. Пятикратное усиление интенсивности люминесценции КТ, показанное, было получено при концентрации ПММА 3.3 мг/мл за счет уменьшения безызлучательного переноса энергии.

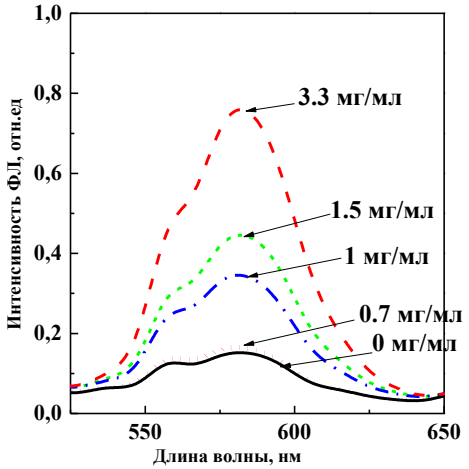


Рис. 5. Спектры фотолюминесценции КТ CdSe/ZnS при вариации концентрации ПММА

Усилить достигнутую интенсивность ФЛ удалось путем оптимизации перекрытия спектров поглощения гибридных структур Au НЧ/a-C:H со спектром излучения КТ. Спектры поглощения тонкопленочных структур Au НЧ на поверхности a-C:H до и после отжига, а также спектр относительной интенсивности ФЛ КТ в растворе приведены на рис. 6. Смещение положения полосы плазмонного резонанса в исследуемых гибридных структурах было получено в результате их отжига в течение 10 минут при температуре 300 °C.

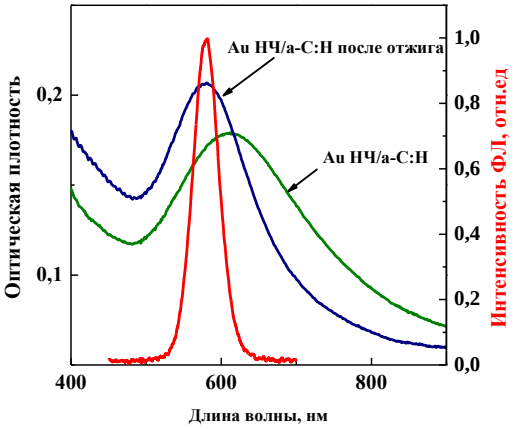


Рис. 6. Спектры ФЛ КТ CdSe/ZnS в толуоле и оптической плотности гибридной структуры Au НЧ на поверхности a-C:H пленки до и после отжига при температуре 300°C в течение 10 минут

Отжиг привел к изменению морфологии Au пленок. Пик ЛППР наночастиц Au после нанесения на a-C:H находится на длине волны 615 нм. В результате отжига гибридной структуры Au НЧ/a-C:H этот пик сдвинулся в синюю область к 580 нм. Следует обратить внимание на то, что полоса поглощения при этом сужается, а интенсивность увеличивается в результате изменения морфологии Au НЧ. В результате смещения полосы плазмонного резонанса в синюю область спектра ее положение полностью совпало с спектральной полосой эмиссии КТ CdSe/ZnS. Спектры ФЛ квантовых точек на поверхности гибридной структуры Au НЧ/a-C:H после отжига приведены на рис. 7. Интенсивность эмиссии CdSe/ZnS увеличилась в десять раз при концентрации ПММА в растворе 3.3 мг/мл.

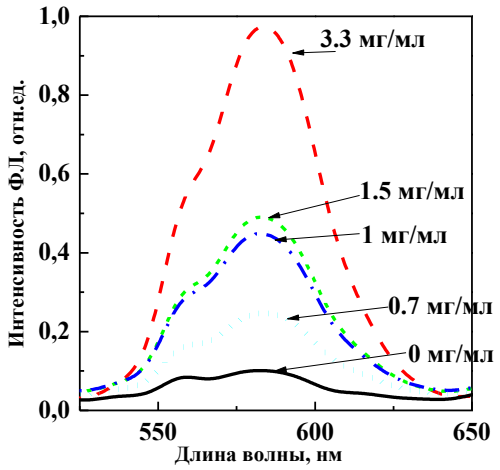


Рис. 7. Спектры ФЛ КТ CdSe/ZnS в ПММА матрице на поверхности гибридной структуры Au НЧ/a-C:H после отжига

В рамках данной работы было проведено исследование взаимодействия полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS с гранулированными пленками Ag и Au в гибридных структурах с тонкими пленками a-C:H. Была показана возможность повышения интенсивности фотолюминесценции КТ путем смещения полосы плазмонного резонанса в тонкопленочных гибридных структурах металлических НЧ/a-C:H, которое достигалось, как изменением ширины оптической щели пленок a-C:H, так и их отжигом в результате изменения морфологии НЧ. При осаждении КТ непосредственно на наноструктурированную металлическую поверхность наблюдалось тушение люминесценции из-за безызлучательных переходов между НЧ и КТ. Десятикратное усиление фотолюминесценции КТ CdSe/ZnS в ПММА матрице было получено благодаря достижению эффективного расстояния между КТ и плазмонными НЧ и одновременного перекрытия максимумов полос излучения КТ и поглощения Au НЧ в их спектрах. Путем вариации концентрации ПММА в растворе с КТ было снижено число безызлучательных переносов энергии. Отжиг гибридной структуры Au НЧ/ a-C:H позволил достичь оптимального перекрывания спектров люминесценции КТ и поглощения Au НЧ в результате синего смещения длины волны ЛППР пика. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших исследованиях при разработке оптических биосенсоров, основанных на усилении люминесценции КТ CdSe/ZnS ближнем полем плазмонных НЧ.

Литература

1. Aswathi M. et al. Quantum dots: A promising tool for biomedical application. JSM Nanotechnol //Nanomed. 2018. Т. 6. С. 1066
2. Kurochkina M.A., Konshina E.A., Khmelevskaia D. Photoluminescence of CdSe/ZnS quantum dots in nematic liquid crystals in electric fields // Beilstein Journal of Nanotechnology. 2018, Vol. 9, pp. 1544-1549
3. Konshina E.A. et al. The shift of the peak of a localized plasmon resonance in granulated gold films on the surface of aC: H //Optics and Spectroscopy. 2018. Т. 125. №. 2. С. 290-292.
4. Konshina E.A. et al. Hybrid nanostructures of plasmonic gold nanoparticles with aC: H thin films //Applied Surface Science. 2019. Т. 471. С. 652-657.
5. Khmelevskaya D., Shcherbinin D.P., Konshina E.A., Abboud M.M., Dubavik A., Gladskikh I.A. The Interaction of CdSe/ZnS Quantum Dot with Plasmonic Ag Nanoparticles Deposited on Amorphous Hydrogenated Carbon Thin Films // Optics and spectroscopy. 2018, Vol. 125, No. 5, pp. 731-734.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Арынова Эльнара Азизбековна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3430,
направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: elnara.arynova@email.ru
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 664.8/9

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУХИХ КОКТЕЙЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Э.А. Арынова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Е.П. Сучкова**

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В работе представлена разработка состава сухой коктейльной смеси для геродиетического питания. Были подобраны сухие компоненты смеси. Также были определены физико-химические показатели готового продукта (коктейля). Проводился расчет биологической ценности сухой смеси (коктейля).
Ключевые слова
Сухая смесь, геродиетическое питание, коктейль.

Питание является важным элементом здоровья пожилого населения и влияет на процесс старения. Питание человека призвано удовлетворять физиологическую потребность организма в пищевых веществах и энергии, а также поддерживать физическую и психическую активность и эмоциональный комфорт человека. Питание пожилых людей должно быть разнообразным, легкоусвояемым, биологически ценным, но энергетически менее насыщенным. Оно должно содержать достаточное количество макро- и микронутриентов, а также достаточное количество воды [1, 4].

По статистическим данным, около 75% пожилых людей имеют те или иные нарушения в питании: около 20% – переедают, а 60% – питаются нерационально, что приводит к дефициту макро и микронутриентов, ожирению, лактазной недостаточности, диабету и т.д. Поэтому разработка высокобелковых продуктов с минимальным содержанием жира и лактозы является актуальным.

На современных рынках пищевых продуктов коктейли – это не только средство удаления жажды и пополнения воды в организме. Они вышли на первый план в области доставки в организм полезных для здоровья веществ и нутриентов. За последние 20 лет мы стали свидетелями резкого расширения ассортимента напитков практически во всех сегментах потребительского рынка [2].

В исследовании с целью создания рецептуры коктейля для геродиетического питания с высоким содержанием белка исследовали сухие белковые компоненты. После анализа медико-биологических данных, научно-технических журналов и других источников, в качестве основных источников белка с полноценным аминокислотным составом были выбраны изолят сывороточных белков и изолят соевого белка. Содержание белков основывались на потребности пожилых людей.

С целью рационализации питания пожилых людей добавлена пищевая добавка – инулин. Инулин – растительный полисахарид, проявляет свойства растворимых пищевых волокон, хорошо сочетается с белками, является пребиотиком. Регулярное употребления обогащенных инулином продуктов стимулирует развитие полезной микрофлоры кишечника, способствует усвоению кальция. Как природный энтеросорбент, он способствует очищению кишечника от токсичных веществ [3].

В качестве сахарозаменителя были выбраны подсластители сукралоза и стевиозид, так как при их сочетании получается очень хороший привкус. Подсластители применялись при соотношении 1:1 с дозой внесения 0,1% – 0,5% на 100 г смеси сухого коктейля с шагом 0,1 и последующим перемешиванием до полного растворения. Было выявлено, что при дозировке 0,1% имелась наиболее приятная степень сладости.

Далее был подобран вид стабилизатора с одинаковой дозой внесения.

При исследовании были использованы стабилизаторы:

1. Гуаровая камедь;
2. Ксантовая камедь;
3. Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ);
4. Без использования стабилизатора.

По рекомендуемым нормам доза внесения стабилизатора в коктейль составило 5 г. Ниже представлена органолептическая оценка коктейля с разными стабилизаторами на рис. 1. Оценка образцов проводилась дегустаторами по разработанной 5-бальной шкале.

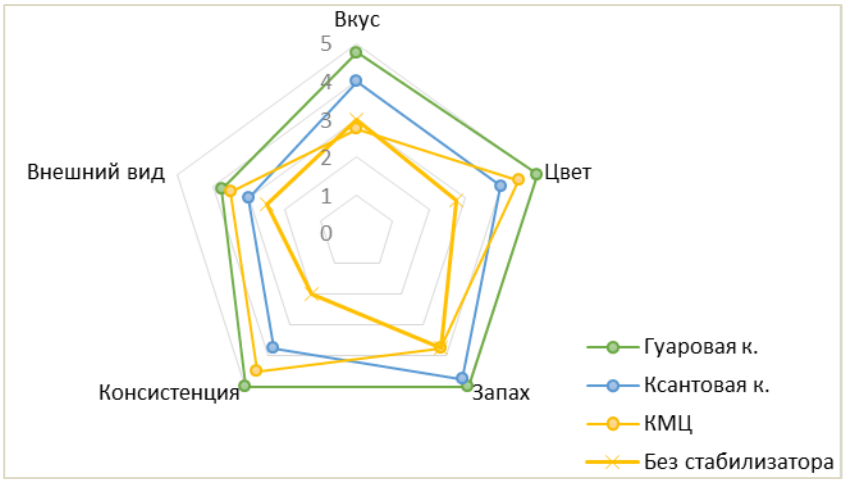


Рис. 1. Органолептические показатели коктейля с разными стабилизаторами

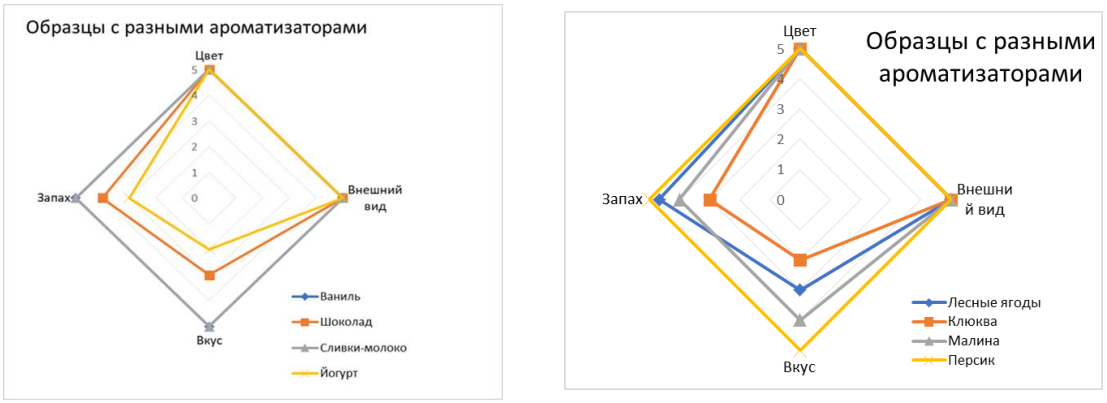
И на основании органолептической оценки лучший результат получен у гуаровой камеди. Консистенция однородная, цвет молочно-кремовый, вкус и запах молочный.

Следующим этапом стал подбор ароматизатора с одинаковой дозой внесения.

При проведении исследовании были использованы ароматизаторы:

1. Ваниль;
2. Шоколад;
3. Сливки – молоко;
4. Йогурт;
5. Лесные ягоды;
6. Клюква;
7. Малина;
8. Персик.

Ароматизаторы использовались с дозой 1,5 % на 100 г продукта. Ниже представлены органолептические показатели коктейля с разными видами ароматизаторов на рис. 2. Оценка образцов также проводилась дегустаторами по разработанной 5-бальной шкале.



а б

Рис. 2. Органолептические показатели коктейля с разными видами ароматизаторов (а) и (б)

На основании представленных данных на рис. 2 были выбраны ароматизаторы ваниль, сливки-молоко и персик. Они по всем параметрам получили наивысшую оценку.

По результатам исследования была разработана рецептура сухой коктейльной смеси для геродиетического питания, которая приведена в таб. 1.

Таблица 1

Рецептура сухой коктейльной смеси для геродиетического питания

Наименования сырья	Норма расхода, кг/100 кг
Изолят сывороточного белка	40,0
Изолят соевого белка	30,0
Инулин	23,4
Стабилизатор гуаровая камедь	5,0
Ароматизатор Ваниль	1,5
Стевиозид-подсластитель	0,05
Стевиозид-подсластитель	0,05

Был установлен предположительный срок хранения сухой коктейльной смеси для геродиетического питания на основании литературных источников. При определении, за основу были взяты усредненные данные о сроках годности других сухих коктейльных компонентов. Можно предположить, что срок хранения, при соблюдении герметичности упаковки, составляет 12 месяцев с даты производства, при температуре до 20˚С. Продукт хранят в сухом защищенном от света месте, в помещениях, предназначенных для хранения пищевых продуктов при относительной влажности не более 80%.

Далее определялись физико-химические показатели готового продукта. Результаты представлены в таб. 2.

Таблица 2

Физико-химические показатели готового продукта

Наименование показателя	Значение
Кислотность, Т	14,0
Пенообразование, %	40
Вязкость, с	11,35

Данные показатели соответствуют требованиям, предъявляемым к данному продукту.

Далее проводился расчет биологической ценности сухой коктейльной смеси, которая представлена в таб. 3.

Таблица 3

Биологическая ценность белковой составляющей исследуемого коктейля

НАК	Массовая доля, г/100 г белка				Аминокислотный скор, %
	Норма потребления НАК по ФАО ВОЗ 2007	Изолят сывороточного белка (40 %)	Изолят соевого белка (30%)	Исследуемая рецептура	
лейцин	5,90	12,30	7,20	7,08	120,00
изолейцин	3,00	5,50	4,30	3,49	116,33
метионин + цистеин	2,20	4,00	2,30	2,29	104,09
треонин	2,30	5,20	3,30	3,07	133,47
валин	3,90	6,40	4,50	3,91	100,25
фенилаланин + тирозин	3,80	6,50	7,90	4,97	130,79
триптофан	0,60	1,90	1,10	1,09	181,67
гистидин	1,50	2,90	2,30	1,85	123,33

Также была рассчитана коэффициент различия аминокислотного скора (КРАС), при этом биологическую ценность белка определяли по формуле: БЦ = 100 – КРАС (%) [2].

КРАС = 25,99 %

БЦ = 100 – 41,59 = 74,01 %

Биологическая ценность белковой составляющей белка коктейля относительно ФАО ВОЗ 2007 достаточно высокая, потому что в составе не имеются лимитирующих аминокислот. Биологическая ценность равна 74,01%.

Литература

1. Данилова Н.В. Биотехнология и товароведные признаки молочных и молокосодержащих продуктов для геродиетического питания: состояние и перспективы развития: монография. – Омск: Изд-во Омского института (филиал) РГТЭУ. 2011. 270 с.
2. Нечаев, А. П. Пищевая химия / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова и др. СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.
3. Функциональные напитки и напитки специального назначения / Под общ. ред. П. Пакена; Пер. с англ. СПб.: Профессия, 2010. 496 с.
4. Погожева А.В. Ешь, пей, молодей. Уникальные принципы геродиететики – здорового питания в пожилом возрасте. Москва.: АСТ, 2015. 208 с.

Багно Вера Сергеевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N3452,
направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,
e-mail: verabagno@rambler.ru

УДК 004.02

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОГРАММ ПО ПОБАЙТОВЫМ СИГНАТУРАМ

В.С. Багно

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. **Ю.А. Канжелев**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615892 «Исследование и разработка в области информационных технологий».

Аннотация
В работе был предложен подход к идентификации версий программного обеспечения на основе алгоритма градиентного бустинга деревьев решений. Был разработан метод формирования побайтовых сигнатур программ. Производилось сравнение трех реализаций алгоритма градиентного бустинга: CatBoost, XGBoost, H2O.
Ключевые слова
Идентификация файлов, сигнатуры, информативный признак, elf файлы, градиентный бустинг.

Решение проблемы идентификации программ позволит отличать легитимные копии программ от нелегитимных, выявлять вредоносные программы и вовремя принимать меры по противодействию им. Особенность предложенного подхода к идентификации программ заключается использовании метода градиентного бустинга деревьев решений, идентифицирующего программы по побайтовым сигнатурам их версий. Это позволяет при идентификации учитывать тот факт, что одна и та же программа может иметь отличающиеся друг от друга версии и, следовательно, обладать расхождениями в сигнатурах этих версий.

Градиентный бустинг – это метод машинного обучения для задач регрессии и классификации, который создает решающую модель прогнозирования в виде ансамбля слабых предсказательных моделей [1].

В качестве сигнатур файлов были использованы 566 elf файлов, представляющие собой различные версии 123 программ.

1. Файлы были преобразованы в шестнадцатиричный вид.
2. В побайтовом представлении одного из файлов был произведен автоматизированный подсчет всех встречающихся в нем байтов. Поскольку байт 00 встречался часто и образовывал длинные последовательности независимо от программы, считать этот байт информативным признаком нельзя. Самые часто встречающиеся байты отображены в Диаграмме 1 (рис. 1).

Рисунок 1. Диаграмма – Выделенное признаковое пространство

3.Была сформирована обучающая выборка и тестовая выборка. Каждый файл разбивается на 30 частей, в каждой части производится расчет частоты встречаемости каждого из выбранных информативных признаков.

Результатом для каждой программы обучающей выборки и тестовой выборки является следующая структура:

$S = (K, K_0, \ldots, K_{29})$,

где K – идентификатор программы, определяющий принадлежность побайтовой сигнатуры версии программы к одной из программ;

K_i – частота встречаемости признака.

4.Этап идентификации. Применяется алгоритм градиентного бустинга. Производится сравнение частот встречаемости информативного признака в обучающей выборке и в тестовой выборке. Регулируется глубина построения дерева решений (Depth) и скорость обучения (Learning rate).

Для получения результатов была использована метрика Accuracy – доля правильных ответов алгоритма. Она высчитывается по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{P}{N},$$

где P – количество файлов, по которому классификатор принял правильное решение;

N – объем тестовой выборки.

В ходе использования алгоритма CatBoost были получены результаты, приведенные в таб. 1.

Таблица 1

Результаты для алгоритма CatBoost

	CatBoost		XGBoost		H2O	
Iterations	100 итераций	1000 итераций	100 итераций	1000 итераций	100 итераций	1000 итераций
Depth	2	2	6	6	0,5	0,5
Learning rate	0,7	0,7	0,8	0,8	0,6	0,6
True Positive, %	71,54%	77,24%	67,48%	70,73%	69,89%	72,97%
False Negative, %	28,46%	22,76%	32,52%	29,27%	30,11%	27,03%
Time	4 минуты	11 минут	0,08 минуты	1 минута	3 минуты	7 минут

В других работах [1] использовались не побайтовые сигнатуры, а дизассемблированные. Результат сравнения результатов работы алгоритма CatBoost на разных входных данных представлен в таб. 2.

Таблица 2

Сравнение работы алгоритма CatBoost на побайтовых сигнатурах и дизассемблированных сигнатурах

	Побайтовые сигнатуры	Дизассемблированные сигнатуры
Iterations	1000	1000
Depth	2	2
Learning rate	0,7	0,7
True Positive, %	77,24%	89%
False Negative, %	22,76%	11%
Time	11 минут	–

Как видно из таб. 2, несмотря на полное сходство задаваемых параметров, дизассемблированные сигнатуры показали лучший результат, чем побайтовые сигнатуры. Ассемблерные команды несут в себе больше информации, чем байты, однако дизассемблировать программы не всегда представляется возможным в связи с их лицензионным соглашением, а дизассемблирование требует больше времени.

Результаты работы могут быть рекомендованы специалистам по информационной безопасности для проведения аудита электронных носителей информации.

Литература

1. Кривцова И.Е., Лебедев И.С., Салахутдинова К.И. Алгоритм градиентного бустинга деревьев решений в задаче идентификации программного обеспечения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 6. С. 1016–1022. [Статья, Год: 2018].

Бережной Иван Александрович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы № N3460,
направление подготовки: 11.03.03 – Конструирование и технология электронных средств,
e-mail: vany.beregnoy@list.ru
Донецкая Юлия Валерьевна
Год рождения: 1983
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: donetskaya_julia@mail.ru

УДК 004.3

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ КЛЮЧ-КАРТ

И.А. Бережной

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Ю.В. Донецкая**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе произведён анализ существующих на рынке решений по идентификации пользователей с помощь бесконтактных карт входящих в состав систем контроля и управления доступом. На основе технического задания спроектирована конструкция блока, подготовлена конструкторская документация и произведены необходимые расчеты.
Ключевые слова: СКУД, ключ-карта, микроконтроллер, информационная безопасность, RFID, Wi-Fi.

В настоящее время все большее распространение получают системы контроля и управления доступом (СКУД), являясь одним из наиболее эффективных средств обеспечения комплексной безопасности объектов. В общем случае под СКУД обычно понимают совокупность программно-технических и организационно-методических средств. Хорошо организованная система позволяет решать целый ряд задач, таких как противодействие промышленному шпионажу, защита конфиденциальной информации, учет рабочего времени, контроль прихода и ухода сотрудников. Блок считывания идентификационной информации является важным звеном любой подобной системы, и совершенствование его характеристик является актуальной задачей [1].

Целью работы является разработка блока считывания бесконтактных ключ-карт. Для достижения данной цели были решены следующие задачи: анализ аналогов и технического задания, разработка структурной схемы устройства, выбор элементной базы, разработка печатной платы, конструкции корпуса и конструкторской документации.

В ходе работы были проанализированы представленные на рынке решения, приведенные в таб. 1. Был сделан вывод, что данные устройства требуют проводного подключения к центральному контроллеру, а также не могут выполнять свои функции без внешнего питания, что накладывает ограничения на их установку вследствие необходимости проведения монтажных работ по прокладке кабелей в обслуживаемых помещениях. Это обуславливает невозможность использования их как составляющей части единой СКУД в рамках нескольких удаленных помещений, расположенных, к примеру, в разных частях предприятия.

Таблица 1

Характеристики блоков считывания

Параметр	Hikvision DS-K1801M	Gate-Reader-EH proximity	IR03
Питание	Внешнее, 12 В	Внешнее, 8..16 В	Внешнее, 12 В
Тип подключения	Проводной	Проводной	Проводной
Стандарт карт	Mifare	EM-Marine или HID	EM-Marine или HID
Индикация	Звуковая, световая	Звуковая, световая	Световая
Материал корпуса	Пластик	Пластик	Пластик
Размеры корпуса, мм	87×87×13	94×55×15	145×50×20
Стоимость, руб.	2 390	2 050	4500

Согласно требованиям технического задания, блок считывания предназначен для работы с бесконтактными картами и передачи информации по беспроводной сети.

В соответствии с функциональным назначением устройства, оно предназначено для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным климатом и используется стационарно, что соответствуют требованиям ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 16962-71 [2, 3].

1. Климатическое исполнение блока: УХЛ 4.1.
2. Устройство относится к группе 4: эксплуатация производится в помещениях с искусственной регуляцией температуры, например, в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других помещениях, а также вентилируемых подземных помещениях в которых предусмотрено отсутствие воздействия прямого солнечного излучения, ветра, песка и пыли, атмосферных осадков, отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги.
3. Условия эксплуатации:

– температура окружающей среды: от +10 до +35°С;
– атмосферное давление: от 84 до 86,6 кПа (от 630 до 650 мм рт.ст.);
– относительная влажность воздуха: 60% при температуре 20°С;

В соответствии с ГОСТ 16962-71 разрабатываемый блок относится к классу наземной аппаратуры и должен соответствовать следующим требованиям:

1. Виброустойчивость (при транспортировке);
2. Удароустойчивость (при транспортировке);
3. Устойчивость к повышенной температуре (при транспортировке);
4. Устойчивость к пониженной температуре (при транспортировке);

Блок должен содержать бесконтактный считыватель карт, микроконтроллер и модуль беспроводного соединения. Конструкция корпуса предусматривает наличие

настенного крепления. Соединения печатной платы с другими модулями внутри корпуса осуществляется при помощи проводов.

Структурная схема устройства представлена на рис. 1. В состав блока считывания входят следующие функциональные узлы:

1. Модуль обработки и передачи данных. Производит прием информации со считывателя, ее обработку, формирование сообщения, и его передачу по беспроводной сети. А также прием и обработку входящих сообщений.
2. Модуль управления. Содержит в себе модуль обработки и передачи данных, а также необходимую периферию для подключения остальных модулей.
3. Модуль считывания карт. Производит прием информации от ключ-карты, её декодирование и отправку в модуль управления.
4. Светодиод. Необходим для отображения состояния работы блока.
5. Батарея. Необходима для обеспечения автономности питания.

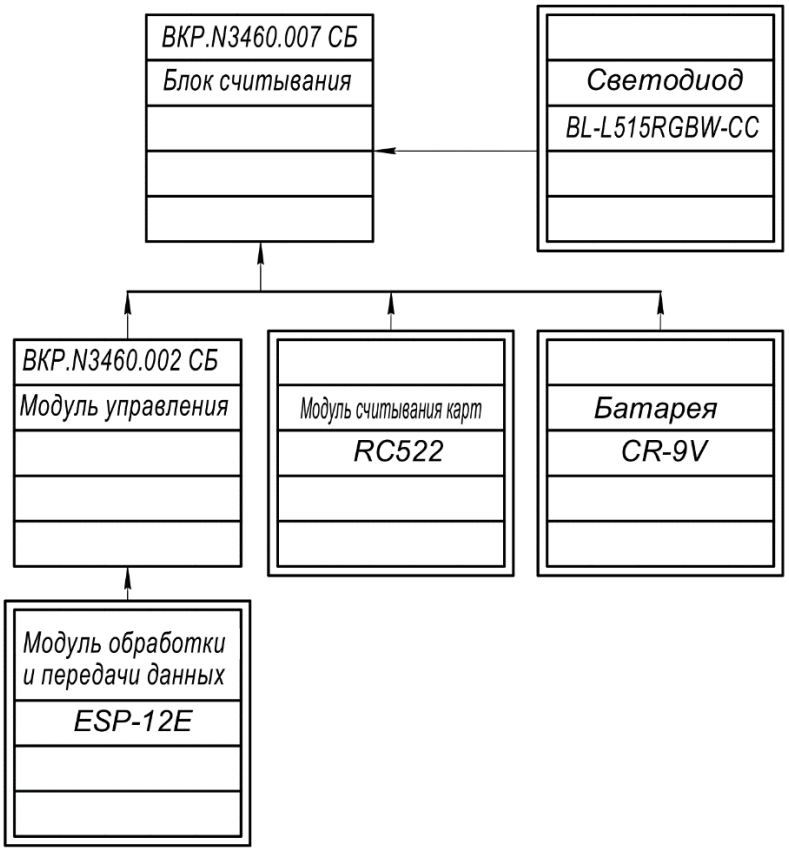


Рисунок 1. Структурная схема блока считывания

Качественные характеристики элементной базы оказывают исключительно сильное влияние на технические и экономические показатели разрабатываемого блока. При выборе элементной базы были учтены следующие критерии:

1. Соответствие эксплуатационных и технологических параметров компонента, условиям указанных в техническом задании.
2. Массогабаритные характеристики, от которых зависит размер и вест конечного устройства.
3. Степень унификации компонентной базы. Выбор унифицированных компонентов позволит повысить технологичность устройства и снизить стоимость производства.

4. Стоимость.
5. Сложность ремонта.
6. Возможность автоматизации монтажа.

Выбранная элементная база представлена в таб. 2.

Таблица 2

Выбранная элементная база

Вид элемента	Выбранный элемент
Модуль обработки и передачи данных	ESP 12E
Кварцевый резонатор	XT22S4
Интерфейсная микросхема	CH340
Резисторы	0402
Конденсаторы	0402, B-3528
Диоды	DO214AC
Разъемы	HDR1x15, USB B MOLEX
Преобразователь напряжения	SPX3819M5-L-3-3
Транзисторы	S8050
Кнопки	PTS-820
Бесконтактный считыватель карт	RC522

В качестве материала конструкции печатной платы был выбран двусторонний фольгированный стеклотекстолит, поскольку его стоимость, а также способность противостоять внешним воздействиям оптимальны. Для нанесения рисунка проводников был выбран комбинированный позитивный метод. В ходе расчета были определены требуемые габариты печатной платы, которые составили 60 на 40 миллиметров. Разработка топологии печатной платы осуществлялась в САПР Altium Designer 17.

После разработки печатной платы и выбора дополнительных компонентов был спроектирован корпус блока. Корпус в полной мере удовлетворяет требования технического задания и имеет габариты 82x77x31 миллиметр, а также внешнюю индикацию в виде трехцветного светодиода и сервисный разъем. Конструктивно корпус состоит из основания, на котором винтами закреплена печатная плата и предусмотрено место под батарею, крышки, с аналогично закрепленным модулем считывания, и двух заглушек, предназначенных для скрытия винтов крепления корпуса к стене. Материалом корпуса выбран абс-пластик. Разработка корпуса была осуществлена с помощью САПР SolidWorks 2016.

Для успешной разработки устройства необходимо знать при каких температурах будет происходить его работа. Расчет теплового режима играет важную роль в обеспечении функционирования устройства. В формуле (1) представлен результат расчета реальной температуры внутри корпуса.

$$T_{реал} = T_к + \frac{P}{\sigma_з} = 323{,}15 + \frac{1}{0{,}087} = 334{,}64, \quad (1)$$

где $T_{реал}$ – реальная температура внутри корпуса, К; $T_к$ – температура корпуса, К;
P – максимальная рассеиваемая мощность внутри блока, Вт;
$\sigma_з$ – общая тепловая проводимость зоны, Вт/(м*К);

Одним из требований технического задания является наработка на отказ 10000 часов. Поэтому был произведен расчет надежности. Надежность блока зависит от надежностей монтируемых компонентов и условий эксплуатации. В формуле (2) представлен расчет средней наработки блока на отказ.

$$T_{ср.расч} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1{,}712 \cdot 10^{-5}} = 58411. \quad (2)$$

где $T_{ср.расч}$ – среднее время наработки на отказ, ч;
λ – интенсивность отказов всей системы, 1/ч;

Результатом данной работы является блок считывания ключ-карт, разработанный с учетом недостатков устройств данного типа на отечественном рынке. А также проведенные расчёты на соответствие требованиям технического задания и конструкторская документация.

Литература

1. Иванов П.Д., Суверина И.Д. Анализ состояния и перспективы развития систем контроля и управления доступом в России. Инженерный журнал: наука и инновации, 2014. С.1-3.
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5). Введен 1971-01-01. М.: Ид-во стандартов, 2004. 57 с.
3. ГОСТ 16962-71. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний (с Изменениями N 2, 3). Введен 1971-07-01. М.: Ид-во стандартов, 1987. 105 с.

Вышлов Георгий Петрович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т3430,
направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: gvishlov@gmail.com
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959,
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
доцент, кандидат технических наук,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 608.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГРИБОВ РОДА *ASPERGILLUS ORYZEA* НА ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ С МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКОЙ

Г.П. Вышлов

Научный руководитель – к.т.н. доцент **Е.П. Сучкова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №617027 "Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья".

Аннотация
В исследование рассмотрено возможное применение подсырной сыворотки в качестве одного из компонентов сложного субстрата. Подобран конечный состав питательной среды, необходимый для культивирования на нём грибов *Aspergillus oryzea*. Также подобраны подходящий вид молочной сыворотки и дозы её внесения. В работе был идентифицирован и очищен штамм AN-3. Были исследованы некоторые физико-химические показатели субстрата. Расчетным путём определена рентабельность исследования.
Ключевые слова
Подбор состава, питательная среда, молочная сыворотка, Aspergillus oryzea, штамм AN-3.

Самым распространенным из видов грибов, используемых в биотехнологических производствах, является род Aspergillus. Штамм Aspergillus oryzae – обладает способностью продуцировать протеолитические ферменты. Применение подобных свойств может быть найдено в производстве разнообразных пищевых продуктов (ферментированных приправ, добавок, напитков). Данное изобретение принадлежит к биотехнологии, в особенности к получению штамма - продуцента протеолитических ферментов, и может быть применено для гидролиза растительных и животных субстратов в пищевой промышленности, производствах с использованием бродильных реакций, аграрном хозяйстве [3, 4].

Благодаря отсутствию патогенных свойств и наличию высоких продуцирующих свойств Aspergillus oryzae часто применяется в пищевой промышленности, например, для создания ферментированных напитков, при необходимости гидролиза белков и углеводов.

Учитывая важную роль молочных продуктов и смежных отраслей в повседневной жизни и благосостояние растущего населения, а также окружающей среды, социальной и экономической важно иметь перспективные методы использования образующейся молочной сыворотки. Следовательно, для решения этой проблемы необходимо разработать эффективные способы обращения сырья, чтобы справиться с растущим количеством сыворотки. Одна из этих стратегий включает биологическую обработку с помощью пищевых нитчатых грибов, чей разнообразный ферментативный механизм способствует гидролизу сложных питательных веществ для дальнейшего усвоения и преобразования в различные продукты с повышенной стоимостью. Молочные субстраты являются потенциальными источниками лактозы, белка и жира. Поэтому объединяя метаболическое разнообразие нитчатых грибов и сложный состав побочного молочного сырья, есть высокий потенциал для его внедрения в состав сложных субстратов. Это может иметь важные экологические и социальные последствия, учитывая количество получаемой сыворотки при разработке молочных продуктов [5].

В работе использовался метод математического планирования экспериментов для оптимизации питательной среды, который позволяет существенно сократить число проводимых опытов.

Используя схему ортогональных прямоугольников в экспериментальную матрицу закладывались основные факторы на разных уровнях, в качестве основных факторов выступали компоненты питательной среды: глюкоза, пшеничные отруби и калий фосфорнокислый двузамещенный, в качестве уровней – их различные концентрации. Критерием оптимизации служила активность протеолитических ферментов в глубинной культуре [1, 2].

Значения концентраций компонентов варьировали по данным таб. 1, при этом была произведена замена крахмала на пшеничные отруби, а также в питательных средах присутствовали соли магния, железа и калия.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

Глюкоза	Пшеничные отруби	K_2HPO_4
0	1	1,5
0	2	2
0	3	1,75
1	2	1,75
1	1	2
1	3	1,5
1,5	3	2
1,5	1	1,75
1,5	2	1,5

Эффект биосинтетической активности ферментов рассчитывали для каждого фактора каждого уровня и определяли их оптимальные значения, результаты приведены в таб. 2.

Таблица 2

Зависимость эффектов активности ферментов от концентрации компонентов питательной среды

Факторы	Уровни, %	Эффект активности кислой протеазы
Глюкоза	0	0,219125878
	1	1,541026557
	1,5	-1,760152435
Пшеничные отруби	1	-0,266761939
	2	2,462784328
	3	-2,196022389
K_2HPO_4	1,5	-0,352506848
	1,75	0,312016196
	2	0,040490651

Сыворотка – это жидкость, в которой нет основного молочного белка, казеина. Зато в ней присутствуют сывороточные белки**,** которые обладают очень высокой биологической ценностью. По сравнению с казеином, сывороточные белки (α-лактальбумин, β-лактоглобулин и иммуноглобулины) усваиваются намного легче. Практически все соли, микроэлементы и водорастворимые витамины молока переходят в сыворотку. Она богата витаминами группы В, кальцием, калием, фосфором, магнием, пробиотическими бактериями [2].

В ходе эксперимента были испробованы несколько видов сыворотки, результаты подбора приведены ниже.

Для приготовления субстрата в ходе исследования подбирались разные виды сыворотки, которые представлены в таб. 3 и 4. Было подготовлено и апробировано 3 образца:

1 образец – сыворотка подсырная, является оптимальным образцом для опыта, поскольку имеет усредненные показатели по выбранным критериям и минимальную кислотность.

2 образец – творожная сыворотка, содержит меньше всего сухих веществ и углеводов, но лидирует по количеству микро – и макроэлементов.

3 образец – сыворотка казеиновая, является лидером по содержанию сухих веществ, белковой и минеральной составляющих, но полностью лишена микро – и макроэлементов.

Образцы испытывались на трёх разных штаммах одного вида в одинаковых условиях.

Таблица 3

Сравнительная характеристика 3 образцов сыворотки

Вид сыворотки	Плотность, кг/м3				
	Сухих веществ, %	Лактозы, %	Белковых веществ, %	Минеральных веществ, %	Молочного жира, %
Подсырная	6,5	4,5	0,7	0,5	0,4
Творожная	6,0	4,2	0,8	0,6	0,2
Казеиновая	6,8	4,5	1,0	0,7	0,1

Таблица 4

Сравнительная характеристика 3 образцов сыворотки

Вид сыворотки	Массовая доля								Кислотность, град. Т	Плотность, кг/м3
	Макроэлементов, мг %					Микроэлементов мг %				
	Cl	Mg	K	Na	P	Zn	Mo	Cu		
Подсырная	56	51	110	38,6	6,8	86,5	54,2	33,5	20	1023
Творожная	5,2	2	35	40,4	10	154,4	89,4	66,8	70	1023
Казеиновая	–	–	–	–	–	–	–	–	70	1023

По результатам проведенных проб, образец под №1 является наилучшим выбором для внесения в субстрат для его обогащения витаминами и минералами, а также для повышения углеводной составляющей питательной среды

Штамм AN – 3 был выделен в 2016 году в Волгородской области Никандровой Анной Викторовной, работа с ним ведётся непрерывно, но условия хранения гриба культуры ставят под угрозу его чистоту. Так как в лаборатории находятся десятки видов различных штаммов плесеней. Во избежание погрешностей в работы были приняты меры по идентификации, очистке и выделению нужной культуры. Исследования проводились на монокультуре *Aspergillus oryzea*, малейшая обсемененность спорами других видов плесеней приводит к загрязнению исследуемого образца и неудаче опыта [3].

Методы, использованные для очистки идентификации штамма AN-3:

- Выделения ДНК из мицелия;

(Молекулярно-генетическую идентификацию выделенных микромицетов проводят путем ДНК анализа, для этого из каждой чистой культуры, полученной из почв и риса, выделяют ДНК образцы)

- Гель-электрофорез;

(Электрофорез в гелях - метод, служащий для разделения макромолекул на основе их размера, электрического заряда и физических свойств. Также данный метод использую для определения результата выделения ДНК)

- Очистки ДНК из геля;
- Определения полимеразной цепной реакции;

(Полимеразная цепная реакция позволяет многократно воспроизводить «амплифицировать» выбранный фрагмент ДНК без помощи рестриктаз, векторов или клетки-хозяина)

- Секвенирования.

(Метод секвенирования НК путем «обрыва цепи» основан на синтезе новой ДНК-цепи на анализируемой ДНК-матрице с участием ДНК-полимеразы в присутствии

праймера и смеси дезоксинуклеотидтрифосфатов)

Именно поэтому подготовительный этап, в который вошли идентификация, очистка и выделение является самым трудоёмким процессом в ходе исследования.

Таким образом, в ходе исследования были получены следующие результаты:

1. Был выполнен подбор основного состава питательной среды на основе требуемых для культивирования параметров.
2. В процессе работы было установлено, что все 3 фактора (глюкоза, пшеничные отруби, K_2HPO_4) являются значимыми и оказывают влияние на ферментативную активность. Для глюкозы и пшеничных отрубей оптимальными значениями концентрации для комплекса ферментов оказались 1 % и 2 % соответственно. Оптимальным значением калия фосфорнокислого двузамещенного для биосинтетической активности кислой протеазы – 1,75;
3. Определён вид сыворотки и дозы её внесения в состав сложного субстрата.
4. В ходе исследования был очищен и выделен интересующий штамм.
5. Завершен подготовительный этап работы, среда и штамм AN – 3 готовы к культивированию и дальнейшему определению ферментативной активности.

Литература

1. Азаренкова Н.М., Ваганова Т.И., Стронгин А.Я., Сепанов В.М Выделение и свойства кислой карбоксипептидазы из A oryzae. Санкт - Петербург: Биохимия, 2015. 20 с.
2. Бирюков В.В., Кантере В.М. Оптимизация периодических процессов микробиологического синтеза. М.: Наука, 2008. 296 с.
3. Зуева Р.В. Физиолого-биохимические исследования экспериментально полученного мутанта Aspergillus oryzae - активного продуцента кислой протеиназы. - Москва: Прикладная биохимия и микробиология, 2013. 38 с.
4. Александрова Г.П., Медведева С.А., Синицын А.П., Окунев О.Н Изменение состава структурных компонентов лиственной сульфатной целлюлозы в процессе ферментативного отбеливания ксиланазами. Москва: Прикладная биохимия и микробиология, 2011. 287 с.
5. Аль-Нури М.А., Иваница В.А., Егоров Н.С. Биосинтез внеклеточных протеаз Aspergillus candidus при отсутствии источников углерода и серы. Ленинград: Микробиология, 2006. 10 с.

Гурда Мария Дмитриевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3425,
направление подготовки: 19.03.03 – Технология молока и молочных продуктов,
e-mail: marusia-gurda@mail.ru
Яковченко Наталья Владимировна
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н.,
e-mail: frack@mail.ru; nviakovchenko@itmo.ru

УДК 637.146.34

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

М.Д. Гурда

Научный руководитель – к.т.н. **Н.В. Яковченко**

Университет ИТМО

Аннотация
По данным Всемирной организации здравоохранения, 20-33% людей по всему миру страдают от болезненных опорно-двигательного аппарата, что приводит к ограниченной подвижности, ловкости и функциональной мобильности. Цель исследования заключалась в разработке состава и технологии кисломолочного продукта для профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата. Результаты органолептической оценки, физико-химических показателей, состава жирных кислот показали, что можно создать новый продукт с куркумином, маслом из виноградных косточек, гиалуроновой кислотой и хондроитинсульфатом. Данные компоненты рекомендуются для улучшения состояния и облегчения симптомов при заболеваниях опорно-двигательного аппарата. Однако выбранные компоненты увеличивают время производства продукта. Увеличение времени сквашивания связано с добавлением куркумина – молочнокислым бактериям требуется адаптация к среде в течение 2,5–3 часов. Комбинация эмульгаторов Твин-80 и лецитина позволяет получать стабильную эмульсию в течение срока хранения.
Ключевые слова
Профилактика заболеваний опорно-двигательного аппарата, куркумин, масло виноградных косточек, хондроитинсульфат, гиалуроновая кислота, эмульсия.

Заболевания опорно-двигательного аппарата диагностируются у людей любого возраста. Согласно официальной статистке, общая динамика болезней опорно-двигательного аппарата в России с конца XX века возрастает с каждым десятилетием приблизительно на 30%. Заболевания опорно-двигательного аппарата являются основной причиной инвалидности, проблем здоровья и экономических убытков

предприятий и многих развитых стран в целом. Эти заболевания являются основной причиной ограничения работы и потери рабочей силы и времени [1].

Йогурт является одним из самых популярных в мире молочных продуктов. Это хороший источник кальция, витаминов и может потребляться людьми, которые страдают от плохого усвоения лактозы. Также йогурт помогает снизить риск возникновения кариеса, снизить индекс массы тела, артериальное давление, уровень сахара в крови. Новый продукт содержит куркумин, масло виноградных косточек, гиалуроновую кислоту и хондроитин сульфат. Куркумин, гиалуроновая кислота и хондроитин сульфат рекомендуется использовать для лечения различных симптомов заболевания опорно-двигательного аппарата. Йогурт и масло виноградных косточек были выбраны на основании рекомендации употребления куркумина с молоком и любым пищевым маслом.

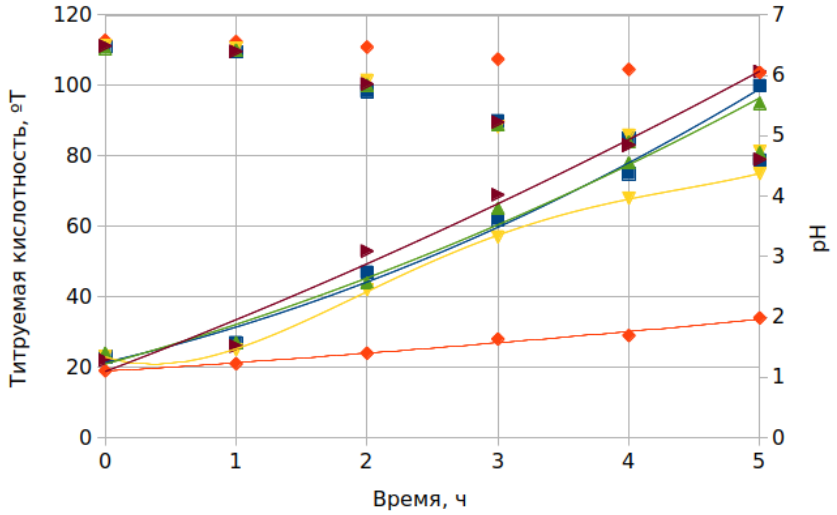
Масло виноградных косточек содержит много полиненасыщенных жирных кислот и снижает уровень холестерина, риск сердечных заболеваний и рака простаты. Также у данного масла легкий, нейтральный аромат. Помимо приятных сенсорных характеристик масло виноградных косточек обладает высоким содержанием линолевой кислоты, витаминов E и F, полифенолов, флавоноидов, каротиноидов, минералов, таких как цинк, калий, медь, кальций, фосфор, магний, железо и селен, а также низким уровнем холестерина [2].

Куркумин является жирорастворимым компонентом, поэтому масло виноградных косточек было выбрано в качестве жирового компонента для лучшего усвоения питательных веществ. Куркумин обладает антиоксидантными, противоопухолевыми, противовоспалительными, антимутагенными, антимикробными свойствами и играет важную роль в профилактике и лечении не только заболеваний опорно-двигательного аппарата, но и диабета и связанных с ним симптомов [3].

Хондроитин сульфат обладает противовоспалительной активностью и играет важную роль в регенерации хряща. Он является симптоматическим препаратом медленного действия. Первые эффекты становятся заметными после 2-3 недель регулярного приема и сохраняются в течение нескольких месяцев. Хондроитин сульфат поддерживает и защищает структуру и функцию хряща, а также других соединительных тканей [4].

Гиалуроновая кислота является важным веществом, которое отвечает за эластичность хряща и насыщенность клеток водой. Она помогает увеличить запасы смазывающей сустав синовиальной жидкости, защищая тем самым суставной хрящ. Функции гиалуроновой кислоты включают предотвращение денатурации хряща, защиту наружного слоя хряща, блокирование синовиального воспаления, нормализацию синовиальной жидкости и лечение острой боли в суставах [5].

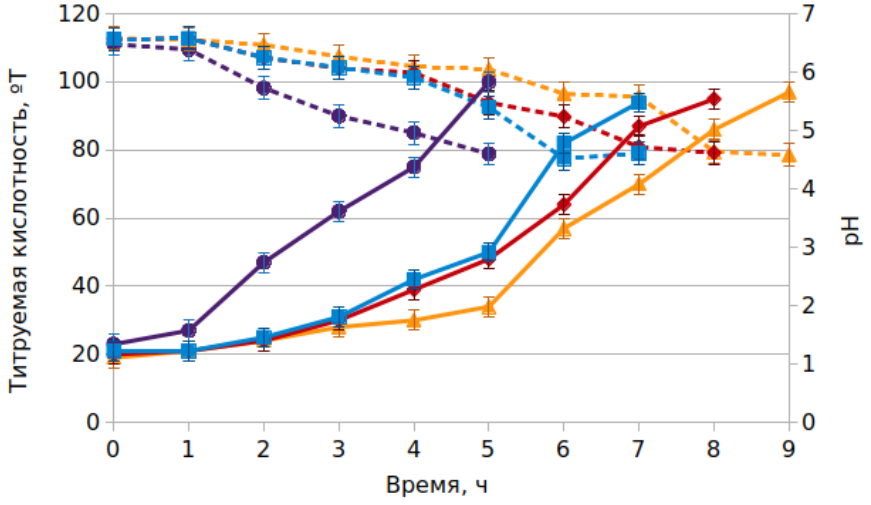
Во время сквашивания образцов с маслом виноградных косточек, хондроитинсульфатом изменения титруемой кислотности близки к изменениям титруемой кислотности контрольного образца. Гиалуроновая кислота замедляет процесс сквашивания примерно на 30 минут. Комбинация всех добавок (образец с маслом виноградных косточек, гиалуроновой кислотой, хондроитинсульфатом и куркумином) значительно замедляет процесс сквашивания. В образцах с добавками (гиалуроновая кислота, хондроитинсульфат и масло) изменения среднего значения pH были близки к контрольному образцу. Значения pH образца с комбинацией всех добавок снижались значительно медленнее во время сквашивания по сравнению с другими образцами и контролем (рис. 1).



– Контрольный образец; – Опытный образец; – Образец с гиалуроновой кислотой; – Образец с хондроитинсульфатом; – Образец с маслом виноградных косточек

Рис. 1. Изменение титруемой кислотности и pH в процессе сквашивания образцов с добавками

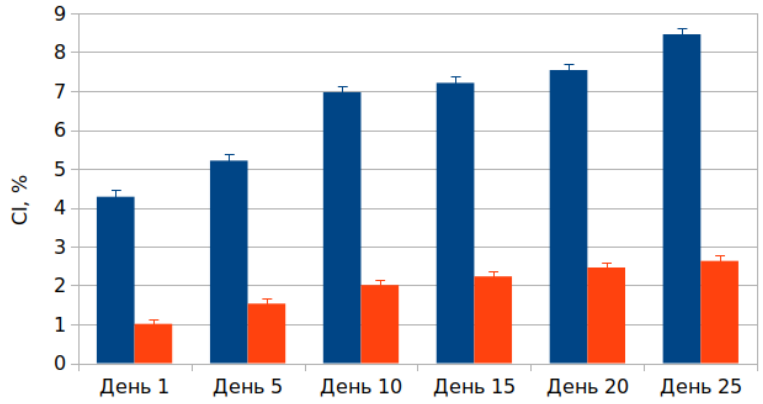
Увеличение количества закваски влияет на время сквашивания. Однако в течение первых 3 часов титруемая кислотность и pH, независимо от количества закваски, изменяются одинаково. Кроме того, время сквашивания изменяется в зависимости от количества добавленной закваски: увеличение количества закваски на 1% сокращает время сквашивания на 1 час. Однако минимальное время сквашивания составляет 6 часов. Это увеличение времени сквашивания, вероятно, вызвано добавлением куркумина, и молочнокислым бактериям требуется больше времени для адаптации (примерно 2,5–3 ч) по сравнению с обычным йогуртом. Другими словами, куркумин не позволяет бактериям развиваться сразу, как это происходит в контрольном образце, они начинают увеличивать популяцию только после адаптации к окружающей среде (рис. 2).



– Контрольный образец; – Опытный образец (3% закваски); – Опытный образец (4% закваски); – Опытный образец (5% закваски)

Рис. 2. Изменение титруемой кислотности и pH в процессе сквашивания образцов разным количеством закваски

Стабильность эмульсии при хранении исследована с помощью показателя расслоения. Чем выше значение показателя расслоения, тем более нестабильная эмульсия. По полученным данным, самое низкое значение было получено в первый день для образца с эмульгаторами (1,01%). Через 25 дней более низкое значение показателя расслоения так же было у образца с эмульгаторами (2,63%). Таким образом, образцы, приготовленные со смесью эмульгаторов (Твин 80 и Лецитин — 2:8) более стабильны, чем образцы без эмульгаторов (рис. 3).



– Контрольный образец без эмульгаторов;
– Опытный образец с эмульгаторами (Лецитин и Твин-80 – 8:2)

Рис. 3. Изменение показателя расслоения в процессе хранения

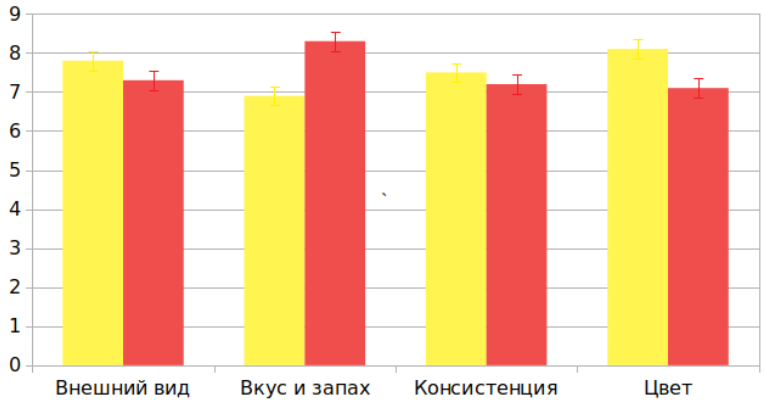
Добавление масла виноградных косточек позволяет получить йогурт, содержащий омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты. Содержание олеиновой и линолевой кислот значительно выше, чем в обезжиренном йогурте. Также масло виноградных косточек значительно обогащает йогурт витамином Е — суточное потребление составляет 15 мг для взрослого человека, следовательно, разработанный продукт удовлетворяет суточную норму потребления до 26,7% (таблица).

Таблица

Жирно-кислотный состав разработанного продукта

Кислота	Содержание, %
Пальмитиновая ($C_{16:0}$)	0.5
Пальмитолеиновая ($C_{16:1}$)	–
Стеариновая ($C_{18:0}$)	0.27
Олеиновая ($C_{18:1}$)	1.44
Линолевая ($C_{18:2}$)	4.62
Линоленовая ($C_{18:3}$)	–
Арахиновая ($C_{20:0}$)	–
Гондоиновая ($C_{20:1}$)	–
Витамин Е	4.0 ±2.3 мг/100 г

По данным органолептического анализа средние оценки для вкуса и запаха, полученные для опытного образца, были выше, чем для контрольного образца. С точки зрения оценки внешнего вида оценка опытного образца была несколько ниже, чем у контрольного, что объясняется различиями в возрасте или поле среди опрашиваемых. Люди в возрасте от 19 до 49 лет оценили ярко-желтый цвет продукта выше, чем участники других возрастов, однако оценка все же оказалась ниже, чем у контрольного образца. С точки зрения вкуса и аромата все образцы йогурта были хорошо приняты участниками органолептической оценки (рис. 4).



- Контрольный образец; - Опытный образец

Рис. 4. Результаты органолептической оценки

Результаты оценки сенсорных характеристик, физико-химических показателей, состава жирных кислот показали, что использование куркумина, масла виноградных косточек, гиалуроновой кислоты и хондроитинсульфата позволяют получить продукт с улучшенными потребительскими свойствами. Выбранные компоненты улучшают свойства йогурта, однако влияют на время его производства. Разработанная технология и рецептура могут стать хорошим способом использования ценных сухих веществ обезжиренного молока. Разработанный продукт является хорошим источником витамина Е и w-6 полиненасыщенных жирных кислот. Комбинация эмульгаторов позволяет создать стабильный при хранении продукт.

Литература

1. Ge H., Sun X., Liu J., Zhang C. The Status of Musculoskeletal Disorders and Its Influence on the Working Ability of Oil Workers in Xinjiang // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2018. 5. P. 842.
2. Pardo J.E., Fernández E., Rubio M., Alvarruiz A., Alonso G.L. Characterization of grape seed oil from different grape varieties (Vitis Vinifera) // European Journal of Lipid Science and Technology. 2009. 111. P. 188–193.
3. Jovičić D., Jozinović A., Grčević M., Aleksovska E.S., Šubarić D. Nutritional and health benefits of curcumin // Food in Health and Disease, scientific-professional journal of nutrition and dietetics. 2017. 6(1). P. 22–27.
4. Jerosch J., Baldini E., Manfredini S., Vertuani S. Review Article Effects of Glucosamine and Chondroitin Sulfate on Cartilage Metabolism in OA: Outlook on Other Nutrient Partners Especially Omega-3 Fatty Acids // International Journal of Rheumatology. 2011. 17. P. 18.
5. Fallacara A. Hyaluronic Acid in the Third Millennium // Polymers. 2018. 10 (701). P. 36.

Иванов Артем Борисович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования,
студент группы № М3438,
Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: ivart07@mail.ru
Ульянцев Владимир Игоревич
Год рождения: 1990
Университет ИТМО,
факультет информационных технологий и программирования,
к.т.н., доцент,
e-mail: ulyantsev@itmo.ru

УДК 004.891.2

АЛГОРИТМЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА СЕРИЙ МЕТАГЕНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ ДЕ БРЕЙНА ДЛЯ БИБЛИОТЕК МЕТАГЕНОМНЫХ ЧТЕНИЙ

А.Б. Иванов

Научный руководитель – к.т.н., доцент **В.И. Ульянцев**

Университет ИТМО

Аннотация
Проводится разработка алгоритмов классификации геномных прочтений бактерий из кишечника пациента после трансплантации фекальной микробиоты. В основе реализованных алгоритмов сравнения метагеномов лежит анализ глубины покрытия прочтений k-мерами. Произведены эксперименты как на синтезированных, так и на реальных метагеномных данных. Полученные результаты открывают перспективы для исследования принципов переноса микробиоты с ранее недоступной точностью.
Ключевые слова
Метагеномика, трансплантация фекальной микробиоты, временные серии метагеномов, микробиота кишечника

Метагеномные данные – это совокупность информации о микроорганизмах (например бактериях, грибах), обитающих в образце, взятом из определенной среды (например почва, вода, организм человека). Исследование метагеномных образцов позволяет классифицировать организмы, которые населяют определенную следу и являются некультивируемыми. Трансплантация фекальной микробиоты (ТФМ) является инновационным методом лечения рецидивирующих кишечных инфекций, вызванных устойчивыми к антибиотикам бактериями. Например, было показано что данный метод помог в 81 % случаев при лечении инфекции Clostridium difficile после одной процедуры [1]. Принцип действия основан на переносе бактерий из организма здорового человека (донора) в организм реципиента, подверженного заболеванию. Исследования показывают эффективность данного метода для лечения пациентов, равно как и приживаемость бактерий из организма донора в организме реципиента через три месяца после процедуры трансплантации [2]. Однако вопросы механизма

приживаемости бактерий и определения влияния изменения микробиоты на реципиента остается открытым.

Для ответа на эти вопросы необходимо получить как можно более полную информацию о метагеноме реципиента до и после процедуры трансплантации. Для этого производится метагеномная сборка – процесс соединения прочтений и построения длинной последовательности (контига), соответствующей отдельному геному или его части [3]. Однако данный метод строит консенсусные последовательности из коротких прочтений, полученных от секвенаторов второго поколения, тем самым теряя информацию о потенциальных изменениях небольшого числа нуклеотидов, типичных для близкородственных штаммов. Также возможно применение таксономической аннотации микроорганизмов, населяющих кишечник человека, например с помощью инструмента Kraken [4], однако данный подход не позволяет классифицировать значительную часть метагенома в связи с высокой вариативностью геномов бактерий и недостатком референсных геномов.

Существующие методы анализа метагеномов не используют всю имеющуюся информацию, а также не могут достоверно выявить все случаи штаммового замещения организмов, которые могут являться ключевыми для изменения состояния пациентов. Целью данной работы является разработка алгоритмов классификация бактерий в кишечнике пациента после трансплантации фекальной микробиоты по природе их появления с использованием максимального количества информации из метагеномов.

Для достижения поставленной цели был разработан алгоритм сравнения метагеномных образцов на основе графа де Брейна. Для одного метагенома строится граф де Брейна, на который затем выравниваются прочтения из другого метагенома. Критериями обнаружения прочтения в графе являются: соотношение глубины и ширины покрытия прочтения k-мерами, обнаружение парного прочтения в графе, обнаружение прочтения при различных значениях параметра k. Для каждого прочтения подсчитывается его средняя глубина и ширина покрытия k-мерами. Далее по формуле

$$theoryBreadth = 1 - \mathrm{e}^{-meanCoverage}$$

вычисляется теоретическое значение ширины покрытия прочтения k-мерами (*theoryBreadth*) в зависимости от средней глубины покрытия прочтения k-мерами (*meanCoverage*).

Если реальное значение ширины покрытия попадает в доверительный интервал теоретического значения, вычисленного на основе центральной предельной теоремы, то прочтение классифицируется как *обнаруженное*. Если классификация обоих прочтений из пары совпадает (оба обнаружены или оба не обнаружены), то они сохраняются в файл с парными прочтениями соответствующей категории, иначе каждое прочтение из пары сохраняется в файл непарных прочтений.

В результате каждое прочтение классифицируется как *обнаруженное* или *не обнаруженное* в другом метагеноме. На основе данного алгоритма был построен классификатор для обработки метагеномных данных из исследований по трансплантации фекальной микробиоты. Схема классификатора представлена на рис. 1.

Классификатор принимает на вход три метагеномных образца кишечника: метагеном донора, метагеном реципиента до фекальной трансплантации и метагеном реципиента после фекальной трансплантации. С помощью предложенного алгоритма классификатор разбивает прочтения из каждого метагенома на категории, которые могут быть подвергнуты более детальному анализу. Ключевым отличием алгоритма от существующих является классификация каждого прочтения в метагеноме (а не классификация контигов или собранных геномов из метагенома). Также точное

выравнивание прочтений на граф и запрет перестроек, таких как замена, вставка и удаление нуклеотида, позволяет отслеживать изменения, присущие штаммам одного вида и выявлять случаи штаммового замещения бактерий.

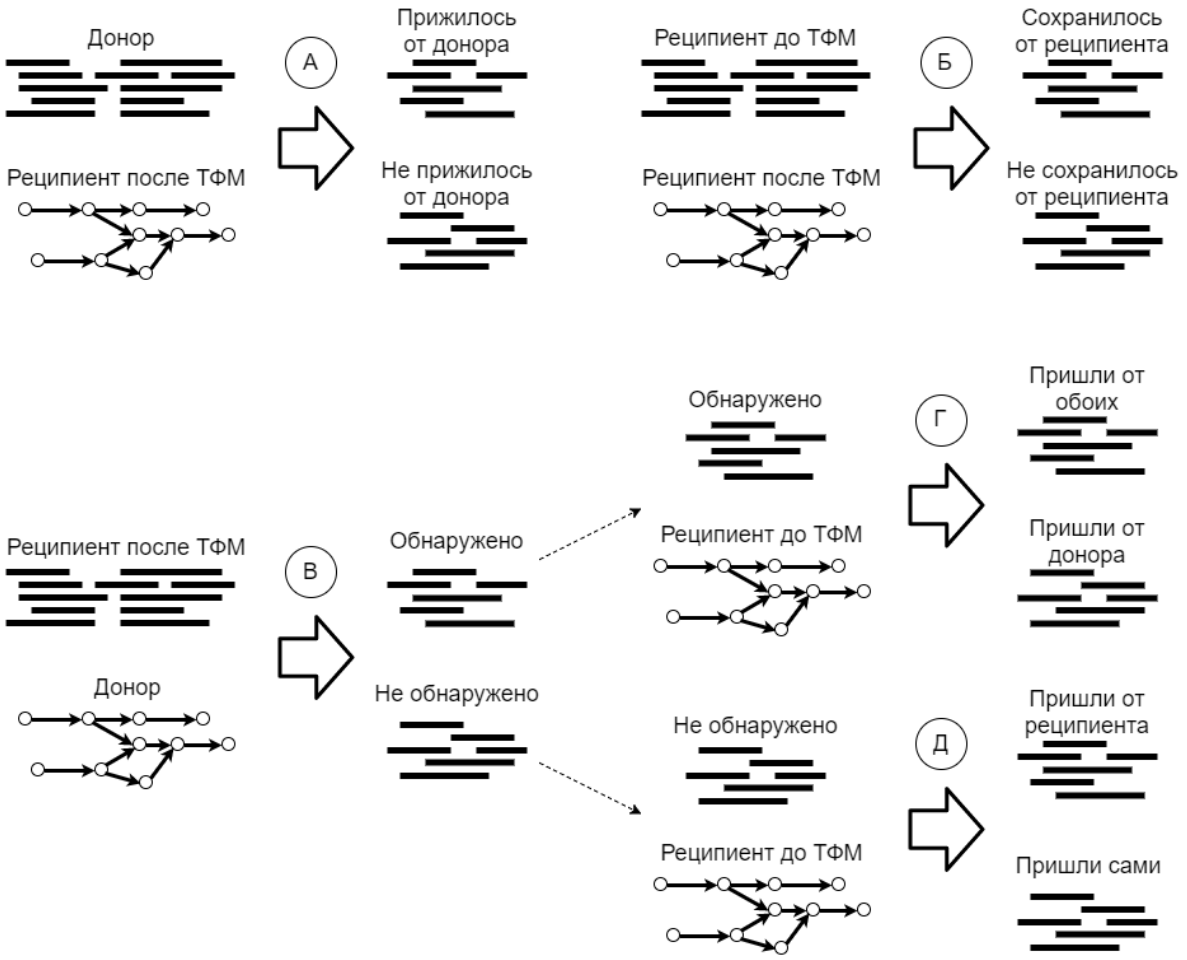


Рис. 1. Процесс работы классификатора состоит из пяти этапов: классификация прочтений донора (А), классификация прочтений реципиента до ТФМ (Б), классификация прочтений реципиента после ТФМ (В, Г, Д)

Разработанный алгоритм был протестирован на искусственно сгенерированных наборах метагеномных данных с различными параметрами. Каждый метагеном состоит из 15 различных организмов, относительная представленность которых моделировалась с помощью экспоненциального распределения. Каждый метагеном содержит 10 млн парноконцевых прочтений длины 100 оснований каждое, сгенерированных с помощью программы MetaSim с вероятностью ошибок 1 на 1000 нуклеотидов. Предложенный алгоритм показал низкую вероятность ошибок при использовании парных классифицированных прочтений, подавляющее большинство которых является ошибками первого рода.

Далее было проведено сравнение разработанного алгоритма с известным алгоритм для выравнивания прочтений на граф де Брейна – BrownieAligner. Результаты данного сравнения представлены на рис. 2. Процент ошибочно обнаруженных бактерий при использовании предложенного алгоритма значительно снизился, что связано с использованием информации о парноконцевых прочтениях в реализованном алгоритме.

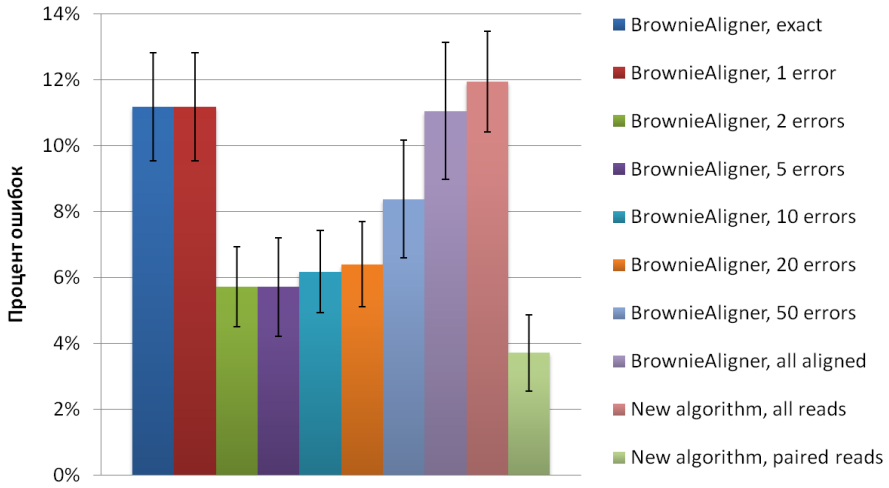


Рис. 2. Сравнение классификаторов на сгенерированных метагеномах с экспоненциальным распределением видов и вероятностью ошибки 0,001

Также разработанный алгоритм был применен для анализа реальных метагеномных данных из исследования [5]. Для каждого из реципиентов разработанный алгоритм выделил класс прочтений, прижившихся от одного донора. На полученных классах была произведена метагеномная сборка с помощью алгоритма megahit, разбиение на корзины с помощью metaWRAP и применена визуализация с помощью anvi'o. Результат эксперимента представлен на рис. 3. Из него можно сделать вывод что большинство организмов колонизировали обоих реципиентов, хотя наблюдается и приживаемость только у одного из реципиентов. Это согласуется с результатами статьи [5], однако преимуществом разработанного подхода является непосредственное выделение класса прижившихся прочтений в отдельный файл, что позволяет с удобством работать с ними в дальнейшем.

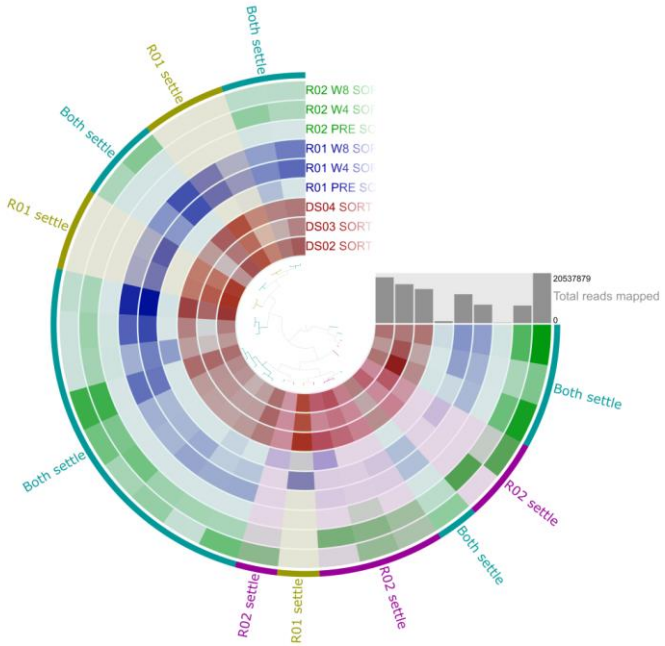


Рис. 3. Пример обнаружения корзин, полученных из прочтений прижившихся от донора, в метагеномных образцах донора (DS) и реципиентов (R01 и R02) до ТФМ (PRE), четыре недели после ТФМ (W4) и восемь недель после ТФМ (W8)

В результате был разработан алгоритм, классифицирующий прочтения из метагенома реципиента по природе их появления. При этом классифицируются все прочтения из метагенома, а также используется информация о парноконцевых прочтениях для повышения качества классификации. Полученные в результате классификации группы прочтений можно подвергать дальнейшему анализу: проводить геномную сборку отдельно для каждого класса прочтений, проводить таксономическую и функциональную аннотацию классов, исследовать их для выявления правил и зависимостей приживаемости бактерий у реципиентов.

Литература

1. Van Nood E. et al. Duodenal infusion of donor feces for recurrent Clostridium difficile //New England Journal of Medicine. 2013. Т. 368. №. 5. С. 407-415.
2. Li S.S. et al. Durable coexistence of donor and recipient strains after fecal microbiota transplantation //Science. 2016. Т. 352. №. 6285. С. 586-589.
3. Vollmers J., Wiegand S., Kaster A. K. Comparing and evaluating metagenome assembly tools from a microbiologist's perspective-not only size matters! //PloS one. – 2017. Т. 12. №. 1. С. e0169662.
4. Wood D.E., Salzberg S. L. Kraken: ultrafast metagenomic sequence classification using exact alignments //Genome biology. 2014. Т. 15. №. 3. С. R46.
5. Lee S.T.M. et al. Tracking microbial colonization in fecal microbiota transplantation experiments via genome-resolved metagenomics //Microbiome. 2017. Т. 5. №. 1. С. 50.

Колесников Михаил Владимирович
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3475,
направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника,
e-mail: kmv@itmo.ru
Афанасьев Максим Яковлевич
Год рождения: 1986
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н.,
e-mail: myafanasyev@itmo.ru

УДК 004.3

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

М.В. Колесников

Научный руководитель – к.т.н. **М.Я. Афанасьев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Проект направлен на разработку устройства, объединяющего в промышленную сеть оборудование с различными интерфейсами для последующего мониторинга состояния и взаимодействия, а также описание методологии разработки устройств промышленного интернета вещей. В результате выполнения проекта было сформировано последовательное описание всех этапов разработки и производства устройств промышленного Интернета вещей, предложена методология разработки устройств с возможностью удалённого обновления и с применением концепции открытого исходного кода и проектных материалов с целью облегчения последующего внедрения на производстве, а также разработана технология разработки корпусных изделий из унифицированных наборных элементов.
Ключевые слова
Интернет вещей, промышленный интернет вещей, информационные системы, киберфизические системы, технологии приборостроения, технологии программирования микроконтроллеров, технологии проектирования в САПР-системах.

Одним из наиболее ожидаемых событий в современном мире является повсеместное внедрение киберфизических систем. Подобным изменениям подвергнутся все без исключения аспекты жизни человека, однако наибольшее влияние будет оказано на подходы к построению будущих промышленных систем. Немаловажным компонентом на пути построения современного производства и его цифровизации является применение устройств интернета вещей, именуемого в

контексте производственных процессов промышленным интернетом вещей или industrial internet of things (сокр. IIoT). Несмотря на все положительные качества применения технологий промышленного интернета вещей, на текущем этапе развития наблюдается малая внедряемость. Подробное описание методологии разработки и внедрения средств промышленного интернета вещей, а также применение принципов открытого исходного кода и проектных материалов позволит снизить стоимость и сложность процесса внедрения, позволив современным предприятиям сделать существенный шаг вперед на пути к автоматизации своих процессов. В рамках данного проекта разрабатывается программно-аппаратный комплекс промышленного интернета вещей, объединяющий в промышленную сеть оборудование, устройства мониторинга состояния и прочие компоненты промышленной системы с целью повышения ее уровня автоматизации [1–5].

В структуру разрабатываемого комплекса входит интеллектуальный контроллер промышленного интернета вещей с цифровым матричным индикатором, CAN-шиной для подключений периферийных устройств, модулем часов реального времени, имеющий возможность подключения к сети Wi-Fi, а также облачная база данных с собственным API для обработки, хранения и обмена данными между устройствами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Сформировано актуальное последовательное описание всех этапов разработки и производства устройств промышленного интернета вещей

2. Предложена методология разработки устройств с применением принципов открытого исходного кода и проектных материалов с целью облегчения последующего внедрения на производстве

3. Предложена технология разработки корпусных изделий из унифицированных наборных элементов

Практическая значимость работы заключается в том, что представленный подход к разработке устройств сократит расходы на разработку и внедрение элементов промышленного интернета вещей в киберфизические системы, что упростит цифровизацию производств и позволит малым предприятиям без собственных профессиональных бюро конструкторской разработки и отдела разработки программного обеспечения для микроконтроллеров использовать сформулированные подходы к разработке, избегая систем с закрытым исходным кодом и проектными материалами, требующими перестроения существующих бизнес-процессов и производственных процессов под готовые продукты.

Первым этапом было произведено изучение общей концепции Интернета Вещей и Промышленного Интернета Вещей, после чего был произведён экономический анализ данного сегмента и изучены существующие компании и проекты. В этот перечень попали как крупные зарубежные проекты, так и отечественные проекты мониторинга.

В результате проведённого анализа были сформированы основные требования и методики, которых необходимо придерживаться в процессе разработки универсальных устройств промышленного Интернета Вещей, среди которых:

– Наличие многоуровневой структуры;
– Поддержка актуальных протоколов;
– Поддержка актуальных интерфейсов;
– Обеспечение достаточной автономности;
– Ведение контроля и корректировки времени;
– Обеспечение безопасности и отказоустойчивости.

Кроме этого, рекомендуется придерживаться максимальной простоты в конструкции устройства, повышать информационную избыточность, разделять и распределять задачи между компонентами, применять стандартные компоненты и

методики, обеспечивать возможность обновления и придерживаться открытости исходных материалов.

В рамках данной работы подробно описывается процесс разработки интеллектуального контроллера, а именно:

– анализ и выбор микроконтроллера;
– разработка печатной платы;
– программирование основного функционала микроконтроллера;
– проектирование и изготовление корпуса;
– монтаж печатной платы и сборка интеллектуального контроллера;
– тестирование.

При выборе ядра для разрабатываемого интеллектуального контроллера были проанализированы варианты построения системы с использованием микрокомпьютеров и микроконтроллеров на базе различных микропроцессоров.

Отличительной особенностью микроконтроллеров является наличие помимо процессорного ядра набора вспомогательных и периферийных устройств, позволяющих микроконтроллеру быть самодостаточным при выполнении большинства задач. Выбор микроконтроллера в качестве основы устройства позволяет минимизировать временные и трудовые затраты на формировании схемотехнической архитектуры устройства при его разработке. При выборе микроконтроллера стоит учитывать основные особенности его архитектуры, а именно: разрядность, тактовую частоту, объем flash-памяти, наличие требуемых периферийных устройств, портов и поддерживаемых интерфейсов, энергопотребление - ,а также такие немаловажные факторы как актуальность, доступность на рынке и уровень поддержки как разработчиком, так и сообществом.

Среди проанализированных вариантов рассматривались:

1. Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B (на базе ARM Cortex-A53);
2. Микрокомпьютер Raspberry Pi Zero (на базе ARM11);
3. Микроконтроллер Arduino Uno (на базе ATmega328p);
4. Микроконтроллер Arduino Nano 3.0 (на базе ATmega328p);
2. Микроконтроллер Arduino Micro Pro (на базе ATmega32u4);
3. Микроконтроллер NodeMCU v3 (на базе ESP-12E);
4. Микроконтроллер ESP32S (на базе ESP32-WROOM32);
5. Микроконтроллер DFRobot firebeetle ESP32 (на базе ESP32-WROOM32);
6. Микроконтроллер STM32F103C8T6 (на базе AEM STM32).

Данные варианты имеют сильную поддержку со стороны разработчиков и сообщества – в сети Интернет можно быстро найти необходимые библиотеки для работы с теми или иными модулями и интерфейсами, что значительно ускоряет процесс разработки.

При разработке интеллектуального контроллера для промышленного интернета вещей было принято решение о применении в основе устройства микроконтроллера NodeMCU v3 на базе ESP-12E, модификации чипа ESP8266EX. Данный микроконтроллер имеет возможность подключения к беспроводной сети Wi-Fi 2.4GHz (802.11 b/g/n) и последующего взаимодействия с внешними устройствами или веб-сервисами. Его основными особенностями являются наличие встроенного модуля работы с беспроводными сетями Wi-FI, одновременная поддержка интерфейсов SPI и I2C, наличие flash-памяти объемом 4МБ, возможность программирования через USB-Micro разъем благодаря чипу CH340, а также дешевизна и малые габаритные размеры.

После выбора микроконтроллера был разработан прототип печатной платы, на которой впоследствии был произведен монтаж электронных компонентов. Структура разрабатываемого устройства включает в себя:

– печатная плата;
– микроконтроллер NodeMCU v3 (ESP-12E);

– модуль часов реального времени RTC (DS1307);
– модуль соединения с CAN-шиной (MCP2515);
– 4 модуля светодиодного матричного дисплея 8x8 (MAX7219);
– фоторезистор (GL5528).

В первую очередь была произведена разработка прототипа интеллектуального контроллера с индикатором, в основе которого лежит использование микроконтроллера, матричного дисплея и модуля часов реального времени на макетной плате. Впоследствии в конструкцию устройства был добавлен модуль соединения с CAN-шиной для работы с подключаемым по данному интерфейсу оборудованием (рис. 1).

а б

Рис. 1. Прототип устройства на макетной плате, вид снизу (а), вид сверху (б)

В среде проектирования OrCAD была разработана полноценная печатная плата для интеллектуального контроллера. Разработка печатных плат может быть также произведена и в других пакетах программного обеспечения для проектирования печатных плат, таких как Altium Designer, KiCAD, Eagle, DesignSpark PCB, ExpressPCB, SprintLayout и многих других. В результате проектирования платы в среде OrCAD был получен файл с расширением .gbr (gerber), который был использовал для производства.

Программирование микроконтроллера производилось в среде разработки Arduino IDE v1.8.8. Для программирования в среде Arduino IDE используется язык программирования Arduino, построенный на базе языков программирования C и C++. Компиляция кода после первичных преобразований производится при помощи компилятора C/C++. Все поддерживаемые библиотеки также написаны на C/C++.

В процессе разработки производилось программирование следующего основного функционала:

1. Подключение к сети Wi-Fi и поддержание соединения;
2. Отправка HTTP-запросов с использованием API разработанного веб-сервиса, получение ответа и его обработка;
3. Отправка и получение данных с CAN-шины модулем MCP2515;
4. Вывод информации на матричный дисплей MAX7219;
2. Запись и чтение времени с модуля часов DS1307;
3. Формирование веб-интерфейса (HTML);
4. Реализация удаленного обновления прошивки OTA (рис. 2).

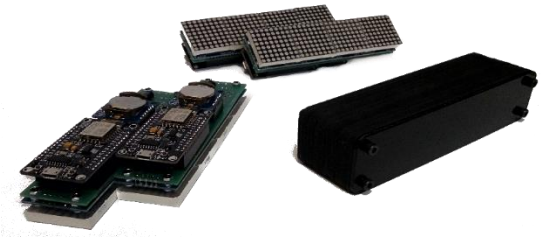


Рис. 2. Фотография нескольких прототипов

После формирования требований к дизайну, конструкции и оснащению интеллектуального контроллера было принято решение об изготовлении корпуса из наборных панелей. Данная конструкция является перспективной, несмотря на то, что не использовалась ранее в радиоэлектронной аппаратуре, вычислительных устройствах и других сферах приборостроения. Такой подход позволяет изготовить из листовых материалов с необходимой толщиной корпус широкого спектра форм посредством комбинирования различных панелей. При производстве корпусов простой формы возможно достижение унификации большей части наборных панелей. Так, в процессе разработки корпуса было получено 13 наборных панелей, 10 и 3 из которых соответственно являются унифицированными. Сборка данного типа корпусов может производиться на клеевое неразборное соединение, а также разборное соединение посредством стандартных крепежных изделий.

Стоит также отметить, что сборка такого изделия может производиться без дополнительной обработки и подгонки (рис. 3).

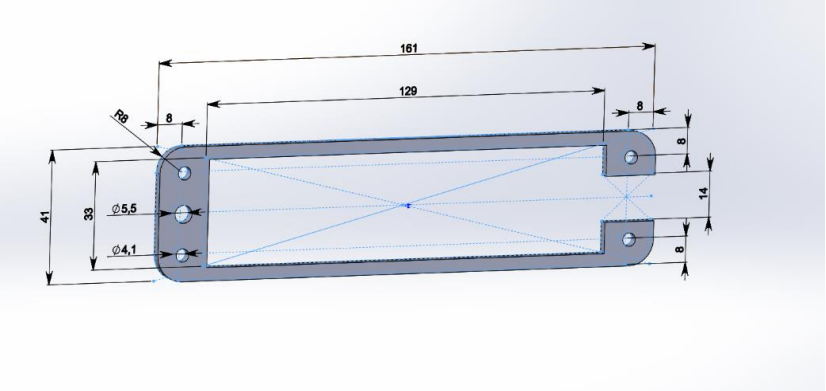


Рис. 3. 3D-модель панели корпуса с вырезом

Проектирование корпуса производилось в CAD-системах SolidWorks 2017 и КОМПАС-3D v17. На рынке доступно большое разнообразие САПР, каждая из которых обладает своими особенностями. Наибольшей популярностью помимо вышеобозначенных пользуются AutoCAD, CATIA, NX, SolidEdge и др.

В качестве основного материала был выбран листовой вспененный ПВХ, обработка которого производилась на фрезерном ЧПУ-станке. Фронтальная и задняя части устройства выполнены из затемненного акрила с коэффициентом светопропускания 15%, обработка которого производилась на лазерном режущем станке (рис. 4).

Рис. 4. Фотография работы интеллектуального контроллера с индикацией

В результате выполнения данной работы было проведено исследование концепций интернета вещей и промышленного интернета вещей, сформулированы актуальные методики и технологии, применяемые в рамках промышленного интернета вещей на современных предприятиях, сформированы требования к разрабатываемым устройствам промышленного интернета вещей, разработан интеллектуальный контроллер для промышленного интернета вещей, подробно описана методология разработки устройств промышленного интернета вещей, разработана технология изготовления корпусов устройств и радиоэлектронной аппаратуры.

Применение разработанного устройства в данный момент не позволит взаимодействовать с любыми объектами, что связано с ограничением использования специального типа портов и определенных стандартов. В перспективе возможно улучшение устройства посредством добавления использования других стандартов и увеличения количества используемых портов и их типов. Это позволит сделать устройство более гибким, например, по отношению к устаревающему оборудованию.

Собираемые данные в дальнейшем можно использовать для анализа протекающих на производстве процессов, что, в свою очередь, можно использовать для оптимизации производств по различным критериям.

Литература

1. Грингард С. Интернет вещей: Будущее уже здесь. Альпина Паблишер. 2016.
2. Куприяновский В.П. и др. Интернет Вещей на промышленных предприятиях //International Journal of Open Information Technologies. 2016. Т. 4. №. 12.
3. Gubbi J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions //Future generation computer systems. 2013. Т. 29. №. 7. С. 1645-1660.
4. Lee I., Lee K. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises //Business Horizons. 2015. Т. 58. №. 4. С. 431-440.
5. Tsiatsis V. et al. Internet of Things: Technologies and Applications for a New Age of Intelligence. Academic Press. 2019.

Мельничук Даниил Валерьевич
Год рождения: 1998
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии, студент группы Т3430
Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: autoriver@yandex.ru
Забодалова Людмила Александровна
Год рождения: 1948
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
д.т.н., профессор,
e-mail: zabodalova@gmail.com

УДК 664

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФРУКТОВО-ОВОЩНОЙ КОМПОЗИЦИИ С ЭКСТРАКТОМ КРАПИВЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СМУЗИ

Д.В. Мельничук

Научный руководитель – д.т.н., профессор **Л.А. Забодалова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка состава фруктово-овощной композиции с экстрактом крапивы для производства смузи.

Аннотация
В работе рассмотрено возможное применение экстракта крапивы в качестве функционального компонента смузи. Подобрано плодоовощное сырьё, необходимое для создания фруктово-овощной основы продукта, а также его оптимальное соотношение. Были исследованы некоторые физико-химические показатели продукта, проведена оценка его органолептических свойств. Расчетным путём определена пищевая ценность продукта.
Ключевые слова
Разработка рецептур, плодоовощное сырьё, экстракт крапивы, смузи, пищевая ценность.

Важнейшей проблемой современного мира является проблема питания, связанная с дефицитом макро- и микронутриентов у большого количества людей. Результатом нехватки этих компонентов в рационе становятся нарушения в физиологии, а также возникновение заболеваний [2].

Решением проблемы дефицита микронутриентов в питании может стать потребление продуктов, содержащих повышенное количество витаминов и минеральных веществ [2]. Потребление одной порции такого продукта позволит удовлетворить значительную часть нормы физиологического потребления ряда микронутриентов. Создание продуктов, обогащенных витаминами и минеральными веществами, позволит расширить ассортимент продукции, представленной на рынке [2].

Одним из таких продуктов является смузи, который представляет собой густой напиток, обладающий пониженной калорийностью. Для производства этого десерта

используют плодоовощное сырьё, поскольку оно способно увеличить пищевую ценность продукта путем его обогащения биологически активными компонентами. Дополнительно в рецептуру могут быть включены растительные экстракты дикорастущих трав, которые являются композициями натуральных биологически активных веществ [1].

При выборе сырья, помимо его пищевой ценности, необходимо обращать внимание на его распространенность на территории Российской Федерации, а также возможность его поставок из зарубежных стран.

На основе обзора литературных источников, для разработки рецептуры смузи было выбрано следующее сырье:

- кабачки;
- киви;
- листья крапивы двудомной;
- яблоки.

Выращивание кабачков широко распространено на территории РФ – годовой объем их производства составляет более 550 тыс. тонн. Плоды богаты витамином С (15 мг%), калием (238 мг%) и кобальтом (1,1 мкг%) и кремнием (30 мг%) [4].

Плоды киви содержат в себе широкий ряд микронутриентов – пищевые волокна (3,8 г%), витамин С (180 мг%), витамин К (40,3 мкг%), калий (300 мг%), кобальт (1,0 мкг%), кремний (13 мг%), медь (130 мкг%), молибден (10 мкг%) [4]. Однако на рынок этот фрукт поступает из-за рубежа, но решение этой проблемы было найдено в черноморской зоне Краснодарского края, где имеются опытные плантации киви [3]. Селекционеры считают выращивание Актинидии на территории РФ перспективным направлением.

Крапива двудомная в представлении садоводов является сорняком, однако листья этого растения богаты микронутриентами – бета-каротином (7,0–10,0 мг%), витамином А (16,2 мг%), витамином С (100,0–600,0 мг%), витамином К (3,4–4,0 мг%) и железом (41 мг%) [5].

Объем производства яблок на территории РФ составляет более 1,5 млн тонн. Плоды богаты витамином С (10 мг%), железом (2,2 мг%), калием (278 мг%) и медью (110 мг%) [4].

Для извлечения микронутриентов из листьев крапивы двудомной необходимо осуществить подбор условий экстрагирования. В качестве экстрагента была выбрана вода, сырьём выступали высушенные листья крапивы двудомной. Для осуществления экстрагирования были выбраны следующие параметры: температура воды – (50±3) °С, (70±3) °С; гидромодуль – 1:20, 1:15 и 1:10; продолжительность – 30, 60, 90 и 120 минут. Выбор оптимальных условий экстрагирования осуществлялся на основе содержания витамина С и сухих веществ в полученных экстрактах. Результаты исследования приведены в таб. 1 и таб. 2.

Результаты исследования подтверждают теорию о том, что растворенный в воде кислород оказывает влияние на выход витамина С, так как с уменьшением гидромодуля происходит увеличение количества аскорбиновой кислоты. С увеличением продолжительности экстрагирования потери витамина увеличиваются. Увеличение выхода аскорбиновой кислоты с повышением температуры экстрагента можно объяснить инактивацией фермента аскорбиназы, которая катализирует окисление витамина С и начинает инактивироваться по достижении температуры в 60 °С. Снижение содержания сухих веществ с повышением температуры можно объяснить тем, что в ходе экстрагирования происходит извлечение и других витаминов, например, А и К. Витамин А является неустойчивым к нагреванию, витамин К способен выдерживать действие высоких температур.

Таблица 1

Содержание витамина С в полученных экстрактах

Гидромодуль	Продолжительность процесса, мин			
	30	60	90	120
	Витамин С, мг / 100 г	Витамин С, мг / 100 г	Витамин С, мг / 100 г	Витамин С, мг / 100 г
Температура экстрагента (50±3) °С				
1:20	22,2±8,1	16,7±0,0	11,2±8,1	8,4±0,0
1:15	27,8±8,1	19,5±8,1	13,9±8,1	11,2±8,1
1:10	33,3±0,0	27,8±8,1	22,2±8,1	19,5±8,1
Температура экстрагента (70±3) °С				
1:20	25,0±0,0	22,2±8,1	19,5±8,1	16,7±0,0
1:15	30,5±8,1	27,8±8,1	25,0±0,0	22,2±8,1
1:10	36,1±8,1	30,5±8,1	27,8±8,1	25,0±0,0

Таблица 2

Содержание сухих веществ в полученных экстрактах

Гидромодуль	Продолжительность процесса, мин			
	30	60	90	120
	СВ, %	СВ, %	СВ, %	СВ, %
Температура экстрагента (50±3) °С				
1:20	1,2±0,1	1,4±0,1	1,6±0,1	1,6±0,1
1:15	1,6±0,1	1,8±0,1	2,0±0,1	2,0±0,1
1:10	2,2±0,1	2,6±0,1	2,8±0,1	2,8±0,1
Температура экстрагента (70±3) °С				
1:20	1,2±0,1	1,4±0,1	1,4±0,1	1,4±0,1
1:15	1,6±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1	1,8±0,1
1:10	2,4±0,1	2,6±0,1	2,6±0,1	2,6±0,1

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что наиболее оптимальными для экстрагирования являются следующие условия: температура воды – (70±3) °С, гидромодуль – 1:10, продолжительность – 30 минут. Выбор обусловлен тем, что содержание витамина С в получаемом экстракте наибольшее, к тому же использование этих условий экономически выгодно, поскольку требуется наименьшее количество экстрагента и теплоэнергии для поддержания параметров.

Для подбора оптимальной пропорции использовались выбранные компоненты (кабачки, киви, яблоки) в виде пюре, яблочный сок с мякотью, а также экстракт листьев крапивы двудомной, полученный при температуре воды (70±3) °С, гидромодуле 1:10 и продолжительности процесса 30 минут. Подбор пропорции осуществлялся на основе трёх подготовленных и апробированных образцов, в которых выбранные компоненты находились в разном соотношении. Результаты оценки вкусовых свойств образцов представлены в таб. 3.

Таблица 3

Сравнение вкусовых свойств подготовленных образцов

Образец	Соотношение компонентов	Киви, г	Яблоки, г	Кабачки, г	Экстракт крапивы, г	Вкусовые свойства
1	1:1:1:1	100	100	100	100	Горький вкус экстракта перебивает вкус остальных компонентов
2	2:1:1:1	200	100	100	100	Преобладание вкуса киви с горьким привкусом экстракта
3	4:3:2:1	200	150	100	50	Вкус, свойственный киви, с привкусом яблока

Исходя из полученных данных, наиболее оптимальным соотношением компонентов является 4:3:2:1, так как в этом случае продукт обладает вкусом, свойственным киви, чувствуется привкус яблока, отсутствует горький привкус экстракт листьев крапивы.

На основании результатов проведенных исследований была составлена рецептура готового продукта, в состав которого входят киви, яблоки, кабачки и экстракт крапивы.

Рецептура фруктово-овощного смузи с экстрактом крапивы была рассчитана на 100 г готового продукта и представлена в таб. 4.

Таблица 4

Рецептура 100 г готового продукта

Наименование сырья	Норма расхода (без учёта потерь), г
Плоды киви	40
Яблоки	30
Кабачки	20
Экстракт крапивы	10
ИТОГО	100

Оценка органолептических показателей осуществлялась группой из десяти человек, не имеющих квалификации дегустатора. Результаты оценки представлены в таб. 5.

Таблица 5

Результаты дегустационной оценки готового продукта

Органолептические показатели	Дегустаторы									
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й
Вкус	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Внешний вид	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Запах	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Консистенция	5	4	5	5	5	5	4	4	4	5
Цвет	4	5	5	5	4	4	5	5	4	5
Среднее значение	4,8	4,8	5	5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,6	5
Средняя оценка – 4,84										

Готовый продукт обладает бежевым цветом, вкусом киви с яблочным привкусом, однородной структурой с мелкими включениями семян киви.

По результатам проведенной оценки органолептических свойств была построена профилограмма, представленная на рис. 1.

Рис. 1. Профилограмма смеси с наиболее оптимальным соотношением компонентов

В ходе исследования были определены следующие физико-химические показатели продукта: титруемая кислотность, вязкость.

Результаты определения титруемой кислотности представлены в ммолях H^+ на 100 мл продукта, а также в граммах соответствующей кислоты на 100 мл продукта в таб. 6.

Таблица 6

Физико-химические показатели готового продукта

Наименование показателя	Фактическое значение
Титруемая кислотность, ммоль H^+ /100 мл	53,2
– яблочная кислота, г/100 мл	3,6
– щавелевая кислота, г/100 мл	2,4
– лимонная кислота, г/100 мл	3,7
– винная кислота, г/100 мл	4,0
– серная кислота, г/100 мл	2,6
– уксусная кислота, г/100 мл	3,2
– молочная кислота, г/100 мл	4,8
Вязкость – время истечения, с	17,88±0,16

Пищевая ценность готового продукта была определена расчетным путем. Содержание микронутриентов, количество которых в продукте превышает 10% от суточной нормы физиологической потребности, представлены в таб. 7.

Таблица 7

Пищевая ценность готового продукта

Составляющая	Содержание в 100 г продукта	Суточная норма потребления	% от суточной нормы
Витаминная			
– витамин С, мг	81,61	90,00	90,68
– витамин К, мкг	17,64	120,00	14,70
Минеральная			
– калий, мг	251,00	2500,00	10,04
– кремний, мг	11,80	30,00	39,33
– железо, мг	1,06	10,00	10,60
Углеводная			
– пищевые волокна, г	2,26	20,00	11,30
Энергетическая ценность, ккал	67,50	2100,00	0,03

По результатам расчёта пищевой ценности готового продукта можно сделать следующие выводы:

- биологическая ценность витаминной составляющей является низкой, поскольку подавляющее большинство витаминов содержится в незначительном количестве, однако содержание витамина С почти удовлетворяет суточную потребность в нём, а количество витамина К является довольно высоким;
- биологическая ценность минеральной составляющей является недостаточно высокой, так как только три микронутриента содержатся в количестве, превышающем десять процентов от нормы суточного потребления;
- биологическая ценность углеводной составляющей является достаточно высокой, так как пищевые волокна содержатся в количестве, превышающем десять процентов от нормы суточного потребления;
- готовый продукт является низкокалорийным.

Таким образом, в ходе исследования были получены следующие результаты:

1. Выбрано плодоовощное сырьё – плоды киви, кабачки, яблоки. В качестве растительного сырья для осуществления экстрагирования выбраны листья крапивы двудомной.
2. Подобраны условия экстрагирования листьев крапивы двудомной: экстрагент – вода; гидромодуль – 1:10; температура экстрагента – (70±3) °С; продолжительность процесса – 30 минут.
3. Определено соотношение компонентов в продукте – киви, яблоки, кабачки и экстракт соотносятся как 4:3:2:1 соответственно.
4. Определены физико-химические свойства продукта: титруемая кислотность в ммоль H^+/100 мл составила 53,2; вязкость по времени истечения – 17,88±0,16 с.
5. Рассчитана пищевая ценность готового продукта: энергетическая ценность составляет 67,5 ккал, что говорит о низкокалорийности смузи. Микронутриенты, представленные широким рядом, содержатся в недостаточно высоком количестве. Исключение составляют пищевые волокна (11,3% от нормы суточного потребления), витамин С (90,68% от нормы суточного потребления), витамин К (14,7% от нормы суточного потребления), калий (10,04% от нормы суточного потребления), кремний (39,33% от нормы суточного потребления) и железо (10,6% от нормы суточного потребления).

Литература

1. Базарнова Ю.Г. Исследование состава биологически активных веществ экстрактов дикорастущих растений / Базарнова Ю.Г., Иванченко О.Б. // Вопросы питания. 2016. № 5. С. 100–107.
2. Барановский А.Ю. Болезни нарушенного питания. Лечение и профилактика. Рекомендации профессора-гастроэнтеролога / А.Ю. Барановский. СПб.: Наука и Техника, 2007. 304 с.
3. Причко Т.Г. Пищевая ценность плодов киви и их использование в технологии получения новых видов консервной продукции / Причко Т.Г., Германова М.Г., Тутберидзе Ц.В. // Современное садоводство. 2013. № 3. С. 4–7.
4. Химический состав российских пищевых продуктов: Справочник / Под ред. член-корр. МАИ, проф. И.М. Скурихина и академика РАМН, проф. В.А. Тутельяна. М.: ДеЛипринт, 2002. 236 с.
5. Яцюк В.Я. Биологически активные вещества травы крапивы двудомной / Яцюк В.Я., Чалый Г.А., Сошникова О.В. // Российский медико-биологический вестник имени академика И.П.Павлова. 2006 г. № 11. С. 25–29.

Мельчаков Роман Максимович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т3430,
Направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: romanmelchakov@mail.ru
Надточий Людмила Анатольевна
Год рождения: 1972
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 636.087

РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННОЙ РЕЦЕПТУРЫ ВЛАЖНОГО КОРМА ДЛЯ ВЗРОСЛЫХ КОШЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕПАРАТА «ЗООПРОТЕИН»

Р.М. Мельчаков

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Л.А. Надточий**

Университет ИТМО

Аннотация
В настоящее время производство комбикормов является одним из ведущих секторов агропромышленного комплекса, который включает в себя производство кормов для животных, кормовые добавки, лекарственные препараты и т.д., а также основывается на современных достижениях микробиологических, фармацевтической, пищевой, химической и других производственных отраслях. На сегодняшний день в кормопроизводстве широко используются вторичные сырьевые ингредиенты животного и растительного происхождения: молочная сыворотка, пахта, мясная, костная, кровяная и рыбная мука, жмых растительного сырья и пр. В настоящей работе рассматривается возможность использования личинок мух Lucilia Caesar под коммерческим названием «Зоопротеин» в качестве сырья для производства высококачественного корма для взрослых кошек.
Ключевые слова
Высокобелковый препарат, личинки мух, влажный корм, корм из насекомых.

Выращивание личинок мух

Выращивание личинок мух (species Lucilia Caesar) проводили на базе действующего предприятия – партнера ООО «Новые биотехнологии», г. Липецк. в специальной камере (клетке) посредством помещения яиц от взрослых особей мух на питательную среду. Питательной средой служил фарш, полученный из вынужденно убитой и павшей птицы, и поставляемый птицефабрикой Липецкой области, РФ. Питательную среду использовали для выращивания личинок мух в количестве суточной порции 1000±5 % грамм на контрольную группу личинок мух.

Инкубация личинок мух осуществлялась без специального освещения при

температуре 25±2 °C и относительной влажности воздуха около 70% в течение 5 дней. На протяжении всего процесса поддерживалась постоянная вентиляция воздуха для предотвращения накопления тепла, для обеспечения определенного уровня кислорода и удаления излишнего количества CO2. Плотность личинок на клетку поддерживалась в среднем около 830 000 личинок / м3.

Изготовление белково-липидного препарата «Зоопротеин»

Далее образцы личинок мух подвергали тепловой обработки при температуре 60-70 °C в течение суток до массовой доли влаги не более 4 %. В результате чего получали высушенные образцы препарата Зоопротеин, которые упаковывали в стерильные пластиковые контейнеры и транспортировали в лабораторию для дальнейшего исследования (рис. 1).

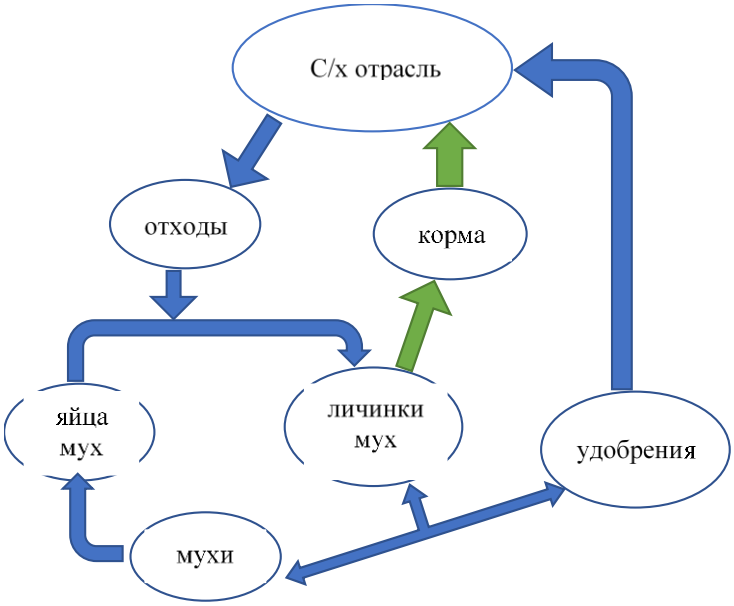


Рис. 1. Ресурсосберегающая технология с помощью личинок мух

Определение влагоудерживающей и жироудерживающей способностей высокобелкового препарата «Зоопротеин»

Важно оценивать сырье для производства кормов с точки зрения функциональных и технологических свойств, таких как влагоудерживающая способность и жироудерживающая способность (рис. 2).

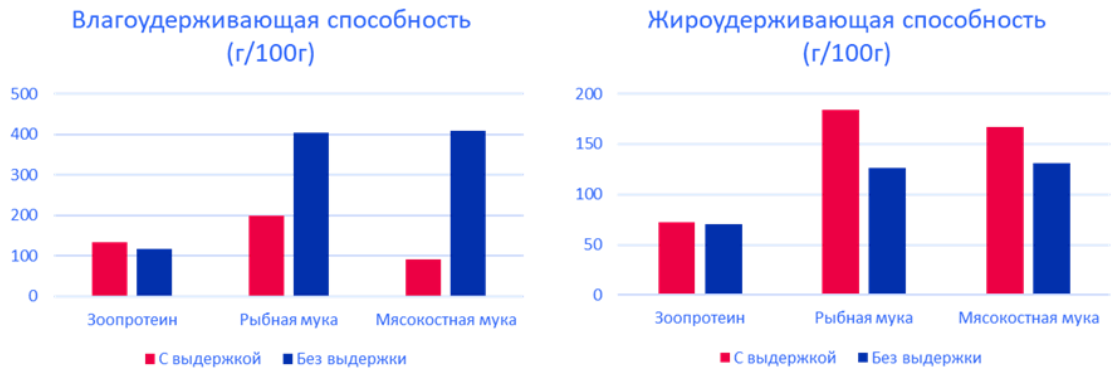


Рис. 2. Сравнительный анализ функционально-технологических свойств кормового сырья

Очевидно, что по изучаемому показателю «Зоопротеин» значительно уступает рыбной и мясокостной муке, в частности, по влагоудерживающей способности в 3,5 раза, а жироудерживающей способности почти в 2 раза.

Оценка сбалансированности различных сырьевых ресурсов в рационах кормления взрослых кошек

В рамках данного исследования была проведена оценка сбалансированности различных сырьевых ресурсов – препарата «Зоопротеин», муки рыбной и мясокостной – как основных ингредиентов в рационах кормления взрослых кошек (таб. 1).

Таблица 1

Химический состав сырья для производства кормов

Показатели	Сырьевые ресурсы, % (г/100г образца)		
	Мука рыбная	Мука мясокостная	Зоопротеин
сырой протеин	65.10	40.10	48.33
сырой жир	11.30	11.20	29.64
сырая клетчатка	0.00	0.00	5.97
сырая зола	20.90	6.20	7.28
кальций	3.74	14.30	1.74
фосфор	2.60	7.40	1.79

«Зоопротеин» существенно уступает муке рыбной по содержанию сырого протеина (на 16.77 %) и сырой золы (на 13.62 %), также «Зоопротеин» уступает муке рыбной и мясокостной по содержанию кальция (2% и 0.81%, соответственно) и фосфора (12.56% и 5.61%, соответственно). Однако, «Зоопротеин» превосходит муку мясокостную по содержанию сырого протеина (на 8.23 %) и по содержанию сырой золы (на 1.08 %). Также следует отметить, что «Зоопротеин» отличается высоким содержанием сырого жира, что значительно превосходит другие сырьевые ресурсы, в частности муку рыбную и мясокостную на 18.34% и 18.44% соответственно.

Помимо этого, «Зоопротеин» является источником сырой клетчатки в количестве 5.97%, в то время как другие образцы не содержат ее.

Оценка степени удовлетворения суточной потребности в макро- и микронутриентах

В данном исследовании проведена оценка данной гипотезы с точки зрения удовлетворения потребностей кошек, так как кошки являются плотоядными и наиболее требовательными к белково-липидному составу рационов кормления. Специфические отличия в кормлении кошек по сравнению с собаками обусловлены поведенческими, анатомическими, физиологическими и метаболическими особенностями. Рацион кошек отличает повышенная потребность в белке по сравнению с рационами собак, в частности в период роста и во взрослом состоянии кошкам требуется на 50% больше белка по сравнению с собаками.

В исследовании рассматриваются различные сырьевые ингредиенты кормопроизводства в качестве сухого корма для кошек. В дальнейшем расчете исследуемые образцы рассматриваются для кормления взрослых кошек в количестве

100г в сутки. Энергетическая ценность образцов рассчитывается с использованием следующих коэффициентов энергетической ценности питательных веществ: 3,9 ккал/г сырого протеина, 7,7 ккал/г сырого жира, 3 ккал/г сырой клетчатки. В результате проведенных расчетов энергетическая ценность муки мясокостной составила 242.6, муки рыбной - 340.9, «Зоопротеина» – 434.6 ккал/ 100г образца.

В таб. 2 отражен расчет обеспечения потребности животного в питательных веществах в пересчете на 100г сухого вещества за счет потребления исследуемых образцов в период роста. При пересчете массовая доля влаги всех образцов составляла 10,8%) (таб. 2).

Таблица 2

Удовлетворение потребности кошек в питательных веществах, в сутки

Оцениваемый фактор	Потребности кошки при росте, беременности и лактации	Мука рыбная	Мука мясокостная	Высокобелковый препарат «Зоопротеин»
Энергетическая ценность, ккал/г сух. в-ва	≥4,5	3.55	2.53	4,5*
Содержание питательных веществ, г/100 г сух. в-ва				
белок	>35.0	67.8*	41.77*	50.0*
жир	≥17.0	11.77	11.67	30.2*
клетчатка	<5.0	0	0	5.2**
кальций	1.0-1.8	3.9**	14.9**	1.8*
фосфор	0.8-1.6	2.56**	7.7**	1.9**

Очевидно, что «Зоопротеин» превосходит другие исследованные образцы по ряду показателей (энергетическая ценность, белки, жиры и клетчатка). Кроме того, «Зоопротеин» полностью удовлетворяет потребность животного в кальции и фосфоре, в то время как рыбная мука и костно-костная мука чрезмерно покрывают потребность животного в этих веществах по отношению к стандартному показателю. Таким образом, «Зоопротеин» является лучше сбалансированным для кормления кошек по сравнению с другими исследуемыми образцами (таб. 3).

Таблица 3

Прогнозируемый расчет обменной энергии в высокобелковом препарате «Зоопротеин» для кошек, в день

Расчетный показатель	Формула расчета	Расчетное значение
1.Суточная потребности в обменной энергии животного (МЕ):		
1.1 Базовая (основная) энергия (ВЕ), ккал/день	30 х массу тела* + 70	145
1.2 Поддерживающая энергия для кошек (SE), ккал/день.	1,4 х ВЕ	203
1.3 Суточная потребность в обменной энергии кошки (МЕ), ккал/день	1,6 х SE	325

продолжение таблицы

Расчетный показатель	Формула расчета	Расчетное значение
2.Обменная энергии корма (ME в корме)		
2.1 Суммарная энергия (GE), ккал / 100 г	(5.7 x % белка) + (9.4 x % жира) + [4.1 x (% NFE** + % сырой клетчатки)]	372
2.2 Энергия перевариваемости (ED), %	87.9 – (0.88 x % сырой клетчатки in DM)	80
2.3 Усваиваемая энергия (DE), ккал	(GE x ED) / 100	298
2.4 Обменная энергия (ME в корме), ккал	DE – (0.77 x % белка)	266
3. Суточная потребность в корме (г) для обеспечения животного необходимой энергией		
3.1 3.Потребность в корме, г	ME / ME в корме *100	122

* – масса тела животного составляет 2,5 кг

** – NFE - содержание азота без экстракта составляет 0,4

Однако важно, чтобы животное получало сбалансированное количество энергии и питательных веществ вместе с кормом. Если животные получают несбалансированную диету с точки зрения их энергетического содержания, может возникнуть нехватка всех питательных веществ. Этот дефицит особенно часто наблюдается в период роста и в период лактации, в случае кормления животных низкокалорийным промышленным кормом или домашним рационом. Кроме того, для удовлетворения энергетических потребностей животное вынуждено питаться большим количеством корма.

Для получения подробных данных была рассчитана потребность в обменной энергии для кошек. Для расчета были взяты следующие показатели: масса тела животного составляла 2,5 кг; поддерживающая энергия - 80 ккал / кг / сутки; Коэффициент увеличения энергопотребления - 1,6. На основании пересчета была определена обменная энергия для безопасного развития и роста животного, равная 320 ккал. Для удовлетворения энергетических потребностей рекомендуется обеспечить животное рыбной мукой в количестве 94 г. / день, мясокостная мука – 132 г / день и «Зоопротеин» – 74 г / день. Соответственно, меньшая рекомендуемая доля определяется для высокобелкового препарата «Зоопротеин» как наиболее высококалорийного сырьевого ресурса по сравнению с другими исследованными образцами.

Аминокислотный состав препарата «Зоопротеин»

Поскольку кошки являются плотоядными, особенно важно изучать их потребность в аминокислотах через потребление различных видов сырья. Во время развития, важно оценить их специфические потребности в определенных аминокислотах, в частности в аргинине. В связи с этим обычная диета кошек должна содержать множество тканей животных с довольно высоким содержанием белка, в том числе аргинина (таб. 4).

В таб. 5 представлены данные о потребностях кошек в EAA с точки зрения суточной обменной энергии, которая была исследована ранее и была равна 325 ккал.

Таблица 4

Аминокислотный состав сырья для производства кормов

Незаменимые аминокислоты	Содержание незаменимых аминокислот, г / 100 г исходного ингредиента
	«Зоопротеин»
Аргинин	1.34
Гистидин	0.87
Изолейцин	1.55
Лейцин	2.49
Лизин	2.67
Метионин Метионин + цистин	0.85 1.25
Фенилаланин	2.55
Треонин	1.57
Триптофан	0.49
Валин	2.09

Таблица 5

Уровень удовлетворения потребностей в питательных веществах для кошек во время роста с учетом суточной порции препарата «Зоопротеин»

Основные питательные вещества	Минимальные рекомендуемые уровни питательных веществ для кошек		Содержание питательные вещества в 122 г «Зоопротеин» (в день)	Уровень удовлетворения потребности в питательных веществах, %
	г / 1000 ккал обменной энергии	g/325 ккал обменной энергии		
Незаменимые аминокислоты				
Аргинин	2.78 (8.75*)	0.90 (2.84*)	1.64	182.22 (57.75)
Гистидин	0.83	0.27	1.06	392.59
Изолейцин	1.35	0.44	1.89	429.55
Лейцин	3.2	1.04	3.04	292.31
Лизин	2.13	0.69	3.26	472.46
Метионин	1.10 (3.25*)	0.36 (1.06*)	1.04	288.89 (98.11)
Метионин + цистин	2.20	0.72	1.53	212.50
Фенилаланин	1.25	0.41	3.11	758.54
Треонин	1.63	0.53	1.92	362.26
Триптофан	0.40 (4.25*)	0.13 (1.38*)	0.60	461.54 (43.48)
Валин	1.6	0.52	2.55	490.39
Таурин (сухой корм для животных)	0.25	0.08	0.28	350.00

продолжение таблицы

Основные питательные вещества	Минимальные рекомендуемые уровни питательных веществ для кошек		Содержание питательные вещества в 122 г «Зоопротеин» (в день)	Уровень удовлетворения потребности в питательных веществах, %
	г / 1000 ккал обменной энергии	g/325 ккал обменной энергии		
Эссенциальные жирные кислоты				
Линолевая кислота (ω-6)	1.38	0.45	0.59	131.11
Минеральные вещества				
Кальций	2.50	0.81	0.63	77.78
Фосфор	2.10	0.68	0.71	104.41
Калий	1.50	0.49	0.81	165.31
Натрий	0.40 (3.75**)	0.13 (1.22**)	0.54	415.38 (44.26)

* N – рекомендуемый максимум, который не должен оказывать вредного воздействия на животного.

** – Научные данные показывают, что уровни натрия до 3,75 г / 1000 ккал ME безопасны для здоровых кошек

Жирнокислотный состав препарата «Зоопротеин»

Личинки мух вида Lucilia Caesar неприхотливы к условиям культивирования, в частности выращиваются на пищевых отходах в качестве субстрата.

Липидная составляющая корма не является первостепенным фактором в кормлении кошек. Однако, в исследованиях было выявлено, что домашние кошки не могут синтезировать линолевую кислоту (LA), имеют ограниченную способность синтезировать арахидоновую кислоту (AA) в процессе метаболизма. Также было доказано, что кошки в период роста имеют низкую способность синтезировать докозагексаеновую кислоту (DHA), в связи с этим рекомендуется иметь небольшое количество DHA и / или эйкозапентаеновой кислоты (EPA) в кормах для кошек в период роста и размножения (рис. 3).

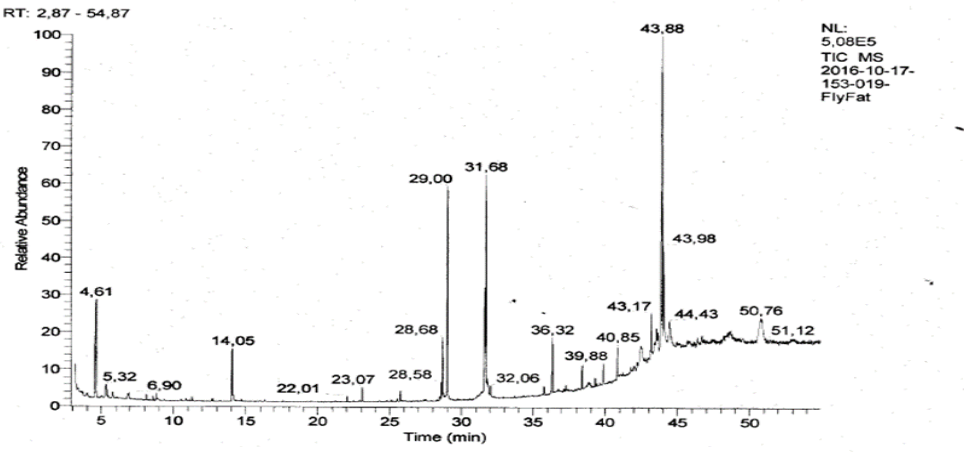


Рис. 3. Масс-хроматограмма по полному ионному току из жира личинок мух

Первым функциональным жиром, который был обнаружен, была линолевая кислота, жирная кислота омега-6. Было обнаружено, что он является важным диетическим компонентом, необходимым для роста и профилактики кожных поражений кошек и других видов. Более поздние исследования показали, что жирные

кислоты омега-6 и омега-3 необходимы. Оба типа могут быть превращены в длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты, которые имеют дополнительные функции, а именно как предшественники эйкозаноидов, которые являются мощными физиологическими медиаторами клеточных функций. Эти результаты добавили новые сложности в категорию функциональных жирных кислот, даже если в рацион должны быть включены лишь скромные количества для удовлетворения потребностей тканей. По большей части функциональные жирные кислоты, которые также необходимы, являются полиненасыщенными по природе. К этой группе относятся линолевая кислота (LA), α-линоленовая кислота (ALA) и, при определенных условиях, докозагексаеновая кислота (DHA) и арахидоновая кислота (AA). Напротив, конъюгированные линолевые кислоты могут также вписываться в функциональную категорию, поскольку новые исследования завершены на их специфические эффекты у домашних животных. Однако они не имеют необходимой последовательности с прерванной метиленовой цепью и, таким образом, не являются необходимыми. Также жирные кислоты со средней длиной цепи не являются ни полиненасыщенными, ни незаменимыми, но могут быть функциональными в некоторых условиях.

Установлено, что потребности в энергии у кошек достаточно для того, чтобы они потребляли 122 г «Зоопротеин» в день. Это исследование подтверждает, что «Зоопротеин» является высококачественным кормом. Потребление суточной порции «Зоопротеин» позволяет удовлетворить потребности кошек в наиболее важных питательных веществах, таких как незаменимые аминокислоты (аргинин, метионин, триптофан, таурин и др.), Незаменимые жирные кислоты (линолевая кислота) и минеральные вещества (кальций, фосфор, калий, натрий). Конкурентоспособная себестоимость «Зоопротеин» также позволяет нам рассматривать его как перспективный сырьевой ресурс. В будущих исследованиях целесообразно найти оптимальный рецепт для кормления кошек на основе нескольких сырьевых ингредиентов с использованием метода многомерного моделирования.

На основании анализа вышепредставленных данных «Зоопротеин» может рассматриваться в качестве единственного сырьевого ингредиента для производства корма для взрослых кошек.

Литература

1. ГОСТ 11293-89. Желатин. Технические условия [Текст]. Введ. 1991–07–01. М.: Стандартинформ, 2008.
2. ГОСТ 2116-2000. Мука кормовая из рыбы, морских млекопитающих, ракообразных и беспозвоночных. Технические условия [Текст]. ИПК Издательство стандартов, 2004
3. ГОСТ 17536-82 Мука кормовая животного происхождения. Технические условия [Текст]. ИПК Издательство стандартов
4. ГОСТ 32195-2013 (ISO 13903:2005) Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот. Технические условия [Текст]. Введ. 2015-07-01. М.: Стандартинформ, 2016
5. СТО 44215411-001-2016. Сертификат соответствия. Протеиновый корм на основе личинок мух Lucilia Caesar и Calliphora для продуктивных и непродуктивных животных.
6. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества [Текст]. Введ. 2002–01–01. М., 2002.

7. Афанасьев В.А. 2012. Современное состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности Российской Федерации. Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности. 3, 116–124.
8. Афанасьева Н.А., Надточий Л.А. Создание корма функционального назначения для взрослых кошек. // Качество и безопасность продукции: проблемы и пути решения: Материалы Научной школы-семинара для молодых ученых. СПб: Изд-во «ЛЕМА», 2014. С. 77–80.
9. Войнов Е.С. Ветеринарно-санитарная оценка кормов используемых для кормления домашних животных: Ветеринарная клиника «Оцелот», Москва, Россия-Биотика, 6(7), Декабрь 2015. С. 46–50.
10. Дорош М.В. Ветеринарный справочник для владельцев кошек. М.: Вече, 2006. 283 с.: ил.
11. Кормовой белок 2018 (коммерческое название - «Зоопротеин») [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://zooprotein.com/
12. Льюис Л., Моррис М., Хэнд М. Кормление собак и кошек. / Перевод с английского и редакция д. б. н. А. С. Ерохина/ Mark morris associates - Topeka, Kansas.1987. p.144.
13. Надточий Л.А., Истомин А.И., Мельчаков Р.М., Мурадова М.Б., Жаворонкова А.С., Оценка высокобелкового препарата «Зоопротеин» в качестве корма для кошек // Екатеринбург.: Международный научно-исследовательский журнал, 2017. № 09 (63). Часть 3. С. 49-52
14. Теймуразов М.Г., Светоч Э.А., Манзенюк О.Ю., Тазина О.И., Федоров Т.В., Истомин И.И., Истомин А.И., Яковлев С.С. Антимикробная активность личинок Lucilia caesar в отношении бактерий, патогенных для человека и птицы 2018.
15. Хохрин С.Н. Кормление собак и кошек: Справочник. М.: КолосС, 2006. 248 с.
16. Tacon A.G.J., Metian M., Turchini G.M., Silva S.S.D. Fishing for aquaculture: non-food use of small pelagic forage fish - a global perspective / Rev. Fish. Sci., 17 (2009), pp. 305-317
17. Aniebo A., Odukwe C.A., Ebenebe C.I., Ajuogu K., Owen O.J. & Onu P.N. 2011. Effect of housefly larvae (Musca domestica) Meal on the carcass and sensory qualities of the mud catfish, (Clarias gariepinus). Adv. Food Energy Secur. 1. 24–28.
18. Awoniyi T.A., Adetuyi F.C. & Akinyosoye F.A. 2004. Microbiological investigation of maggot meal, stored for use as livestock feed component. Journal of Food, Agriculture & Environment. 2.э 104–106.
19. Belluco S., Losasso C. & Maggioletti M. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 12, 296–313.
20. Diener S., Zurbrugg C. & Tockner K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste Manag. Res. 6, 603–610.

Панарина Дарья Николаевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группы № P3400,
Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника,
e-mail: darpanar@yandex.ru
Балакшин Павел Валерьевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
к.т.н. доцент,
e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.932.2

ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ OPENCV ДЛЯ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА

Д.Н. Панарина

Научный руководитель – к.т.н., доцент **П.В. Балакшин**

Университет ИТМО

Аннотация
Одно из важных и актуальных сегодня направлений биометрии составляют научные исследования методов автоматического распознавания психофизического состояния людей по их лицам. Однако базы знаний по этим вопросам только начинают активно формироваться. В рамках работы осуществлялась проверка гипотезы, что люди одной и той же профессии обладают схожими чертами лица. Было разработано приложение, проводящее антропометрическиз-й анализ лиц. Гипотеза проверяется на базе изображений лиц студентов первого и четвёртого курсов.
Ключевые слова
Антропометрические точки лица, базы изображений лиц, OpenCV, поиск ключевых точек лица, антропометрические параметры лица.

Введение

Одним из направлений развития биометрических технологий, основанных на геометрии лица (анализе его ключевых точек), является распознавание психофизического состояния людей по их лицам.

Определение психологических характеристик человека является задачей, широко используемой в теоретических и практических психологических исследованиях, образовании, коучинге, профориентации, при найме на работу и т.д. Регулярная оценка психофизического состояния необходима для работников особо ответственных профессий, таких как авиадиспетчер, пилот самолёта, водитель большегрузных машин и т.д.

Лицо предоставляет психологам более объективные сведения, чем вопросники и нейропсихологические тесты [1], и его анализ можно проводить дистанционно,

используя изображение лица человека. Если анализ лица будет проводиться автоматически, то психологическое тестирование становится более точным, быстрым, объективным и доступным для различных видов исследований и применений.

Достаточно распространено мнение, что люди одной и той же профессии обладают схожими чертами лица. Конечно, судить об интеллектуальных способностях человека только по его лицу было бы некорректно. Однако, возможно, имеют место изменения лица под действием определенных мышц, активных вследствие переживаемых человеком эмоций. Мимика, откладывающая свой отпечаток на лицо, отражает чувства человека. Чувства же могут говорить о характере, темпераменте и преобладающем типе мышления.

Целью работы является проверка утверждения взаимосвязи черт лица и типа мышления посредством автоматического антропометрического анализа лиц.

В данной работе проверка осуществляется на примере анализа лиц студентов первого и четвёртого курсов по направлениям подготовки 090301 "Информатика и вычислительная техника" и 090304 "Программная инженерия". Выдвигается гипотеза, что успешные студенты первого курса должны иметь схожие черты лица со студентами четвёртого курса.

Для достижения цели необходимо выполнить следующие **задачи**:

1) Определить набор антропометрических точек, выделяемых на лице человека.

2) Провести анализ существующих методов выявления этих точек на изображении, а также программных продуктов для реализации алгоритмов поиска ключевых точек лица.

3) Определить требования и подготовить базу изображений лиц студентов первого и четвертого курсов.

4) Реализовать приложение, позволяющее проводить антропометрический анализ лиц.

5) Провести тестирование приложения на сформированных базах изображений и проанализировать полученные результаты.

Обзор предметной области

Распознавание психофизического состояния людей автоматическими системами – одно из важных и актуальных сегодня направлений биометрии. Однако анализ состояния предмета исследования показал, что существует ряд проблем, способы преодоления которых только подготавливаются [2].

Во-первых, необходимо наладить формальную и устойчивую передачу информации между специалистами из областей психологии, математики, компьютерных технологий и распознаваний образов.

Во-вторых, необходимо увеличение количества совместных исследований специалистов из разных областей, чтобы расширить и формально описать базу знаний, содержащую научно доказанные связи между чертами лица и характеристиками личности.

В-третьих, разработка систем автоматической оценки психофизического состояния нуждается в формировании стандартных баз данных, на которых можно было бы тестировать разрабатываемые алгоритмы распознавания.

И наконец, для развития этого направления биометрии необходимо создание новых методов обработки изображений лиц и связанных с ним компьютерных технологий.

Формирование путей дальнейшего развития лицевой биометрии является предметом современных исследований, одним из основных инструментов которых является цифровая черепно-лицевая антропометрия.

Антропометрические точки представляют собой характерные особенности лица, они описывают его черты. Для проведения антропометрических исследований изображений лиц разработан ряд пакетов программ, выполняющих такие функции как поиск лица и антропометрических точек, определение выражаемых эмоций, антропометрическое сравнение по изображениям лиц [3]. Примерами таких пакетов являются Luxand FaceSDK и Portret Client 5.0. Однако значительная часть подобных программ являются коммерческими решениями. Поэтому наибольшей популярностью пользуются доступные программные средства из библиотек OpenCV и Dlib [3]. Эти библиотеки содержат реализации алгоритмов детектирования лиц, а также поиска координат 68 антропометрических точек.

Таким образом, для осуществления проверки выдвинутой гипотезы необходимо разработать приложение, проводящее антропометрический анализ лиц.

Описание разработанного приложения

Приложение выполнено на языке программирования C++. Для работы с изображениями, в том числе выделение характерных точек лица, использовалась библиотека OpenCV версии 4.0. Для создания графического интерфейса приложения применен фреймворк Qt.

Для сравнения лиц были выбраны 19 базовых антропометрических параметров, в измерении которых задействованы 34 ключевых точки лица (рис. 1). Расстояние между центрами глаз является базисом, по отношению к которому определяются все параметры лица (рис. 1).

Рис. 1. Используемые антропометрические точки

Выбранные характеристики описывают как размеры элементов лица, так и расстояния между ними:

1) Ширина лица на уровне линии глаз.
2) Ширина лица на уровне носа.
3) Ширина лица на уровне губ.
4) Расстояние от подбородка до линии глаз.

5) Ширина глазной щели правого глаза.
6) Высота глазной щели правого глаза.
7) Ширина глазной щели левого глаза.
8) Высота глазной щели левого глаза.
9) Расстояние от центра правого глаза до верхней точки правой брови.
10) Расстояние от центра левого глаза до верхней точки левой брови.
11) Расстояния от центра правого глаза до точки кончика носа.
12) Расстояния от центра левого глаза до точки кончика носа.
13) Ширина носа.
14) Высота носа.
15) Расстояние от подбородка до середины линии смыкания губ.
16) Ширина губ.
17) Высота губ.
18) Расстояние от нижней точки носа до середины края верхней губы.
19) Площадь треугольника, вершины которого располагаются в точках внутренних уголках глаз и середине линии смыкания губ.

Для возможности проведения сравнения лиц их изображения должны соответствовать единому стандарту. В рамках работы был составлен перечень требований, которым должны соответствовать все входные изображения программы и согласно которым формировались базы изображений лиц студентов:

1) Каждое изображение представляет собой фотографию анфас одного человека.
2) Размер изображения не меньше 240x320 пикселей и не превышает 250x350 пикселей.
3) Лицо занимает не менее 80% от размера изображения.
4) Фон на изображении однороден.
5) Элементы лица не закрыты волосами или очками.

Если входное изображение соответствует данным требованиям, оно проходит ряд базовых преобразований, сохраняющих параллельность линий (аффинные преобразования), таких, как вращение и масштабирование. В итоге все входные изображения приводятся к единому стандарту:

1) Центры глаз находятся на одной линии, параллельной горизонтальной границе изображения.
2) Расстояние между центрами глаз составляет 60 пикселей.
3) Линия симметрии лица проходит через середину изображения.
4) Центр левого глаза отстоит от вертикальной границы изображения на 91 пиксель.
5) Линия глаз находится от верхней границы на расстоянии, равном 145 пикселям.

При составлении условий формата изображений лиц, используемых в приложении, был рассмотрен стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 19794-5-2013 «Информационные технологии. Биометрия. Форматы обмена биометрическими данными. Часть 5. Данные изображения лица».

Обработка фото лиц студентов первого и четвёртого курсов осуществлялась следующим образом. Сначала с помощью программы формируется собирательный образ – усреднённая модель студента четвёртого курса. Для создания усреднённой модели-образца на вход программе подаётся набор изображений, соответствующих требованиям. Каждое изображение приводится к стандарту, затем проводятся все необходимые антропометрические измерения. Полученные значения накапливаются и после обработки всех изображений усредняются. На рис. 2 представлен вид программы после формирования модели лица студента четвёртого курса.

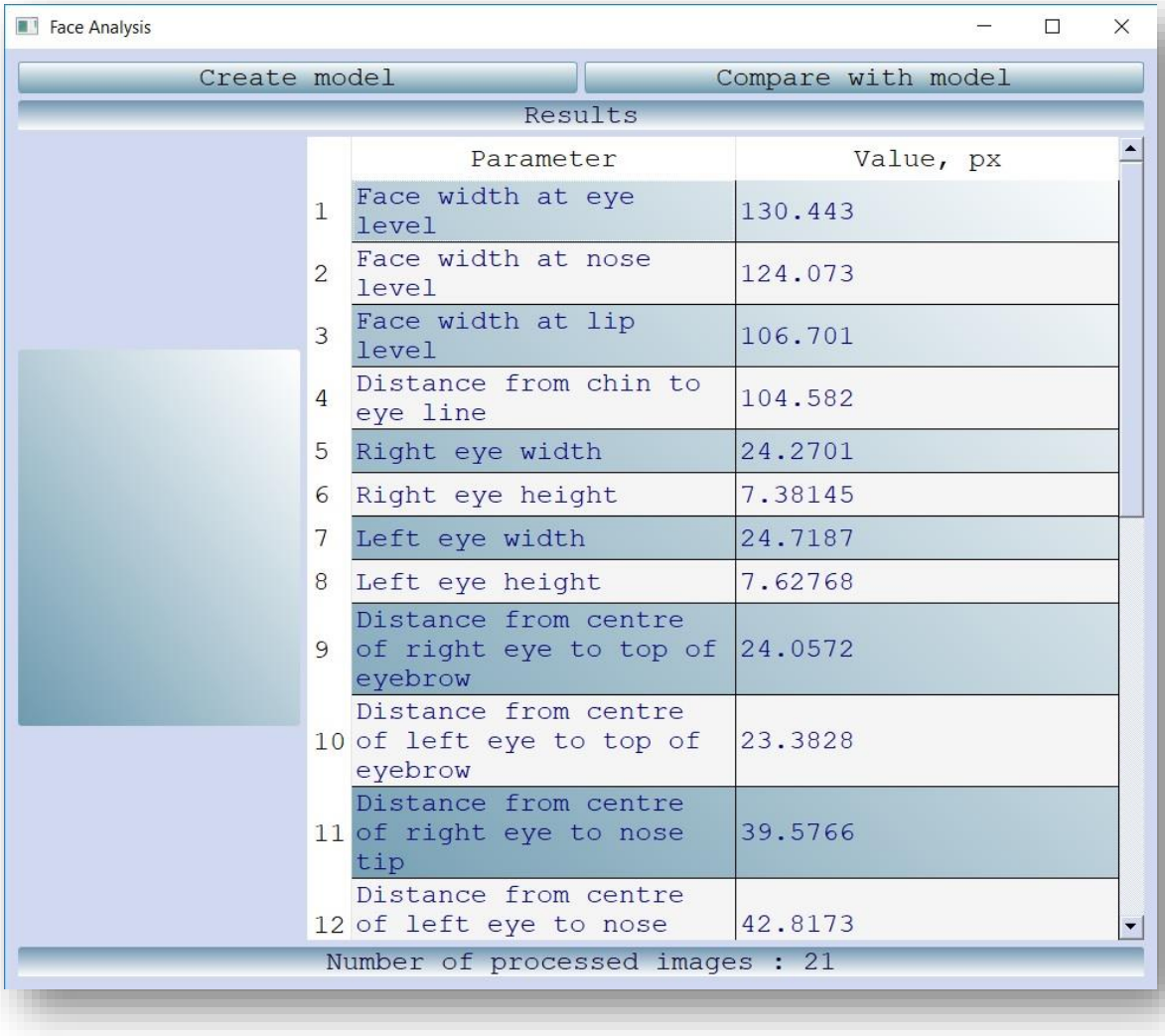


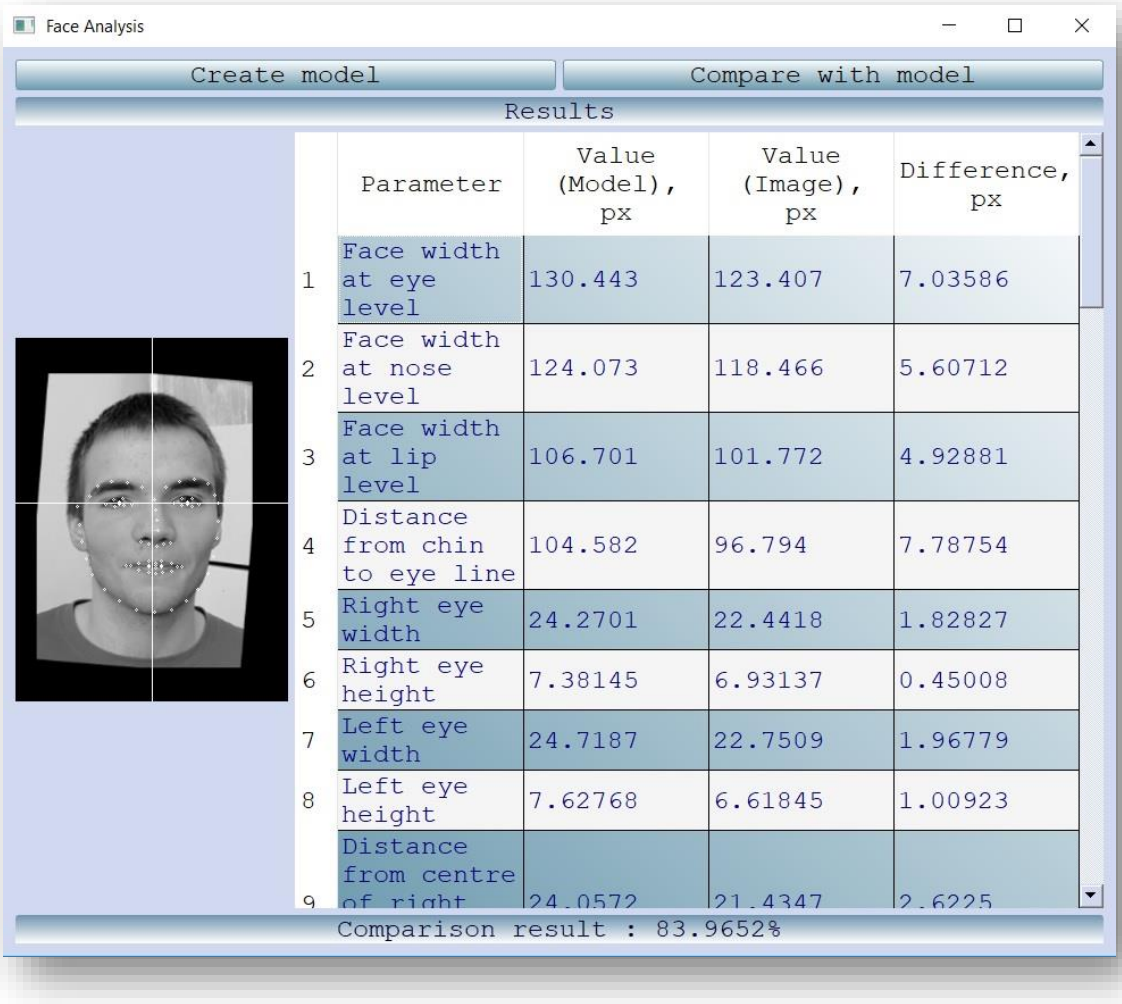
Рис. 2. Отображение результатов формирования модели-образца

После того, как программа сформировала модель-образец, можно проводить сравнения моделей лиц студентов первого курса с этим образцом. На рис. 3 представлен вид программы после проведения сравнения лица студента первого курса с моделью студента четвёртого курса. Помимо разностей по каждому из параметров, программа выдаёт итоговый процент совпадения моделей.

По итогам тестирования приложения были проведены замеры времени обработки одного изображения:

- Время загрузки и проверки изображения на соответствия требованиям: 386 ± 22 мс.
- Время обработки изображения для приведения к стандарту: 39 ± 2 мс.
- Время подсчёта параметров лица: меньше 1 мс.

Значения были получены при работе программы в 64-разрядной ОС Windows 10. Конфигурация аппаратной части: процессор Intel(R) Core(TM) i3-6006U CPU (2,0 ГГц) и оперативная память 6 Гб (1333 МГц) (рис. 3).



	Parameter	Value (Model), px	Value (Image), px	Difference, px
1	Face width at eye level	130.443	123.407	7.03586
2	Face width at nose level	124.073	118.466	5.60712
3	Face width at lip level	106.701	101.772	4.92881
4	Distance from chin to eye line	104.582	96.794	7.78754
5	Right eye width	24.2701	22.4418	1.82827
6	Right eye height	7.38145	6.93137	0.45008
7	Left eye width	24.7187	22.7509	1.96779
8	Left eye height	7.62768	6.61845	1.00923
9	Distance from centre of right	24.0572	21.4347	2.6225

Рис. 3. Отображение результатов сравнения лица с моделью-образцом

Результаты обработки сформированных баз изображений лиц с помощью приложения

Анализ лиц студентов проводится отдельно для юношей и девушек. В эксперименте приняло участие 49 студентов первого курса, из которых 9 девушек и 40 юношей, и 36 студентов 4 курса, из которых 14 девушек и 22 юноши. Проведённое исследование вызвало большой интерес у студентов. Обработка персональных данных проводилась с согласия студентов.

Анализ полученных результатов работы показал существование корреляции между процентом схожести с моделью-образцом и достижениями студента. Наиболее ярко это проявилось среди студенток первого курса. Студентка первого курса, оказавшаяся наиболее схожей с моделью-образцом, поступила в университет по конкурсу ITMO.Stars – конкурсу уникальных достижений абитуриентов. Будучи студентом первого курса, она успешно учится и участвует в различных мероприятиях Университета ИТМО.

Перспективы разработки

На данном этапе приложение выполняет поставленные задачи, но у него есть возможности развития.

Во-первых, необходимо дальнейшее совершенствование алгоритма составления модели-образца. Например, возможно введение в формулу подсчёта весовых коэффициентов, отражающих уровень успеваемости студентов четвёртого курса. Это позволит более точно формировать модель-образец успешного студента.

Также для более детального антропометрического анализа лиц возможно увеличение количество измеряемых параметров лица посредством создания графа-маски, состоящего из ключевых точек лица. Причём точки будут соединяться рёбрами в случае, если их положение зависит от одной и той же мимической мышцы.

Безусловно, для более качественной проверки выдвинутой гипотезы необходимо увеличение масштаба эксперимента посредством проведения анализа лиц студентов для нескольких направлений подготовки, а также увеличения количества выборки студентов для каждого из направлений.

Для дальнейшего развития приложения потребуется дополнительный функционал. Например, возможность сохранения параметров модели-образца в файл, а также вывод психологического профиля человека на основе анализа черт его лица.

После проведения указанных выше шагов улучшения данное приложение может применяться для профориентации, как школьников, так и людей, уже работающих в определенной сфере и желающих сменить род деятельности. Кроме того, данная разработка может быть полезна и в медицинских учреждениях, например, при проведении терапии.

Также для расширения области применения возможно создание мобильной версии данного приложения.

Основные положения и результаты данной работы докладывались и обсуждались на VIII Всероссийском Конгрессе молодых ученых.

Литература

1. Сравнительный анализ оценок индивидуально-психологических особенностей человека, полученных различными методами / Хрисанфова Л.А., Сергеева О.М., Сибирякова И.А., Орлов А.В., Бронфман Л.Б. // Вестник КГУ. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. 2016. №4. с. 123–127.
2. Кухарев Г.А. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Кухарев Г.А., Каменская Е.И., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л.; под ред. Хитрова М.В. СПб.: Политехника. 2013. 388с.
3. Кухарев Г.А. Применение цифровой лицевой антропометрии / Кухарев Г.А., Казиева Н. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2019. т. 19, № 2. с. 255–270.

Тюльпенева Марина Сергеевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы № U3420,
направление подготовки: 38.03.02 – Менеджмент,
e-mail: m.tiulpeneva@gmail.com
Сергеева Ирина Григорьевна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
д.э.н., профессор,
e-mail: igsergeeva@gmail.com

УДК 69.003.12

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕЙ СТОИМОСТИ РЕМОНТА 1 ПРИВЕДЕННОГО КМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

М.С. Тюльпенева

Научный руководитель – д.э.н., профессор **И.Г. Сергеева**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 000132 «Анализ изменения средней стоимости ремонта 1 приведенного км автомобильных дорог регионального значения города Санкт-Петербург».

Аннотация
В работе рассмотрены методы формирования начальной (максимальной) цены контракта, а также основные факторы, оказывающие влияние на стоимость ремонта автомобильных дорог с целью разработки рекомендаций по совершенствованию действующей системы ценообразования в дорожном строительстве для снижения стоимости дорожных работ при сохранении нормативного качества автомобильных дорог.
Ключевые слова
ремонт автомобильных дорог, финансирование, приведенный км, сметная стоимость ремонта автомобильных дорог, ценообразования, методы определения начальной (максимальной) цены контакта.

Состояние и развитость дорожной сети отражает уровень благоустройства и экономического развития в целом в стране и в каждом регионе в частности. Исходя из этого, проблема своевременного и качественного ремонта автомобильных дорог является особо актуальной в современных условиях.

Санкт-Петербург является одним из трех городов федерального значения, для которого проведение предупредительного ремонта автомобильных дорог является необходимой мерой. Иными словами, для создания и поддержания автомобильных дорог высокого уровня требуются крупные финансовые вложения.

По данным СПб ГКУ «Дирекция транспортного строительства», более 37% автомобильных дорог в Санкт-Петербурге находится в ненормативном состоянии [3, 4]. Одной из причин является недостаточное финансирование отрасли и несбалансированная стоимость ремонта 1 приведенного км. автомобильных дорог (см. рис. 1).

Так, на 2019 год бюджетом города выделено 5 млрд. руб., что недостаточно для выполнения всего необходимого объема ремонтных работ [2]. По мнению специалистов отрасли, для исполнения нормативных показателей состояния автомобильных дорог (85%), необходимо увеличивать финансирование отрасли до 11 млрд. руб. в год.

Основополагающим элементом ценообразования в строительстве является порядок и метод формирования начальной (максимальной) цены контракта (далее-НМЦК).

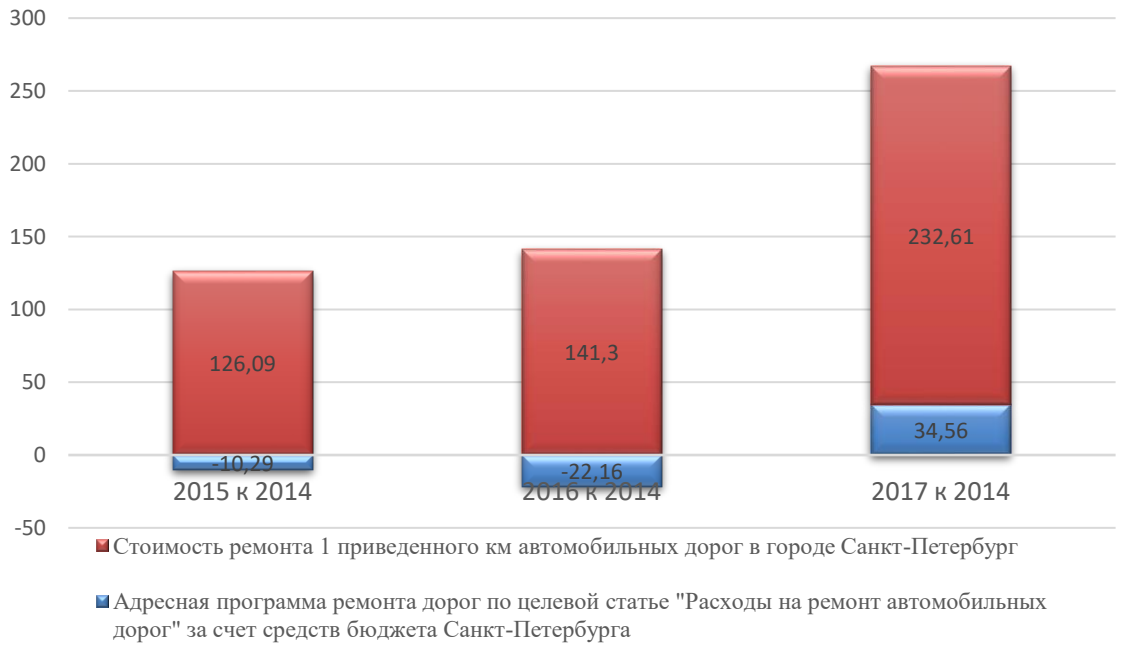


Рис. 1. График. Соотношение изменения стоимости ремонта 1 приведенного км автомобильных дорог в Санкт-Петербурге к финансированию в период с 2014 по 2017 года, %

В соответствии с Законом № 44-ФЗ существует шесть методов определения НМЦК. Вместе с тем, при ремонте автомобильных дорог могут применяться два метода: метод сопоставимых рыночных цен и проектно-сметный метод [1].

На территории Санкт-Петербурга действует проектно-сметный метод формирования НМЦК, несмотря на то, что, в соответствии с Законом № 44-ФЗ, метод сопоставимых рыночных цен является приоритетным.

Сметная стоимость ремонта автомобильных дорог формируется из:

1. прямых затрат (ПЗ) – 65-80%;
2. накладных расходов (НР) – 12-20%;
3. сметной прибыли (СП) – 8-11% [4].

Примерная структура сметной стоимости дорожных работ следующая (см. рис. 2):

Рис. 2. График . Примерная структура сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта и ремонта автомобильных дорог, %

Прямые затраты состоят из затрат на материалы (МАТ), основной заработной платы рабочих (ОЗП) и стоимости эксплуатации машин и механизмов (ЭМ).

Соответствующие индексы к сметной стоимости за период с 2014 по 2017 года изменились следующим образом: МАТ на 22,93%, ОЗП на 35,4% и ЭМ на 6,29%.

Наибольшее влияние на величину сметной стоимости ремонта 1 приведенного км оказывает стоимость материальных ресурсов, которая с 2014 по 2015 года сильно возросла. Изменение стоимости основных материалов может быть связано с рядом обстоятельств:

– с введением санкционной политики в отношении РФ в 2014 году;

– с последующим ограничением поставок строительных ресурсов из других стран;

– с ведением политики импортозамещения, исключающей применение иностранных материалов и ресурсов при государственных закупках.

Вышеприведенное заключение о сильной прямой зависимости между стоимостью ремонта автомобильных дорог и стоимостью материалов свидетельствует о необходимости пересмотра действующего ценообразования в строительстве.

Стоит отметить, что метод сопоставимых рыночных цен не применяется в Санкт-Петербурге, в частности из-за противоречий в положениях Распоряжения № 186-рп и Постановления № 300.

Впрочем, в современных условиях применение ни метода сопоставимых рыночных цен, ни проектно-сметного метода в чистом виде не является эффективным из-за существующих недостатков каждого из них.

Исходя из этого, внедрение нового метода является наиболее рациональным решением в сложившейся ситуации.

Принимая во внимание противоречия регионального законодательства и рыночного метода, Санкт-Петербург не готов к резкому отказу от применяемого проектно-сметного метода и переходу к методу сопоставимых рыночных цен. Более того, ограниченный список дорожных компаний может быть причиной картельного сговора или формирования олигополии на данном рынке.

Во избежание прямых нарушений действующего законодательства и потенциального сговора, для перехода на эффективную и открытую ценовую политику при определении стоимости дорожных работ по ремонту автомобильных дорог

регионального значения в Санкт-Петербурге предлагается выполнить следующие этапы:

I этап. Категорирование автомобильных дорог. На данный момент в соответствии с Постановлением № 300 в Санкт-Петербурге все дороги относятся к дорогам общего пользования регионального значения. Однако, стоит отметить, что такой подход является неправильным, так как дорожная сеть формировалась довольно длительный период времени, в связи с чем технические и транспортно-эксплуатационные характеристики ее отдельных участков значительно дифференцированы.

Отсутствие категорирования автомобильных дорог в городе также создает значительные затруднения при расчете различных экономических и технических показателей, что приводит к некорректному формированию данных и их использованию при формировании отчетных сведений.

II этап. Определение классификации и состава работ по ремонту автомобильных дорог. В действующем Классификаторе часто наблюдается подмена понятий, в связи с чем возникают трудности по отнесению того или иного вида работ среди профильных Комитетов города.

III этап. Разработка и актуализация соответствующих сметных нормативов (ТСНэ-ТЕРэ). Необходимо разработать и утвердить новые сметные нормативы, которые будут соответствовать текущему техническому и качественному уровню машин и механизмов, материалов, непосредственно применяемых на объектах города при ведении дорожных работ.

IV этап. Актуализация нормативов финансовых затрат на ремонт автомобильных дорог регионального значения в Санкт-Петербурге. Обоснованием расчета величины норматива финансовых затрат по каждому из видов работ является локальная смета в расчете на 1 единицу измерения, рассчитанная на основе новых утвержденных сметных нормативов по ремонту автомобильных дорог регионального значения в Санкт-Петербурге.

V этап. Переход на расчеты за натуральные показатели, то есть за объемы целиком по видам работ. В настоящее время расчеты осуществляются на основе адресных смет по каждой улице в каждом районе. Данный переход позволит наиболее рационально распределять денежные средства среди объектов, которые нуждаются в первоочередном ремонте, перераспределять денежные средства по ходу сезона ремонта, а также дополнять новыми адресами в рамках полученной экономии.

Таким образом, переход на финансирование на основе разработанных нормативов финансовых затрат позволит обеспечить поэтапное решение задачи приведения в нормативное состояние сети автомобильных дорог по требуемой нагрузке при соблюдении увеличенных межремонтных сроков.

Отказ от проектно-сметного метода и переход на финансирование на основе разработанных нормативов финансовых затрат приведет к:

– снижению сроков формирования адресных программ по ремонту автомобильных дорог и подготовки конкурсной документации;

– более быстрому внедрению новых технологий и материалов;

– открытости и независимости принятия решений, благодаря учету соответствующей объективной информации о состоянии и развитии дорожно-строительного комплекса города обеспечит;

– снижению стоимости ремонта автомобильных дорог регионального значения в Санкт-Петербурге;

– появлению новых дорожных компаний на рынке.

Литература

1. Федеральный закон от 05.04.2013 (ред. от 27.12.2018) №44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»
2. Бюджет Санкт-Петербурга. Администрация Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Официальный сайт: https://www.gov.spb.ru/helper/economics/budget/, своб.
3. СПб ГКУ «Дирекция транспортного строительства» [Электронный ресурс]. Официальный сайт: http://gudts.krti.gov.spb.ru/, своб.
4. Ардзинов В.Д., Барановская Н.И., Курочкин А.И. Сметное дело в строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lib.ink/teoriya-ekonomicheskaya/samouchitel-smetnoe-delo.html, своб.

Фомичева Дарья Андреевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3425,
направление подготовки: 19.03.03. – Продукты питания животного происхождения,
e-mail: dashafom19@mail.ru
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 637.344

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ С ОВОЩНЫМИ СОКАМИ

Д.А. Фомичева

Научный руководитель – к.т.н. доцент **Е.П. Сучкова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД №617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья»

Аннотация
В работе рассматривается разработка рецептуры и технологии напитка на основе молочной сыворотки с овощными соками, направленное, в качестве комплексного решения, на уменьшение дефицита β-каротина, витамина С и магния у населения, а также на проблему переработки и рационального использование сыворотки. Компонентами напитка выбраны сыворотка творожная, соки моркови, яблока, тыквы и сельдерея. В качестве подсластителя использовался сироп топинамбура. Готовый напиток был обогащен препаратами цитрата магния и аскорбата натрия.
Ключевые слова
Молочная сыворотка, овощные соки, сироп топинамбура, дефицит микронутриентов.

В течение последних десятилетий наблюдалось снижение физической активности человека, и как следствие уменьшилась его потребность в энергии. Однако содержание необходимых для нормальной жизнедеятельности веществ: витаминов, минеральных веществ, аминокислот и пищевых волокон содержится в большем по калориям, чем требуется, рационе, а потребление калорий сверх нормы приводит к ожирению. Так можно охарактеризовать проблему современного питания.

Проблема молочной промышленности связана с рациональным использованием сыворотки и получением из нее качественных продуктов питания. Обе проблемы требуют комплексного решения.

Для решения вышеназванных проблем необходимо было разработать продукт, который будет обогащен дефицитными микронутриентами и будет иметь невысокую калорийность. Сыворотка отвечает заданным требованием, так как в нее переходят практически все витамины и минеральные вещества молока [1]. Добавление ингредиентов растительного происхождения к сыворотке обогащает напиток биоактивными компонентами, повышает его функциональные свойства.

На данный момент ассортимент напитков на основе сыворотки, представленный на рынке, довольно ограниченный. Особенно мала доля напитков с овощными соками. И несмотря на то, что разработки в данном направлении ведутся, расширение ассортимента приветствуется.

В постановлении главного санитарного врача Российской Федерации «О мерах по профилактике заболеваний» по результатам обследования населения были выявлены наиболее дефицитные микронутриенты [2]. На основе этих данных осуществлялся подбор компонентов по минеральному и витаминному составу. Так были выбраны соки моркови, тыквы, сельдерея и яблока. Выбранные соки за исключением яблочного, который был выбран из-за высокой оценки у потребителей, содержат в значительным количестве β-каротин, витамины С, B_2, B_5, B_6 и К, а также калий, фосфор и марганец [3].

Перед проведением исследования были определены качественные показатели сырья: массовая доля сухих веществ, кислотность, pH в соках и сыворотке и содержание витамина С в соках. Полученные результаты не сильно отличались от справочных данных, а значит подобранные компоненты соответствуют требованиям качества (рис. 1).

На первом этапе разработки рецептуры подбиралось соотношение соков и сыворотки, представленное в таб. 1.

Таблица 1

Определение дозы внесения компонентов

Сырье/Образец	1	2	3
Сыворотка	70	60	60
Сок морковный	10	13	20
Сок яблочный	10	13	6
Сок тыквенный	6	3	3
Сок сельдерея	2	1	1

Были исследованы органолептические показатели полученных смесей и на их основе была построена профилограмма, представленная на рис. 1. Самую низкую оценку имел образец №1, в котором содержалось 70 мл сыворотки, что обуславливало чрезмерно кислый вкус.

Так как образцы №2 и №3 имели более высокую органолептическую оценку, однако вкус был все еще кислот поэтому было принято решение о понижении содержания сыворотки до 50 %. На основании 2-го и 3-го образцов были подобраны количественные соотношения соков и сыворотки. И составлены рецептуры, представленные в таб. 2, в которых подбиралась доза вносимого сиропа топинамбура. Сироп топинамбура был выбран в качестве подсластителя, так как в виде сиропа сохраняет свои полезные свойства, является заменителем сахара и имеет невыраженный собственный вкус и запах, что позволяет получать продукты питания с минимальными отклонениями в органолептической оценке от тех же продуктов с сахаром белым.

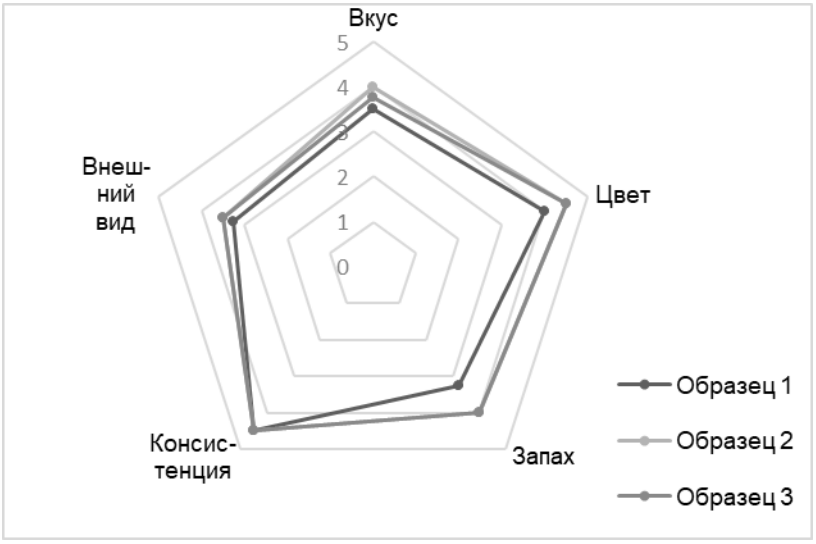


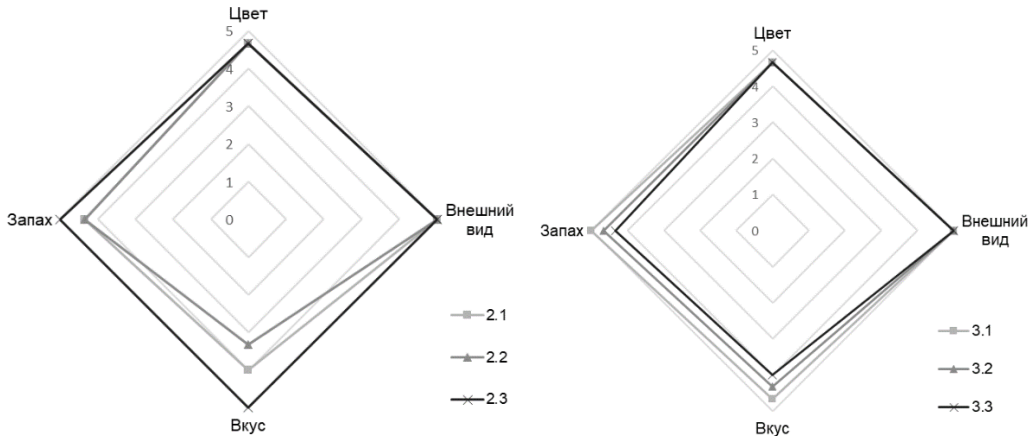
Рис. 1. Органолептическая оценка образцов

Таблица 2

Определение дозы сиропа в выбранных композициях соков и сыворотки

Смеси	2			3		
Образец	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Сыворотка	50	50	50	50	50	50
Сок морковный	18	18	18	20	20	20
Смеси	2			3		
Образец	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3
Сок яблочный	18	18	18	15	15	15
Сок тыквы	3	3	3	4	4	4
Сок сельдерея	2	2	2	2	2	2
Сироп топинамбура	4	5	6	4	5	6

В данных смесях были определены органолептические показатели и по ним для наглядности построены лепестковые диаграммы, представленные на рис. 2.



а б

Рис. 2. Органолептическая оценка: образцов смеси №2 (а); образцов смеси №3 (б)

Из профилограммы следует, что образцы смеси №3, по органолептической оценке, почти не отличаются друг от друга, однако имеют существенный недостаток – очень яркий морковный вкус, который перекрывает общую композицию вкуса.

Образцы смеси №2 имеют более существенные различия по сравнению друг с другом и с образцами смеси №3. Общая композиция соков и сыворотки имеет приятную кислинку, которая раскрывает вкусовую гамму наполнителей. В образце №2.2 сладость сиропа и кислинка смеси наложились друг на друга, и в итоге образец имел нейтральный вкус с заглушенным привкусом соков. Образец №2.3 получил наивысшую органолептическую оценку, поэтому было выбрано данное соотношение компонентов в напитке, на основе чего была выработана рецептура.

Однако содержание витаминов в напитке в недостаточной мере удовлетворяет потребности человека в дефицитных витаминах и минеральных веществах, было принято решение об обогащении. Для процесса обогащения были выбраны сухие препараты: цитрата магния (C6H6O7Mg) и аскорбата натрия (C6H7O6Na).

Расчет велся исходя из суточных норм потребления этих веществ, 500мг для магния и 90мг для аскорбиновой кислоты, и с учетом обеспечения более 15% от суточной потребности. Вычисленные результаты были округлены для удобства использования, данные представлены в таб. 3.

Таблица 3

Определение дозы препаратов

Содержание Mg^{2+} в $C_6H_6O_7Mg$		Удовлетворение суточной потребности	Содержание $C_6H_7O_6^-$ в $C_6H_7O_6Na$		Удовлетворение суточной потребности
Mg^{2+}, мг	$C_6H_6O_7Mg$, г	%	$C_6H_7O_6^-$, мг	$C_6H_7O_6Na$, г	%
80,0	0,727	16,0	30,0	0,034	33,3
82,5	0,750	16,5	35,2	0,040	39,1

На основании данного исследования была выработана рецептура напитка. При производстве на предприятии технологический процесс будет включать в себя такие основные операции как: приемка сыворотки; подготовка сырья, включая промежуточное хранение и сепарирование от казеиновой пыли и молочного жира; после чего сыворотка подогревается до температуры 25-30°С. Сначала в небольшом объеме сыворотки растворяют сироп топинамбура и препараты, затем добавляются соки по рецептуре и остальная сыворотка. Процесс составления смеси осуществляется при включенной мешалке со скоростью 28 об/мин. Затем смесь пастеризуют при температуре (72±2) °С с выдержкой 20с. После чего напиток охлаждают, разливают в бутылки, упаковывают, маркируют и хранят в холодильной камере до реализации при температуре (4±2) °С.

В готовом напитке расчетным методом был определено содержание витаминов и минеральных веществ, значения занесены с таб. 4.

Разработка данного напитка расширит ассортимент напитков на основе сыворотки, может являться одним из вариантов решения проблемы переработки и рационального использования сыворотки, так как ее содержание в напитке составляет 51%. Благодаря химическому составу подобранных компонентов и обогащению препаратами цитрата магния и аскорбата натрия напиток служит источником витаминов С, B_2, B_5; β-каротина и минеральных веществ: Mg, K, Ca, P; следовательно, может употребляться для профилактики дефицита витамина С; β-каротина и магния.

Таблица 4

Теоретическое содержание в напитке витаминов и минеральных веществ, мг%; удовлетворение суточной потребности, %

Показатель	мг%	%
Витамины		
Тиамин (B_1)	0,021	1,43
Рибофлавин (B_2)	0,075	4,15
Пиридоксин (B_6)	0,042	2,10
Цианкобаламин (B_{12}), мкг	0,100	3,41
Аскорбиновая кислота (С)	19,764	21,96
Токоферол (Е)	0,262	1,76
β-каротин	1,828	36,56
Витамин К	0,004	2,98
Холин (B_4)	10,422	2,08
Пантотеновая кислота (B_5)	0,586	11,72
Минеральные вещества		
Кальций	60,137	6,01
Фосфор	50,970	6,37
Магний	89,205	22,30
Натрий	37,098	2,85
Калий	162,902	6,51
Железо	0,142	1,02
Марганец	0,042	2,10

Литература

1. Крусь Г.Н. Технология молока и молочных продуктов / Крусь Г.Н., Храмцов А.Г., Волокитина З.В., Карпычев С.В.; Под. Ред. Шалыгиной А.М. М.: КолосС, 2005. 445с.: ил. (Учебники и учеб. Пособия для студентов вузов).
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 14.06.2013 №31 «О мерах по профилактике заболеваний, обусловленных дефицитом микронутриентов, развитию производства пищевых продуктов функционального и специализированного назначения». (Зарегистрировано в Минюсте РФ 09.09.2013 N 29913) // «Российская газета», №6103, 14.06.2013.
3. Информация о химическом составе и биологической ценности продуктов питания [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nutritiondata.self.com, свободный (Дата обращения: 17.03.2019 г.)

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Байкова Екатерина Юрьевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студентка группы №R3496,
направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: katebay3@gmail.com
Уздин Валерий Моисеевич
Год рождения: 1957
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.ф.-м.н., профессор,
e-mail: v_uzdin@mail.ru

УДК 537.638.215, 538.975

МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР

Е.Ю. Байкова

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор **В.М. Уздин**

Университет ИТМО

Аннотация
Понимание физических свойств магнитного скирмиона важно для фундаментальных исследований с целью разработки новых парадигм спинтронных устройств. В этой статье показана и использована универсальная модель, основанная на микромагнитном формализме, которая может быть использована для изучения устойчивости скирмионов в зависимости от магнитного поля и температуры. Выполнено моделирование динамики радиуса скирмионов при комнатной и нулевой температурах. Воспроизведены результаты существующих исследований зависимости радиуса скирмиона от температуры. Продемонстрирована возможность стабилизации скирмиона на ультратонкой магнитной точке при определенных значениях параметров. Выявлена зависимость основного и метастабильных скирмионных состояний от температуры. Получена оценка радиуса для заданных параметров.
Ключевые слова
Скирмион, взаимодействие Дзялошинского-Мория, ультратонкая магнитная точка, основное и метастабильное скирмионное состояние, оценка радиуса при комнатной и нулевой температурах

Введение

Нелинейные локализованные возбуждения представляют большой интерес для фундаментальной науки и приложений. Такие возбуждения, в том числе структурно устойчивые уединённые волны, распространяющиеся в нелинейной среде, играют важную роль при описании многих эффектов в оптике, квантовой теории поля, теории конденсированного состояния и в других областях. Иногда с солитонами можно связать целые числа (топологические заряды), которые сохраняются в процессе непрерывного динамического изменения системы. В этом случае говорят о

топологической устойчивости структур. С точки зрения теории конденсированного состояния вещества магнитные скирмионы представляют собой спиновые текстуры от нанометрового до микронного размера с нетривиальной топологией, которая стабилизирует их устойчивость к внешним возмущениям и тепловым флуктуациям. На рис. 1 показана магнитная структура скирмиона; стрелки изображают магнитные моменты. Топологическая устойчивость означает, что в непрерывной модели существует целое число – топологический заряд системы – которое сохраняется при непрерывном изменении спинов. Топологическое заряд может быть записан в виде $q_{sk} = 1/4\pi \iint d^2 r m \cdot \left(\partial_x m \times \partial_y m\right)$ и подсчитывает, сколько раз единичный вектор $m(r)$ в направлении намагничивания описывает единичную сферу. Для изолированного скирмиона $q_{sk} = \pm 1$. Скирмионы и другие топологические спиновые текстуры являются кандидатами для применения их в устройствах магнитной компьютерной памяти нового поколения, благодаря малым размерам и возможности их бы перемещения под действием спин-поляризованного тока. Поэтому очень важно исследовать возможность использования скирмионов в качестве таких элементов памяти, которые для этого должны существовать при комнатной температуре, в малых магнитных полях и иметь небольшие размеры для увеличения плотности записи.

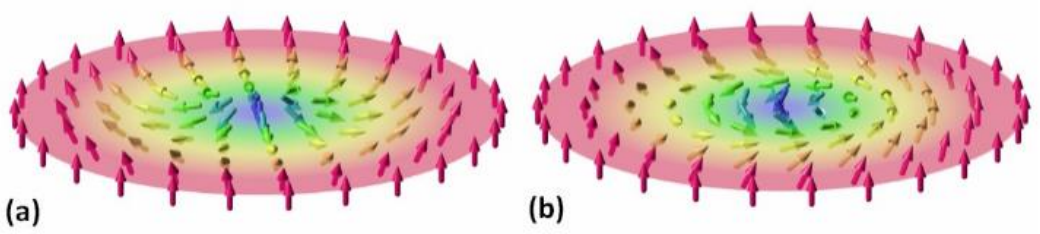


Рис. 1. Изолированный скирмион (a) – Неелевского типа (разворот намагниченности происходит вдоль радиального направления), (b) – Блоховского типа (разворот намагниченности осуществляется в плоскости, перпендикулярной радиальному направлению)

Цели

Выполнение микромагнитного моделирования скирмиона в цифровом пакете OOMMF в системах с взаимодействием Дзялошинского-Мория и с использованием уравнения Ландау-Лифшица со стохатическим членом для разных начальных параметров, чтобы исследовать его свойства при разных температурах и выявить зависимость изменения радиуса и условия стабилизации системы. Проверка существующего метода, основанного на микромагнитном формализме, и применение его для построения оценок для точных параметров системы со скирмионом и взаимодействием Дзялошинского-Мория. Продемонстрировать возможность стабилизации скирмиона на ультратонкой магнитной точке при определенных точных параметрах. Выявить зависимость стабильных и метастабильных скирмионных состояний и продемонстрировать на графиках. Выявить коэффициент качества скирмиона.

Микромагнитные взаимодействия и моделирование основного состояния

Моделирование в данной работе будет выполняться в микромагнитном цифровом пакете OOMMF (Object Oriented Micromagnetic Framework). При абсолютном нуле температуры физическая система находится в состоянии, соответствующем минимуму энергии. Для магнитных систем, характеризуемых плотностью намагниченности m, будет использоваться следующая формула [1] для

плотности энергии, в которой представлены вклады различных взаимодействий в полную энергию исследуемой системы:

$$w(m) = A(\nabla m)^2 + K_u m_z^2 + Dm \cdot (\nabla \times m) - \mu_0 M_s m \cdot H + w_d\,,$$

Здесь $A(\nabla m)^2$ – обменное взаимодействие, которое минимально при параллельном упорядочении спинов и однородной намагниченности в образце [2]; A – обменная константа. Если при микромагнитном моделировании весь образец разбивается на ячейки в форме параллелепипедов, то вклад плотности обменной энергии от ячейки i определяется как

$$E_i = \sum_{j \in N_i} A_{ij} \frac{m_i \cdot (m_i - m_j)}{\Delta_{ij}^2},$$

где N_i – множество, состоящее из 6 ячеек, ближайших к ячейке i, A_{ij} – параметр обменного взаимодействия между ячейками i и j в Дж/м, а Δ_{ij} – размер шага дискретизации, который дает расстояние между ячейками i и j (в метрах).
$K_u m_z^2$ – одноосная магнито-кристаллическая анизотропия. Она задается константой кристаллической анизотропии K_u (в Дж/м^3) и направлением оси анизотропии z. Энергия, анизотропии в общем случае может содержать и члены четвертого порядка $E_{anis} = -K_1(u \cdot m)^2 - K_2(u \cdot m)^4$, где m – единичный вектор вдоль намагниченности, u – вектор вдоль легкой оси, а K_1 / K_2- постоянные второго/четвертого порядка анизотропии.
$Dm \cdot (\nabla \times m)$ в выражении для плотности энергии представляет собой взаимодействие Дзялошинского-Мория (DMI), обусловленное спин-орбитальным взаимодействием, вызывающим нарушение инверсионной симметрии. Здесь D – непрерывный параметр DMI. В решеточной модели энергия DMI выражается как [3]:

$$E_{DM} = \sum_{\langle i,j \rangle} d\left(\vec{u}_{ij} \times \vec{z}\right) \cdot \left(\vec{S}_i \times \vec{S}_j\right)$$

где d задает величину DMI (порядка 1 мэВ), u_{ij} – единичный вектор между атомами i и j и z - нормаль к границе раздела, ориентированная от немагнитного к магнитному слою. В континуальной модели DMI выражается как:

$$E_{DM} = t \int D \left[\left(m_x \cdot \frac{\partial m_z}{\partial x} - m_z \cdot \frac{\partial m_x}{\partial x} \right) + \left(m_y \frac{\partial m_z}{\partial y} - m_z \frac{\partial m_y}{\partial y} \right) \right] d^2\vec{r}$$

D - непрерывный параметр DMI (порядка 1 мДж/м2 на одну связь), t толщина образца. Связь между D и d – это d/at для интерфейса (001) и $d\sqrt{3}/at$ для интерфейса (111) (с атомным расстоянием).
$-\mu_0 M_s m \cdot H$ – представляет собой энергию взаимодействия с магнитным полем [4]. Здесь μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, H – внешнее поле, M_s – намагниченность насыщения. Интеграл берется по всему объему образца.
Наконец, последний член в выражении для энергии w_d представляет собой дипольное взаимодействие [5]. Это средняя плотность плотности энергии размагничивания магнитостатических полей. В непрерывной модели энергия размагничивания рассчитывается по формуле:

$$E_{demag} = \frac{\mu_0}{8\pi} M(r) \left[\int_V \nabla \cdot M(r') \frac{r - r'}{|r - r'|^3} d^3 r' - \int_S \hat{n} \cdot M(r') \frac{r - r'}{|r - r'|^3} d^2 r' \right]$$

Минимизация энергии дает основное состояние при абсолютном нуле температуры. Нас будет интересовать зависимость размеров скирмиона от температуры. Эту зависимость можно исследовать с помощью стохастических уравнений динамики для магнитных моментов, составляющих систему. Для этого будем использовать Уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта со стохастическим полем, зависящем от температуры.

Динамика магнитных моментов задается уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта, имеющим вид

$$\frac{\partial m}{\partial t} = \gamma^* m \times H_{eff} + \alpha m \times \frac{\partial m}{\partial t}$$

В этом выражении γ^*– гиромагнитное отношение, α – константа затухания Гилберта, H_{eff} – эффективное поле, действующее на магнитный момент. Чтобы посчитать эффективное поле нужно взять вариационную производную от плотности энергии, рассмотренной в предыдущем разделе.

$$H_{eff}(m) = -\frac{1}{\mu_0 M_s} \frac{\delta \omega(m)}{\delta m}$$

Кроме того, при моделировании температурной зависимости магнитных свойств при численном моделировании к эффективному полю добавляется случайное поле, величина которого зависит температурой и коэффициентом.

Процесс моделирования

Расчеты в статье [6] недавнего исследования Р. Томаселло и др. показывают, что существуют два состояния скирмиона: при высокой температуре ($T > 300\ K$) и низком поле ($H_{ext} = 10$ мТ) или при высокой температуре и высоком поле ($H_{ext} > 10$ мТ), скирмион слабо подвержен тепловым колебаниям. При расчете диаметра скирмиона как функции внешнего поля для $T = 300\ K$ происходит сильное нелинейное расширение диаметра и большая дисперсия по мере уменьшения внешнего поля. Мы посчитали зависимость радиуса скирмиона от температуры (0K – 300K) с нулевым полем, потому что при таких параметрах наблюдаются наиболее сильные изменения согласно этой статье.

Для проверки теории рассмотрим круглую ультратонкую точку (например, Co) диаметром $2R_d = 400$ нм и толщиной 0,8 нм, которая соприкасается с тонким слоем тяжелого металла (например, Pt), что дает заметное межфазное DMI. Выполнено системно-температурное микромагнитное моделирование в программе OOMMF для расчета размера скирмиона как функции внеплоскостного внешнего поля H_{ext} = 0 и температуры (от 0 до 300 К) с интеграцией уравнения Ландау-Лифшица. Мы использовали следующие параметры материала: M_s = 600 кА/м; $A = 20$ пДж/м; D = 3,0 мДж/м^2; K_u = 0,60 МДж/м^3; $\alpha_G = 0{,}1$. Температура вызывает рассеяние скирмиона и приводит к колебаниям диаметра и деформациям формы скирмиона, теряя круговую симметрию.

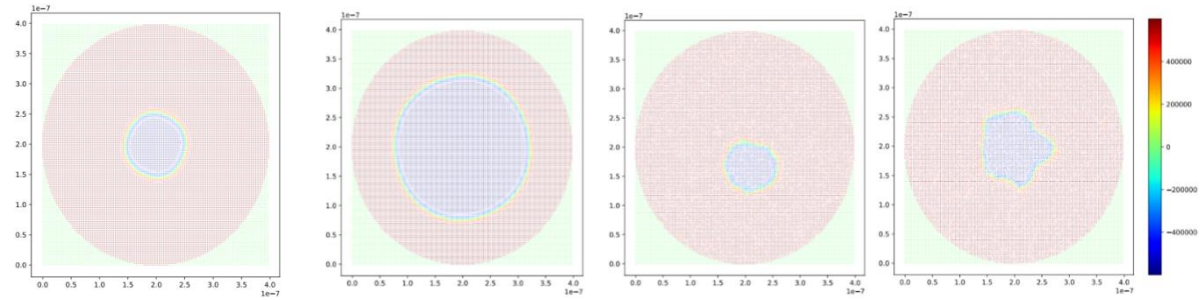


Рис. 2. (a) 10 K; (b) 250 K; (c) 400 K, дипольное взаимодействие отсутствует; метастабильное состояние; (d) 400 K, дипольное взаимодействие отсутствует; стабильное состояние

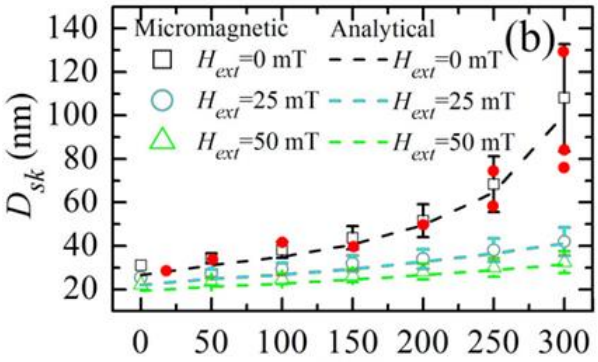


Рис. 3. График зависимости диаметра скирмиона от температуры из статьи Томаселло. Красными точками обозначены результаты, полученные нашим моделированием

Результаты представляют собой случайную величину, поскольку используется стохастическое уравнение Ландау-Лифшица. Радиус, полученный нами при разных полях, показан на тех же графиках из работы рис. 2, 3. Здесь можно видеть, что результаты совпадают с результатами статьи Томаселло и др. и попадают в отрезки погрешности.

Более подробно мы представляем теоретический подход к устойчивости скирмионов на основе минимизации магнитных энергий с помощью скирмионного анзаца в ограниченной геометрии. Мы показываем, что тепловое изменение размеров скирмиона на ультратонкой точке лучше всего выражается в $Q - d$ фазовом пространстве скирмиона с коэффициентом качества: $Q = 2K_u \,/\, \mu_0 M_s^2$, где сниженная сила DMI $d = |D| l_{ex} \,/\, A$, где $l_{ex} = \sqrt{2A \,/\, \mu_0 M_s^2}$ – длина обмена. Характер зависимости стабильности скирмиона выражается как масштабирование отношений как Q, так и D с изменением приведенной намагниченности $m(T) = M_s(T) \,/\, M_s(0)$. Мы находим равновесие скирмиона, который быстро увеличивается с температурой только тогда, когда приближаемся к критической линии $d_c(Q) = (4 \,/\, \pi)\sqrt{Q - 1}$. Размер становится сравнимым с радиусом точки при $d(T) > d_c(T)$. Метастабильные скирмионы имеют малый радиус ($R_{sk} << R_d$), в то время как стабильные (основное состояние) имеют большой радиус. Внеплоскостное внешнее магнитное поле может быть использовано для метастабильных скирмионов ближе к критической линии или дальше от нее $d_c(Q)$, где метастабильный скирмион становится основным состоянием скирмиона. Эти свойства иллюстрированы на рис. 4, 5.

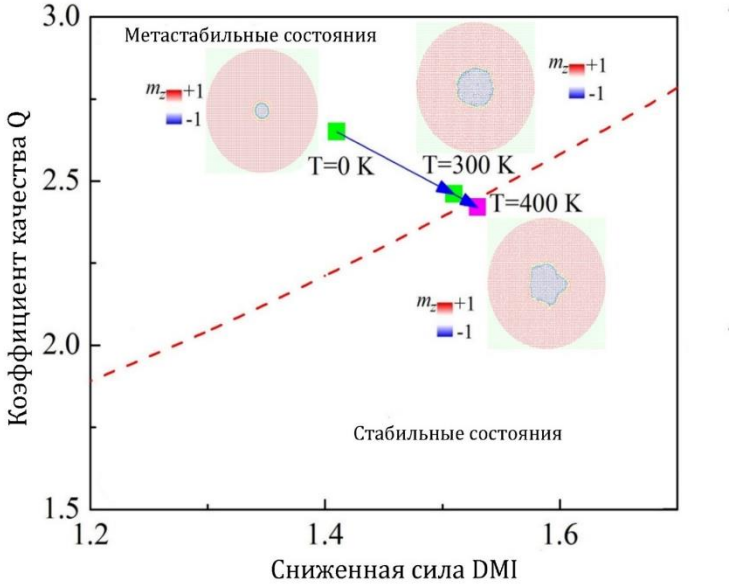


Рис. 4. Диаграмма устойчивости Q-d скирмиона для H_{ext} = 0 мТл. Зеленые квадраты обозначают метастабильные состояния скирмиона при T = 0 K и T = 300 K, пурпурный квадрат показывает стабильное состояние скирмиона при T = 400 K, полученное с помощью параметров статьи. Пунктирная красная линия представляет собой критический параметр DMI D_c. Синие стрелки показывают, как развивается состояние в зависимости от температуры. Также пример пространственного распределения намагниченности при T = 0, 300 и 400 K.

Существуют две качественно разные характеристики изменения радиуса скирмиона $R_{sk}(T)$ с изменением температуры на H_{ext} = 0 мТл в соответствии с параметрами Q и d:

1. Радиус скирмиона $R_{sk}(T)$ является практически постоянной функцией температуры, когда конфигурация скирмиона остается в метастабильной области.
2. Радиус скирмиона $R_{sk}(T)$ резко возрастает с температурой при приближении к области стабилизации основного состояния скирмиона.

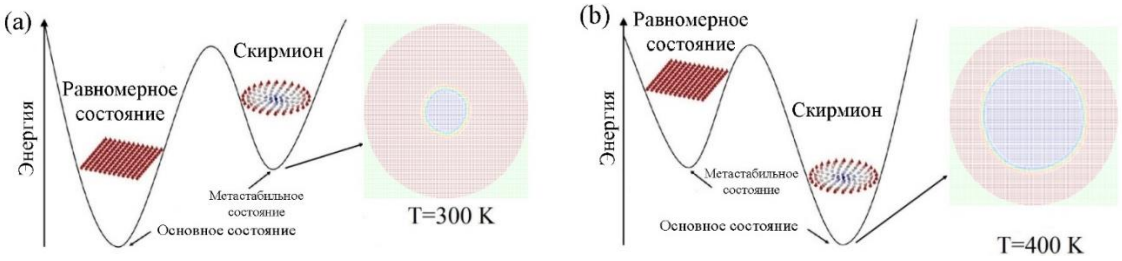


Рис. 5. Схема энергетического профиля точки со скирмионом соответствует (a) метастабильному состоянию и (b) когда оно занимает абсолютный энергетический минимум (основное состояние). Также проиллюстрирована намагниченность

Оценка радиуса скирмиона, полученного аналитическими оценками

Мы используем универсальный метод, основанный на микромагнитном формализме, из предыдущего пункта, чтобы получить оценку радиуса для скирмиона, который был получен аналитическими оценками в статье [7]. Были рассмотрены ультратонкие, круглые ферромагнитные точки со следующими параметрами: A = 1.028*10^-11 Дж/м, D = 3.4*10^-4 Дж/м^2, Ku = 1.41065*10^6 Дж/м^3, Ms = 1.472*10^6 Дж/Т/м^3, B = 1.5*10^-4 T, d = 0.5*10^-9 м, где d - толщина образца. Проводилась

оценка радиуса скирмиона при T = 0 K и T = 300 K. Так как мы не располагаем большими вычислительными силами и не можем вычислить точно, как изменяется радиус при разных температурах (для этого нужно запускать сотни симуляций) мы увеличили размер диаметра точки до 4000 нм и увеличили размер ячейки (единичного элемента системы) до [10e-9 10e-9 5e-10], чтобы построить оценку радиуса. Получились следующие результаты (рис. 6):

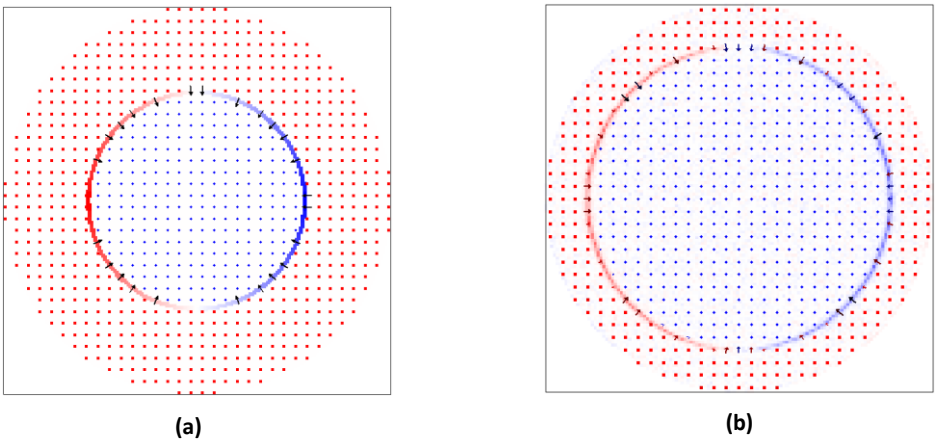


Рис. 6. (a) при T = 0 радиус сходится к 1025 – 1125 нм; (b) при T = 300 K радиус значительно растет и сходится к 1272 – 1430 нм

Заключение

С помощью программы микромагнитного моделирования, учитывающей дипольное взаимодействие, в системе с взаимодействием Дзялошинского-Мория, показано, что радиус скирмиона при низких температурах находится в хорошем соответствии с аналитическими оценками работы [7] и сходится при нулевой температуре к промежутку 1025 – 1125 нм и при комнатной к 1272 – 1430 нм. При моделировании скирмиона в круглом двумерном образце показано, что существует два состояния: метастабильное при небольшом начальном радиусе и стабильное при высокой температуре и при начальном радиусе, достаточном для того, чтобы скирмион занял стабильное состояние. Показано, что тепловые флуктуации, которые моделируются введением стохастического члена в уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта могут привести к существенному увеличению радиуса скирмиона, особенно в случае малых полей. Этот вывод согласуется с данными работы [6] и был подтверждён микромагнитным моделированием в системе с взаимодействием Дзялошинского-Мория, включенным дипольным взаимодействием при различных температурах в промежутке от 0 до 300 K.

Литература

1. Heisenberg W (1928). Zur theorie des ferromagnetismus. Zeitschrift fur Physik. 49:619– 636.
2. Blundell S (2001). Magnetism in Condensed Matter. Oxford: Oxford University Press.
3. Rohart S. and Thiaville A. Phys. Rev. B 88, 184422 (2013).
4. Barozzi F., Gasparini F. Fondamenti di Elettrotecnica: Elettromagnetismo, UTET Torino, 1989.
5. Newell A.J., Williams W., and Dunlop D.J., “A generalization of the demagnetizing tensor for nonuniform magnetization,” J. Geophysical Research. Solid Earth, 98, 9551– 9555 (1993).

6. Origin of temperature and field dependence of magnetic skyrmion size in ultrathin nanodots. R. Tomasello, 2018.
7. Theory of isolated magnetic skyrmions: From fundamentals to room temperature applications Felix Büttner, Ivan Lemesh & Geofrey S.D. Beach (2018).

Благородная Елизавета Владимировна
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Х3528,
направление подготовки: 19.03.03 – Технология молока и молочных продуктов,
e-mail: varyavarya11@yandex.ru
Яковченко Наталья Владимировна
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н.,
e-mail: frack@mail.ru; nviakovchenko@itmo.ru

УДК 637.146.34

РАЗРАБОТКА ДЕСЕРТА ИЗ ПАХТЫ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Е.В. Благородная

Научный руководитель – к.т.н. **Н.В. Яковченко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИР «Разработка десерта из пахты функциональной направленности».

Аннотация
По данным всемирной организации здравоохранения, в 21 веке одна из важнейших проблем это ожирение. В России за последние годы частота диагностирования ожирения увеличилась на 45,4%. Причиной избыточного веса является нездоровое питание, связанное с недостатком полноценного белка, витаминов, минералов, пищевых волокон, а также избытком углеводов и животных жиров.
В течение многих лет пахта считалась ненужным побочным продуктом молочно-жировой промышленности. Сейчас пахта в основном перерабатывается в сухую пахту, которая имеет неограниченные функциональные свойства. Пахту можно добавлять в готовые сухие смеси, хлебобулочные изделия или различные молочные продукты. Целью исследования является разработка рецептуры и технологии десерта из пахты функциональной направленности. Результаты сравнительной оценки влияния выбранных компонентов на физико–химические, структурно-механические и органолептические свойства показали, что есть возможность разработать новый продукт с чёрной смородиной и сиропом агавы. Сироп агавы обладает низким гликемическим индексом, чёрная смородина - богатый источник биологических веществ.
Ключевые слова
Профилактика ожирения, чёрная смородина, сироп агавы, полезный десерт.

В настоящие время одна из недавно появившихся тенденций – изготовление сладких десертов на основе вторичного молочного сырья, которые удовлетворяют

спрос потребителей в сладком. Они содержат малое количество жира, и обладают малой энергетической ценностью. Такие продукты популярны среди потребителей, которые следят за своим питанием. Новый десерт содержит пахту, чёрную смородину и сироп агавы. Поскольку пахта богата белками, она является выбором многих людей, которые следят за своей фигурой. Пахта обеспечивает человека витаминами, минералами, белками и т.д. не добавляя лишних калорий. Белок является основой для крепких костей, мышц и здоровой кожи. [1] Диетологи придают большое значение пахте, поскольку она является частью сбалансированной диеты, облегчающе пищеварение. Превосходные эмульгирующие свойства пахты и положительное влияние ее компонентов на здоровье человека делают его одной из наиболее подходящих пищевых матриц для функциональных продуктов. За счёт пахты возможно увеличение сухого вещества в йогурте примерно до 14-16 г/100г. Традиционно обогащение йогурта сухими веществами достигается путём упаривания смеси на одну треть от начальной массы. Или путём добавления сухого обезжиренного молока. Замена сухого молока пахтой до 50% в производство обезжиренного йогурта была признана приемлемой и позволяет получить продукт аналогичный традиционному. При добавлении сухой пахты в йогурты до 4,8% получали мягкий и гладкий сгусток [2, 3]. Было установлено, что пахта снижает степень синерезиса. Не смотря на различные варианты применения сухой пахты её потенциал, оценён не полностью.

Чёрная смородина – это богатый источник биологически активных веществ: витамина С, флавоноидов и полифенолов, антоцианов, процианидинов, флавонолов и фенольных кислот. Эти биологически активные вещества проявляют противовоспалительную, антиоксидантную, антиканцерогенную, капиляроукрепляющую, противовоспалительную активность [4]. Черная смородина богата кверцетином и кемферолом. Кверцетин и мирецетин обладают нейрозащитной активностью. В чёрной смородине обнаружили изорамнетин, который представляет интерес из-за нейрозащитного действия. Изорамнетин и изокверцетин снижают артериальное давление и улучшают кровоток, предупреждая развитие слабоумия сосудистого типа.

Сироп агавы является натуральным сладким веществом, получаемым исключительно гидролизом Agave tequilana Webervar Azul или Agave salmiana spp. [5] Сироп должен содержит растворимые сухие вещества в количестве более 74 ° по шкале Брикса и pH от 4,0 до 6,0. Распределение сахара отличается в зависимости от источника агавы. При производстве из A. tequilana распределение сахаридов должнобыть: > 80% фруктозы, <15% глюкозы и <4% сахарозы, тогда как при производстве из A. salmiana> 70% фруктозы,<25% глюкозы и <2% сахарозы [5] Фруктоза в 1,5 раза слаще сахарозы, и рассматривается в категории как безопасная. (GRAS) Агава содержит компоненты, обладающие противораковыми, антиоксидантными, антидиабетическими, противовоспалительными, противопаразитарными, антимикробными и пребиотическими свойствами.

На начальном этапе исследования был произведен подбор заквасочной микрофлоры. Для выбора заквасочной культуры готовили образцы на восстановленной пахте. Восстановление проводили до содержания сухих веществ 15%. В ходе эксперимента на основании органолептической оценки были отбраны заквасочные культуры состава образец №1 - Lb. Acidophilus и образец №4 - Streptococcus thermophilus Y08, Lactobacillus delbruckii subsp.bulgaricusLDB01.

Однако Образец под номером 1 имел приятный кисломолочный вкус и аромат, обладал тягучей консистенцией, слабым привкусом и запахом пахты, происходило отделение сыворотки, не был достаточно плотным. Образец под номером 4 имел плотный сгусток, но не обладал выраженным кисломолочным вкусом и ароматом,

отделение сыворотки не происходило. Было принято решение скомбинировать заквасочные культуры в соотношении 1:1.

При определении дозы внесения пюре чёрной смородины были приготовлены образцы с содержанием смородины от 3% до 9% с шагом 2%. Было исследовано влияние пюре чёрной смородины на кислотонаростание в процессе сквашивания (рис. 1, 2).

Рис. 1 Влияние пюре ягод чёрной смородины на активную кислотность

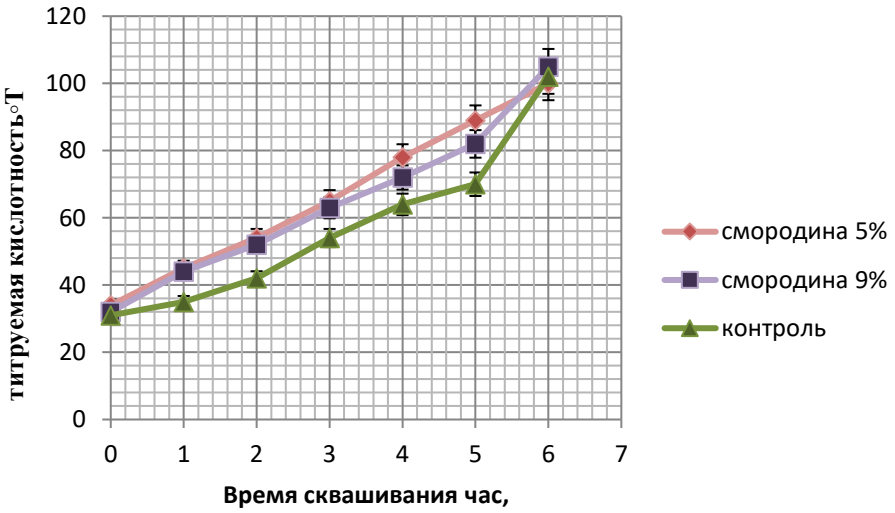


Рис. 2. Влияние пюре ягод чёрной смородины на титруемую кислотность

Качество полученных сгустков оценивали по следующим показателям: консистенция, вкус и запах, внешний вид, используя 7 бальную шкалу. В качестве дескрипторов были выбраны показатели, которые позволили бы подобрать подходящие концентрации чёрной смородины для производства десерта, а именно, цвет, интенсивность вкуса и аромата чёрной смородины, кисломолочный вкус, качество сгустка. Для контроля был приготовлен образец на восстановленной пахте без пюре чёрной смородины.

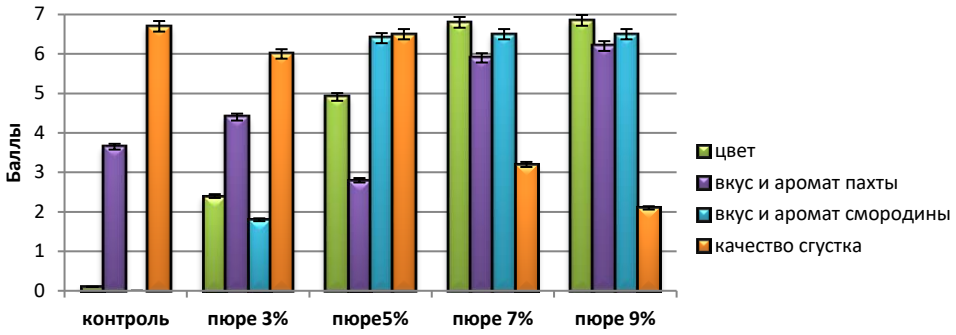


Рис. 3. Органолептическая оценка образцов

Из данных на рис. 3 видно, что к контролю приближен образец сгустка с концентрацией ягодного пюре 5%. Увеличение количества пюре приводит к усилению привкуса пахты, ухудшению консистенции получаемого сгустка, снижению его плотности, а в дальнейшем к отделению сыворотки. При понижении концентрации чёрной смородины сгустки приобретали интенсивный привкус пахты, и недостаточный вкус, и аромат смородины. После анализа данных, полученных в ходе исследований и органолептической оценки образцов, был определен наиболее приемлемый образец – с концентрацией черной смородины 5%.

Для подбора концентрации сиропа агавы был использован метод JUST ABOUT RIGHT. В данном методе от респондентов требовалось дать однозначную оценку достаточно ли сладкие образцы. Были приготовлены образцы с содержанием сиропа 0,25; 0,5; 0,75; и 1% от массы смеси. Данные отображены на рис. 4. По результатам анализа полученных данных был выбран образец с концентрацией сиропа 1%.

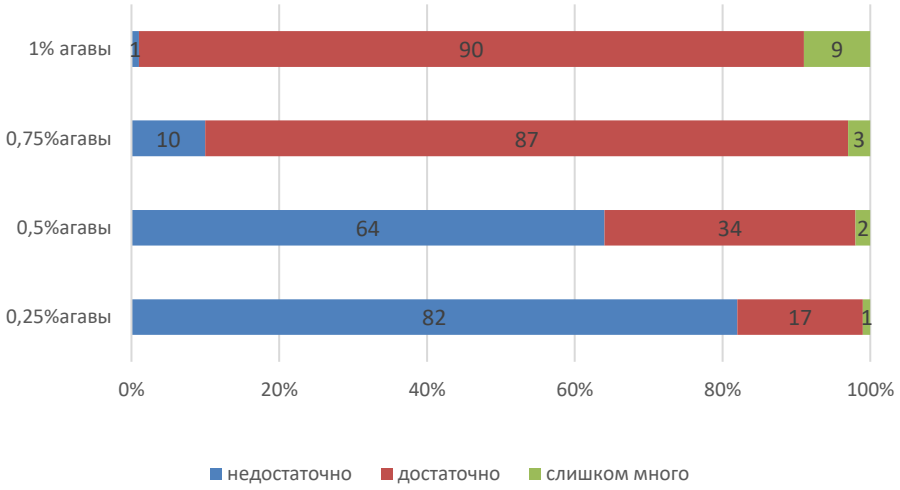


Рис. 4 Процентное распределение респондентов

В ходе исследования были подобраны дозы апельсинового волокна CITRI – FI 100 FG. Был произведён анализ текстурных показателей по методу обратной экструзии. Результаты оценки свойств десерта представлены в таблице.

Таблица

Результаты сравнительного анализа текстуры контрольного и опытного образцов десерта

Образец	Твердость (г)	Консистенция, г*сек	Когезивность, г	Индекс вязкости, г*сек
Контрольный образец	444,8±8,7	11369,9±431,2	-182,8±11,3	-338,6±14,8
Опытный образец	362,9±10,2	9269,5±211,6	-267,8±10,4	-496,5±15,1

Анализ текстурных показателей продемонстрировал значительные различия между опытным и контрольным образцом. Из полученных данных можно сделать вывод, что опытный образец более мягкий по сравнению с контрольным, так как среднее значения показателя твердости ниже. При этом, когезивность опытного образца выше, чем когезивность контрольного, а следовательно, выше его вязкостной индекс, соответственно он более устойчив к выдавливанию через отверстие.

Основываясь на анализе научных публикаций России и зарубежья, можно сделать вывод, что именно использование пахты позволит создать функциональный продукт уникальный по своим вкусовым качествам. Определены концентрации, а также стадии внесения компонентов. Показано влияние доз вносимых компонентов на титруемую и активную кислотность. Выявлено, что вносимые компоненты позволяют получить обогащенный десерт с улучшенными показателями качества. Разработана рецептура и обоснованы технологические параметры производства функционального десерта из пахты.

Литература

1. AOAC (2000) Official Methods of Analysis International. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington. DC. law. resource. org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf.
2. Vargas M, Chafer M, Albors A, Chiralt A, Gonzalez-Martinez C (2008) Physico chemical and sensory characteristic sof yoghurt produced from mixtures of cow' sandgoat' smilk. Int Dairy J. 18: 1146-1152.
3. Guinee TP, Mullins CG, Reville WJ, Cotter MP (1995) Physical properties of stirred-curd un sweetened yoghurts stabilized with different dairy ingredients. Milchwissenschaft 50: 196-200.
4. Стрельцина С.А. Питательные и биологически активные вещества ягод и листьев смородины черной (RibesNigrum L.) в условиях СевероЗапада России / С.А. Стрельцина, О.А. Тихонова // Аграрная Россия. 2010. №1. С. 1-16.
5. Diario Oficialdela Federación Mexicana, Norma Mexicana. NMX-FF-110-SCFI-2008. Producto salimenticios. Jarabedeagave. Especificaciones y métodos deprueba. 2008.

Бутонова София Алексеевна
Год рождения: 1998 год
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3430,
направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: sofiia.butonova@gmail.com
Надточий Людмила Анатольевна
Год рождения: 1972 год
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: l.tochka@mail.ru

УДК 664.00

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БАТОНЧИКА МЮСЛИ ДЛЯ ШИРОКОЙ ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ

С.А. Бутонова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Л.А. Надточий**

Унитверситет ИТМО

Аннотация
В данной работе представлено исследование разработки состава функционального батончика мюсли для широкой целевой аудитории. Произведена оценка рынка батончиков мюсли в РФ с учетом среднесрочной перспективы развития до 2021 года. Разработан опросный лист и осуществлен опрос 100 респондентов с целью выяснения предпочтений потребителя. Доказана функциональность разработанного продукта с учетом повышенного содержания пищевых волокон, что обеспечивает около 33% суточной потребности в данном компоненте за счет употребления порции продукта массой 40 г.
Ключевые слова
Батончик-мюсли, пищевые волокна, широкая целевая аудитория, функциональные продукты питания, разработка рецептур, оценка рынка, энергетическая ценность, биологическая ценность, требования к готовому продукту.

Для реализации цели исследования были сформулированы следующие задачи: оценка рынка и анализ предпочтений широкой целевой аудитории при выборе батончиков-мюсли; подбор сырьевых ингредиентов в составе многокомпонентного продукта; разработка рецептуры батончиков-мюсли с повышенным содержанием пищевых волокон и отработка технологии их производства; оценка химического состава и пищевой ценности разработанного продукта; оценка функциональности готового продукта из расчета употребления его порции в 40 г; определение требований к готовому продукту на конец срока годности.

На первом этапе выполнения исследования была произведена оценка рынка батончиков мюсли в РФ с учетом среднесрочной перспективы развития до 2021 года.

Объем потребления батончиков мюсли в 2016 году составил 35 351 тонну, что на 8% больше, чем в 2015 году. В 2017 году рост потребления составил 17%.

На рынке батончиков мюсли преобладает продукция отечественного производства: в 2017 году на нее пришлось около 87,4%. Доля импортной продукции составила 12,6%. В среднесрочной перспективе до 2021 года на фоне продолжающегося роста потребления, прогнозируется постепенное увеличение как импортных поставок батончиков мюсли, так и объема локального производства.

По прогнозу к 2021 году ежегодный рост объемов составит около 105%. Кроме того, ожидается также увеличение доли экспорта к 2021 году, что обусловлено в основном растущим спросом на батончики-мюсли в России. Ожидаемый рост потребления батончиков-мюсли обуславливается формированием новых предпочтения населения в питании, рост популярности здорового образа жизни. А также формирование новых потребительских предпочтений способствует росту объема потребления как здоровых перекусов в общем, так и батончиков-мюсли, в частности [1].

С целью изучения предпочтений широкой целевой аудитории относительно снековой продукции была произведена оценка рынка батончиков мюсли в РФ с помощью социологического опроса с привлечением ста респондентов на интернет-платформе «Survio». Было выявлена целесообразность разработки батончика-мюсли с повышенным содержанием пищевых волокон на основе комбинированного состава батончика весом от 40-60 г.

Основные группы ингредиентов разрабатываемого продукта были подобраны на основании существующих рецептур и выбора большинства респондентов в сторону комбинированного состава батончика мюсли. Основным критерием при выборе конкретного ингредиента было содержание в нем пищевых волокон. Так, например, были выбраны кукурузные отруби, в которых содержится 64,3 г пищевых волокон на 100 г продукта. Кроме того, учитывались органолептические показатели готовых батончиков, а также их себестоимость, что является важным по мнению большинства опрошенных. Так, например, в результате органолептического анализа, было принято решение добавить сушеную клюкву, хотя она имеет невысокое содержание пищевых волокон из расчета на 100 г. И исключить из рецептуры кедровые орехи, которые имеют высокую себестоимость и низкое содержание пищевых волокон на 100 г продукта.

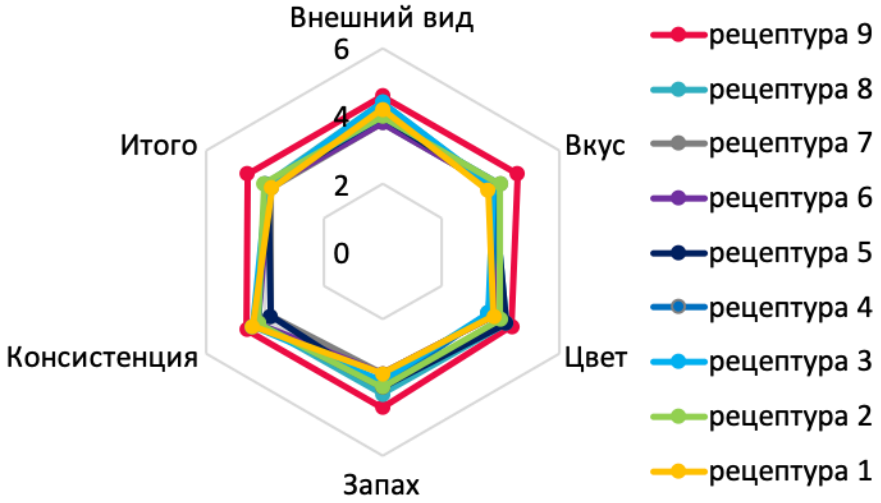


Рисунок 1. Общая оценка разработанных рецептур

На основании вышеизложенного, разрабатываемые рецептуры продукта должны отвечать требованиям по высокому содержанию пищевых волокон. Методом подбора натуральных ингредиентов, были разработаны рецептуры, содержащие повышенное количество пищевых волокон. Для производства батончиков мюсли были разработаны девять рецептур с компонентами, подобранными на основании социального опроса. В качестве связующих ингредиентов для вышеуказанных рецептур выбраны: сухофрукты, сироп топинамбура и вода. Кроме того, рецептуры содержали различные виды злаковых культур, орехов и семян.

Для выбора рецептуры разрабатываемого продукта была проведена органолептическая оценка опытных образцов батончика мюсли. На рис. 1 представлены суммарные оценки дегустаторов в виде профилограммы.

Коэффициенты весомости были распределены на основании результатов опроса. И равнялись 0,1 для внешнего вида, цвета, запаха консистенции и 0,6 для вкуса. Наивысшая оценка 4,58 балла была присвоена рецептуре 9, наименьшая – 3,76 была присвоена рецептуре 1. Таким образом, для дальнейших исследований и расчетов с последующей технологической разработкой использовался опытный образец номер 9.

В таб. 1 представлены компоненты выбранной рецептуры батончика мюсли из расчета на 100 г продукта, на порцию продукта и на массу продукта, вырабатываемую за смену на предприятии.

Таблица 1

Вариант выбранной рецептуры

Ингредиент	Массовая доля ингредиентов в рецептуре (без учета потерь),		
	г/100г продукта	г/порцию (40г) продукта	кг/3000 кг
Овсяные хлопья	20,0	8	600
Кукурузные отруби	10,0	4	300
Семена чиа	10,0	4	300
Семена подсолнечника	6,0	2,4	180
Клюква	4,0	1,6	120
Курага	20,0	8	600
Сироп топинамбура	10,0	4	300
Вода питьевая	20,0	8	600

Для оценки биологической ценности белковой составляющей продукта был произведен расчет биологической ценности продукта относительно ФАО ВОЗ 2007 г. методом аминокислотного скора, который выявил присутствие лимитирующей незаменимой аминокислоты: метионин + цистеин, скор которой равен 91,82% Биологическая ценность составила 47,74%. Таким образом, данная разработка требует дальнейшей оптимизации белкового компонента рецептуры.

В таб. 2 представлен расчет энергетической ценности рецептуры выбранной рецептуры. Энергетическая ценность разработанного продукта составила 195,05 ккал на порцию (40 г) продукта, что обеспечивает около 10% суточной потребности человека в энергии [2]. Определен химический состав продукта: белков 2,86 г, жиров 14,75 г и углеводов 13,39 г на порцию (40 г) продукта.

Таблица 2

Энергетическая ценность компонентов рецептуры

Показатель	Содержание г/100г	Содержание г/порция(40г)	Нормы потребления для женщин в возрасте от 18-29 лет I группы физической активности г/сут	Процентное восполнение суточной потребности для порции, %
Белки	7,15	2,86	61	4,69
Жиры	36,87	14,75	67	22,01
Углеводы	33,48	13,39	289	4,63
Пищевые волокна	16,54	6,62	20	33,10
Энергетическая ценность, ккал	487,64	195,05	2000	9,75

Благодаря многокомпонентному составу батончик-мюсли восполняет 33% от суточной потребности в пищевых волокнах [2]. Таким образом, данный продукт может рассматриваться в качестве перекуса и рекомендуется к употреблению до 2-3 порций в сутки.

Данный расчет подтверждает функциональность продукта с точки зрения эссенциального компонента пищи – пищевых волокон, входящих в состав функционального пищевого продукта в количестве не менее 15% [3].

В ходе выполнения работы были установлены показатели качества и безопасности разработанного продукта и срок годности не более 6 месяцев при условии хранения при температуре не выше 18 °С. Органолептические, физико-химические и микробиологические требования к готовому продукту представлены в таб. 3 [4–6].

Таблица 3. Требования к готовому продукту

Органолептические требования		Физико-химические требования	
Показатель	Характеристика	Показатель	Числовое значение
Вкус	Свойственный ингредиентам, входящим в состав продукта	Массовая доля влаги, % не более	12
Цвет и внешний вид	Светло-коричневый с мелкими вкраплениями орехов, семян чиа, кураги, клюквы	Кислотность, °Т не более	5,4
Консистенция	Вязко-пластичная	Температура, °С	18
Форма	Прямоугольная, ровная	Белки, % не менее	7
		Жиры, г % не менее	37
		Углеводы, % не менее	33
		Срок годности, месяцев	6
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	25	Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	25

продолжение таблицы

Органолептические требования		Физико-химические требования	
Микробиологические требования			
Показатель	Масса продукта (г), в которой не допускается	Показатель	Масса продукта (г), в которой не допускается
Показатели	Допустимые уровни	Показатели	Допустимые уровни
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	5×10^3	Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	5×10^3
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта, г ($см^3$)	1,0	Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта, г ($см^3$)	1,0

Литература

1. Российский продовольственный рынок: [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.foodmarket.spb.ru/current.php?article=2482/, своб.
2. МР 2.3.1.2432-08 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. 2.3.1. Рациональное питание Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Введен 18.12.2008. М.: Стандартинформ, 2009. 29 с.
3. ГОСТ Р 52349-2005 Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения (с Изменением N 1). Введен 01.07.2006. М.: Стандартинформ, 2006. 2 с.
4. ГОСТ 5900-2014 Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. Введен 01.07.2016. М.: Стандартинформ, 2014. – 2 с.
5. ГОСТ 5898-87. Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности (с Изменением N 1) веществ. Введен 01.01.1989. М.: Стандартинформ, 1989. 3 с.
6. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" или нормативных правовых актах, действующих на территории государства, принявшего стандарт. Введен 09.12.2011. М.: Стандартинформ. 2011. 3 с.

Ветошкина Ксения Сергеевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N3401,
направление подготовки: 10.03.01 Информационная безопасность,
e-mail: xomu-oksana@mail.ru
Комаров Игорь Иванович
Университет ИТМО,
мегафакультет компьютерных технологий и управления,
факультет безопасности информационных технологий,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail руководителя: i_krov@mail.ru

УДК 004.62

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРАВАМИ ДОСТУПА К МЕДИЦИНСКИМ ДАННЫМ ПРИ МЕЖОРГАНИЗАЦИОННОМ ОБМЕНЕ

К.С. Ветошкина

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент **И.И. Комаров**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрена медицинская информационная система и права доступа к медицинским данным, содержащимся в таких системах, с целью создания методики управления правами доступа к медицинским данным при межорганизационном обмене. Данная методика позволит повысить защищенность персональных данных пациента, передаваемых между медицинскими организациями.
Ключевые слова
управление правами доступа, медицинская информационная система, информационная безопасность, защита персональных данных, стандарт передачи данных FHIR.

В последнее время большим спросом пользуется перенос бумажного документооборота в электронный вид. Эта тенденция проявляется и в сфере медицины. Использование электронного медицинского документооборота значительно упрощает работу сотрудников медицинских организаций [1]. Кроме того, появляются новые возможности: использование интегрированной электронной медицинской карты пациента (взаимодействие медицинских организаций между собой при наблюдении и лечении одного и того же пациента) [2], а также связь медицинской информационной системы и лабораторной информационной системой (автоматизация процесса получения результатов необходимых анализов) [3].

В медицинской карте пациента содержатся его персональные данные, состояние здоровья, результаты исследований и прочее – все это является конфиденциальной информацией, доступ посторонних лиц к которой должен быть исключен. Именно поэтому введение новых информационных технологий должно сопровождаться

соответствующим развитием системы защиты информации от несанкционированного доступа. Но, к сожалению, не все разработчики медицинского программного обеспечения учитывают возможные риски при передаче и обработке медицинских данных [4]. Создание методики управления правами доступа к медицинской информации позволит структурированно выявлять и устранять угрозы безопасности конфиденциальной информации.

Эта методика учитывает требования нормативно-правовых и законодательных актов, регулирующих вопросы проектирования, разработки и эксплуатации медицинских информационных систем.

Объектом исследования настоящей выпускной квалификационной работы являются медицинские информационные системы.

Предметом исследования настоящей работы является межорганизационный обмен медицинскими данными, которые содержатся в медицинских информационных системах.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является повышение защищенности персональных данных пациента, передаваемых между медицинскими организациями.

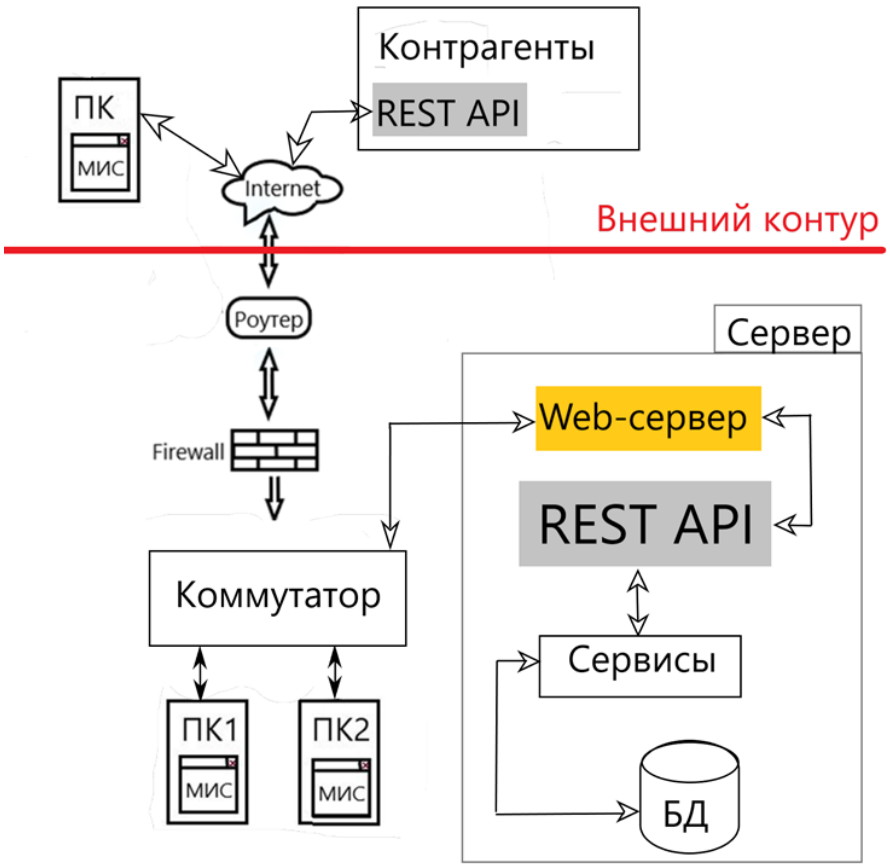


Рис. 1. Возможная конфигурация медицинской информационной системы

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- проанализировать структуру медицинской информационной системы, описать внутренние и внешние потоки медицинских данных;
- определить потенциальные каналы утечки медицинских данных и причины их возникновения;
- разработать рекомендации по устранению угроз и сформировать методику управления правами доступа, реализующую эти рекомендации.

Медицинская информационная система отличается от обычной информационной системы обработкой специальной конфиденциальной информации. К такой информации можно отнести:

- персональные данные, составляющие "личную тайну", а также врачебную тайну;
- технико-экономические данные (о взаиморасчетах между учреждениями здравоохранения), составляющие коммерческую тайну;
- данные о медико-демографической и эпидемиологической ситуации, составляющие служебную тайну.

При выполнении первой задачи были рассмотрены два вида межорганизационного обмена: передача данных через брокера и прямая интеграция между двумя организациями. В данный момент в качестве примера брокера можно привести облачный сервис N3.Health, разработанный компанией «Нетрика» совместно с Медицинским информационно-аналитическим центром. Данный сервис позволяет интегрировать работу медицинских организаций, лабораторий и страховых компаний. Для составления общей схемы потоков медицинских данных в организации был проведен анализ структуры медицинской информационной системы, создания медицинской информации, а также ее дальнейшие пути передачи. На рис. 1 представлена возможная конфигурация медицинской информационной системы при межорганизационном обмене: медицинская информационная система представлена в виде веб-приложения, прямая интеграция с контрагентом.

При выполнении второй задачи рассматривались все информационные потоки и определялись каналы передачи данных, для обнаружения потенциальные каналов утечки информации. Например, каналы утечки при использовании аутентификации OAuth. Для создания модели угроз и модели нарушителя использовался Банк данных угроз информационной безопасности Федеральной службы по техническому и экспортному контролю [5]. Также особое внимание было уделено международному протоколу передачи медицинских данных FHIR (наиболее популярному в России), т.к. он не является протоколом безопасности и не определяет никаких функций, связанных с безопасностью. Однако FHIR определяет протоколы обмена и модули системы, которые необходимо использовать с различными протоколами безопасности.

Безопасность в FHIR должна быть сосредоточена на ряде средств защиты информации и условий, необходимых для обеспечения того, чтобы данные можно было открывать, получать к ним доступ или изменять только в соответствии с правилами доступа и политиками. Внедрение должно использовать существующие стандарты безопасности и обеспечивать защиту от:

- несанкционированного доступа;
- утечки информации при возникновении ошибок;
- внедрения вредоносного кода;
- аномальных схем доступа.

Разработка медицинских информационных систем должна опираться на требования законодательства РФ к таким системам. К таким требованиям можно отнести:

- аутентификация и авторизация пользователя по логину и паролю условно-постоянного действия;
- управление списками контроля доступа для всех основных объектов медицинской информационной системы медицинской организации, включая базы данных, отдельные записи в БД, объекты интерфейса и т.д.;
- изменение прав управления доступом пользователей к ресурсам медицинской информационной системы медицинской организации;
- регистрация действий пользователей по доступу к информационным ресурсам и

использованию функций медицинской информационной системы медицинской организации, любых изменений и запросов к данным, включая их содержание, а также регистрация изменений прав управления доступом;

- регистрация неудачных попыток доступа и изменения системных объектов с сохранением даты и времени, регистрационного имени пользователя системы и типа события в журнале и возможность его анализа;
- обеспечение доступа к данным системы только зарегистрированным авторизованным пользователям, подписавшим специальное соглашение о неразглашении конфиденциальной информации и врачебной тайны;
- управление событиями информационной безопасности;
- инвентаризация и мониторинг состояния информационной безопасности;
- контроль действий администраторов систем;
- система антивирусной защиты;
- система сетевой безопасности, включающую в себя средства межсетевого экранирования, IDS/IPS, сегментирование сетевой инфраструктуры и инфраструктуры систем хранения, VPN.

Выполнение требований законодательства РФ позволяет создать более защищенную медицинскую информационную систему и устранить уязвимости программного обеспечения. Также без выполнения требований законодательства, нельзя будет присоединится к Единой государственной информационной системе в сфере здравоохранения, следовательно, будет отсутствовать межорганизационный обмен.

Результатом выполнения третьей задачи стала разработанная методика управления правами доступа к медицинским данным при межорганизационном обмене, состоящая из трех шагов и рекомендации по управлению правами доступа к медицинским данным, которые опираются на требования законодательства РФ и документацию международного стандарта передачи данных FHIR. Методика представлена на рис. 2.

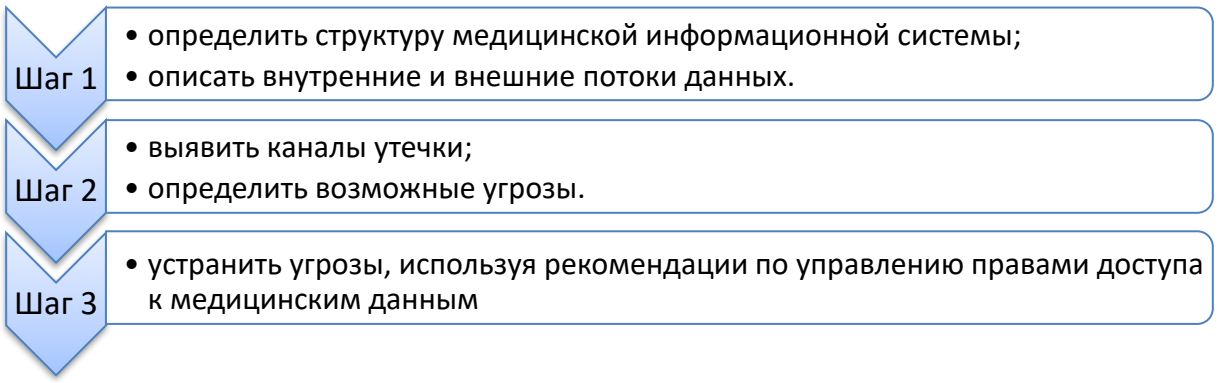


Рис. 2. Методика управления правами доступа
к медицинским данным при межорганизационном обмене

Оценка методики была проведена в рамках пилотного проекта медицинской информационной системы, разрабатываемой ООО «НПФ «Хеликс». В ходе первого шага была составлена схема внешних и внутренних потоков данных; при выполнении второго шага была обнаружена уязвимость в системе контроля списков на права доступа. При выполнении третьего шага была создана матрица доступа, для устранения уязвимости.

Внедрение методики в процесс разработки повлекло следующие улучшения:

создана матрица доступа для ролей в медицинской информационной системе; управление списками контроля доступом к медицинским данным в медицинской информационной системе приведено к виду, соответствующему требованиям законодательства Российской Федерации.

Литература

1. Приказ Минздравсоцразвития России от 28.04.2011 г. №364 «Об утверждении Концепции создания единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения» в редакции Приказа Минздравсоцразвития России №348 от 12.04.2012 г.
2. Распоряжение Комитета по здравоохранению Санкт-Петербурга от 21.02.2018 г. №88-р о создании и ведении «Электронной медицинской карты петербуржца»
3. ГОСТ Р ИСО/HL7 27932-2015 Информатизация здоровья. Стандарты обмена данными. Архитектура клинических документов HL7. Выпуск 2, Стандартинформ (Последняя редакция 2016 г.)
4. Приказ Минздрава РФ от 24.12.2018 № 911-н «Об утверждении требований к государственным информационным системам в сфере здравоохранения субъектов Российской Федерации, медицинским информационным системам медицинских организаций и информационным системам фармацевтических организаций»
5. Банк данных угроз информационной безопасности Федеральной службы по техническому и экспортному контролю // Угрозы [Электронный ресурс] Режим доступа к ресурсу: https://bdu.fstec.ru/threat, свободный. (Дата обращения 15.01.2019).

Горохова Наталья Михайловна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3440,
направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах,
e-mail: gnatali1997@gmail.com
Чежин Михаил Сергеевич
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
департамент открытого образования,
к.т.н., доцент,
e-mail: ms.chezhin@gmail.com

УДК 681.527.2, 681.532.62, 681.532.8

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГИБАНИЕМ МОДУЛЯ ПРОТЕЗА АНТРОПОМОРФНОЙ КИСТИ

Н.Н. Горохова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **М.С. Чежин**

Университет ИТМО

Аннотация
Работа посвящена разработке системы управления техническим средством реабилитации – модульным протезом предплечья. Особенностями проектируемой системы управления являются: реализация трех степеней подвижности в запястном узле; минимизация объема физиологических движений носителя протеза; обеспечение условий для эргономичного схвата и удержания объектов; уменьшение периода обучения носителя протеза пользованию им.
Ключевые слова
Протез верхней конечности, протез предплечья, система управления, IMU, степень подвижности, запястный узел.

В современном мире большое количество лиц с ограниченными возможностями нуждается в протезировании, поэтому разработка современных высокотехнологичных протезов является актуальной задачей. Ампутация конечности как один из этапов лечения или врожденное отсутствие конечности требует проведения медицинской реабилитации с использованием технических средств, в частности, протезов. Современный протез представляет собой сложную электромеханическую систему, свойства которой во многом определяются параметрами системы управления (СУ).

Проведенный обзор показал наличие протезов с различным количеством степеней подвижности в запястном узле (таб. 1). Наиболее близкими к предлагаемой разработке являются протезы с тремя степенями подвижности: MPL [1] и Kleiber Solo [2]. Однако данные протезы имеют существенные недостатки. Например, запястье протеза MPL имеет высокие габаритные характеристики и большую массу, а протез Kleiber Solo имеет 3 степени подвижности, реализованные механически, но на момент написания работы не имеет версии с тремя приводами по осям (т.е. версии, где

движения вокруг трёх осей обеспечиваются с помощью электродвигателей).

Таблица 1

Обзор существующих технических решений

№ п/п	Наименование	Страна	Уровень дефекта ВК	Количество степеней подвижности в запястном узле
1	Modular Prosthetic Limb	США	Плечо	3
2	DEKA Arm	США	Плечо	2
3	LUKE Arm	США	Плечо	2
4	Ottobock Michelangelo Hand	Германия	Предплечье	1
5	Kleiber Solo	Россия	Кисть	3
6	MaxBionic MeHandS	Россия	Кисть	2
7	RSL Steeper bebionic	Великобритания	Кисть	2
8	i-limb touch bionics	Великобритания	Кисть	1

Предполагается, что разрабатываемое устройство и его СУ будут свободны от недостатков: громоздкость запястного узла, неудобство управления, отсутствие одновременного управления – одновременной реализации всех движений запястья. Основными задачами предлагаемой разработки является компенсация этих недостатков, в частности:

1) обеспечение естественности движения в искусственном лучезапястном суставе;

2) минимизация амплитуды физиологических движений в вышележащих суставах оператора при выполнении точных операций и операций самообслуживания;

3) разработка СУ, реализующую три степени подвижности в запястном узле модуля кисти протеза верхней конечности: (сгибание/разгибание, приведение/отведение, пассивная ротация);

4) обеспечение эргономичного схвата и удержание бытовых объектов независимо от их положения в пространстве.

Кроме указанных выше задач необходимо спроектировать СУ, которая будет проста в управлении и значительно уменьшит период обучения пациентов пользованию протезом.

Особое внимание в предлагаемой разработке уделяется способам получения «полезных» сигналов с биологического объекта (человека-оператора, носителя протеза). Известно, что протез является частью биотехнической системы, т.е. основные действия формируются носителем протеза. Особенностями разрабатываемой системы является способ формирования задающего сигнала для управления тремя степенями подвижности протеза. Для этого используются датчики поверхностной электромиографии (ЭМГ) и модуль инерционного измерительного устройства (IMU).

Перемещение верхней конечности человека представляет собой сложное движение нескольких сочленений. С точки зрения кинематики верхнюю конечность человека можно рассмотреть как незамкнутую цепь звеньев, которые соединены посредством либо призматических (поступательных), либо шарнирных (вращательных) сочленений.

Для анализа движения верхней конечности необходимо определить конечное

число её сочленений. Так как плечевой сустав человека имеет три степени подвижности, следовательно, количество сочленений в плечевом суставе равно трём соответственно (движения сгибания/разгибания, приведения/отведения, пронации/супинации). Аналогичным образом следует выделить два сочленения в локтевом суставе (движения сгибания/разгибания, пронации/супинации). Таким образом, общее количество сочленений в рассматриваемой задаче равно пяти. По алгоритму Денавита-Хартенберга были построены матрицы преобразований и решена прямая задача кинематики. Проведенный анализ позволил оценить, как формируются задающие сигналы, необходимые для управления степенями подвижности разрабатываемого протеза. Полученные углы φ, ψ, θ регистрируются IMU [3, 5].

В таб. 2 представлены параметры для каждой матрицы преобразований i-ых сочленений согласно алгоритму Денавита-Хартенберга. Параметры a_5 и l_4 взяты как средние значения, измеренные экспериментально.

Таблица 2

Параметры сочленений кинематической схемы

Сочленение	θ_i	α_i	a_i	d_i
1	θ_1	-90	0	0
2	θ_2	-180	0	0
3	θ_3	90	0	0
4	θ_4	90	a_5=0.09(м)	l_4=0.25(м)
5	θ_5	-180	0	0

Опорно-двигательная система человека–оператора (носителя протеза) имеет различные группы мышц, одними из которых являются группы мышц – сгибателей и мышц – разгибателей. Во время мышечных сокращений с этих групп мышц регистрируются биоэлектрические потенциалы с помощью ЭМГ-датчиков. Для регистрации соответствующих параметров движения (в данном случае углов вращения вокруг трёх осей и скоростей по этим же осям) некоторой точки, расположенной в локтевом суставе оператора, нужно использовать IMU, включающее в себя трёхосные гироскоп и акселерометр. И IMU, и блок ЭМГ - датчиков должны быть подключены к микроконтроллеру (МК) через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). МК осуществляет обработку полученных данных и отвечает за команды управления всей системой.

Так как биоэлектрические сигналы мышц имеют высокую плотность размещения, выделить один «полезный» сигнал оказывается довольно трудно из-за возникающих наводок и «наложений» сигналов друг на друга. Для выделения сигналов необходимо обеспечить их специальную обработку, с помощью: инструментального усилителя (ИУ), фильтра нижних частот (ФНЧ) и фильтра верхних частот (ФВЧ)[4].

Функциональная схема СУ с данным задающим устройством представлена на рис. 1. IMU регистрирует углы поворота (φ°, θ°, ψ°) и ускорения (φ", θ", ψ") движения точки на наружной стороне проксимальной части предплечья оператора, в трёх плоскостях.

Сигнал U_1 является задающим сигналом для управления схватом кисти протеза.

С помощью сигнала U_1 также осуществляется активация режима подгибания кисти.

Сигналы ОС передают в МК информацию о состоянии системы, в том числе о работе электродвигателей. В разрабатываемой СУ используются ОС по усилию, по положение и по току.

Фиксация выходных валов двигателей осуществляется с помощью электромагнитных колодочных тормозов (ТР1,2), что позволяет зафиксировать подгибание искусственной кисти в заданном положении.

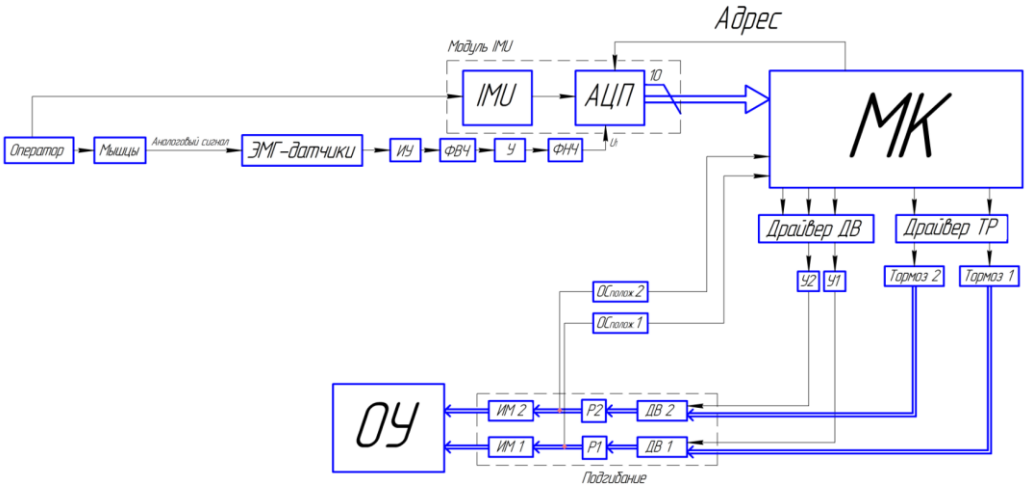


Рис. 1. Функциональная схема системы управления подгибанием: Оператор – человек, пользующийся протезом; IMU – инерционное измерительное устройство (гироскоп + акселерометр); ИУ – инструментальный усилитель (электрометрический вычитатель); ФВЧ – фильтр верхних частот; У – усилитель; ФНЧ – фильтр нижних частот; АЦП – аналогово – цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; ДВ 1,2 – электродвигатели; У1,2 – усилители; Тормоз 1,2 – тормозные устройства; Р1,2 – редукторы; ИМ1,2 – исполнительные механизмы; ОСполож.1,2 – обратная связь по положению; ОУ – объект управления

Разработанный закон управления должен удовлетворять требованиям качества и точности системы управления. Необходимо обеспечить время переходного процесса не более 0,7 секунд. Также необходимо учесть динамику ненагруженного и нагруженного протезов (максимальная масса нагрузки – 3 кг).

Для СУ была разработана математическая модель, проведен синтез регулятора с комбинированной связью, позволяющей компенсировать момент сопротивления (рис. 2).

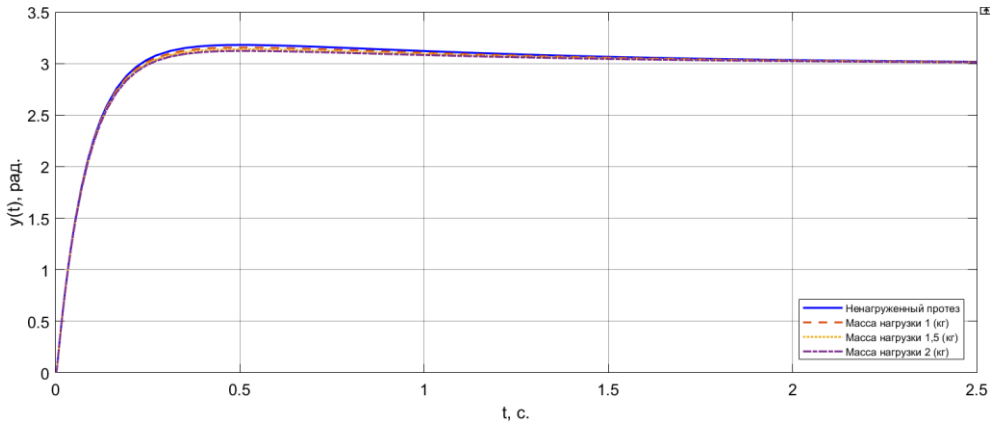


Рис. 2. График переходного процесса угла сгибания кисти для нагрузок разной массы

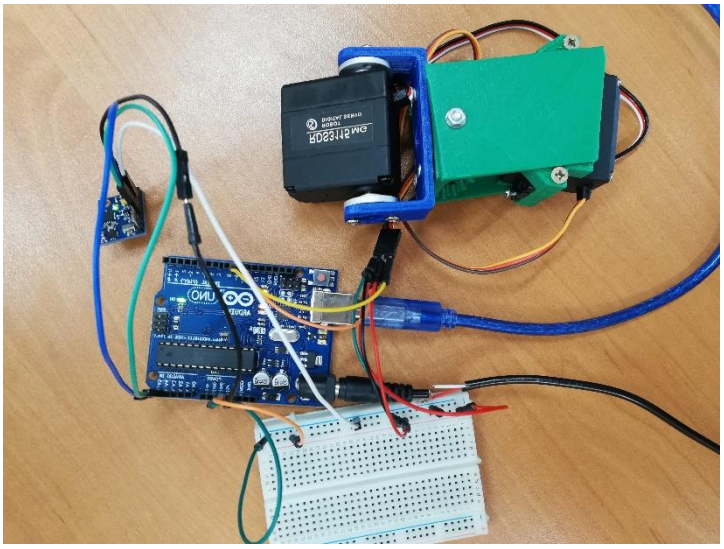


Рис. 3. Пример разработки СУ подгибанием протеза предплечья

Разработанная СУ позволяет минимизировать амплитуду физиологических движений оператора: носителю протеза, что позволит значительно сократить время обучения оператора пользованию протезом. За счет сокращения объёма физиологических движений оператора увеличивается естественность его движений, и упрощается управление протезом. Одним из важнейших преимуществ разработанной СУ является обеспечение эргономичного схвата объектов. Данная СУ может использоваться не только в существующих протезах предплечья, но и в других планируемых разработках в области протезостроения (рис. 3).

Преимуществом предложенной СУ является простота ее использования, что поможет быстрее обучить лиц с ограниченными возможностями ее использованию. Протез предплечья будет управляться с помощью естественных физиологических движений лица с ограниченными возможностями, а, следовательно, носителю протеза не понадобится тратить большое количество усилий на управление протезом, так как для носителя протеза оно будет являться практически интуитивным.

Литература

1. Neil M. Bajaj et al. State of the Art in Prosthetic Wrists: Commercial and Research Devices // 2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Singapore, Singapore. 2015. P. 332–338;
2. Протез кисти Kleiber Solo [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kleiberbionics.org/content/kleiber-solo ,(дата обращения: 24.04.2019);
3. Капанджи А.И. Верхняя конечность. Физиология суставов: схемы биомеханики человека с комментариями: 805 оригинальных рисунков автора: / Капанджи А.И.; предисловие Тубьяна Р.; [перевод с английского Абелевой Г.М., Кишиневского Е.В.]. 6-е изд., Москва: Эксмо, 2019, 365 с.: ил;
4. Томашевич Д.А. Система управления миоэлектрическим протезом верхней конечности: ВКР магистра. … магистр: защищена 02.06.2017; [Место защиты: СПбГЭТУ «ЛЭТИ»]. СПб. 2017. 83 с.;
5. Робототехнический протез руки с инерциальной системой управления [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://new.guap.ru/pubs/2461, (дата обращения: 06.05.2019).

Гресько Владислав Романович
Год рождения: 1997
Факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L3415,
направление подготовки: 12.03.05 – Лазерная техника и лазерные технологии,
e-mail: gresko.97@mail.ru
Сергеев Максим Михайлович
Год рождения: 1989
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.т.н.,
e-mail: maks-sv-32@yandex.ru

УДК 537.312.52

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ МИКРОПЛАЗМОЙ

В.Р. Гресько

Научный руководитель – к.т.н. **М.М. Сергеев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 14.587.21.0037 «Исследование и разработка методов организации и свойств наноструктур на основе диэлектрических матриц с нанообъектами под действием коротких и сверхкоротких лазерных импульсов».

Аннотация
В работе рассмотрена возможность структурирования поверхности кремния лазерно-индуцированным методом с использованием CO_2 лазера. С помощью данной технологии на кремнии были изготовлены дифракционные фазовые решётки с разными значениями периода и глубины рельефа. При тестировании сформированных элементов было получено расщепление излучения CO_2 лазера на несколько дифракционных порядков, при этом расстояния между порядками и распределение интенсивности между ними совпадали с расчётными значениями.
Ключевые слова
Кремний, CO_2 лазер, дифракционная фазовая решётка, лазерно-индуцированная обработка, плавленый кварц.

Введение

Обработка лазерно-индуцированной микроплазмой (ЛИМП) [1] использует лазерное излучение, однако в отличие от прямой лазерной записи, оно не поглощается образцом, а проходит сквозь него. В свою очередь, излучение поглощается специальной мишенью, расположенной вблизи обрабатываемой поверхности. Это приводит к формированию плазменного факела, который и формирует на образце требуемый рельеф. В основном это технология применяется для структурирования стекол и стеклообразных материалов, что связано с их прозрачностью для излучения большинства технологических лазеров и, следовательно, ограниченностью прямой лазерной обработки. Нередко ЛИМП используется для изготовления различных

дифракционных элементов, например, дифракционных фазовых решёток (ДФР) [2]. В данной работе рассматривается возможность распространения метода ЛИМП на другие материалы, в частности на кремний. Это материал часто используется в различных областях науки и техники, в том числе и в дифракционной оптике [3], и, следовательно, существует интерес в развитие старых, и в создании новых способов по его быстрой и качественной обработке.

Экспериментальная установка

Изготовление ДФР на поверхности монокристаллического кремния производилось на экспериментальной установке, представленной на рис. 1. Эта установка содержала: CO_2 лазер (1), с длиной волны излучения λ = 10,6 мкм, с длительностью импульса τ = 200 мкм и частотой следования импульсов υ = 5 кГц. Кроме того, в установке присутствовал германиевый (Ge) объектив (6) с фокусным расстоянием f = 25 мм, создающий перетяжку лазерного пучка диаметром d_0 = 30 мкм, а также пара золотых зеркал (4) и (5). Кремниевый образец (7) располагался на подвижном двухкоординатном столе. На образце была расположена мишень в виде пластины (8) из плавленого кварца. Управление подвижным двухкоординатным столом (3) на базе приводов (DDSM «Thorlabs, Inc») и параметрами лазерного излучения осуществлялось при помощи компьютера (2).

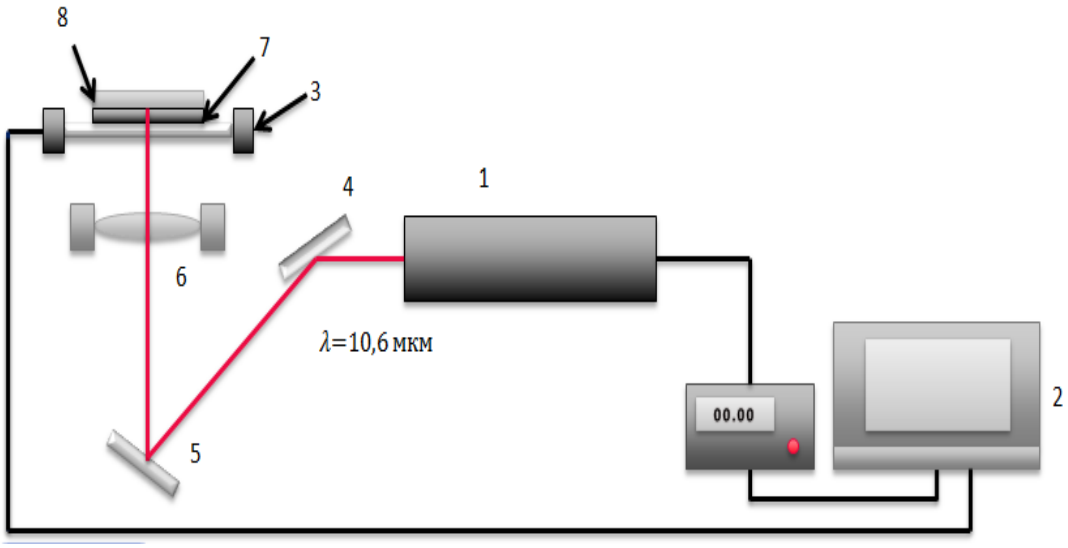


Рис. 1. Экспериментальная установка, используемая для метода ЛИМП

Излучение, через золотые зеркала, попадало в германиевый объектив, в фокальной плоскости которого располагалась плоскость обработки и плоскость контакта образца и мишени. При излучения поглощении плавленым кварцем температура резко увеличивалась. Происходила абляция материала мишени и образование парогазовой фазы в форме факела. По спектрам излучения факела (рис. 2 (а)) была определена его температура, которая составляла около $T = 3000$ К.

Данной температуры недостаточно для образования плазмы, однако этого было достаточно для испарения кремния и абляции его поверхности. Для сопоставления значения глубины с параметрами обработки был записан ряд линий, каждая из которых соответствовала определенной плотности мощности лазерного излучения q. Скорость сканирования составляла V = 0,5 мм/с, период сканирования между тестовыми линиями составлял p = 60 мкм. Итоговая зависимость представлена на рис. 2 (б).

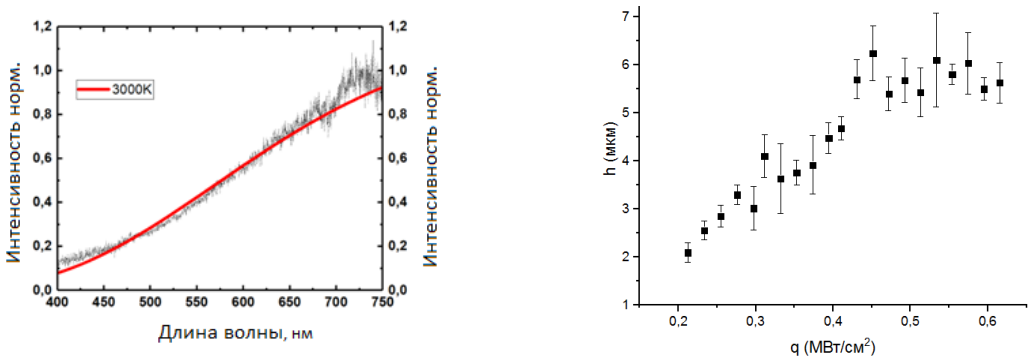
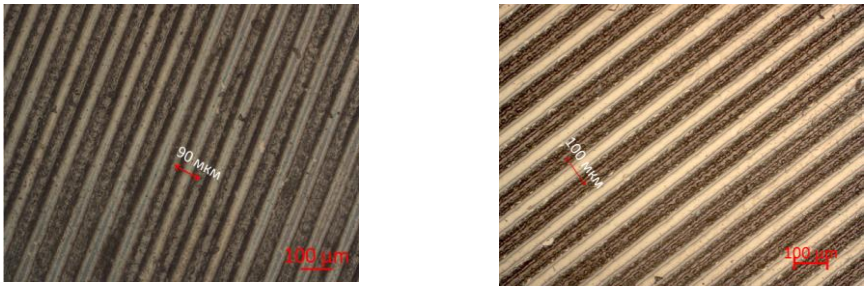


Рис. 2 (а) Спектр излучения факела при скорости сканирования V = 0,5 мм/с и плотности мощности q = 0,58 МВт/см^2. (б) Зависимость глубины от плотности мощности при скорости сканирования V = 0,5 мм/с

Изготовление и исследование рельефа ДФР

Изготовление решётки площадью $S = 25$ мм^2 занимало около 15 минут. Поверхность полученных решёток была исследована при помощи оптического микроскопа Carl Zeiss Axio Imager A1 в режиме отраженного света (рис. 3 и рис. 4).



а б

Рис. 3 ДФР с p (а) 90 мкм q = 0,42 МВт/см^2 (первая решётка), (б) 100 мкм q = 0,58 МВт/см^2 (вторая решётка)

Более детально рельеф был исследован при помощи профилометра Hommel Tester T8000. Средняя глубина рельефа изготовленных решёток составляла около h = 5 мкм для первой и h = 6 мкм для второй. На рис. 5 изображены профиль ДФР с периодом 90 мкм, полученный изначально и после операции сглаживания (красным цветом). На рис. 6, 7 приведены трехмерные изображения профиля поверхности решёток с p = 90 мкм и p = 100 мкм.

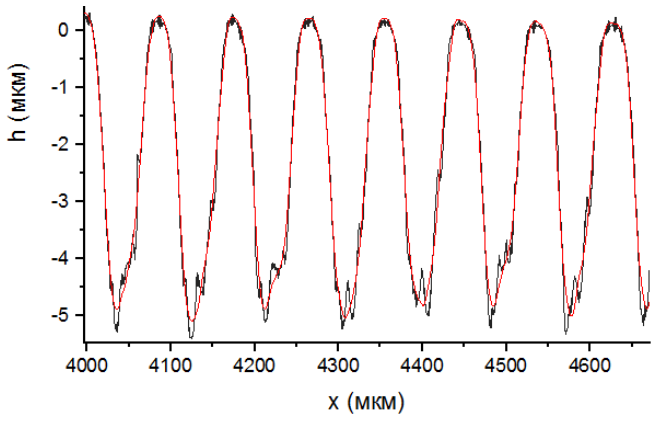


Рис. 5 Профиль ДФР с периодом 90 мкм

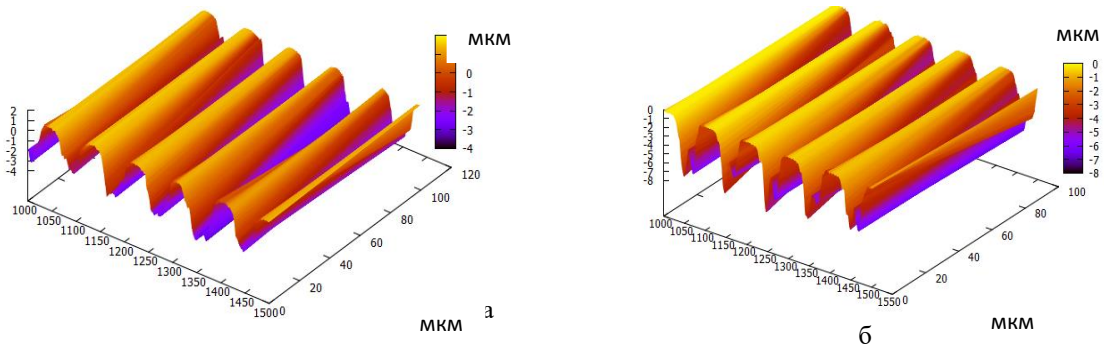


Рис. 6 Трёхмерный профиль ДФР с p (а) 90 мкм, (б) 100 мкм

Расчёт параметров ДФР

Для расчёта дифракционной эффективности была использована методика, описанная в работе [4]. В расчёте использовались: x – длина решётки, x_1 – полуширина канавки; p/2 – полупериод ДФР, h –глубина рельефа. В начале, по (1) и (2) рассчитывались толщины слоя кремния $d_0(x)$ и слоя воздуха в канавке ДФР $d_1(x)$.

$$d_0(x) = \begin{cases} D - h/x_1(x_1 - |x|) \\ D \end{cases} \text{ при } \begin{matrix} x_1 \le |x| \\ |x| \le x_1 \end{matrix}, \quad (1)$$

$$d_1(x) = \begin{cases} h/x_1(x_1 - |x|) \\ 0 \end{cases} \text{ при } \begin{matrix} |x| \le x_1 \\ x_1 \le |x| \le p/2 \end{matrix}. \quad (2)$$

Дифракционная эффективность $\eta(m)$ порядка m определялась по (3):

$$\eta(m) = \left| \frac{1}{p} \int_{-p/2}^{p/2} e^{\frac{2\pi i}{\lambda}(nd_0(x) + n1d_1(x))} e^{-2\pi i m \frac{x}{p}} dx \right|^2, \quad (3)$$

где n = 3,4179 – показатель преломления кремния, n1 = 1 – показатель преломления воздуха.

Для расчёта расстояния от 0 порядка до порядка m L(m) [5] использовалась (4):

$$L(m) = m\lambda \frac{f}{p}. \quad (4)$$

Тестирование элементов

Тестирование ДФР проводилось на установке, изображенной на рис. 7. Дифракционный элемент (2) устанавливался на некотором расстоянии перед CO_2 лазером (1) (λ = 10,6 мкм, τ = 200 мкм, υ = 5 кГц). За ДФР располагалась ZnSe линза (3) с фокусным расстоянием f = 100 мм. В фокальной плоскости линзы устанавливалась термобумага (4), на которой наблюдалось разложение лазерного пучка. Измерение распределения интенсивности в порядках проводилось на этой же установке, но вместо термобумаги устанавливался фотометрический измеритель мощности. Плотность

мощности лазерного излучения, используемая в ходе тестирования решётки, составляла q = 0,16 МВт/см^2.

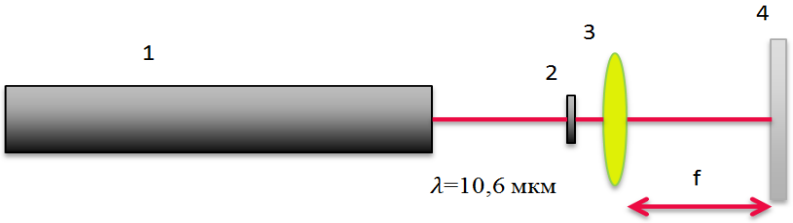


Рис. 7. Установка для тестирования элемента

В результате тестирования для всех решёток было получено расщепление лазерного пучка на 0 и ±1 порядки дифракции. Фотография пятен, полученных при помощи ДФР, представлена на рис. 8 (0 порядок в центре, ±1 по краям). Теоретические значения расстояния от 0 до ±1 порядков дифракции для первой и второй ДФР составляли $L(1) = 12$ мм и $L(1) = 11$ мм соответственно. Экспериментальные значения были 12 мм и 11 мм соответственно.

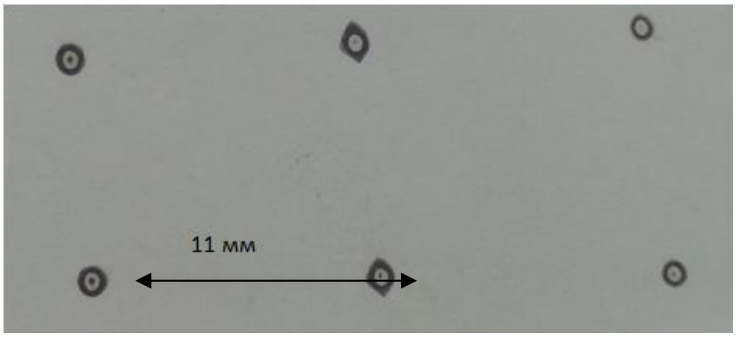


Рис. 8. Пятна, полученные с ДФР с p = 100 мкм

Результаты расчётов дифракционной эффективности для второй и третьей решёток вместе с экспериментальными значениями распределения нормированной интенсивности представлены на рис. 9. С увеличением периода и глубины рельефа росла дифракционная эффективность ненулевых порядков. Для решётки с большей глубиной удалось получить практически равное распределение интенсивности во всёх порядках.

Заключение

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность обработки кремния при помощи лазерно-индуцированного факела, сформированного под действием CO_2 лазера. Были определены режимы обработки кремния, связывающие глубину формируемого рельефа и плотность мощности излучения. Были изготовлены несколько кремниевых ДФР, способных работать с инфракрасным диапазоном длин волн, и в ходе тестирования пучок CO_2 лазера был расщеплен на несколько дифракционных порядков. При этом, характеристики формируемой дифракционной картины совпадали с рассчитанными заранее параметрами. Полученные решётки могут найти свое применение либо в схемах многолучевой обработки материалов, либо в интерференционных сферах обработки.

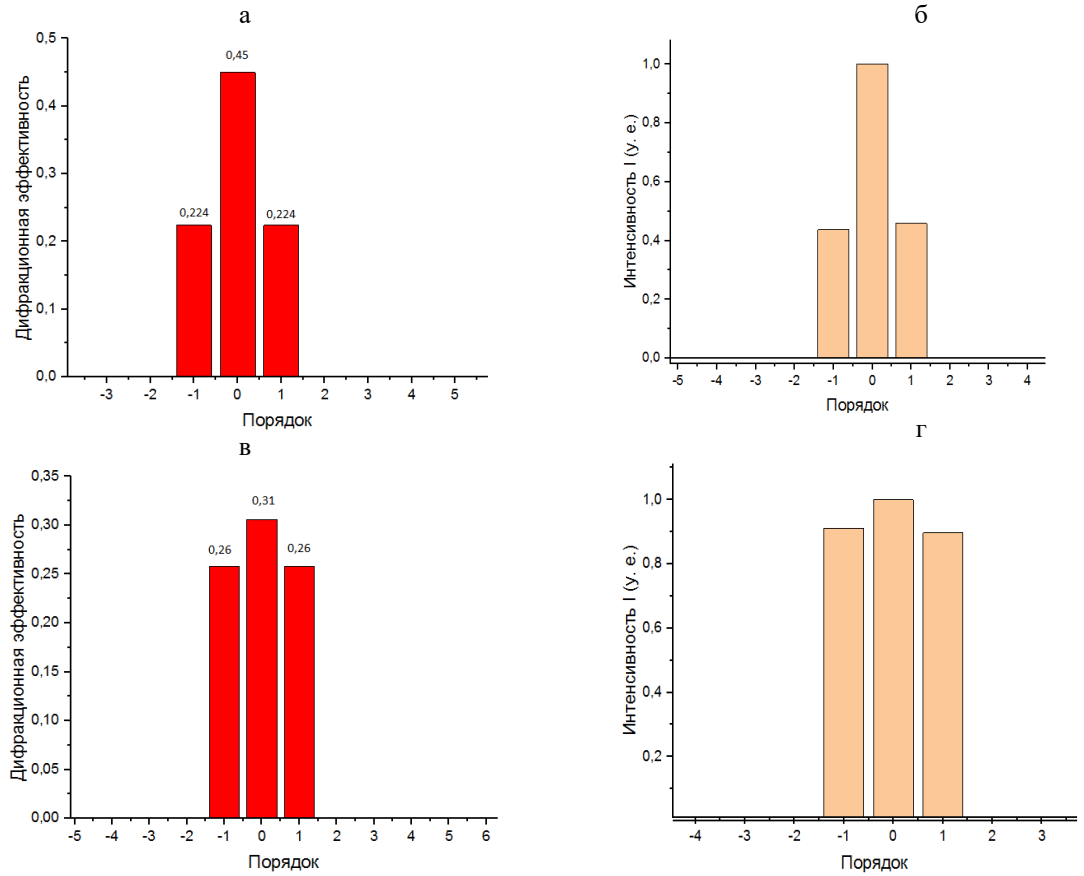


Рис. 9 (а), (б) ДФР с p=90; (в), (г) ДФР с p=10 (а). (в), рассчитанные значения дифракционной эффективности. (б), (г) экспериментальное распределение нормированной интенсивности

Литература

1. Hanada Y., Sugioka K., Midorikawa K. Laser-induced plasma-assisted ablation (LIPAA): fundamental and industrial applications //High-Power Laser Ablation VI. – International Society for Optics and Photonics, 2006. Т. 6261. С. 626111.
2. Kostyuk G. K. et al. Laser microplasma as a tool to fabricate phase grating applied for laser beam splitting // Optics and Lasers in Engineering. 2017. Т. 92. С. 63-69.
3. Agafonov A.N. et al. Silicon diffractive optical elements for high-power monochromatic terahertz radiation // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2013. Т. 49. №. 2. С. 189-195.
4. Rajkumar N., McMullin J. N. V-groove gratings on silicon for infrared beam splitting // Applied optics. 1995. Т. 34. №. 14. С. 2556-2559.
5. Goodman J.W. Introduction to Fourier optics. Roberts and Company Publishers, 2005.

Добрых Федор Германович
Год рождения: 1997 г.
факультет прикладной оптики,
студент группы B3405,
Направление подготовки: 12.03.02 – Оптико-электронные приборы и системы,
e-mail: d.fedor97@gmail.com
Иванова Татьяна Владимировна
Год рождения: 1973 г.
Университет ИТМО,
к.т.н., доцент,
e-mail: tvivanova@corp.ifmo.ru

УДК 535.317

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА НЕКРУГЛОМ ЗРАЧКЕ ДЛЯ ИМПОРТА В ZEMAX

Ф.Г. Добрых

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Т.В. Иванова**

Университет ИТМО

Аннотация
В данной работе была разработана программа, позволяющая описывать деформацию оптической системы с помощью полиномов Цернике и импортировать полученное описание в Zemax для последующего анализа качества изображения. Также была проверена возможность аппроксимации поверхности нецентрированной оптической детали, когда оптическая поверхность занимает только часть зрачка оптической системы.
Ключевые слова
Полиномы Цернике, деформация оптической поверхности, Zemax, некруглый зрачок, погрешность восстановления

Введение

Вследствие деформации оптической поверхности возникает волновая аберрация, то есть отклонение реального волнового фронта от идеального. Одной из причин возникновения деформаций являются внутренние напряжения, которые особенно характерны для крупногабаритных оптических деталей. Для описания волновой аберрации оптической системы, либо для описания деформации отдельной поверхности используются полиномы Цернике [2, 3, 5].

Однако, в некоторых оптических системах зрачок может быть некруглым или же его центр может быть смещенным относительно оптической оси. В таком случае неизвестно насколько хорошо подойдут полиномы Цернике в качестве аппроксимирующей функции [1, 4]. Данная проблема особенно актуальна для крупногабаритных зеркал телескопов. Зеркала телескопов зачастую имеют некруглую форму, например, кольцеобразную или прямоугольную, а вследствие большой массы в них могут возникать внутренние напряжения, вызывающие деформации поверхности [3]. Возможность описывать деформации таких поверхностей полиномами Цернике

позволила бы моделировать их в системах автоматизированного расчета оптики, например, в Zemax, что позволило бы в дальнейшем анализировать аберрации, возникающие вследствие той или иной деформации.

Цель данной работы состоит в разработке описания деформации оптической поверхности нецентрированной детали на некруглом зрачке с возможностью дальнейшего импорта в Zemax для анализа аберраций. Также задачей является разработка программы для автоматизации этого процесса.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создание оптимальной структуры данных для хранения и обработки полиномов Цернике;
2. Разработка алгоритмов аппроксимации деформации поверхности полиномами Цернике;
3. Разработка алгоритма пересчета координат точек поверхности из системы координат зрачка в систему координат поверхности (для нецентрированной детали);
4. Разработка алгоритмов импорта данных в Zemax;
5. Реализация разработанных алгоритмов и структур данных;
6. Разработка графического интерфейса;
7. Отладка и тестирование программы;
8. Анализ погрешности восстановления.

Особенности программной реализации

От программы требуется аппроксимация поверхности, причем аппроксимирующей функцией должны быть полиномы Цернике. Соответственно необходимо реализовать алгоритм аппроксимации, автоматизировать расчет полиномов Цернике. Для осуществления аппроксимации формы поверхности необходима выборка точек по зрачку, по которой, используя метод наименьших квадратов, находятся коэффициенты разложения полиномов.

Для того, чтобы выполнить аппроксимацию поверхности нецентрированной детали, необходимо предварительно выполнить пересчет координат точек поверхности в систему координат зрачка системы, в которой находится эта деталь (рис. 1).

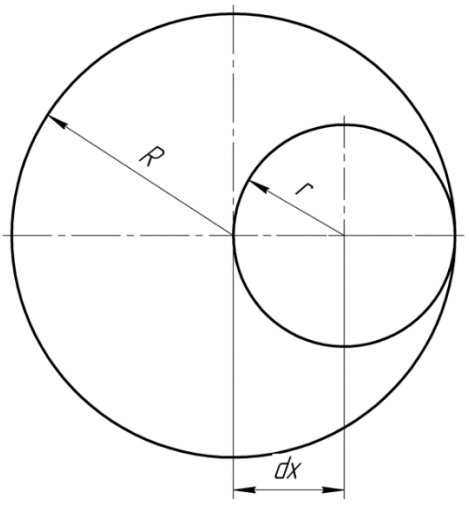


Рис. 1. Расположение оптической поверхности относительно зрачка оптической системы

Положим, что радиус входного зрачка оптической системы равен R, а радиус зрачка детали смещен на dx относительно центра зрачка системы. Так как радиус

детали r должен быть таким, чтобы деталь не выходила за границы зрачка, легко понять, что

$$r \leq R - dx.$$

Точки выборки, попадающие в смещенную окружность, удовлетворяют следующему неравенству:

$$(x - dx)^2 + y^2 \leq r^2.$$

Для выполнения пересчета, зная смещение детали по оси x относительно центра зрачка, создадим новую выборку точек. Так как количество точек в обоих выборках совпадает, между ними устанавливается взаимно-однозначное соответствие и значения деформации можно просто скопировать. Далее производится аппроксимация полученной выборки по методу наименьших квадратов. В качестве аппроксимирующей функции используется разложение в ряд по полиномам Цернике:

$$f(\rho, \varphi) = \sum_n \sum_m c_{nm} R_n^m(\rho) \cdot \cos(m\varphi) + \sum_n \sum_m s_{nm} R_n^m(\rho) \cdot \sin(m\varphi),$$

где c_{nm}, s_{nm} – коэффициенты разложения, $R_n^m(r)$– радиальные полиномы, определяемые следующим соотношением:

$$R_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! \left(\frac{n+m}{2} - k\right)! \left(\frac{n-m}{2} - k\right)!} \rho^{n-2k}$$

Полученные коэффициенты сохраняются и рассчитывается погрешность восстановления поверхности в области зрачка детали (рис. 2).

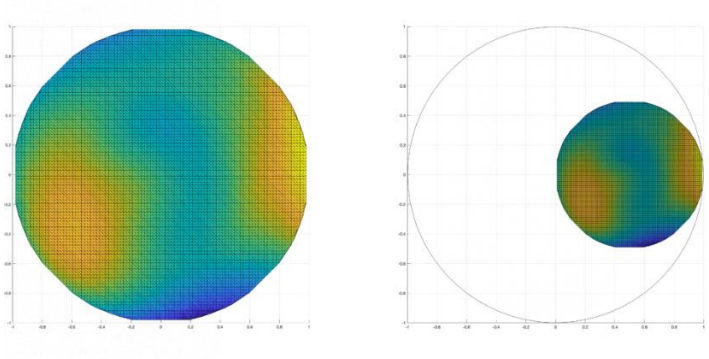


Рис. 2. Пример аппроксимирующей поверхности с пересчитанными координатами

После того, как коэффициенты разложения по полиномам Цернике были вычислены, необходимо вывести их файл, который будет импортирован в Zemax. Однако в Zemax для типа поверхности Zernike Fringe Sag используется другая индексация коэффициентов, называемая Fringe, и поэтому необходимо сначала пересчитать индексы. Связь нескольких первых Fringe (j) индексов с принятыми в программе (n, m) отражена в таб. 1.

Таблица 1

Связь Fringe и принятых в программе индексов

n, m	0, 0	1, 1	1, -1	2, 0	2, 2	2, -2	3, 1
j	1	2	3	4	5	6	7

Выражение, связывающее индексы представлено ниже:

$$j = \left(1 + \frac{n+|m|}{2}\right)^2 - 2|m| + \frac{1-sgn(m)}{2}.$$

После ввода данных осуществляется следующая последовательность действий:
1. Смещение выборки (опционально)
2. Аппроксимация
3. Пересчёт индексов в систему Fringe
4. Вывод в файл для импорта в Zemax
5. Вычисление и вывод погрешности восстановления
6. Вывод аппроксимирующей поверхности (опционально)

Результаты работы программы

С помощью полученной программы была исследована погрешность восстановления нецентрированных поверхностей, занимающих часть зрачка. Полученные результаты сведены в таб. 2.
СКО – среднеквадратическое отклонение
СКД – среднеквадратическая деформация

Таблица 2

Результаты аппроксимации некоторых нецентрированных поверхностей

Номер полинома	СКО, мм							ср. СКО, мм
	1	2	3	4	5	6	7	
Исходная СКД, мм / Смещение	4,7424	5,0191	5,0706	3,8351	5,0190	6,1446	3,5817	2,9273
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,1	0,0198	0,0177	0,0232	0,0219	0,0230	0,0255	0,0159	0,0199
0,2	0,0325	0,0314	0,0383	0,0320	0,0370	0,0448	0,0258	0,0325
0,3	0,0452	0,0435	0,0524	0,0426	0,0503	0,0615	0,0349	0,0438
0,4	0,0586	0,0537	0,0662	0,0544	0,0628	0,0775	0,0436	0,0546
0,5	0,0700	0,0646	0,0781	0,0646	0,0715	0,0888	0,0511	0,0637
0,6	0,0780	0,0754	0,0875	0,0712	0,0746	0,0952	0,0576	0,0706
0,7	0,0867	0,0864	0,0975	0,0771	0,0766	0,1072	0,0658	0,0788
0,8	0,1029	0,1039	0,1143	0,0896	0,0878	0,1289	0,0769	0,0922

Заключение

В результате данной работы была реализована программа, которая позволяет описывать деформации оптической поверхности полиномами Цернике. Также была проверена возможность аппроксимации поверхности нецентрированной оптической детали. Анализ результатов работы программы показал, что погрешность восстановления деформации детали при смещении ≤0,5 относительных единиц в среднем для 12 поверхностей составила 0,0637 мм.

Программа позволяет автоматизировать трудоемкие расчеты при аппроксимации поверхности полиномами Цернике и успешно справляется с задачей импорта деформации в Zemax. Данная разработка позволяет более оперативно проводить контроль оптических деталей и получать более полноценные данные о качестве изображения оптической системы благодаря возможности импорта деформации в Zemax.

Литература

1. Бездидько С.Н., Применение полиномов Цернике в оптике // Оптико-механическая промышленность. 1974
2. Иванова Т.В., Анощенков Д.И. Анализ возможных распределений координат реальных лучей на входном зрачке оптической системы при аппроксимации волновой аберрации полиномами Цернике // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. No 1. С. 9–14. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-1-9-14
3. Романова Г.Э., Парпин М.А., Серегин Д.А., Конспект лекций по курсу «Компьютерные методы контроля оптики». СПб: СПбГУ ИТМО. 2011. 185 с.
4. Bezdidko S.N. Orthogonal aberrations: theory, methods, and practical applications in computational optics // Journal of Optical Technology. 2016.
5. Bezdidko S.N. Theory of orthogonal aberrations and its use in lens design // Optical Review. 2014. V. 21. N 5. P. 632-638. doi: 10.1007/s10043-014-0101-2.

Ермолаев Андрей Вадимович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V3436,
направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: ermolaevandrej1997@gmail.com
Вартанян Тигран Арменакович
Год рождения: 1953
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
д.ф.-м.н., главный научный сотрудник,
e-mail: tigran.vartanyan@mail.ru

УДК 535.016

СПЕКТРОСКОПИЯ СВЕРХТОНКИХ СЛОЕВ РАЗРЕЖЕННЫХ АТОМАРНЫХ ПАРОВ

А.В. Ермолаев

Научный руководитель – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник **Т.А. Вартанян**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе теоретически исследовано резонансное отражение света от тонкого слоя разреженной газовой среды в приближении зеркальных граничных условий для поляризации атомов. Вне рамок теории возмущений выполнен точный физический расчёт спектров отражения резонансного излучения от системы диэлектрик-газ-диэлектрик. С точностью до квадратичных по оптической плотности членов определена зависимость смещения максимума бездоплеровского конура от концентрации атомарных паров.
Ключевые слова
Коэффициент отражения, субдоплеровская структура, поверхностный адмиттанс, зеркальные граничные условия, селективное отражение света

Резонансное взаимодействие света с газовой средой является актуальной проблемой современной физической оптики. При малых концентрациях атомарных паров величина доплеровского уширения может значительно превосходить величину однородного уширения спектральных линий. В этом случае тепловое движение атомов приводит к сильной пространственной дисперсии и оптический отклик газовой среды на внешнее воздействие становится существенно нелокальным. Примером, иллюстрирующим нелокальные оптические свойства резонансного газа, служит явление селективного отражения света, которое заключается в резком изменении диэлектрической проницаемости газовой среды в спектральной окрестности её линии поглощения. Практическая важность исследований в данной области обуславливается возможностью создания новых методов стабилизации частоты лазерного излучения, основанных на явлении селективного отражения света. В работе [1] было показано, что нелокальные оптические свойства могут проявляться значительно сильнее в том

случае, когда газ ограничен в слое с толщиной, сравнимой с длиной волны падающего излучения. Данное обстоятельство вызвано сильным влиянием переходных процессов, связанных с установлением поляризации атомов, отлетающих от границ слоя. Точный учёт структуры поля в таких системах возможен при решении замкнутой системы уравнений для поля и поляризации атомов с учётом пространственной дисперсии при заданных граничных условиях для элементов матрицы плотности. В ряде работ, посвящённых данной тематике, расчёт спектров отражения был выполнен в рамках теории возмущений по оптической плотности атомарных паров для случая полного тушения поляризации атомов при столкновении с диэлектрической поверхностью. Однако в рамках теории возмущений не удалось описать процессы, связанные с поглощением света в газовой среде и определить зависимость смещения максимума свободного от доплеровского уширения спектрального контура от концентрации атомарных паров. В настоящей работе теоретическое исследование отражения света от тонкого слоя разреженной газовой среды основывается на предположении, что для поляризации атомов газа справедливы зеркальные граничные условия. В этом случае система уравнений для поля и поляризации атомов газовой среды может быть решена самосогласованным образом. Такой подход позволяет точно определить влияние таких параметров системы, как толщина газового слоя и концентрация атомарных паров на ширину и сдвиг максимума спектрального контура коэффициента отражения.

В работе рассматривается тонкий слой разреженной газовой среды толщиной l, расположенный между двумя диэлектрическими средами с показателями преломления n_1 и n_2 соответственно (рис. 1).

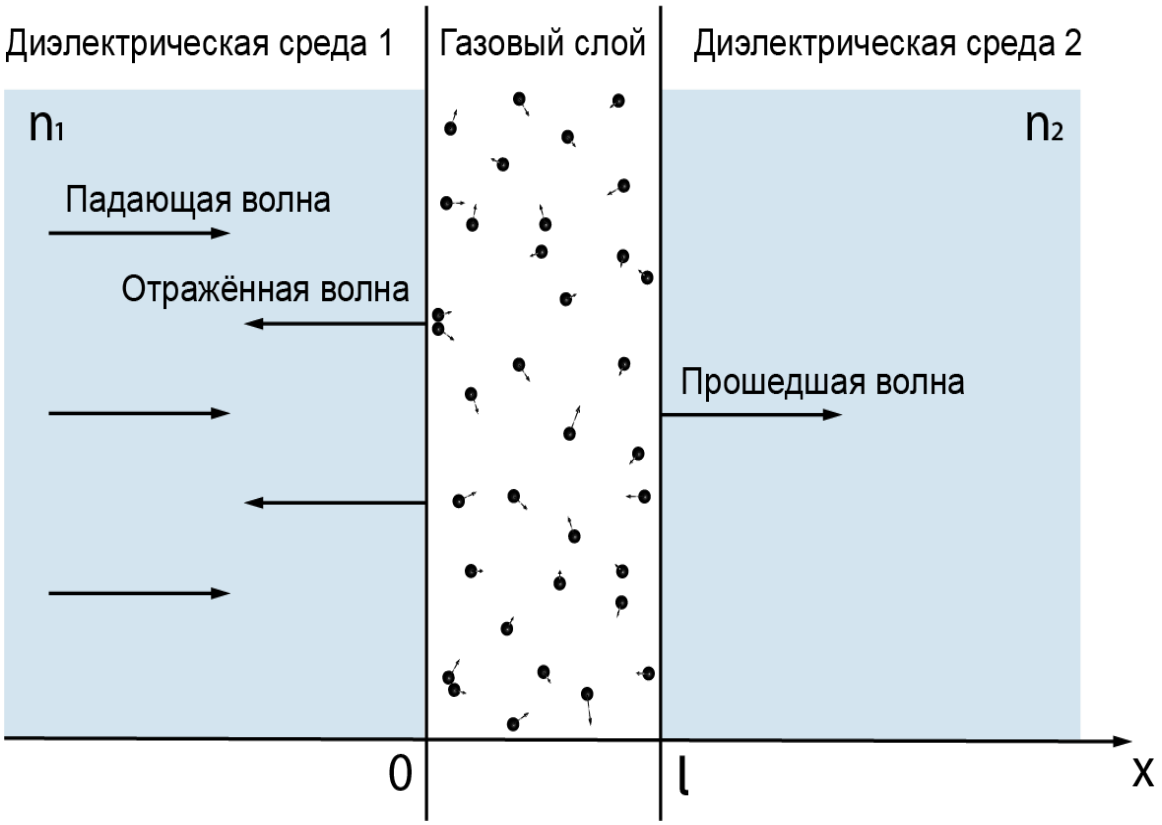


Рис. 1. Схематический рисунок отражения падающей волны (при нормальном падении) от тонкого газового слоя

На газовый слой со стороны первой диэлектрической среды нормально падает

плоская монохроматическая электромагнитная волна с частотой близкой к частоте перехода между основным и первым возбуждённым состоянием атомов газа. Распространяясь вдоль положительного направления оси $0x$, исходная волна испытывает отражение от газового слоя, занимающего область $x \in (0,l)$ между диэлектрическими средами. Ансамбль частиц внутри газового слоя рассматривается с позиции квантовой механики как двухуровневая система и описывается при помощи аппарата матрицы плотности (взаимодействие света учитывается только с выделенными уровнями $|1\rangle$ и $|2\rangle$). Предполагается, что для атомов газа справедливо максвелловское распределение по скоростям. В пределе достаточно малых интенсивностей резонансного излучения поле в газе описывается замкнутой системой уравнений для поля и поляризации атомов газового слоя:

$$\begin{cases} \dfrac{d^2E(\xi)}{d\xi^2} + E(\xi) = -2im\int\limits_{-\infty}^{\infty} \sigma(\xi,\nu)\exp\left(-\nu^2\right)d\nu \\ \nu\dfrac{d\sigma(\xi,\nu)}{d\xi} + \eta\sigma(\xi,\nu) = E(\xi) \end{cases}, \qquad (1)$$

где для удобства введены безразмерные переменные: координата $\xi = kx$, отстройка от резонанса, нормированная на доплеровскую ширину спектральной линии $\Omega = (\omega - \omega_0)/k\upsilon_T$, недиагональный матричный элемент $\sigma(x,\upsilon) = \left(2\text{h}k\upsilon_T/id_{21}\right)\rho_{21}(x,\upsilon)$, концентрация атомарных паров $m = \left(2\sqrt{\pi}d_{21}^2/\text{h}k\upsilon_T\right)N$, проекция скорости на ось $0x$, нормированная на среднюю тепловую скорость $\nu = \upsilon/\upsilon_T$, величина естественного уширения в единицах доплеровской ширины спектральной линии $\Gamma = \gamma/k\upsilon_T$. Энергетический коэффициент отражения может быть определён по формуле:

$$R = \left|\frac{M(0) - n_1}{M(0) + n_1}\right|^2, \qquad (2)$$

где $M(0) = \left[dE(0)/d\xi\right]/iE(0)$ – поверхностный адмиттанс первой границы газового слоя. Будем искать решение системы уравнений (1), предполагая, что для рассматриваемого слоя справедливы зеркальные граничные условия, согласно которым атом испытывает зеркальное отражения от границ среды с сохранением поляризации. Выбранные граничные условия эквивалентны задаче о неограниченной среде, в которой исходный слой толщиной $\phi = kl$ (пространство $\xi \in [0;\phi]$) сначала зеркально отражается на пространство $[-\phi;0]$, а затем полученный слой толщиной 2ϕ транслируется на всё пространство при условии, что границ между данными слоями не существует (рис. 2). В этом случае атому, испытавшему зеркальное отражение от одной из границ исходного слоя, в задаче о неограниченном пространстве ставится в соответствие атом, пересекший данную границу со стороны соседнего слоя [2].

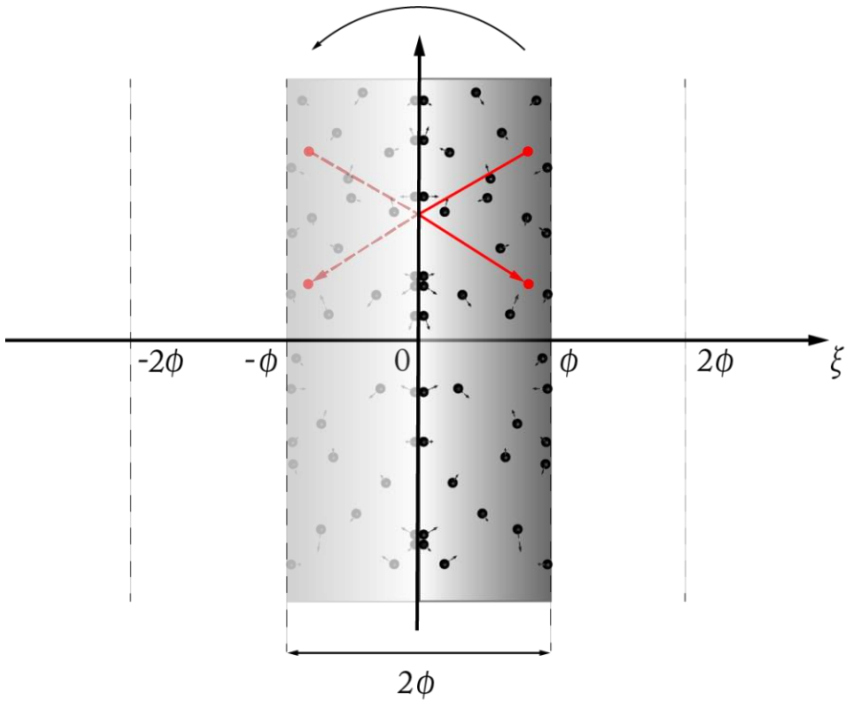


Рис. 2. Иллюстрация к методу разложения поля в ряд Фурье
в приближении зеркальных граничных условий

При таком рассмотрении поле является непрерывной функцией во всём пространстве и имеет период 2ϕ, а его первая производная может испытывать разрыв в точках $\xi = j\phi,\ j = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$. Из условия неизменности поляризации при отражении атомов от границ исходного слоя следует также непрерывность недиагонального матричного элемента $\sigma(\xi, \nu)$ во всём пространстве. Согласно приведённым рассуждениям, поле $E(\xi)$ и недиагональный матричный элемент $\sigma(\xi, \nu)$ могут быть представлены в виде суммы ряда Фурье в случае зеркальных граничных условий. Выражение для коэффициента Фурье поля, полученное в результате преобразования системы уравнений (1), имеет вид:

$$E(n) = \frac{1}{\phi} \frac{(-1)^n E'(\phi) - E'(0)}{\left(n\pi / \phi\right)^2 - 1 - 2imI(n)}, \tag{3}$$

где введено обозначение $I(n) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp\left(-\nu^2\right)}{\eta + i\left(n\pi/\phi\right)\nu} d\nu$, а знак $(')$ обозначает производную по координате ξ. С учётом связи производных поля на границах газового слоя, поверхностный адмиттанс первой границы можно представить в виде суммы ряда:

$$M(0) = \frac{i + n_2 S^+}{S^+ + in_2\left(S^- - S^+\right)\left(S^- + S^+\right)}, \tag{4}$$

где $S^+ = \frac{1}{\phi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{1}{\left(n\pi/\phi\right)^2 - 1 - 2imI(n)}$, $S^- = \frac{1}{\phi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\left(n\pi/\phi\right)^2 - 1 - 2imI(n)}$.

В работе был выполнен численный расчёт коэффициента отражения резонансного излучения от тонкого газового слоя по формулам (2) и (4) в среде Wolfram Mathematica при различных значениях параметров системы. В приведённых формулах было учтено также столкновительное уширение атомов путём введения столкновительной ширины $\gamma_c = 4\pi d_{21}^2 N/\mathrm{h}$, величина которой пропорциональна концентрации атомарных паров [3]. Было установлено, что спектральный контур коэффициента отражения существенным образом зависит от толщины газового слоя (рис. 3):

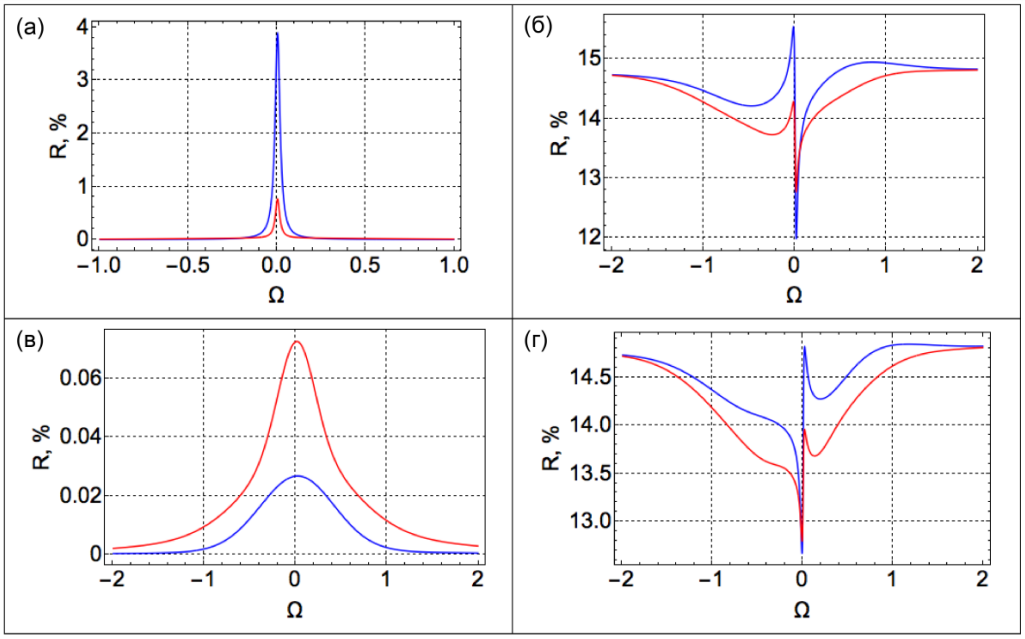
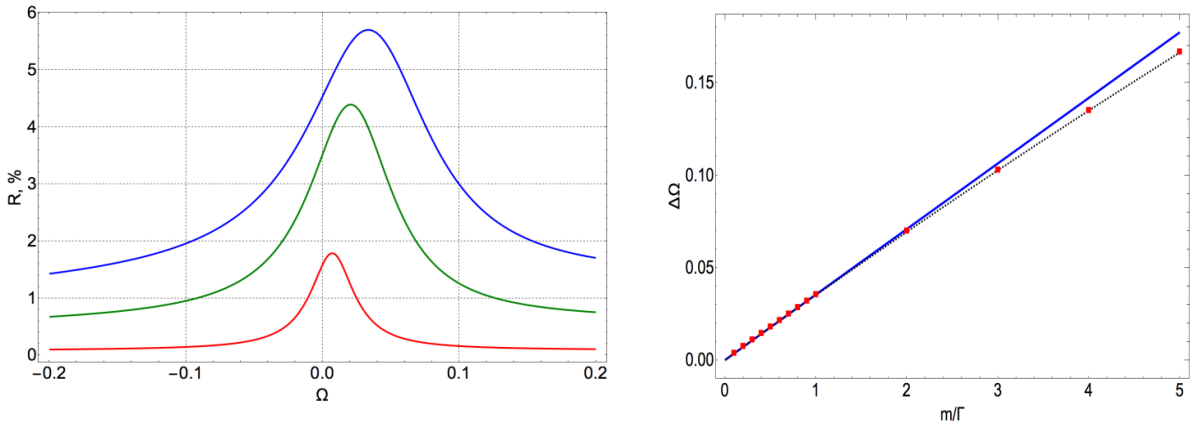


Рис. 3. Спектральный ход коэффициента отражения вблизи резонанса при восьми значениях толщины газового слоя. Синие кривые: а – $l = \lambda/2$, б – $l = 3\lambda/4$, в – $l = \lambda$, г – $l = 5\lambda/4$; Красные кривые: а – $l = 3\lambda/2$, б – $l = 7\lambda/4$, в – $l = 2\lambda$, г – $l = 9\lambda/4$. Спектры отражения получены при следующих параметрах системы: $\Gamma = 0,01$ (доплеровское уширение превосходит величину однородного уширения на два порядка), $m = 0,001$, $n_1 = n_2 = 1,5$

При толщинах газового слоя равных $l = (2n-1)\lambda/2$, где $n = 1,2,3,\ldots$ в спектре отражения наблюдается узкий пик вблизи линии резонанса (рис. 3 – а). В том случае, если толщина слоя кратна длине волны падающего излучения, субдоплеровская структура в спектре не наблюдается (рис. 3 – в). При толщинах слоя, отличающихся от целого кратного на четверть длины волны, спектральный профиль коэффициента отражения вблизи резонанса имеет нечётную структуру (рис. 3 – б, г). Значительное снижение коэффициента отражения при толщинах слоя $l = n\lambda/2$ (рис. 3 – а, в) связано с возникновением в системе резонансов Фабри-Перо, которые имеют место и при отражении света от пустого слоя (при $m = 0$). В случае равенства показателей преломления сред, окружающих газовый слой, условие $l = n\lambda/2$ соответствует случаю деструктивной интерференции волн, отражённых от передней и задней границ слоя. Следует также отметить, что спектральный профиль коэффициента отражения почти периодически повторяется при увеличении толщины слоя на величину длины волны излучения (красные кривые на рис. 3), однако, по мере увеличения толщины слоя увеличивается и поглощение света в среде, что приводит к уменьшению общего

отражения вблизи линии резонанса. Так для толщин слоя $l=(n-1/2)\lambda/2$ при увеличении толщины слоя в центральной части спектра отражения начинает формироваться провал в интенсивности с полушириной порядка $k\upsilon_T$. Примечательно, что в том случае, когда толщина слоя кратна длине волны падающего излучения (рис. 3 – в), при увеличении толщины слоя на λ напротив происходит увеличение коэффициента отражения. Данный факт объясняется уменьшением эффекта деструктивной интерференции волн, отражённых от границ слоя, за счёт поглощения прошедшей в газовую среду волны. Вследствие процесса поглощения излучения по мере распространения электромагнитной волны в газовой среде, с увеличением толщины исходного газового слоя вторая граница постепенно перестаёт давать вклад в общее отражение. Данное обстоятельство приводит к отсутствию зависимости спектрального профиля коэффициента отражения от толщины газового слоя при больших l. В отличие от [1] в данном расчёте структура поля внутри газовой среды учтена точно за счёт решения системы уравнений (1) самосогласованным образом. Это позволило определить смещение максимума узкого бездоплеровского контура в коротковолновую часть спектра с увеличением концентрации атомарных паров (рис. 4).



(а) (б)

Рис. 4. Спектральный ход коэффициента отражения вблизи резонанса при трёх значениях концентрации атомарных паров: $m=0,002$ – красная кривая, $m=0,006$ – зелёная кривая, $m=0,01$ – синяя кривая (а); Зависимость смещения максимума бездоплеровского контура от концентрации атомарных паров (б): красными точками изображена зависимость, полученная численными методами, синяя линия соответствует линейной аппроксимации данной зависимости, чёрная пунктирная кривая соответствует численной аппроксимации полученной зависимости с точностью до квадратичных членов. Спектры были рассчитаны при следующих параметрах системы: $\Gamma=0,01$, $n_1=n_2=1,5$, $l=\lambda/2$

При отражении резонансного излучения от тонкого газового слоя с увеличением концентрации атомарных паров также наблюдается увеличение общего отражения и уширение спектрального контура. В случае малых концентраций $m<\Gamma$ сдвиг резонансной частоты свободного от доплеровского уширения максимума хорошо описывается линейной зависимостью $\Delta\Omega=2\sqrt{\pi}m$ (синяя линия на рис. 4 – б). Из рис. 4 видно, что при концентрациях $m>\Gamma$ зависимость сдвига резонансной частоты от концентрации атомарных паров перестаёт быть линейной, что связано с влиянием квадратичных по плотности газа членов. Получение точного аналитического выражения для смещения максимума бездоплеровского контура представляет значительные трудности, вследствие зависимости $\Delta\Omega$ от Γ в более высоких порядках

по оптической плотности. Также для определения данной зависимости в более широком диапазоне концентраций необходимо учитывать влияние столкновительного уширения, приводящего к смещению резонансной частоты [4]. На рис. 4 построенная зависимость сдвига резонансной частоты от концентрации атомов была аппроксимирована следующим образом (чёрная пунктирная кривая на рис. 4):

$$\Delta\Omega = 2\sqrt{\pi}m - 4,73\times10^{-3}m^2.$$

В настоящей работе была предложена теоретическая модель, описывающая резонансное отражение света от тонкого слоя газовой среды в приближении зеркальных граничных условий для поляризации атомов газа. В результате самосогласованного решения системы уравнений для поля и поляризации в газовой среде были получены формулы, позволяющие численно рассчитывать энергетический коэффициент отражения. Выполненный вне рамок теории возмущений численный расчёт позволил определить сложную зависимость вида спектрального контура от толщины газового слоя с учётом процессов поглощения. Также с точностью до квадратичных по оптической плотности членов удалось определить зависимость смещения резонансной частоты свободного от доплеровского уширения спектрального контура от концентрации атомарных паров. В дальнейшей работе планируется провести точный физический расчёт для паров рубидия в сапфировой кювете с целью экспериментальной проверки полученных результатов. Большой интерес представляет также изучение нелинейных оптических явлений, возникающий в рассмотренной системе при воздействии сильных световых полей. В конечном счёте, исследования оптических свойств подобных систем позволяют изучить природу взаимодействия атомов с поверхностью диэлектрического материала и могут послужить основой для создания миниатюрных атомных стандартов частоты и времени [5].

Литература

1. Vartanyan T.A., Lin D.L. Enhanced selective reflection from a thin layer of a dilute gaseous medium // Phys. Rev. A. 1995. Т. 51. С. 1959-1964
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Теоретическая физика: физическая кинетика // М.: Наука. Глав. Ред. Физ-мат. Лит. 1979. 528 с.
3. Guo J., Cooper J., Gallagher A., and Lewenstein M. // Opt. Commun. 110. 1994. Т. 53. № 2. С. 1130-1138.
4. Vdovin Yu. A., Galitskll V.M. Dielectric constant of a gas of resonant atoms// Soviet physics Jetp. 1966. V. 25. P.1345-1359.Лебедько Е.Г. Системы импульсной оптической локации. СПб.: Лань, 2014. 368 с.
5. Knappe S., Schwindt P.D.D., Shah V., Hollberg L., Kitching J., Liew L., Moreland J. A chip-scale atomic clock based on ^{87}Rb with improved frequency stability // Optical society. 2005. Т. 13. № 4. С. 1250-1254Ozan O., Ozarslan Y. Video lecture watching behaviors of learners in online courses // Educational Media International. 2016. V. 53. P. 27–41.

Журба Данила Владимирович
Год рождения: 1997
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
студент группы № L3420,
направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика,
e-mail: zhurba.danila306@ya.ru
Петров Андрей Анатольевич
Год рождения: год 1979
Университет ИТМО,
факультет лазерной фотоники и оптоэлектроники,
к.т.н., доцент (квалификационная категория "ординарный доцент"),
e-mail: aapetrov@itmo.ru

УДК 621.793+621.373

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ АНТИКОРРОЗИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Д.В. Журба

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.А. Петров**

Университет ИТМО

Аннотация
Представлены результаты выпускной квалификационной работы, выполненной в компании ООО «НПП ВОЛО». Описан экспериментальный стенд лазерного газодинамического напыления металлических антикоррозионных покрытий. Приведены принцип действия стенда, состав оборудования и его основные параметры. Проведены тестовые эксперименты по напылению цинкового и медного покрытий, демонстрирующие работоспособность стенда. Проведен анализ результатов тестовых экспериментов.
Ключевые слова
Лазерное газодинамическое напыление, холодное газодинамическое напыление, лазерная техника, лазерные технологии, экспериментальный стенд, антикоррозионные металлические покрытия.

Среди многочисленных способов защиты от коррозии стальных изделий нанесение цинковых покрытий занимает одно из ведущих мест. В настоящее время перспективным направлением развития технологий нанесения цинковых покрытий является разработка методов локального нанесения покрытий и уменьшение термического воздействия на материал защищаемого изделия. Примером метода локального нанесения металлических покрытий, также обладающим низким термическим воздействием как на материал подложки, так и на покрытие, является разновидность метода холодного газодинамического напыления (ХГН) – холодное газодинамическое напыление низкого давления (ХГННД) [1, 2]. Однако у данного метода имеются существенные недостатки, главными из которых являются: невысокая

эффективность напыления покрытий (коэффициент использования порошка не превышает 25 %) и дефекты покрытия, уменьшающие коррозионную стойкость покрытий (пористость до 3 %, несплошности как в самом покрытии, так и на границе подложки и покрытия и др.) [3]. Перспективным направлением развития технологии ХГН низкого давления является применение лазерного излучения совместно с процессом напыления. Лазерная очистка и лазерный нагрев зоны напыления позволяют увеличить коэффициент использования порошка и производительность, а также улучшают качество покрытий, что положительно сказывается на коррозионной стойкости защищенных изделий.

Лазерное газодинамическое напыление (ЛГН) является новой и перспективной технологией для нанесения металлических покрытий. Разработка технологии, совмещающей ХГН с лазерным излучением, открывает новые возможности по созданию высококачественных покрытий, повышению производительности и эффективности, снижению стоимости, повышению безопасности и экологичности процесса напыления. В настоящее время разработки технологии и лабораторных установок лазерного газодинамического напыления ведутся во многих развитых странах. Однако, установки ХГН с использованием лазерного излучения пока промышленно не выпускаются [4].

Для исследования технологии лазерного газодинамического напыления антикоррозионных (в т.ч. цинковых) и других металлических покрытий на поверхность углеродистых сталей был создан экспериментальный стенд. Напыление осуществляется по технологии ХГННД. Стенд обеспечивает возможность варьирования параметров лазерной обработки и параметров ХГННД. Стенд позволяет производить ХГННД покрытий на поверхность образцов, лазерную очистку и лазерный нагрев поверхности образцов. Лазерная очистка может осуществляться отдельно от процесса напыления или совместно с напылением. Напыление возможно производить с лазерным нагревом или без него.

В стенде применена схема с раздельным вводом лазерного излучения и струи напыления. Струя напыления подается на образец перпендикулярно его поверхности, угол падения пучка лазерного излучения нагрева составляет 30°. Излучение лазерной очистки падает на поверхность перпендикулярно, если она осуществляется отдельно от процесса напыления, или падает под углом 35°, если лазерная очистка производится совместно с напылением. В состав стенда входят:

- каркас из алюминиевого профиля;
- установка ХГН «ДИМЕТ-404»;
- аппарат импульсной лазерной очистки «АЛОТ-100ИМ»;
- установка лазерного нагрева: лазер ЛС-2 и фокусирующая головка «VL60-150»;
- система линейного перемещения образца;
- пылезащитная камера;
- тепловизионная камера FLIR «Titanium 520M».

Стенд ЛГН представляет собой каркас из алюминиевого профиля с закрепленными на нем манипулятором напыления ХГННД «ДИМЕТ-404», манипулятором лазерной очистки «АЛОТ-100ИМ» и фокусирующей головкой «VL60-150» для лазерного нагрева, формирующей пучок излучения необходимого диаметра. Образец в виде пластины из углеродистой стали закрепляется на предметном столике. Предметный столик объединен с пылезащитной камерой и закреплен на каретке линейного привода. Перемещение области напыления, нагрева и очистки по поверхности образца является линейным и осуществляется при перемещении каретки линейного привода. На рис. 1 представлена фотография экспериментального стенда.

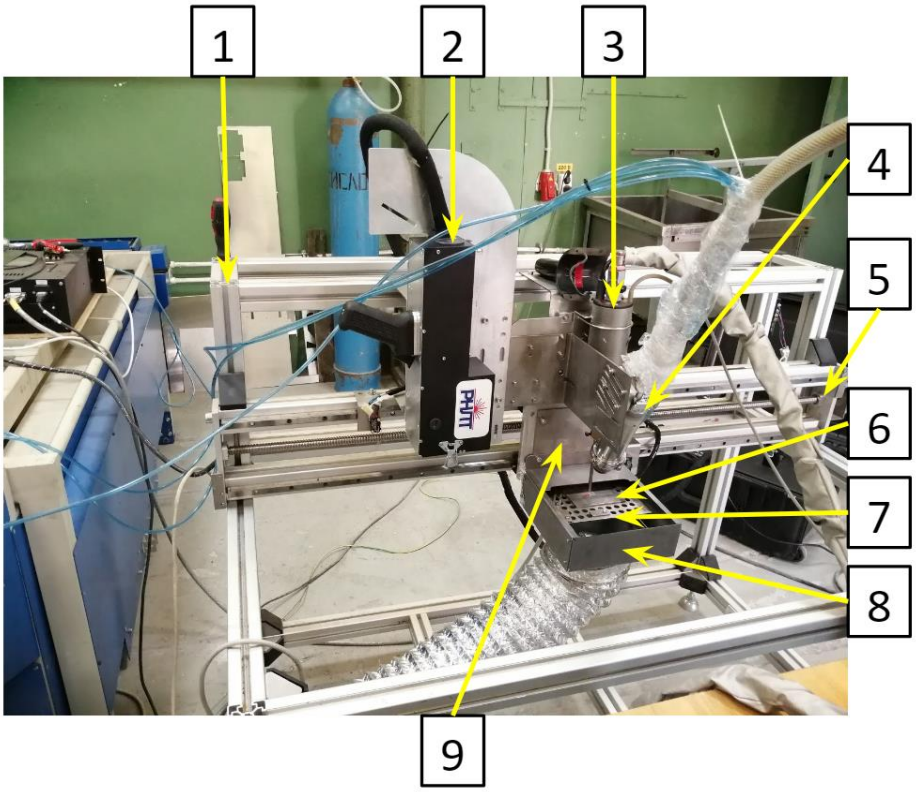


Рис. 1. Общий вид экспериментального стенда ЛГН.
1 – каркас; 2 – манипулятор аппарата лазерной очистки;
3 – манипулятор установки ХГННД; 4 – фокусирующая головка для лазерного нагрева;
5 – система линейного перемещения образца; 6 – образец; 7 – предметный столик;
8 – пылезащитная камера; 9 – каретка линейного привода

Основные технические характеристики экспериментального стенда ЛГН:

1. Устройство для ХГН;
– давление потребляемого воздуха: 5-9 атм;
– расход сжатого воздуха: 0,45 м^3/мин;
– производительность по массе наносимого покрытия: 1-6 г/мин;
– 5 фиксированных температурных режимов предварительного нагрева воздуха;
– 2 порошковых питателя;
2. Аппарат лазерной очистки;
– тип лазера: импульсный иттербиевый волоконный
– максимальная средняя мощность излучателя: 100 Вт;
– длина волны излучения: 1,07 мкм;
– частота следования импульсов: 50-200 кГц;
– длительность импульса: 100 нс;
– диаметр пучка в перетяжке: 75 мкм;
– ширина полосы развертки: 0,1-50 мм;
– углы падения излучения: 0°или 35°
– возможность смещения полосы развертки от центра пятна напыления: > 10 мм;
3. Установка для лазерного нагрева;
– тип лазера: квазинепрерывный иттербиевый волоконный
– максимальная мощность излучения: 2 кВт;
– длина волны излучения: 1,07 мкм;

– диаметр пучка нагрева: 4-6 мм;
– угол падения излучения: 30°;
– возможность смещения пучка нагрева от центра пятна напыления > 10мм.

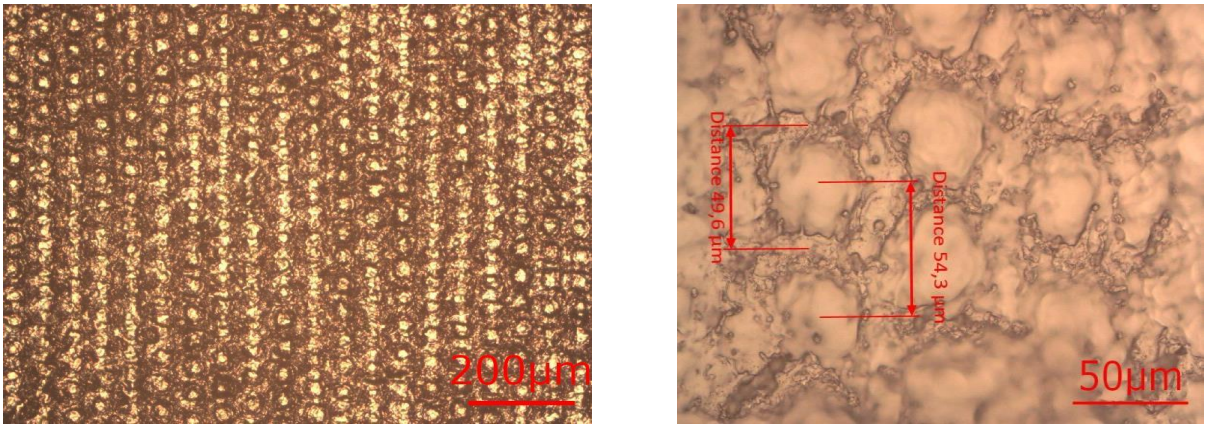
4. Система линейного перемещения образца;
– скорость перемещения: 1-40 мм/с;
– шаг изменения скорости: 1 мм/с.

Для проверки работоспособности стенда были проведены тестовые эксперименты по напылению цинковых и медных покрытий. Параметры работы напылителя «ДИМЕТ-404» (режим нагрева воздуха – 3 и режим работы порошкового питателя – 5), необходимые для получения качественного покрытия были выбраны согласно инструкции по эксплуатации. В тестовых экспериментах проверялось влияние лазерной очистки и лазерного нагрева на коэффициент использования порошка, а также на структуру покрытий. Напыление производилось за один проход на неподготовленную поверхность, на поверхность после лазерной очистки и одновременно с лазерным нагревом на очищенную поверхность.

Режим лазерной очистки и микроструктурирования был выбран экспериментально. Поверхность подложки располагалась в фокусе объектива манипулятора лазерной очистки. Параметры режима лазерной очистки:

– длина полосы развертки 25 мм;
– скорость линейного перемещения образца 10 мм/с;
– частота следования импульсов 200 КГц;
– частота развертки 200 Гц;
– мощность излучения 50 %.

В данном режиме производилась качественная очистка поверхности образцов, поверхность получалась свободной от различных загрязнений с упорядоченной микроструктурой (рис. 2, а). Размеры абляционных кратеров соотносятся с типичным размером напыляемых частиц – 50 мкм (рис. 2, б).



а б

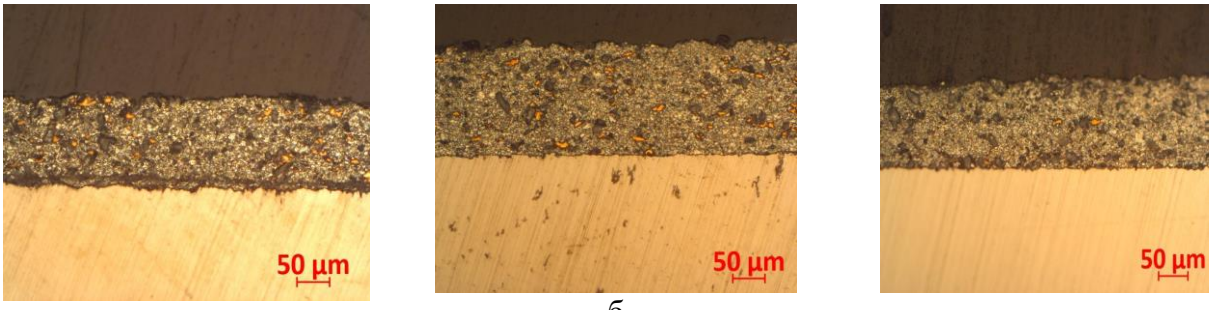
Рис. 2. Микрорельеф очищенной поверхности: микроструктура поверхности (а); вид абляционных кратеров (б)

Для скоростей перемещения образца 10 мм/с и 15 мм/с были выбраны параметры лазерного нагрева. Режим работы лазера непрерывный. Распределение температуры в области лазерного нагрева при различной мощности излучения определялось с помощью высокоскоростной тепловизионной камеры университета ИТМО FLIR Titanium 520M с компьютерной программой Altair.

Коэффициент использования порошка определялся как отношение массы покрытия (приращение массы пластины после напыления) к массе израсходованного при напылении порошка. При напылении цинковых покрытий скорость линейного перемещения образца составляла 10 мм/с, диаметр пучка нагрева 5 мм, диаметр пятна напыления 5 мм, мощность излучения лазерного нагрева 300 Вт. В экспериментах по напылению цинковых покрытий установлено, что лазерная очистка поверхности подложки позволяет увеличить коэффициент использования порошка. Для неочищенной поверхности коэффициент использования порошка составил 11,5%, а для очищенной – 18,9%, т.е. увеличился в 1,6 раз. Лазерный нагрев очищенной поверхности при напылении привел к увеличению коэффициента использования порошка до 20,4%. При увеличении мощности излучения нагрева напыляемый порошок начинал плавиться, и коэффициент использования порошка уменьшается.

Для проверки возможности существенно увеличить коэффициент использования напыляемого порошка с помощью лазерного нагрева области напыления дополнительно был проведен эксперимент по напылению однослойного медного покрытия. Скорость линейного перемещения образца составляла 15 мм/с, диаметр пучка нагрева 5 мм, диаметр пятна напыления 5 мм, мощность лазерного излучения нагрева 650 Вт. Напыление осуществлялось на поверхность после лазерной очистки. Коэффициент использования медного порошка при напылении без лазерного нагрева составил 14,2 % и при напылении с лазерным нагревом – 21,8 %. Для медного покрытия применение лазерного нагрева позволило существенно увеличить коэффициент использования порошка (в 1,5 раза). Можно предположить, что увеличение коэффициента использования порошка было достигнуто благодаря увеличению температуры нагрева стали, при этом плавления медного порошка не наблюдалось в связи с высокой температурой плавления меди.

Для оценки влияния лазерного излучения на структуру напыляемых покрытий были сделаны поперечные шлифы покрытий. Шлифы прошли травление в 3%-ном водном растворе азотной кислоты. После травления шлифы изучались в оптический микроскоп. На рис. 3 представлены микрофотографии структуры цинковых покрытий, полученных при трех вариантах напыления.



а б в

Рис. 3. Цинковое покрытие: напыленное на неочищенную поверхность (а); напыленное на очищенную лазером поверхность (б); напыленное с лазерным нагревом на очищенную лазером поверхность (в)

Из полученных микрофотографий видно, что покрытие, напыленное на неочищенную поверхность, получилось с дефектом в виде трещины вблизи границы между подложкой и покрытием. В покрытиях, напыленных на предварительно очищенную лазером поверхность данного дефекта не наблюдается.

На рис. 4 представлена структура медных покрытий, напыленных на очищенную лазером поверхность без лазерного нагрева (сверху) и с лазерным нагревом (снизу).

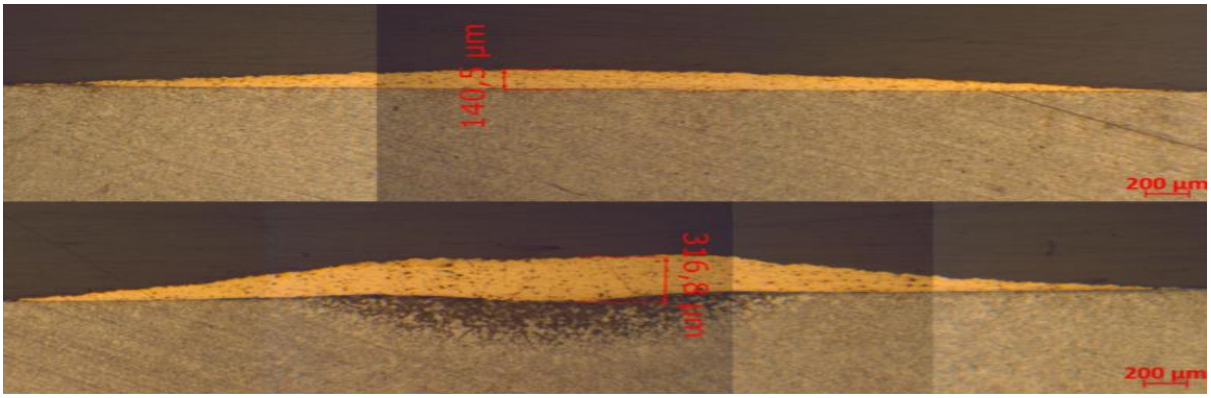


Рис. 4. Медные покрытия

В центре напыленной полосы толщина покрытия при напылении с лазерным нагревом увеличилась в 2,3 раза по сравнению с напылением без лазерного нагрева. При напылении с лазерным нагревом в центре зоны обработки в подложке появился провал, что связано с улучшением пластичности материала подложки при нагреве и деформацией ее в результате ударного взаимодействия с ней сверхзвуковой газопорошковой струи. Темная область в структуре подложки – зона термического влияния лазерного излучения.

На основе микрофотографий шлифов цинковых покрытий можно отметить, что применение лазерной очистки и микроструктурирования поверхности подложки перед напылением позволяет улучшить качество покрытия вблизи границы подложки и покрытия, что должно положительно влиять на адгезию покрытия к подложке. Лазерный нагрев при напылении медного покрытия привел существенному увеличению толщины покрытия, что указывает на увеличение коэффициента использования порошка.

Проведенные эксперименты показали, что применение лазерного излучения совместно с холодным газодинамическим напылением позволяет улучшить качество покрытий и увеличить коэффициент использования напыляемого порошка, что свидетельствует о перспективности разрабатываемой технологии. Для оценки технико-экономической эффективности разрабатываемой технологии необходимо проведение большого объема исследований по оптимизации процессов лазерного газодинамического напыления, включая проведение контроля структуры, прочности и коррозионной стойкости покрытий. Разработанный экспериментальный стенд является базой для проведения подобных исследований и апробации технологии с целью ее промышленного внедрения.

Литература

1. Клинков С.В. Управление эрозионно-адгезионным переходом при ХГН: дис. на соискание уч. степени д-ра физ.-мат. наук: 01.02.05 / Клинков С.В. Новосибирск. 2013. 300 с.
2. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф., Фомин В.М. Под ред. Фомина В.М. Монография. Москва: Физико-математическая литература. 2010. 536 с.
3. Металлические покрытия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dymet.net/metallicheskie-pokrytiya-2.html, своб.
4. Olakanmi E.O. Laser-Assisted Cold-Sprayed Corrosion-and Wear-Resistant Coatings: A Review / Olakanmi E.O. and Doyoyo M. // Therm J. Spray Technol. 2014. 23(5), p. 765-785.

Замиралов Александр
Год рождения: 1997
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R3496,
направление подготовки: 01.03.02 – прикладная математика и информатика,
e-mail: sdemom123@gmail.com
Уздин Валерий Моисеевич
Год рождения: 1957
Университет ИТМО,
факультета систем управления и робототехники,
д.ф.-м.н., профессор,
e-mail: v_uzdin@mail.ru

УДК 004.8

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА И ГЕНЕРАЦИЯ ЗАГОЛОВКОВ

А. Замиралов

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор **Уздин В.М.**

Университет ИТМО

Аннотация
Генерация заголовков - особый вид обобщения текста. Задача относится к обработке естественного языка, так же, как и машинный перевод, тематическое моделирование, генерация текста чат-бота. Несмотря на успехи в области машинного перевода, задача генерации заголовков остается нерешенной. В данной статье предлагается дополнить Seq-2-Seq модель с механизмами внимания, успешно показавшую себя в задачах машинного перевода, уровнем, зависящим от предварительной кластеризации текста. Словарь создается технологией кодирования Byte Pair Encoding (BPE). Кластеризация проводится с помощью Латентного Размещения Дирихле (LDA).
Ключевые слова
Генерация заголовков, Обработка естественного языка, BPE, LDA, кластеризация, механизмы внимания.

Введение

На данный момент существуют два разных подхода к решению задачи генерации заголовков – Экстрактивный и Абстрактивный. Особенность экстрактивного способа в том, что мы находим важную информацию непосредственно в самом тексте и формируем из нее предложение, способное быть заголовком. Особенность второго подхода, абстрактивного, в том, что мы находим смысловые акцент, значения, которые могут и не содержаться напрямую в тексте, и уже из них составляем заголовок. Именно второй способ мне кажется перспективным и рассматривается далее.

Мной было замечено, что экстрактивный подход имеет много общего с уже в достаточной мере решенной задачей машинного перевода. Можно представить, что мы делаем перевод с *языка* на *язык_со_смыслом*. Так же находим смысловые сущности,

значения и описываем их словами, которые могли не встречаться в исходном тексте. Но как было показано, если просто использовать методы машинного перевода, то мы не добьемся успеха.

Наиболее простой задачей обработки естественного языка является – генерация ответа на вопрос пользователя. В этой задачи небольшой вход и небольшой выход, запоминать контекст надо, но не глубок, так что подошло простое использование LSTM-RNN. Для задачи машинного перевода этого оказалось недостаточно: большой по размеру вход и большой по размеру выход, требовали большего уровня запоминания контекста, сущностей, для решения этой проблемы был предложен метод использования Механизмов внимания – дополнительный уровень в нейронной сети, который связывает слова с сущностью, о которой они упоминают, добавляет новый уровень контекста.

Задача генерации заголовков отличается от машинного перевода тем, что на вход получает все еще большое количество данных, а на выходе должно быть небольшое предложение. Для решения этой проблемы мной были предложены две эвристики: наиболее весомые сущности, которые выделяет уровень внимания – ответы на вопросы “кто? что? где? когда? как?” и др., в зависимости от тематики статьи нам важно знать ответы на определенные вопросы.

Сопутствующие работы:

Я отталкивался от трех наиболее интересных, современных статей в области генерации заголовков. [1]. Российское решение, использующее абстрактивный подход, на модели Universal Transformer, с тестами на русском языке. В [2]. Исследователи предложили интересный подход с сетью многоуровневой памятью, в которой они искали ответы ровно на 6 вопросов(кто, что, где, когда, почему, как) и комбинируя их, получали заголовок. В [3]. Уже ставшей некоторой классической рекомендацией, авторы предполагают, что основной смысл статьи в ее первом предложении, и на этом строят свою модель.

Метод, использующий механизмы внимания в машинном переводе описывается в [4]. Одной из частей работы было построение словаря, интересный и действенный способ пришел из области кодирования информации, в статье [5]. Автор демонстрирует его возможности и корректность для обработки текста.

Формальная постановка задачи

Считаем, что у нас есть датасет $D = \{(title_i, fulltext)\}_i^N$ из статей и их заголовков. Подход к обучению для генерации заголовков заключается в определении условной вероятности вида $P(y_t|\{y_1, \dots, y_{t-1}\}, X, \theta)$ для токенов $y_t \in V$ на шаге $t \in \mathbb{N}$, где V – это словарь, с учетом текста статьи $\mathrm{X} = \{x_1, \dots, x_N\}$ $(x_i \in V)$ и предыдущих токенов, которые мы выбрали в заголовок $\{y_1, \dots, y_{t-1}\}$, параметризованной нейронной сетью с параметрами θ.

Мы можем найти параметры модели как $\theta_{MLE} = argmax_\theta \Pi_i^N P(Y_i|X_i, \theta)$, дальше имея модель, мы можем находить наиболее вероятные заголовки разными методами: жадно добавляя по одному, добавляя по k наиболее вероятных, добавляя сразу какую-то часть из первого предложения или использовать многие другие методы.

Мой подход

Создание словаря. Есть 2 классических подхода – разбиение по словам и разбиение по буквам. Оба подхода имеют свои серьезные минусы, но все еще используются. В моей работе использовался алгорит Byte Pair Encoding дополненный для работы с текстом. Идея в том, чтобы итеративно объединять наиболее часто

встречающуюся в корпусе текстов пару токенов в один. Такой подход показывает хорошие результаты в генерации текста, а так же позволяет производить первичный морфологический анализ, но плохо работает для тематического анализа, так что нам понадобятся 2 словаря.

Кластеризация. Каждый текст мы представляем как вектор $(a_1, \dots, a_N)$, где каждый элемент – это важность определенного слова, посчитанная по формуле $Tf * Idf$, где

$Tf(t,d) = \frac{n_t}{\sum_k n_k}$ частота слова, показывает насколько важно слово для определенной статьи, $Idf(t,D) = Log\frac{|D|}{|\{d_i \in D | t \in d_i\}|}$ инверсия частоты, в числителе общее количество документов, в знаменателе количество документов, в которых встречается слово t, показывает насколько “особым” является слово, помогает снизить важность служебных частей речи.

Для тематического анализа было выбран алгоритм LDA (Латентное Размещение Дирихле), основанный на разделении смесей распределений(EM-алгоритм), при дополнительном предположении, что векторы *Тем* и векторы *Документов* порождаются распределениями Дирихле. Алгоритм работает для заданного количества тем, первичную оценку мы можем получить алгоритмом LSA, который является аналогом сингулярного разложения матрицы, при условии текстовых данных.

Модель архитектуры нейронных сетей. Seq-2-Seq (последовательность для последовательности) модель хорошо показала себя для обработки естественного языка. Ее суть заключается в том, что у нас есть 2 отдельные нейронные сети, одна – зашифровывающая входные данные, вторая – расшифровывающая и собирающая ответ. В качестве этих нейронных сетей в работе была выбрана LSTM-RNN (рекуррентная нейронная сеть с короткой и длинной памятью) она позволяет сохранять контекст в предложениях, а для нахождения контекста во всем тексте использовать механизмы внимания. В данной модели, сущности которые находят механизмы внимания, могут рассматриваться как ответы на вопросы, их может быть и больше шести. На следующем уровне, в зависимости от темы, мы присваиваем найденным ответам веса, показывающие, насколько они важны для передачи смысла именно этой темы (рис. 1).

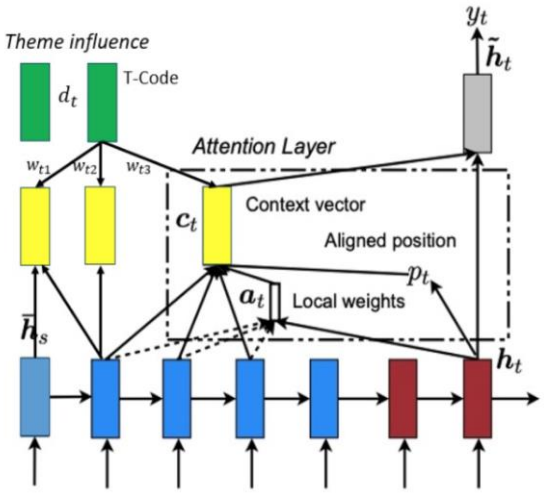


Рисунок 1. Итоговая модель архитектуры генерации заголовков. Синим выделена кодирующая нейронная сеть, красным декодирующая, желтым – уровень внимания, зеленым – уровень темы статьи, серым показывается сгенерированное слово, с учетом всех уровней.

Заключение

Модель показала себя работоспособной, но результаты достаточного качества получены не были. С привлечением дополнительных вычислительных мощностей и доступных данных, качество может улучшиться. В любом случае, эвристика с предварительной кластеризацией кажется перспективной и может быть применена для улучшения качества к любой другой модели генерации заголовков.

Литература

1. Gavrilov D., Kalaidin P., Malykh V. Self-Attentive Model for Headline Generation //arXiv preprint arXiv:1901.07786. – 2019.
2. Putra J.W.G., Kobayashi H., Shimizu N.: Experiment on using topic sentence for neural news headline generation (2018).
3. Hayashi Y., Yanagimoto H.: Headline generation with recurrent neural network. In: New Trends in E-service and Smart Computing. pp. 81–96. Springer (2018).
4. Luong M.T., Pham H., Manning C.D. Effective approaches to attention-based neural machine translation //arXiv preprint arXiv:1508.04025. 2015.
5. Sennrich R., Haddow B., Birch A. Neural machine translation of rare words with subword units //arXiv preprint arXiv:1508.07909. 2015.

Колодийчук Павел Андреевич
Год рождения: 1997
факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы № W3460,
направление подготовки: 14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика,
e-mail: 333.serious_pasha.ru@mail.ru
Пилипенко Николай Васильевич
Год рождения: 1938
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
д.т.н., профессор,
e-mail: pilipenko38@mail.ru

УДК 536.5

ПОГРЕШНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОСОСТАВНЫХ ОБЪЕКТОВ

П.А. Колодийчук

Научный руководитель –д.т.н., профессор **Н.В. Пилипенко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Погрешность восстановления нестационарной температуры многосоставных объектов».

Аннотация
В работе рассмотрена возможность применения дифференциально-разностных моделей для расчета температуры на поверхности исследуемого тела при использовании измерительного преобразователя температуры, а также возникающая при этом неопределенность. Кроме того, было проведено сравнение с классической аналитической моделью, основанной на интегральных преобразованиях Лапласа.
Ключевые слова
Нестационарная температура, дифференциально-разностная модель, неопределенность температуры, измерительный преобразователь температур, контактный метод, переходная матрица.

Получение данных о температурных полях и потоках получает значительную важность для большей части экспериментальных испытаний. Люди изобретают новые устройства, решающие старые задачи и создают новые, повышая требования к точности. Этот замкнутый круг породил абсолютно новую ветвь измерительной техники теплометрии. Теплометрия связывает способы генерации информации о плотности тепловых потоков и температурных полях. Теплометрические характеристики применяются для контроля над тепловыми процессами в самых разных областях хозяйства [1].

Актуальной задачей является ликвидация неопределенностей нестационарной теплометрии [2]. Неопределенность возникает из-за того, что температуру нельзя замерить напрямую. Зачастую, когда мы измеряем температуру тела, мы узнаем

температуру не конкретно изучаемого тела, а датчика, который дает нам эту информацию.

Одной из задач работы было сравнить полученные результаты с данными, полученными аналитическим методом, основанном на интегральном преобразовании Лапласа.

В качестве погрешности рассматривается разность температуры чувствительного элемента измерительного преобразователя температуры (ИПТ) и найденных температур поверхности исследуемого тела (полупространства). Все расчеты производились с помощью дифференциально-разностных моделей (ДРМ), которые в линейном случае имеют вид системы однородных дифференциальных уравнений. При этом для достижения высокой степени подобия реальному процессу теплопереноса, имеется возможность ввести в ДРМ некоторые особенности тепловых схем, учет которых в классических моделях теплопереноса, основанных на преобразованиях Лапласа, либо слишком сложен, либо просто невозможен. Например, контактное сопротивление, элементы крепления, воздушные зазоры и так далее. Данную дифференциально-разностную модель можно записать в следующей векторно-матричной форме:

$$\frac{d}{dt}\vec{T}(\tau) = F \times \vec{T}(\tau) + G \times \vec{U}(\tau), \quad (1)$$

где F – (n×n) – матрица обратных связей, G – (n×2) – матрица управления, $\vec{U}(\tau)$ - вектор управления, $\vec{T}(\tau)$ - значения температуры.

Их решение проводилось стандартным путем при помощи переходной матрицы состояния системы. Переходная матрица позволяет по начальным значениям температуры каждого участка тела получать соответствующие значения температуры в любой момент времени, образуя пространство состояния объекта. На значительных интервалах времени она является наиболее информативной динамической характеристикой [3].

Переходим к рассмотрению конкретных задач и сравнению их с аналитическим решением.

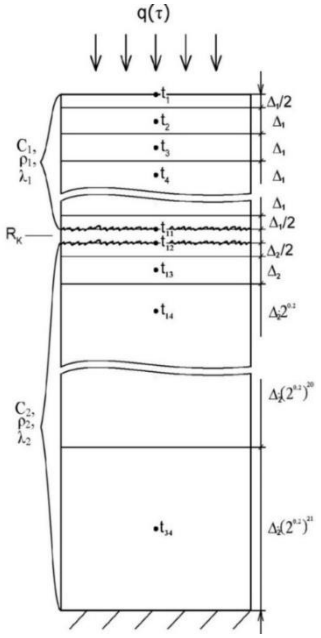


Рисунок. 1. Принципиальная модель разбиения исследуемого тела

Тело является полупространством, которое при расчетах было ограничено толщиной 27 мм. При таких размерах тепловая волна ещё не успевает дойти до конца тела, а значение неопределенности уже перестает изменяться, чем и достигается принцип полупространства. Тело разбивается на 23 блока, причем чем дальше блок от поверхности тела, тем блок больше. В случаях, где используется ИПТ, он представляет собой плоскую бесконечную пластинку, сделанную из изолятора (в нашем случае текстолит) с вделанным чувствительным элементом – термометром сопротивления. Эта пластина имеет толщину 50 микрометров и разбивается на 11 блоков. Стоит отметить, что все граничные блоки имеют уменьшенную в 2 раза толщину, по сравнению с соседними. В тех случаях, когда подложка текстолита не используется, ИПТ состоит только из термометра сопротивления, тепловое сопротивление которого очень низко и не вносит возмущения в температурное поле (рис. 1).

Размеры блока выбираются исходя из 2-х факторов: во-первых, размеры должны быть достаточно маленькими, так как при расчетах мы работаем со значениями среднеобъемной температуры, во-вторых, малые размеры приводят к неустойчивости решения и увеличению неопределенности [4].

В ходе выполнения работы были рассмотрены случаи:

1. ИПТ располагается на поверхности массивного тела, сделанного либо из стали, либо из кирпича. Чувствительный элемент ИПТ может располагается на тыльной стороне ИПТ или в месте контакта с телом. Контакт может быть идеальным, либо содержать сопротивление от 10^(-4) до 10^(-2) К/Вт. Со стороны ИПТ воздействует постоянный тепловой поток.
2. ИПТ располагается в теле, изготовленного из стали или огнеупорного кирпича, на глубине 1.1, 2.8, 4.9мм, состоит только из термометра сопротивления, который достаточно тонкий не вносит тепловые возмущения в температурное поле тела.
3. ИПТ находится в идеальном контакте с телом, сделанным их огнеупорного кирпича. Со стороны ИПТ идет обмен со средой, температура которой изменяется по гармоническому закону с амплитудой в 100К. Стоит подметить, что датчик находится в середине ИПТ.

Представим результаты расчета для первого случая с различным значением контактного сопротивления для стального тела, когда датчик находится на внешней стороне.

Таблица 1

Сравнение результатов численного и аналитического решения для массивного стального тела с датчиком на наружной стороне пластины

$R_к$, *К/Вт*	Аналитический метод	Численный метод
0	Δt→-14,2К	Δt= -11,2К при τ=1,2с Δt→-13,9К
10^{-4}	-	Δt→-14,8К
10^{-3}	-	Δt→-23,2К
10^{-2}	-	Δt→-58,9К

Второй рассматриваемый случай – оценка погрешности показаний чувствительного элемента, вмонтированного на различной глубине в стальное и кирпичное тело. Рассматриваются 3 случая залегания элемента на глубине 1,1, 2,8, 4,9 мм соответственно. На тело воздействует постоянный тепловой поток. Результаты расчетов представлены в таб. 1-3.

Таблица 2

Сравнение результатов численного и аналитического решения для массивного стального тела с датчиком на различной глубине

δ, *мм*	Аналитический метод	Численный метод
1,1	Δt→0,25К	Δt→0,232К
2,8	-	Δt→0,608К
4,9	-	Δt→1,028К

Следующий рассматриваемый случай: теплообмен тела со средой, температура которой изменяется по гармоническому закону. В данной задачи были рассмотрены 3 случая с разными частотами изменения температуры среды: 0,1Гц, 1Гц и 10 Гц. ИПТ в данном случае – сверхтонкий термометр сопротивления с вмонтированным в центр чувствительным элементом в виде тончайшей проволоки. ИПТ положен на массивное тело из огнеупорного кирпича с идеальным контактом.

Таблица 3

Сравнение результатов численного и аналитического решения для массивного стального тела с датчиком на различной глубине

	Аналитический метод			Численный метод		
T, с	a_{t0}, К	$a_{tэ}$, К	$a_{tэ} / a_{t0} - 1$	a_{t0}, К	$a_{tэ}$, К	$a_{tэ} / a_{t0} - 1$
10	13,6	13,5	1%	9.6958	9.554	1%
1	4,7	4,4	6%	3.3253	3.1715	5%
0,1	1,9	1,4	36%	0.9493	0.8192	16%

Стоит отметить, что неопределенность упала с 36% до 16% при переходе от аналитического метода расчета к числовому.

В результате проведенной работы:

1. Получено решение типовых задач теплопроводности численным методом для системы ИПТ-полупространство
2. Получены оценки неопределенностей измерения температуры поверхности этой системы
3. Было проведено сопоставление результатов аналитического и числового решений

В целом численный метод дает преимущество в виде большего количества данных, которые можно внедрить в задачу и более простую обработку из-за того, что ЭВМ предназначен для работы с большим количеством данных, которые мы и получаем в процессе решения поставленной задачи. Полученные данные легко визуализировать и обрабатывать, а в некоторых случаях численный метод дает выигрыш с точки зрения снижения неопределенности.

Литература

1. Геращенко О.А. Основы теплометрии. Киев: Наукова думка. 1971.
2. Пилипенко Н. В. Методы и приборы нестационарной теплометрии на основе решения обратных задач теплопроводностей. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2011.

3. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной теплометрии. – Санкт-Петербург: Энергия, 1967.
4. Пилипенко Н.В. Приборы и методы нестационарной теплометрии. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2016.

Коржова Анастасия Евгеньевна
Год рождения: 1997 год
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3450,
направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,
e-mail: korzhova_nastena@mail.ru
Молодкина Нелли Ринатовна
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., старший преподователь,
e-mail: nrkh25@hotmail.com

УДК 579.2788

БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД

А.Е. Коржова

Научный руководитель – к.т.н., старший преподаватель **Н.Р. Молодкина**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 107824 3707736 «Биотехнологии очистки нефтезагрязненных вод».

Аннотация
В работе рассмотрены возможность использования биотехнологических методов очистки водных объектов от нефтяных разливов. Используемые в настоящее время методы очистки (механический, химический, физико-химический и термический) неэффективны в борьбе с нефтяными загрязнителями и нередко приводят к вторичному загрязнению окружающей среды. Поэтому на сегодняшний день все большее внимание обращается на биологический способ очистки, также называемый биоремедиацией. По сравнению с другими методами этот метод имеет большое преимущество: он безопасен для живых организмов. Биологическая очистка воды от нефти и нефтепродуктов выполняется с помощью специальных микроорганизмов, способных окислять углеводороды нефти и нефтепродуктов. Такие микроорганизмы используют нефтяные углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии. В биоремедиации используются размноженные чистые культуры штаммов, выделенных из нефтезагрязненных участков. Поэтому при их использовании в окружающую среду не привносятся несвойственные ей вещества. Биоремедиация является экономически эффективным и безопасным методом для водных экосистем. Конечные продукты окисления нефтяных углеводородов являются безвредными с точки зрения экологических аспектов. Он приводит к полному разложению нефтяных углеводородов, превращая их в нетоксичные соединения [1–5].
Ключевые слова
Биологический способ очистки, нефтяные углеводороды, биоремедиация.

Объектом исследования являлась река Фонтанка, искусственно загрязненная нефтепродуктом (дизельным топливом) и сырой нефтью. В исследовании изучалась возможность применения биопрепарата, содержащего бактерии *Bacillus licheniformis*, для очистки вод реки Фонтанка от масляных фракций нефтяных загрязнений. Известно, что бактерии *Bacillus licheniformis* обладают способностью производить биосурфактанты, облегчающие утилизацию нефтяных загрязнений для бактерий-нефтедеструкторов. Биосурфактанты – это поверхностно-активные вещества, образованные микроорганизмами. Они усиливают биодоступность гидрофобных углеводородов нефти для микроорганизмов, улучшая их растворимость в воде. Биосурфактанты, производимые бактериями *Bacillus licheniformis*, относятся к классу липопептидов. Липопептиды действуют на масляную фракцию нефти, содержащую углеводороды с количеством углеродных атомомв от 16 до 28. Бактерии *Bacillus licheniformis* действуют в пределах температуры 15 – 35 ºС.

В ходе исследований были проведены 2 эксперимента: «Очистка воды от дизельного топлива» и «Очистка воды от сырой нефти». В каждом эксперименте было приготовлено по 2 образца (образец – контроль и образец с биопрепаратом). При проведении экспериментов использовались визуальные наблюдения и контроль процесса исчезновения масляной пленки в колбах с речной водой, нефтяными загрязнителями и биопрепаратом при оптимальных условиях (температуре 20 ± 2ºС, поступлении воздуха и постоянном перемешивании на лабораторном шейкере со скоростью вращения 200 об/мин). Длительность каждого эксперимента составляла 7 суток.

Изменения в образцах в результате проведения первого эксперимента по очистке речной воды от нефтепродукта показаны на рис. 1.

Рис. 1. Опыт №1 «Очистка речной воды от дизельного топлива».
Слева – контроль, справа – образец с препаратом

В контрольном образце наблюдалась сплошная пленка, и вода по цвету осталась прозрачная. В образце с препаратом масляная пленка значительно меньше, чем в контроле. Вода помутнела. На стенках колбы нефтяная пенка отсутствовала, но наблюдались следы нефтепродукта.

Для выявления способности биосурфактанта во втором эксперименте была использована черная нефть, которая позволила визуально оценить эффективность работы липопептидов. Изменения, произошедшие с образцами в результате проведения первого эксперимента по очистке речной воды от нефтепродукта показаны на рис. 2.

Рис. 2. Опыт №2 «Очистка речной воды от сырой нефти».
Слева – опыт, справа – образец с препаратом

В контрольном образце на поверхности наблюдалась плотная пленка с черными нефтяными скоплениями; на стенках колбы также присутствовала пленка; цвет воды не изменился. В образце с препаратом масляная пленка исчезла, на стенках колбы присутствовала нефть; вода в образце сильно помутнела.

Результаты наблюдения за образцами с препаратом показали, что биосурфактанты эмульгировали масляную пленку, разбив ее на частицы, которые переместились в толщу воды, что привело к изменению окраски воды в образцах.

Результаты наблюдения за контрольными образцами, оставшимися без изменений, показали минимальную способность к самоочищению вод реки Фонтанка от дизеля и сырой нефти. Что подтверждает целесообразность внесения дополнительного количества бактерий – биосурфактантов для борьбы с нефтезагрязнениями.

Литература

1. Scragg Alan. “Environmental biotechnology” 2005, University of the West of England. 447 pages. p.179–180, 183, 189, 395-407.
2. Bragg J.R., Prince R.C., Harner E.J., Atlas R.M. (1994) ‘Effectiveness of bioremediation for the Exxon Valdez oil spill, Nature, 368, 413.
3. Петров А.А. Углеводороды нефти / Петров А.А. М.: Наука. 1984. 263с.
2. Environmental Biomonitoring: the Biotechnology Ecotoxicology interface. James M. Lynch and Alan Wiseman, School of Biological Sciences, University of Surrey, Guildford. UK 1998. p.147-156. 299 p.
3. Трошкова Г.П Экологическиая биотехнология: учебное пособие/. Г.П. Трошкова Е.К. Емельянова, Карабинцева Н.О. Новосибирск. 2011 г. С. 10–21.
4. Кузнецов, А.Е. Научные основы экобиотехнологии: учебное пособие для студентов/ А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова - Москва, 2006 г – 504 с, с. 336–349.
5. Ron E.Z. Natural roles of biosurfactants / E.Z. Ron, Rosenberg E. // Environ. Microbiol. 2001.V. 3. P. 229–236.

Кузнецова Анастасия Александровна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3450,
направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,
e-mail: cuzn.anastasya97@yandex.ru
Сергиенко Ольга Ивановна
Год рождения: 1957
Университет ИТМО,
факультета пищевых технологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: oisergienko@yandex.ru

УДК 658.6

РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МАРКИРОВКИ ПРОДУКЦИИ КАК КРИТЕРИЯ ВЫБОРА ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ

А.А. Кузнецова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **О.И. Сергиенко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 107824 4682903 «Разработка предложений по развитию экологической маркировки продукции как критерия выбора для потребителя».

Аннотация
В работе рассматриваются возможности развития экологической маркировки продукции как критерия выбора для потребителя. Задачи, решаемые в ВКР – исследование рынка продукции, имеющей экосертификацию; определение потребностей и возможностей потребителя; исследование целевой аудитории экопродукции и возможностей ее расширения с помощью проведения социологического опроса потребителей; определение перспектив и препятствий развитию экомаркировки; оценка уровня экологической грамотности и экологизации сознания потребителей.
Ключевые слова
Экомаркировка, осознанное потребление, международные стандарты, критерии.

Введение

Осознанное потребление в современном обществе становится все более актуальным. Покупая какой-либо товар, человек теперь задумывается не только о его вкусовых качествах или стоимости, но и его составе и условиях, в которых он был произведен. Кроме того, трендом становится экологичный образ жизни, люди, которые ему следуют выбирают продукты, производство которых не наносит или наносит минимальный ущерб окружающей среде [1].

Ориентиром в многообразии товаров, которые встречаются нам на пути становится экомаркировка продукции, она говорит нам о соответствии определенных стандартам. Выбирая проверенные товары, потребитель знает, за что он платит. Этот выбор помогает внести свой вклад в снижение отрицательного воздействия на окружающую среду и поддержать ответственного производителя. Изучению целевой аудитории экопродукции и возможности расширения, а также поиском путей развития экомаркировки в России и посвящена моя работа.

Основные положения

Экологическая маркировка продукции – это знак, помещаемый на упаковку товара, который является графическим представлением совокупности сведений экологического характера об услуге или товаре. Экологически сертифицированная продукция оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, чем аналогичные товары ассортиментного ряда или произведена с применением экологически безопасных технологий. Этот знак наносится на изделие, упаковку, этикетку или вносится в сопроводительную документацию. Так же ее можно определить и как инструмент экологического маркетинга, который используют для ознакомления потребителей с экологическими особенностями продукции. Законодательно закреплены экомаркировки трех типов.

Экологическая маркировка I типа свидетельствует о том, что процесс производства товара осуществляется максимально безопасно для окружающей среды, и в его составе нет ингредиентов, вредящих здоровью человека (рис. 1). Она гарантируют тщательную проверку всех стадий жизненного цикла продукции третьей ответственной стороной.

Эта маркировка встречается на различных непродовольственных товарах, а в России также и на продуктах питания [2]. Она уведомляет о том, что:

- используется высококачественное сырье, без применения запрещенных веществ;
- были проведены лабораторные испытания, доказывающие безопасность продукта;
- строгий контроль выбросов в атмосферу, сбросов в воду, обращения с отходами;
- используется минимум упаковки, ее можно использовать повторно или переработать.

Рис. 1. Примеры экомаркировки I типа: 1 – маркировка «Листок жизни»; 2 – маркировка «Северный лебедь»; 3 – маркировка «Европейский цветок»; 4 – маркировка «Голубой ангел»

Экомаркировка II типа – это экологическое заявление изготовителя, импортера, дистрибьютора, продавца или любой другой стороны, которая может получить выгоду от такой декларации, сделанное без сертификации и без подтверждения независимой третьей стороной (ИСО 14 021).

Эта экомаркировка сообщает об экологичном отношении производителя к определенным аспектам или процессам производства или реализации продукции (рис. 2). Она носит исключительно информативный характер и может содержать заявления об:

– использовании восстановленной (регенерированной энергии);
– сниженном энерго – и ресурсопотреблении;
– утилизации продукции (использовании вторичного сырья);
– отсутствии фосфатов, формальдегида или других соединений в составе.
–

Рис. 2. Примеры экомаркировки II типа:

Основной особенностью экомаркировки II типа является то, что сведения, указываемые в подобного типа самодекларации сложнодоказуемы, и ответственность за их достоверность лежит исключительно на производителе и в таком случае нанесение маркировки является зачастую исключительно маркетинговым ходом. Некоторые из этих маркировок представляют собой гринвошинг и поэтому такие заявления не следует считать экологической сертификацией. Использование производителем знаков, сопровождаемых такими фразами как «не содержит ГМО», можно рассматривать как желание стать более конкурентоспособным, то есть сделать свой продукт привлекательнее для потребителя.

Экомаркировку III типа так же называют декларацией EPD, она используется когда изготовитель собирает и предоставляет информацию о своей продукции и ее влиянии на окружающую среду на всех этапах производства, реализации и потребления, а независимая организация, аккредитованная на подобную деятельность, подтверждает сделанные заявления. На сегодняшний день эта экомаркировка становится все более востребованной в странах Европы и США. EPD является скорее инструментом для профессиональной области, это документ, описывающий все аспекты воздействия продукта на окружающую среду в течении его жизненного цикла.

Как было упомянуто ранее, экомаркировка II типа позволяет производителю наносить желаемые заявления на продукцию, зачастую указываемые подобным образом свойства продукта являются недействительными, что представляет собой проблему *гринвошинга*.

Гринвошинг – это экологическое позиционирование товаров или компании без достаточных для этого оснований (рис. 3). Реклама, которая основана на гринвошинге появилась из-за желания производителей увеличить прибыль за счет заинтересованности в экологичных товарах среди потребителей. Из-за увеличения количества людей, выбирающих экотовары, продукция с пометкой «эко» становится более востребованной и некоторые производители вместо того, чтобы стремиться к тому, чтобы действительно соответствовать экологическим критериям и инвестировать в улучшение товара и производства, выбирают путь гринвошинга [3]. Когда гринвошинг приобретает большие масштабы, то в затруднительном состоянии оказываются потребители, производители, рынок и окружающая среда.

Рис. 3. Пример гринвошинга.
Зачеркнуты знаки, не являющиеся настоящей экомаркировкой

Меры, необходимые для устранения гринвошинга:

1. Усовершенствование законодательства. Необходимы поправки в существующие законы, которые бы касались экологических терминов и их использования.
2. Распространение экопросвещения и развитие экологической грамотности среди населения.

Далее в работе приводится методика и цели проведения социологического опроса, описываются полученные результаты. Предлагаемая анкета состояла из трех разделов. В первом разделе содержатся общие вопросы о возрасте, роде занятий и общих предпочтениях в выборе продукции среди респондентов. Во втором разделе размещены вопросы, касающиеся осведомленности потребителей об экомаркировке. Целью этого раздела было выявить, знают ли респонденты о том, что такое экомаркировка, какие из экомаркировок являются самыми узнаваемыми для покупателей. Вопросы третьего раздела сосредоточены вокруг трудностей, препятствующих развитию осознанного потребления и экологизации сознания потребителей, а также готовности потребителей выбирать экопродукцию. В социологическом опросе приняло участие 140 респондентов.

Заключение

В рамках дипломного проекта был изучен рынок продукции, которая имеет экосертификацию, и методика прохождения процедуры на присвоение экознака в России и зарубежом. С целью изучить целевую аудиторию и возможности ее расширения, был проведен социологический опрос [4] и рассмотрены проекты-приложения для идентификации экологических знаков на упаковке продукта. Осуществив анализ полученных результатов, были сформулированы предложения по развитию экомаркировки и увеличению ее узнаваемости среди покупателей.

В результате социологического опроса был получен образ типичного экопотребителя [5], определены основные предпочтения потребителей и их осведомленность в теме, и сделаны следующие выводы:

- наиболее важными характеристиками продукции для потребителя являются состав, качество и цена товара;
- уже сейчас существует группа людей (около 5,7% по результатам опроса), для которых экологическое воздействие или натуральность ингредиентов играют решающее значение при выборе продукции и группа людей (около двух процентов по результатам опроса), которые в первую очередь обращают внимание на этичность

продукции, на именно на то, тестируется ли она на животных или является ли ее упаковка перерабатываемой;

- растущее число потребителей, интересующихся экологической безопасностью и этическими аспектами производства, образуют новое поколение покупателей с высокими требованиями, для которых характерна избирательность в выборе товара;
- главные проблемы экопотребления - высокая цена и сложность поиска экологичных товаров;
- большая часть (40 % по результатам опроса) потребителей готовы платить за экотовары больше на 10 процентов, а 25 % готовы платить больше и 20-30 процентов.

Полученные результаты необходимо довести до сведения производителей, чтобы мотивировать их делать шаги в направлении экологизации ассортимента и экологической политики, чтобы соответствовать высоким требованиям определенных групп населения.

Для популяризации экомаркировок среди потребителей существуют специальные приложения для смартфонов (Экополка, EcolabelGuide), в рамках выполнения этапов дипломной работой они были изучены; были определены их достоинства и недостатки. Для ликвидации выявленных недоработок существующих проектов приложений по экомаркировке была предложена альтернатива в виде разработки идеи нового применения QR-кода. Данное приложение вполне может заменить ставшую неэффективной «Экополку».

Для повышения экологической грамотности населения был предложен следующий ряд мер и мероприятий, благодаря которым можно достичь желаемых показателей:

- увеличение обращений к теме осознанного потребления и экосертификации в СМИ, как к инструментам для повышения уровня экологической грамотности;
- проведение городских мероприятий с запланированными выступлениями высококвалифицированных экспертов в области экологии - спикеров на тему экологической политики, экологического сознания и потребления;
- размещение информации о пройденной экосертификации первого типа в наглядных материалах и рекламе для потребителей; зеленое позиционирование;
- открытие магазинов с экологичными, органическими и натуральными товарами широкого ассортимента по типу гипермаркетов. Стратегия «Zero waste», продукты на развес, сбор отработанной тары, товары не только продовольственной отрасли - одежда, бытовая химия, строительные материалы, мебель, техника;
- разработка нового приложения, аналогичного «Экополке», с указанием товаров как было раньше, но с возможностью самостоятельной проверки актуальности информации. Предлагается также добавлять данные по составу продукта и условиям его использования и хранения.

Литература

1. Смирнова Е.В. Экомаркировка-инструмент повышения качества жизни // Твердые бытовые отходы. 2010. №. 6. С. 24-29.
2. ГОСТ Р ИСО 10120-2000. Экологические этикетки и декларации. Основные принципы
3. Atkinson L., Rosenthal S. Signaling the green sell: the influence of eco-label source, argument specificity, and product involvement on consumer trust //Journal of Advertising. 2014. Т. 43. №. 1. С. 33-45.

4. Методическое пособие по экологизации ассортимента и грамотному позиционированию экотоваров «GreenGuide» // НП «Экологический союз». 2018
5. НП «Экологический союз»; Экобюро GREENS // Как покупатели выбирают экотовары. 2018.

Кулеш Анастасия Сергеевна
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R3440,
направление подготовки: 27.03.04 – Управление в технических системах,
e-mail: kulesh.anastasia.s@gmail.com
Герасимов Дмитрий Николаевич
Год рождения: 1982
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: gerasimovdn@mail.ru

УДК 681.51, 681.5.03, 519.71

АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО СЛЕЖЕНИЯ ВЫХОДА ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА ЗА НЕИЗВЕСТНЫМ МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫМ СИГНАЛОМ

А.С. Кулеш

Научный руководитель –к.т.н., доцент, **Д.Н. Герасимов**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе представлен синтез алгоритма адаптивного слежения выхода объекта за мультисинусоидальным воздействием с априори неизвестными амплитудами, частотами и фазами гармоник для класса линейных стационарных объектов с запаздыванием по входу. Первое решение использует стандартный градиентный метод адаптации с ограниченной сходимостью. Второе решение основано на модификации первого алгоритма. В результате улучшенной параметрической сходимости достигнуто повышение скорости настройки регулятора с сохранением устойчивости системы.
Ключевые слова
Адаптивное управление, адаптивное слежение, системы с запаздыванием по входу, принцип внутренней модели, ускоренная сходимость.

Введение

В работе рассматривается проблема адаптивного слежения по выходу для линейных стационарных систем с известными параметрами и запаздыванием. Модель задающего воздействия представляется в виде мультисинусоидального выхода автономной линейной динамической системы известного порядка, но с неизвестными параметрами.

Как известно, задача слежения является одной из основных задач теории управления. Адаптивное слежение за мультисинусоидальным сигналом исследуется в течение последних десятилетий и имеет решение для линейных и нелинейных систем с известными и неизвестными параметрами.

Решения задачи слежения основаны на принципе внутренней модели (IMP), который был предложен в работах Д. Френсиса [1] и С.Д. Джонсона [2]. Этот принцип

заключает в себе разработку автономной линейной динамической системы, параметры которой используются в законе управления для обеспечения нулевой ошибки слежения состояния. Впервые принцип внутренней модели применен для слежения за линейными стационарными системами в работах Е. Дэвисона и А. Гольденберга [3]. В настоящее время рассматриваемый принцип внутренней модели применяется для классов линейных (С.Д. Джонсон, М. Уонем, B.A. Francis, E. J. Davison) и нелинейных систем (В.О. Никифоров, M.D. Di Benedetto), систем с неизвестными параметрами (В.О. Никифоров) и применяется в управлении техническими объектами (В.О. Никифоров, В.Н. Дроздов, Б.Р. Андриевский). В неадаптивной задаче слежения решение задачи определяется только для класса задающих воздействий, в которых известна частота, а амплитуда и сдвиг по фазе неизвестны.

Следующий этап развития задачи слежения включает в себя решение для класса неопределенных линейных систем и эталонной модели с неизвестными параметрами. Одним из результатов в этой области представлен В.О. Никифоровым [4]. Позднее эта задача была расширена для неизвестного порядка эталонной модели и обеспечением экспоненциальной сходимости ошибки управления. Так же рассмотрена задача для неизвестных амплитуды, фазы и частоты и не измеряемого вектора состояния объекта. Решения приведенных задач получены в работах Р. Морино и П. Томей [5].

Следующим этапом усложнения является рассмотрение задачи адаптивного слежения для систем с запаздыванием по входу. Решения данной усложненной задачи были представлены с помощью функционалов Ляпунова и дифференциальных уравнений в частных производных в работах M. Krstic и D. Bresch-Pietri [6, 7]. В данных подходах допускается ограничение на частоты. Другой алгоритм адаптивного слежения для систем с запаздыванием основан на идентификации параметров модели системы и использовании оценок в управлении. Данный алгоритм представлен в работе А.А. Бобцова и А.А. Пыркина [8]. В этом случае свойства идентификатора зависят от постоянного возбуждения внешних сигналов, что может отрицательно сказаться на устойчивости и качестве системы управления.

В связи с актуальностью темы и рассмотренными методами решения задачи слежения целью работы является разработка решения адаптивного слежения для класса линейных стационарных объектов с запаздыванием по входу, которое позволяет повысить качество и скорость настройки регулятора. В отличие от идентификационных подходов и подходов M. Krstic, в работе используется прямой подход для решения задачи, который не требует знаний о количестве гармоник, максимальной и минимальной частотах и точной идентификации амплитуд, частот, фаз и смещений. Так же задача усложняется за счет введения в систему запаздывания по входу.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим линейную стационарную систему с запаздыванием:

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + bu(t-\tau) \\ y = Cx \end{cases}, \quad (1)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния объекта, $u \in R$ – входное (управляющее) воздействие, $y \in R$ – выходная (регулируемая) переменная, A – известная матрица размерности $n \times n$, b, C – известные векторы размерности $n \times 1$ и $1 \times n$, соответственно, τ - известная постоянная задержка.

Допущение 1. Матрица A является Гурвицевой.

Допущение 2. Объект является полностью управляем. То есть пара (A, b) полностью управляема.

Замечание 1. Допущение 1 принимается с целью рассмотрения устойчивого объекта для изложения основной идеи задачи.

Задача управления состоит в разработке алгоритма, при котором поддерживается заданный закон изменения выходной переменной y, обеспечивающий слежение выхода объекта за сигналом g согласно равенству

$$\lim_{t\to\infty}(g-y)=0, \tag{2}$$

Эталонный сигнал сформирован мультисинусоидальным воздействием со смещением вида

$$g=A_0+\sum_{i=1}^{N}A_i sin\,(\omega_i t+\phi_i), \tag{3}$$

где A,ω,ϕ – фиксированные амплитуды, частоты и фазы гармоник, соответственно, A_0 – смещение.

Эталонный сигнал может быть представлен в следующей форме

$$\begin{cases}\dot{z}=\Gamma z\\ g=hz\text{'}\end{cases} \tag{4}$$

где $z\in R^m$ – неизменяемый вектор состояния эталонной модели, Г – матрица, собственные числа которой являются чисто мнимыми и некратными, h - вектор выхода системы генерации мультисинусоидального сигнала.

Допущение 3. Нули передаточной функции $W(s)=C(Is-A)^{-1}b$ не совпадают с собственными числами матрицы Г.

Допущение 4. Максимальный порядок генератора (4) m – известен.

Замечание 2. Допущение 2 и 3 является стандартным условием разрешимости задачи (см, например, работы Р. Марино и П. Томей).

Замечание 3. Допущение 4 предполагает, что известно максимальное число гармоник в задающем воздействии.

2 ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ЗАДАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Рассмотрим линейный объект управления вида (1).

Так как параметры генератора (4) Γ, h и $z(0)$ неизвестны, то величина z не измеряема. Представим выходную переменную в виде регрессионной модели. Таким образом, получаем произведение векторов параметров и известных функций. Модель генератора в каноническом базисе представлена в виде (5).

$$g=\theta^T\xi, \tag{5}$$

где $\theta\in R^m$ – вектор неизвестных параметров, ξ – вектор состояния фильтра

$$\dot{\xi}=G\xi+lg,$$

с нулевыми начальными условиями $\xi(0)$, G – Гурвицева матрица размерности m-1×m-1, l – вектор размерности m×1.

Отметим, что фильтр (6) физически реализуем, т.к. он содержит известные матрицу G, вектор l и содержит известное воздействие g.

При подстановке (5) в (6) получаем систему (4) в альтернативном каноническом базисе

$$\begin{cases} \dot{\xi} = (G + l\theta^T)\xi \\ g = \theta^T \xi \end{cases}. \quad (7)$$

Замечание 4. При переходе в альтернативный базис собственные числа матрицы состояния модели остаются неизменными.

3 ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ОШИБКИ

Основная цель заключается в построении модели ошибки, на базе которого будем строить алгоритм настройки регулятора. Согласно работам Е. Дэвисона [6], Р. Морино и П. Томей [5] сформируем ошибку вида

$$e = M\xi - x, \quad (8)$$

где матрица M будет определена позже.

Из выражения (8) выразим вектор состояния x

$$x = M\xi - e. \quad (9)$$

Найдем производную ошибки и с учетом выражения (9) получаем

$$\dot{e} = M(G + l\theta^T)\xi - AM\xi + Ae - bu.$$

Введем обозначение

$$M(G + l\theta^T) - AM = b\psi^T. \quad (9)$$

Тогда с учетом обозначения (10) получаем

$$\dot{e} = b\psi^T\xi + Ae - bu = Ae + b(\psi^T\xi - u). \quad (10)$$

Достоинством этой формы является то, что она позволяет свести все неопределенности модели ошибки к управлению. При выборе управления $u = \psi^T\xi$ остается неизвестным величина Ae.

Введем ошибку по выходу

$$\varepsilon = g - y = \theta^T\xi - Cx.$$
$$\varepsilon = Ce + (\theta^T - CM)\xi. \quad (10)$$

Из классического метода решения мы знаем, что

$$\theta^T - CM = 0. \quad (11)$$

Запишем уравнение вход-выход в виде передаточной функции из выражений (11), (13).

$$\varepsilon = W(s)[\psi^T R\xi(t-\tau) - u(t-\tau)]. \quad (12)$$

где $W(s) = C(Is - A)^{-1}b$ – передаточная функция объекта.

4 ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТАЦИИ

4.1 ГРАДИЕНТНЫЙ МЕТОД

Модель ошибки мотивирует синтез управления (15)

$$u(t-\tau) = \hat{\mu}^T \xi(t-\tau), \quad (13)$$

где $\hat{\mu}^T = \hat{\psi}^T R$.

После подстановки управления (15) в (14), получаем модель ошибки

$$\varepsilon = W(s)[\tilde{\mu}^T(t-\tau)\xi(t-\tau)], \quad (14)$$

где $\tilde{\mu} = \mu - \hat{\mu}$ - вектор параметрических ошибок, $\hat{\mu}$ - вектор регулируемых параметров.

Полученная модель (16) является стандартной и позволяет построить алгоритм, который генерирует старые значения переменных. В связи с этим используется схема расширения (17), в котором исключается запаздывание.

$$\hat{\varepsilon}(t) = \hat{\mu}^T(t)\bar{\xi}(t-\tau) - W(s)[\hat{\mu}^T(r-\tau)\xi(t-\tau)] = \hat{\mu}^T\bar{\xi}(t-\tau). \quad (15)$$

Выбирая стандартный алгоритм настройки регулятора (18),

$$\dot{\hat{\mu}} = \gamma\bar{\xi}(t-\tau)\hat{\varepsilon}, \quad (16)$$

где γ – положительный коэффициент, который влияет на скорость сходимости, $\bar{\xi}(t-\tau)$ – вектор состояния с учетом запаздывания.

Таким образом, решение задачи имеет вид (19)

$$\begin{cases} u = \mu^T\xi \\ \tilde{\varepsilon} = g - \hat{\mu}\bar{\xi}(t-\tau). \\ \dot{\hat{\mu}} = \gamma\bar{\xi}(t-\tau)\hat{\varepsilon} \end{cases} \quad (17)$$

Полученный алгоритм адаптации гарантирует цель управления и имеет следующие свойства:

1. Ограниченность всех сигналов;
2. Асимптотическое стремление ошибки ε к нулю;
3. Если $\bar{\xi} \in PE$, то $\left|\left|\tilde{\mu}\right|\right| \to 0$;
4. Если $\bar{\xi} \in PE$, то существует оптимальный коэффициент адаптации γ, для которого скорость сходимости $\hat{\mu}$ максимальна.

С помощью расширенной ошибки решается проблема задержки $\tilde{\mu}$. При этом полученный алгоритм демонстрирует произвольную плохую сходимость. Исходя из этого, возникает необходимость в модификации алгоритма настройки, чтобы обеспечить возможность регулирования скорости и быстрого асимптотического стремления ошибки слежения к нулю.

4.2 АЛГОРИТМ АДАПТАЦИИ С УСКОРЕННОЙ СХОДИМОСТЬЮ

Модификация решения базируется на использовании алгоритма адаптации с интегральной целевой функции. Алгоритм включает в себя линейный оператор, обладающий памятью.

Используется модель расширенной ошибки (20) и целевая функция (21).

$$\hat{\varepsilon} = g - \hat{\mu}^T(t-\tau)\bar{\xi} = \tilde{\mu}^T\bar{\xi}. \tag{18}$$

$$I = \frac{1}{2}\int_0^t \hat{\varepsilon}^2(t,\sigma)d\sigma. \tag{19}$$

В данном случае интеграл используется как реализация памяти, с помощью чего сохраняются старые и текущие значения ошибки. Таким образом, для ускорения сходимости желаемая настройка регулятора имеет вид

$$\dot{\tilde{\mu}} = -\gamma \int_0^t \bar{\xi}\,\bar{\xi}^T d\sigma\,\tilde{\mu}. \tag{20}$$

$$\dot{\hat{\mu}} = \gamma\left[\int_0^t \bar{\xi}\hat{\varepsilon}\,d\sigma + \int_0^t \bar{\xi}\bar{\xi}^T\hat{\psi}(\tau)d\sigma - \int_0^t \bar{\xi}\bar{\xi}^T d\sigma\,\hat{\psi}\right].$$

Полученный алгоритм сходится при условии, что регрессор $\bar{\xi}(\tau)$ будет отвечать условию неисчезающего возбуждения.

Регрессор удовлетворяет данному условию, если выполняется неравенство

$$\int_{t-T}^t \bar{\xi}(\tau)\bar{\xi}^T(\tau)d\tau \geq \alpha I,$$

где α, T – положительные числа, I – единичная матрица.

Для построения физически реализуемого алгоритма адаптации перепишем полученный алгоритм в следующей форме.

$$\dot{\hat{\mu}} = \gamma\left[S - P\hat{\psi}\right], \tag{21}$$

где $\dot{S} = \bar{\xi}\hat{\varepsilon} + \bar{\xi}\bar{\xi}^T\hat{\mu} = \bar{\xi}g$, $\dot{P} = \bar{\xi}\bar{\xi}^T$- вектор и квадратная матрица с нулевыми начальными условиями.

Перейдем от интегрирующих звеньев к апериодическим звеньям и добавим фактор списывания μ_0 для перехода к апериодическому звену. Компоненты алгоритма (50) будут иметь следующий вид

$$\dot{Q} = -\mu Q + \bar{\xi}\hat{\varepsilon},$$
$$\dot{R} = -\mu R + \bar{\xi}\bar{\xi}^T\hat{\psi},$$
$$\dot{P} = -\mu P + \bar{\xi}\bar{\xi}^T.$$

Упростим запись алгоритма путем ввода замены. Пусть $S = Q + R$.

Таким образом, алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью имеет вид

$$\begin{cases} \dot{\hat{\mu}} = \gamma(S - P\hat{\mu}) \\ \dot{S} = -\mu_0 S + \bar{\xi}(t-\tau)\xi \\ \dot{P} = -\mu_0 P + \bar{\xi}(t-\tau)\bar{\xi}^T(t-\tau) \end{cases} \tag{22}$$

Модифицированный алгоритм адаптации имеет свойства:

1. Ограниченность всех сигналов;
2. Асимптотическое стремление ошибок ε к нулю;
3. Если $\bar{\xi} \in PE$, то $\left|\left|\tilde{\mu}\right|\right| \to 0$;
4. Если вектор $\bar{\xi} \in PE$, то скорость сходимости может быть произвольно увеличена путем изменения коэффициента γ.

Полученный модифицированный алгоритм позволяет менять быстродействие системы слежения. Появилась возможность изменения скорости настройки регулятора с помощью изменения коэффициента адаптации γ. Таким образом, получена возможность повышения быстродействия системы управления.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном разделе приведем результаты моделирования алгоритмов адаптивного слежения, которые были рассмотрены ранее.

Рассматриваемая система (1) имеет следующие значения:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} 2 \\ 4 \end{bmatrix}, C = [5 \quad 6].$$

Начальные условия вектора состояния системы (1) $x(0) = col(0,0)$.

В рассматриваемом алгоритме адаптации вектор $\xi = col(\xi_1, \xi_2)$ генерируется фильтром (6) с начальными нулевыми условиями и матрицами G и l, которые выбраны следующим образом

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -2 & -2 \end{bmatrix}, \; l = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

На систему действует задающее воздействие вида

$$g = 7\sin(8t) + 9.$$

Промоделируем работу системы адаптивного слежения, используя алгоритм адаптации (19). Результаты моделирования представлены на рис. 1, 2.

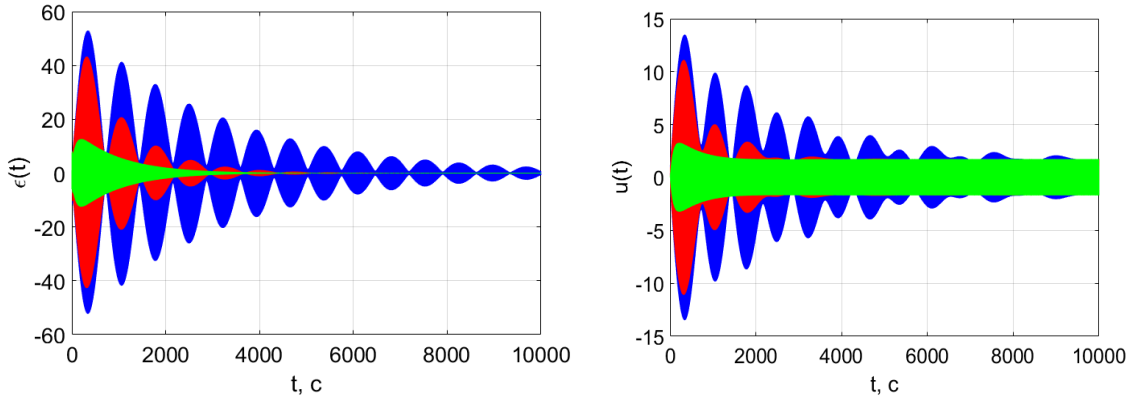


Рис. 1. Переходные процессы в адаптивной системе слежения замкнутой градиентным алгоритмом адаптации при значениях – - γ=0,3; – γ=0,1; – γ=0,01

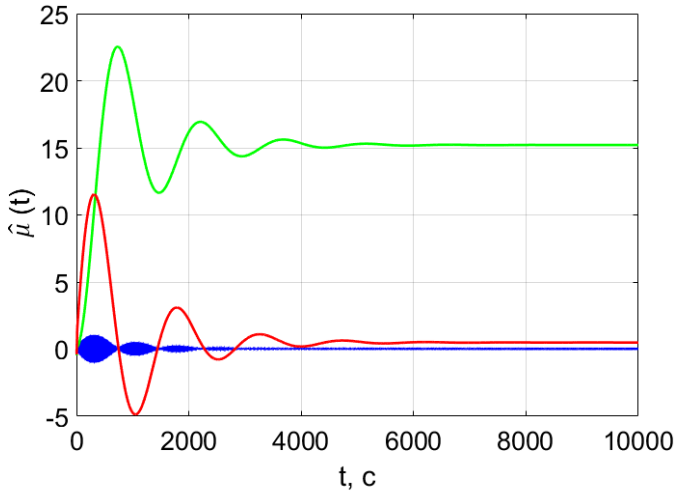


Рис. 2. Переходной процесс при γ=0,1

Моделирование иллюстрирует свойства алгоритма. Из графиков видно, что все сигналы ограничены, достигается сходимость ошибки слежения к нулю. Независимо от величины γ система сохраняет устойчивость. Скорость сходимости осуществляется произвольно медленно, из чего следует необходимость в ускорении сходимости

Рассмотрим модифицированный алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью (24).

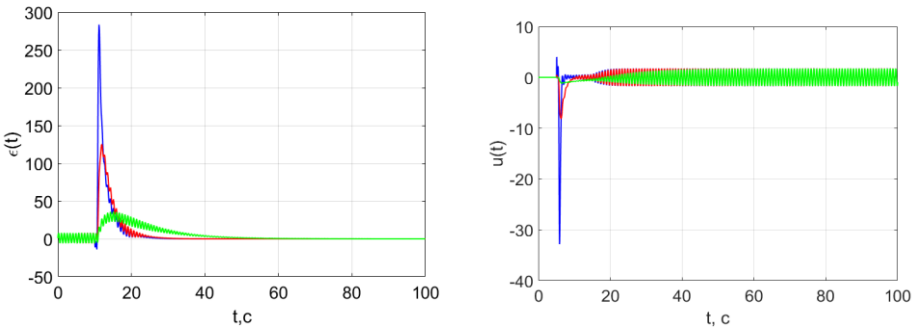


Рис. 3. Переходные процессы в адаптивной системе слежения, замкнутой градиентным алгоритмом адаптации при значениях – - γ=10; – γ=1; – γ=0,1

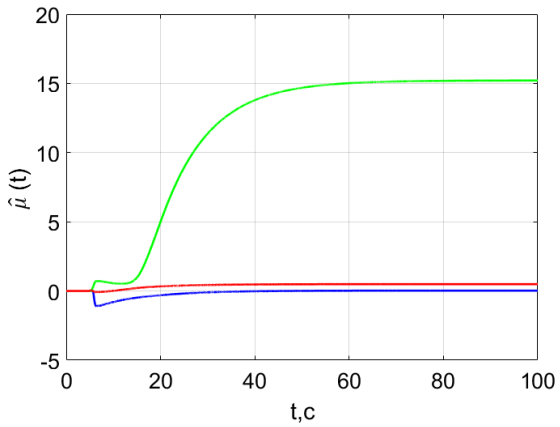


Рис. 4. Переходной процесс при γ=0,1

Из графиков видно (рис. 3, 4), что все предыдущие свойства сохранены – все сигналы ограничены, достигается сходимость ошибки слежения к нулю. Сравнивая с рис. 1, 2, видно, что дополнительно обеспечивается ускоренная сходимость. Таким образом, синтезированная система с запаздыванием по входу является устойчивой, и выполняется целевое условие сходимости ошибки.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена задача адаптивного слежения для класса линейных стационарных объектов. Предложен алгоритм адаптации и схема слежения выхода объекта за мультисинусоидальным воздействием с априори неизвестными амплитудами, частотами и фазами гармоник. Улучшен полученный алгоритм наличием запаздывания по входу. Также приведено решение, позволяющее повысить скорость настройки регулятора при сохранении устойчивости замкнутой системы.

Литература

1. Francis D.A., and Wonham W.N. (1975). The internal model principle for linear multivariable regulators, Applied Mathematics and Optimization, vol. 2, pp. 170–194.
2. Johnson C.D. (1971). Accommodation of external disturbances in linear regulator and servomechanism problems, JEE£ Trans. 011 Au10111a1ic Control, vol. 16, pp. 635-644.
3. Davison E.J., Goldenberg A. Robust control of a general servomechanism problem: the servo compensator. Automatica. 1975; 11:461–471.
4. Nikiforov V.O. Adaptive servomechanism controller with an implicit reference model. International Journal of Control. 1997;68, no. 2, pp. 277–286.
5. Marino R., Tomei P., Kanellakopoulos I., Kokotovic P. Adaptive Ttacking for a Class of Feedback Linearizable Systems. IEEE Transactions of Automatic Control. 1994;39(6):1314–1319.
6. Krstic M. Delay compensation for nonlinear, adaptive and PDE systems. Boston: Birkhauser. 2009. 329 p.
7. Bresch-Pietri D., Krstic M. Delay-adaptive control for nonlinear systems. IEEE Transactions of Automatic Control. 2014
8. Pyrkin A. A., Bobtsov A.A. Adaptive controller for linear system with input delay and output disturbance. IEEE Transactions on Automatic Control. 2016, 61 no. 12, pp. 4229-4234.

Кшенин Александр Дмитриевич
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3496,
Направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: Ksh_sa@mail.ru
Трифанов Александр Игоревич
Год рождения: 1985
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: alextrifanov@gmail.com

УДК 519.876.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ТРАЕКТОРИЯМИ

А.Д. Кшенин

Научный руководитель – к.ф.-м. н., доцент **А.И. Трифанов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Работа посвящена исследованию математической модели регулируемого светофором перекрёстка, её адаптации к задаче нерегулируемого перекрёстка с главной дорогой, применению в имитационном моделировании, а также построению компьютерной модели указанного перекрёстка с непрерывным пространством, временем и с учётом динамических характеристик движения автомобилей. В рамках задачи разработано компьютерное приложение, реализующее модель. Оно использует физический движок Box2d, модель автомобильного потока IDM и результаты математической постановки.
Ключевые слова
Имитационное моделирование, математическое моделирование, теория очередей, IDM, модель трафика, транспортные потоки, автомобильный перекрёсток, нерегулируемый перекрёсток, длина очереди.

Исследование и моделирование транспортных потоков – важная и обширная задача, подвергающаяся тем или иным способам решения с 30-х годов прошлого века. Существующие на настоящий момент модели трафика делятся на две глобальные категории:

– Макроскопические, в которых дорожное движение не учитывает поведение и цели отдельного его участника, а рассматривается общий поток машин, подобный потоку слабосжимаемой жидкости с общей массой, плотностью, скоростью. Они подходят для моделирования больших расстояний, например, трасс, и больших

плотностей движения, вплоть до дорожных пробок. Примером может служить LWR модель;

– Микроскопические, моделирующие трафик как совместное движение отдельных его участников, у каждого из которых есть свои цели, задачи, характеристики, своё поведение. Так как в них учитывается поведение каждого участника движения в отдельности, то они подходят и для моделирования небольших расстояний, небольших плотностей движения и таких участков дороги как перекрёстки. Примерами являются клеточные автоматы, модели непрерывного потока.

Модели, использующие методы теории очередей, стоят несколько в стороне от приведённых выше категорий – описываемый ими поток автомобилей обладает общими статистическими свойствами, задающими, однако, и определённые варианты поведения. В данной работе рассматривается математическая постановка задачи в терминах теории очередей на основе модели регулируемого перекрёстка [1, 2] и её адаптации для перекрёстка с главной дорогой [1], а также её применение в имитационном моделировании с использованием микроскопического подхода.

Рассмотрим перекрёсток двух автомобильных дорог, каждая из которых имеет одну полосу одностороннего движения. В дальнейшем под индексом i понимается индекс дороги, $i = 1, 2$. В случае нерегулируемого перекрёстка фиксируем $i = 1$ за главной дорогой, $i = 2$ за второстепенной.

Движение на перекрёстке регулируется светофором, моменты времени включения зелёного сигнала в направлении i образуют последовательность $\left\{t_n^{(i)}\right\}_{n=1}^{\infty}$. Переключение зелёного света на красный в одном направлении соответствует переключению красного на зелёный во втором, и наоборот. Последовательности временных интервалов горения зелёного сигнала в сторону первой полосы $\tau_n^{(1)} = t_n^{(2)} - t_n^{(1)}$ и второй $\tau_n^{(2)} = t_{n+1}^{(1)} - t_n^{(2)}$ независимы и одинаково распределены внутри самих последовательностей. Их функции распределения $G_1(x)$ и $G_2(x)$, средние ${\gamma_1}^{-1}$ и ${\gamma_2}^{-1}$, а их сумма $\tau_n^{(1)} + \tau_n^{(2)}$ называется n-м циклом со средним временем $\theta = {\gamma_1}^{-1} + {\gamma_2}^{-1}$.

Потоки автомобилей $A_i(t)$, подъезжающих с соответствующих направлений, являются независимыми пуассоновскими с интенсивностями λ_i. Остановка автомобиля происходит при красном сигнале у светофора или в конце очереди. При зелёном сигнале и отсутствии очереди впереди автомобиля он пересекает перекрёсток к моменту следующего шага пуассоновского процесса $Y_i(t)$, интенсивность которого v. В таком случае $Y_i(t)$ – это количество автомобилей, которые могут пройти перекрёсток за время t, при условии, что все они находились в очереди перед перекрёстком и им загорелся зелёный свет.

Процесс $X_i(t)$ задаёт число ожидающих в момент t автомобилей в направлении i.

Нерегулируемый перекрёсток, на котором определена главная дорога, может быть исследован при помощи модели регулируемого светофором и нескольких предположений о функционировании светофоров.

Так в постановке задачи с главной дорогой обслуживающим устройством можно считать саму главную дорогу с автомобилями на ней, интервалами сигналов светофора – промежутки времени блокировки перекрёстка автомобилями главной дороги и промежутки, когда перекрёсток свободен для проезда. В данном случае блокировка – это время, когда автомобиль с главной дороги находится на перекрёстке или перед ним, но так, что движение автомобиля со второстепенной приведёт к столкновению. Если длина этого интервала длины равна I, а скорость автомобилей в главном направлении V, то соответствующее время составляет I/V. Т.е. автомобили с главной дороги

проезжают перекрёсток без остановки, и считается, что только во время их проезда второстепенной дороге горит красный свет.

Последовательность интервалов времени горения зелёного сигнала для второстепенной дороги $\tau_n^{(2)}$ в постановке со светофором – это последовательность интервалов между появлениями автомобилей на главной. Её функция распределения $G_2(x) \equiv A_1(x)$ и среднее ${\gamma_2}^{-1} = {\lambda_1}^{-1}$. Последовательность времени горения красного соответствует проезду автомобиля в интервале I. Её функция распределения $G_1(x)$ и среднее ${\gamma_1}^{-1}$.

Условие наличия собственного предельного распределения числа ожидающих у перекрёстка автомобилей имеет вид:

$$\lambda_2 e^{\lambda_1 I/V} < v,$$

где $\gamma_2 = \lambda_1$ по указанным выше причинам, а $\gamma_1 = {\lambda_1}^{-1}\left(e^{\lambda_1 I/V} - 1\right)$, $\theta = {\lambda_1}^{-1} e^{\lambda_1 I/V}$, что позволяет задать скорость движения на главной дороге при реализации компьютерной модели.

Для показательного распределения интервалов $G_i(x) = 1 - e^{-\gamma_i x}$ длина очереди в направлении второстепенной дороги выражается следующим образом:

$$m_2(x) = \frac{c_2 x(x(1-c_1)+c_2)}{c_1(1-c_2)(1-x-c_2)},$$

Для постоянных интервалов:

$$m_2(x) = c_2 dx,$$

$c_i = \lambda_i v^{-1}$ – коэффициент загрузки направления, определяемый из СМО, x – это время пересечения перекрёстка автомобилем с главной дороги, когда для второстепенного горит красный свет, $d = v\theta$ – число автомобилей, покинувших перекрёсток за цикл функционирования светофора.

При микроскопическом моделировании важным аспектом является непрерывность или дискретность пространства, времени и состояний. Наиболее современными в этом плане являются модели непрерывного автомобильного потока, примером которых является Intelligent Driver Model (IDM) [3, 4].

Интеллектуальная модель водителя, учитывающая как динамические характеристики автомобиля, так и некоторые характеристики самого водителя, была предложена в 2000 году [3] тремя её авторами: Мартином Трейбером, Ансгаром Хеннеке, Дирком Хельбингом. Она лежит в основе компьютерной реализации, разработанной в рамках данной работы, и задаётся следующей системой обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \dot{x}_\alpha = \frac{dx_\alpha}{dt} = v_\alpha \\ \dot{v}_\alpha = \frac{dv_\alpha}{dt} = a\left(1 - \left(\frac{v_\alpha}{v_0}\right)^\delta - \left(\frac{s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha)}{s_\alpha}\right)^2\right) \end{cases},$$

В этой системе:

$$s^*(v_\alpha, \Delta v_\alpha) = s_0 + v_\alpha T + \frac{v_\alpha \Delta v_\alpha}{2\sqrt{ab}},$$
$$\Delta v_\alpha = v_\alpha - v_{\alpha-1},$$
$$s_\alpha = x_{\alpha-1} - x_\alpha - l_{\alpha-1}.$$

Индекс α определяет положение автомобиля в потоке: автомобиль с индексом α следует прямо за автомобилем с индексом $\alpha - 1$. Координата x_α задаёт положение центра автомобиля α в пространстве в момент времени t; v_α – его скорость в момент t; параметр l_α – его длину. Переменная s_α определяет дистанцию в потоке между автомобилем α и $\alpha - 1$; Δv_α – скорость сближения.

В модели задаются параметры желаемой скорости на трассе v_0, минимальной дистанции между автомобилями s_0, минимального времени манёвра T, максимального ускорения a, комфортного ускорения при торможении b. Экспонента δ принимается равной 4 и вместе с желаемой скоростью определяет характер движения вне потока.

Конкретные значения параметров в реализации взяты из работы авторов модели: $s_0 = 2$ м, $T = 1.5$ с, $a = 0.73$ м/с^2, $b = 1.67$ м/с^2, $\delta = 4$.

Т.к. процессы $A_i(t)$ пуассоновские, то генерация автомобилей происходит через интервалы времени, распределённые показательно с параметром λ_i. Параметры γ_1 и v имеют смысл частоты и, через длину самого перекрёстка, определяют желаемые скорости движения, соответственно, на главной и на второстепенной дорогах. При генерации автомобиль отправляется в начало полосы, а при большой длине очереди он становится непосредственно за предыдущим с его же скоростью.

Перед перекрёстком автомобиль постоянно проверяет на коллизии движение тех, кого, согласно Правилам дорожного движения (ПДД), он должен пропустить. В основе проверки лежит критерий Gap acceptance, учитывающий, в случае динамики, предположение о том, что автомобиль будет ускоряться или замедляться согласно параметрам и уравнениям IDM [5]. При наличии коллизии он начинает остановку перед перекрёстком, иначе – проезжает его.

Компьютерная реализация написана на Java, с использованием фреймворка LibGDX, движка Box2d и пакета Scene2d. Её полный код доступен по ссылке: https://github.com/AlexKornShell/Crossroad.

Реализация позволяет рассмотреть перекрёсток более сложной конфигурации, нежели описываемый математической моделью. Конкретно в данной выбран следующий: 4 полосы движения: по 2 в каждую сторону, главная дорога идёт параллельно горизонтальной стороне экрана и не меняет направление. Движение подчинено ПДД, с крайней правой полосы возможны: проезд прямо и поворот направо, с крайней левой – проезд прямо и поворот налево. Считается, что автомобили уже перестроились в требуемую для совершения их манёвра полосу до подъезда к перекрёстку.

Использование в реализации IDM и открытого физического движка Box2d позволяет учитывать динамические характеристики автомобилей, автоматически пересчитывать их скорости и координаты, а также предоставляет возможность дальнейшего усовершенствования модели в сторону большего реализма.

Разработанное приложение реализует описанную модель и при помощи пакета Scene2d визуализирует движение автомобилей, проезд ими перекрёстка, а также предоставляет пользовательский интерфейс с возможностью задавать и изменять параметры модели. Он представлен на приведённом ниже рис. 1. Отдельная часть интерфейса предоставлена для отображения результатов моделирования – таких величин перекрёстка, как средняя длина очереди, среднее время ожидания для каждой из полос. Обновление состояний автомобилей происходит с частотой 60 раз в секунду или с кратным ускорением, отрисовка – 60 кадров в секунду.

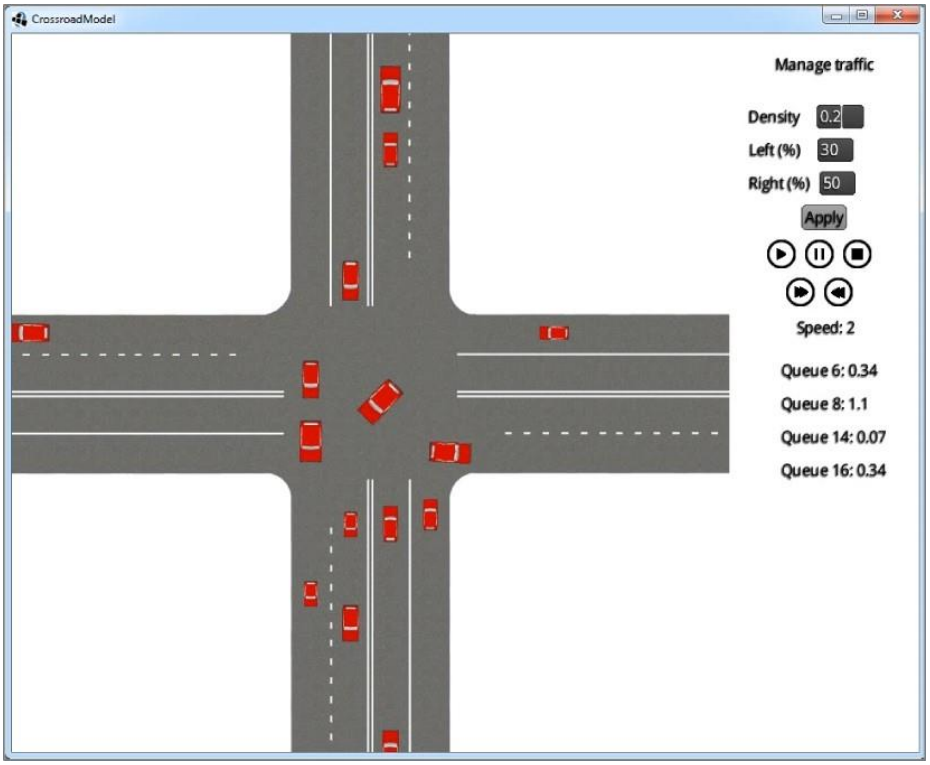


Рисунок 1. Интерфейс компьютерного приложения

В таблице представлены некоторые результаты моделирования при рассмотрении только кинематических характеристик движения. В ней: λ – плотность потока автомобилей, $\bar{v}_1$ – средняя скорость на главной дороге в км/ч, $\bar{v}_2$ – на второстепенной, $\bar{m}_i$ – средняя длина очереди на второстепенной дороге, где i – число функционирующих полос главной дороги. Значение ∞ соответствует отсутствию стационарного распределения.

Таблица

Длина очереди при $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda, \bar{v}_1 = 45, \bar{v}_2 = 50$

λ^{-1}	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5
$\bar{m}_1$	0.03	0.04	0.05	0.06	0.09	0.13	0.27	0.6
$\bar{m}_2$	0.07	0.08	0.14	0.15	0.25	0.56	1.33	∞
$\bar{m}_3$	0.20	0.25	0.37	0.63	1.31	∞	∞	∞
$\bar{m}_4$	0.32	0.49	0.77	1.34	∞	∞	∞	∞

В рамках данной работы:

– исследована адаптация математической модели регулируемого светофором перекрёстка для задачи нерегулируемого, с главной дорогой;

– рассмотрена связь модели, использующей теорию очередей, с имитационным моделированием, IDM моделью;

– построена непрерывная модель движения автомобилей на нерегулируемом перекрёстке с главной дорогой, с учётом кинематических или динамических характеристик движения;

– разработано компьютерное приложение, реализующее модель, а также её визуализацию и пользовательский интерфейс.

Литература

1. Afanasieva L.G., Bulinskaya E.V. Matemathical models of transport systems based on queuing theory // MIPT Proceedings. 2010. V. 2. № 4. P. 6–21.
2. Babicheva T.S. Use of queuing theory at research and traffic optimization on the signal-controlled road intersections // MIPT Proceedings. 2015. V. 7. № 2. P. 119–130.
3. Treiber M., Hennecke A., Helbing D. Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations // Physical Review E 62. 2000. P. 1805–1824.
4. Kesting A., Treiber M., Helbing D. Enhanced Intelligent Driver Model to Access the Impact of Driving Strategies on Traffic Capacity // Philosophical Transactions of the Royal Society A. 2010. V. 368. P. 4585–4605.
5. Dresner K., Stone P. A. Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management // The Journal of Artificial Intelligence Research. 2008. V. 31. P. 1–63.

Малышева Марина Олеговна
Год рождения: 1998 год
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3450,
направление подготовки: 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,
e-mail: malysheva.marina98@mail.ru
Юльметова Ралия Фагимовна
Год рождения: 1957 год
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.х.н., доцент,
e-mail: liya974@mail.ru

УДК 378.147

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IT-ТЕХНОЛОГИЙ В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

М.О. Малышева

Научный руководитель – к.х.н., доцент **Р.Ф. Юльметова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 107824 3707735 «Использование IT-технологий в сфере экологического образования».

Аннотация
В работе рассмотрены преимущества и возможность применения компьютерных игровых технологий в процессе обучения. Выделены ключевые психологические аспекты, влияющие на процесс обучения, а также рассмотрены базовые принципы геймдизайна, необходимые для реализации успешной игры. На основании проведенного исследования была разработана и описана концепция обучающей экологической игры в жанре экономический и экологический симулятор. В рамках работы были подробно расписаны ключевые игровые аспекты. На основании разработанной концепции был реализован прототип игры, представляющий собой базовую функциональность и графические элементы игры.
Ключевые слова
Игровые технологии, педагогика, геймификация, учебный процесс, экологическое образование, компьютеризация, геймдизайн.

В современном мире игровая индустрия оказывает значительное влияние на школьников и студентов. Поэтому особый интерес может представлять внедрение в учебный процесс игровых технологий, иными словами, геймификации. Геймификация – это применение игровых технологий в неигровых ситуациях. При внедрении геймификации большой акцент делается на эмоциональную вовлеченность студента, активируются его психологические функции. Применение геймификации позволяет привлечь внимание, повысить интерес студента к предмету изучения, упростить подачу

лекционного материала, решение практических задач и дополнительно мотивировать студента на достижение результата [5, 6].

В педагогике применение игровых технологий – это создание ролевой модели ситуации, с которой студент может столкнуться в будущем. Обучающая игра имеет конкретную педагогическую цель, а сам процесс регулируется четко оговоренными правилами. Обучающийся мотивирован применять полученные знания и навыки, чтобы достичь победы или определенного результата [1–4].

Сами по себе игровые технологии в педагогике не могут заменить лекционные материалы или практические занятия, но при грамотном подходе к планированию целей игры и анализе полученных обучающимися результатов могут стать эффективным дополнением к основным методикам, применяемым в процессе обучения [7–10].

В настоящее время особый интерес представляет компьютеризация игр. Компьютерные обучающие игры для дошкольников и школьников широко распространены, а вот применение их в студенческой среде минимально.

Целью работы являлась разработка концепции обучающей экологической игры в жанрах экономический и экологический симулятор, которая могла бы быть применима в учебном процессе. Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить теоретическое исследование в области психологических аспектов обучения и основ геймдизайна, непосредственно разработать концепцию игры и запрототипировать ее базовую функциональность.

В ходе теоретического исследования было выявлено, что основными психологическими аспектами обучения являются интерес студента к предмету изучения и его мотивация. Интерес студента к предмету изучения формируется вследствие различных причин, например, увлеченной подачи материала, использования интерактивных технологий, чередования методов и форм обучения. Мотивация студента может быть сильной или слабой. Если студент сильно замотивирован, процесс его обучения будет эффективным. Кроме того, мотивация может быть внутренней или внешней. К внешним мотиваторам относятся, например, денежное вознаграждение за проделанную работу, прибавка к зарплате, одобрение коллег. К внутренним мотиваторам относятся, например, тяга к обучению, интерес к новым знаниям.

Для эффективного обучения студент должен не только запоминать информацию, но и усваивать ее таким образом, чтобы она могла быть воспроизведена в любой момент. Для достижения подобного результата необходимо сформировать у студента ассоциативные ряды – опорные сигналы, по которым он может восстановить полученную ранее информацию.

Основными принципами геймдизайна, которые необходимо учитывать при разработке игры, являются наличие интересных механик, динамичность игры, сбалансированность и наличие системы поощрений и наказаний. Механики игры – это способы взаимодействия игрока с игрой, то, что необходимо делать игроку для достижения определенного результата. Динамика игры – это количество игровых событий в единицу времени.

Баланс – это честность игры по отношению к игроку, равновесие между всеми компонентами игры. Поощрение игрока необходимо, чтобы дополнительно замотивировать его продолжать игру и ощущать свой успех. Наказание игрока необходимо для того, чтобы игрок соблюдал правила и играл честно. Наказание должно быть значимым для игрока, но при этом минимальным, чтобы он больше рисковал и пробовал новые, неординарные подходы.

Для разработанной игры был выбран жанр симулятора – жанр, где игрок непосредственно участвует в событиях, которые моделируют реальные ситуации, а

именно – жанры экономический и экологический симулятор, поскольку экология и экономика тесно связаны между собой принципами устойчивого развития.

Существует множество различных симуляторов, однако в большинстве из них большее внимание обращается на экономическую или градостроительную составляющую. Существуют некоторые экологические симуляторы, однако они, по большей части, узконаправлены. Например, игра Floodsim от правительства Великобритании, где игроку необходимо бороться с наводнениями, вызванными глобальным потеплением.

Разрабатываемая игра – это экологический симулятор, в котором игрок берет на себя роль эколога постоянно растущем населенном пункте. С ростом населенного пункта в игру добавляются новые объекты, которые могут наносить ущерб окружающей среде, новые ресурсы и технологии. Задача игрока: не препятствуя технологическому и экономическому развитию города, минимизировать ущерб, наносимый окружающей среде. Выполняя внутриигровые задачи и защищая с помощью доступного инструментария окружающую среду, игрок накапливает очки опыта. При накоплении достаточного количества очков он переходит на новый уровень, населенный пункт растет, и в игру добавляются новые объекты для взаимодействия.

Игровое поле представляет собой карту населенного пункта. Интерфейс игры выглядит следующим образом. В левом верхнем углу располагается картинка персонажа, за которого играет игрок, номер его уровня и шкалу, где отмечается накопление опыта. В правом верхнем углу отображаются запасы, доступные игроку: запасы воды, игровых денежных средств и еды. В правом нижнем углу отображаются кнопки для быстрого доступа к ключевым игровым объектам.

Игровые объекты – это объекты, с которыми может взаимодействовать игрок. Их количество растет с каждым уровнем. К ним относятся, например, лес, река, мэрия, станция мониторинга и другие. Рассмотрим их подробнее.

Лес – это группа деревьев, с которой можно взаимодействовать с помощью щелчка левой кнопкой мыши. Он необходим для добычи древесины. Лес поделен на участки, которые можно вырубать. Вырубка происходит в несколько этапов, и с каждым новым этапом кусочек леса исчезает с игрового поля. Полностью вырубленный лес не восстанавливается. Лес населяют различные виды животных – как распространенных, так и тех, что встречаются редко или даже занесены в Красную книгу. О каждом из них игрок может прочитать с помощью специального всплывающего окна. Количество видов сокращается с каждой новой вырубкой. Таким образом, необдуманная вырубка леса может привести к тому, что многие важные виды животных полностью исчезнут из игры.

Река используется для добычи воды. Ее могут загрязнять другие игровые объекты, например, заводы. Таким образом, в воду попадают загрязняющие вещества, количество и разнообразие которых увеличивается с каждым уровнем. Уровень загрязняющих веществ не должен превышать предельно допустимую концентрацию. Жители отказываются пить загрязненную воду, поэтому игрок не сможет ее добывать. Уровень жизни в населенном пункте будет падать, что может привести к концу игры.

Очищать воду можно с помощью очистных сооружений. На первых уровнях игроку подсказывают, какие сооружения и аппараты лучше установить. Затем игрок принимает решение о необходимых ему сооружениях самостоятельно. С ростом населенного пункта открывается доступ к новым ресурсам и технологиям, благодаря чему можно улучшать очистные сооружения. На очистных сооружениях могут случаться поломки оборудования, с которыми игроку также необходимо своевременно справляться.

Отслеживать общее состояние населенного пункта игрок может с помощью Станции мониторинга. Меню станции мониторинга представляет собой карту игрового поля, на которой с помощью цветов отмечено, в каком состоянии находится объект. Например, река на такой карте целиком окрасится в красный цвет, если ее состояние неудовлетворительно. Таким образом, игрок может быстро оценить состояние населенного пункта и выделить ключевые проблемные участки.

Мэрия необходима, чтобы отслеживать уровень довольства населения, еды, чистой воды и экологической просвещенности. Экологическая просвещенность влияет на сознательность населения. Если ее уровень низок, на улицах города будет появляться мусор, а река будет загрязняться быстрее. Если хотя бы два из этих показателей доходят до минимального значения, наступает конец игры.

Здесь же игрок может посмотреть текущие и доступные задания, а также ознакомиться с планом развития населенного пункта, на который он может влиять. План представляет собой карту, поделенную на квадраты. Цветные квадраты соответствуют тому игровому полю, которое есть в текущий момент игры. Черно-белые квадраты – это те, которые появятся при переходе на следующий уровень. Игрок может выбрать объект, который расположен на черно-белой клетке, и перенести его на любую свободную черно-белую клетку, которая соседствует с цветной. Таким образом, игрок может заранее обдумывать различные варианты развития событий и применять к экологическим проблемам превентивный подход.

Завод становится доступен игроку на третьем уровне. Он образует отходы, сточные воды и дымовые газы. Отходы необходимо вовремя забирать, иначе уровень довольства населения будет падать. Сточные воды и дымовые газы – очищать с помощью очистных сооружений, которые можно улучшать с открытием новых ресурсов и технологий.

Игроку также доступны объекты, с которыми он взаимодействует с помощью интерфейса. Хранилище – это место, где хранятся все ресурсы, добытые игроком. Магазин – это место, где игрок может докупить недостающие ресурсы, оборудование, зеленые насаждения и т.д.

Игрок получает опыт не только с помощью успешного взаимодействия с игровыми объектами, но и благодаря выполнению игровых задач – квестов. Квесты – это задания, направленные на обучение игрока новым механикам, запоминание и усваивание им новой информации. Квесты выдают персонажи игры.

В рамках работы был реализован прототип игры. Прототипирование – это быстрая реализация базовой функциональности игры. Для прототипирования были выбраны и подробно описаны три уровня, каждый из которых отражает основные механики игры – палаточный лагерь, деревня, небольшой город.

В результате данной работы было проведено теоретическое исследование о психологических аспектах обучения и основах геймдизайна. Разработана общая концепция обучающей экологической игры и подробно описаны 3 уровня прототипа, а также с помощью движка Unity реализована базовая функциональность игры.

В дальнейшем планируется завершить прототипирование трех уровней и предложить протестировать его группе студентов-первокурсников экологических специальностей. Затем провести сбор и анализ обратной связи и на ее основании доработать концепцию игры и реализовать ее. Особый интерес представляет изучение эффективности применения подобной игровой технологии в процессе обучения.

Литература

1. Педагогические технологии в современном образовании. Student39.ru. URL: http://student39.ru/lector/pedagogika/ (дата обращения 24.04.2019).
2. Михайленко Т.М. Игровые технологии как вид педагогических технологий // Педагогика: традиции и инновации: материалы Международной научной конференции (г. Челябинск, октябрь 2011 г.). Т.I. Челябинск: Два комсомольца, 2011. С. 140-146.
3. Выготский Л.С. Психология развития человека / Л.С. Выготский – М.: Изд-во Смысл; Изд-во Эксмо, 2005. 1136 с.
4. Шаталов В.Ф. Эксперимент продолжается / В.Ф. Шаталов. М.: Педагогика, 1998. 336 с.
5. Zichermann, Gabe and Christopher Cunningham. Gamification by Design – Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2011.
6. Jesse Schell. The Art of Game Design. A Book of Lenses. Taylor & Francis Group, LLC. 2015.
7. Roberto Dillon. On the Way to Fun. An Emotion-Based Approach to Successful Game Design. A K Peters, Ltd., 2010.
8. Raph Koster. A Theory of Fun for Gamedesign. Paraglyph Press, Inc, 2005.
9. Avinash Dixit, Barry Nalebuff. The Art of Strategy: A Game Theorist's Guide to Success in Business and Life. Paperback, 2010.
10. Tracy Fullerton, Christopher Swain, Steven Hoffman. Gamedesign Workshop. A Playcentric Approach to Creating Innovative Games. Elsevier Inc. 2008.

Муратова Ульяна Дмитриевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
студент группа № P3411,
направление подготовки: 09.03.04 – Программная инженерия,
e-mail: ulyafka.muratova@mail.ru
Балакшин Павел Валерьевич
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет программной инженерии и компьютерной техники,
доцент, кандидат технических наук,
e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.934, 004.01

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГОЛОСОВЫХ АССИСТЕНТОВ

У.Д. Муратова

Научный руководитель – к.т.н., доцент **П.В. Балакшин**

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
В рамках данной работы было проведено изучение некоторых диалоговых систем и голосовых ассистентов, на основе их сравнения были сформулированы основные базовые требования для создания чат-ботов. Также были изучены наиболее распространенные ASR с открытым исходным кодом и на основе сравнения выбрана наиболее подходящая для интеграции в прототип чат-бота. На основании сформулированных требований был разработан прототип чат-бота, проведено ручное тестирование прототипа и сделаны выводы о целесообразности использования полученных требований.
Ключевые слова
диалоговые системы, чат-боты, голосовые ассистенты, требования, ASR, распознавание речи, прототип, разработка.

В настоящее время очень актуальна идея разработки программ, позволяющих обращаться к гаджетам на естественном языке, получать ответы на этом же языке или ждать выполнения команды, данной гаджету голосом. Многие компании пишут чат-ботов для рассылки информации в социальных сетях, разрабатываются системы, известные под общим названием «Умный дом», способные управлять домашней техникой, проводятся конкурсы на создание лучших программ, способных отвечать человеку. Например, в ноябре 2018 года в Университете ИТМО проводился конкурс IBM по созданию чат-бота для бизнеса.

Зачастую чат-боты необходимы компаниям, не имеющим в своем штате программистов, что заставляет компанию подписывать договоры и технические

задания на создание необходимого чат-бота. В открытом доступе есть не так много технических заданий на эту тему, однако в одном из них [1] много внимания уделялось интерфейсу, и почти ничего не было сказано об основной задаче чат-бота – общении: как это будет реализовано и какие требования будут предъявлены к умению чат-бота общаться. Поэтому **цель данного исследования** – формирование и валидация основных требований для создания чат-ботов.

Для возможности реализации разговора с роботом на данный момент известны два способа – это диалоговые системы (они же чат-боты) и голосовые ассистенты. В первую очередь стоит разобраться, в чем разница между этими понятиями.

Диалоговая система (чат-бот) – это встроенная или отдельная программа, предназначенная для ведения диалога с помощью слуховых или текстовых методов.

Вторая технология – голосовой помощник или голосовой ассистент. Это программа, способная воспринимать и выполнять голосовые команды. Наиболее распространено использование таких программ в системах «Умный дом» и в смартфонах (планшетах).

Еще два понятия, которые используются в области именования данных программ, – это голосовые ассистенты и голосовые помощники. Эти понятия эквивалентны, разница появляется из-за того, что английское слово assistant, использующееся в англоговорящих странах, на русском переводят и как ассистент, и как помощник.

Из-за схожести функций и отсутствия собственного названия для программ, соединивших в себе функции чат-бота и голосового ассистента, возникла путаница в правильном именовании программ каждого вида. Для наглядности и упрощения понимания можно выделить основные функции этих технологий и изобразить с помощью кругов Эйлера, представленных на рис. 1.

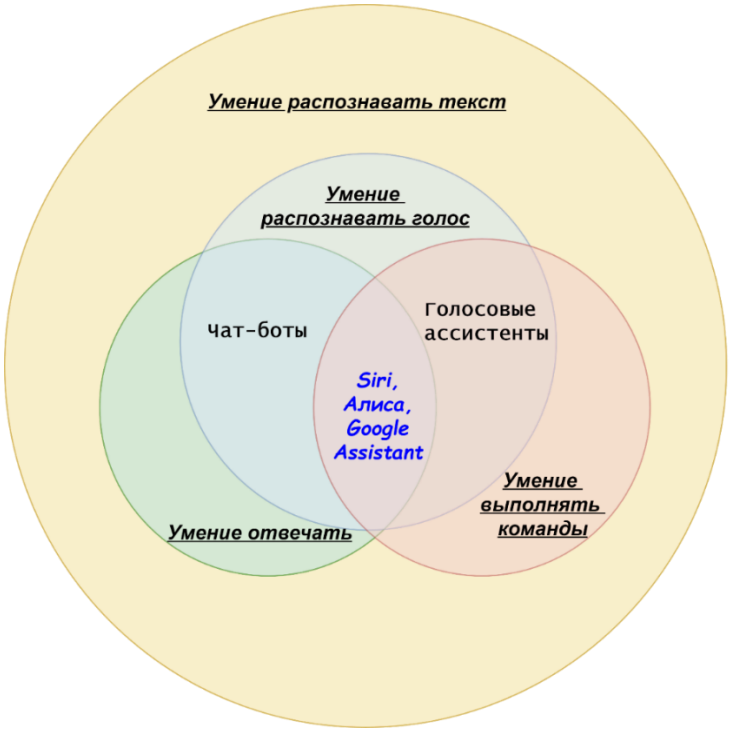


Рис. 1. Связь основных функций чат-ботов и диалоговых систем

На основании вышеперечисленного были определены задачи исследования:

1. Изучить типы и архитектуру диалоговых систем.

2. Сформировать основные требования для создания чат-ботов.
3. Разработать прототип чат-бота.
4. Провести тестирование распространённых систем автоматического распознавания речи (англ. ASR - Automatic Speech Recognition).
5. Сравнить полученный прототип чат-бота с существующими решениями.
6. Провести валидацию сформулированных требований.

Для сравнения были выбраны чат-боты социальной сети Вконтакте, мессенджера Telegram, а также Яндекс.Алиса [2], Google Assistant [3] и Siri. Критерии и сравнение этих чат-ботов представлены в таб. 1.

Основной функцией чат-бота является общение. Чат-бот умеет общаться только заранее заготовленными фразами, следовательно, для любой программы такого рода должны быть подготовлены два блока фраз: возможные фразы человека, которые чат-бот будет понимать, и фразы, которыми чат-бот будет отвечать. Стоит учесть, что одну фразу можно сформулировать различными способами (например, «Сколько сейчас времени?» и «Который час»), а ответ на них будет одинаков. Однако при использовании нейросети проблема составления набора фраз пропадает, что улучшает способность чат-бота общаться, но усложняет работу разработчика.

Таблица 1

Сводная таблица характеристик выбранных чат-ботов и диалоговых систем

Критерии	Чат-боты ВК	Чат-боты Telegram	Яндекс.Алиса	Google Assistant	Siri
Количество фраз, которые программа способна понимать	до 10	до 200	не ограничено	не ограничено	не ограничено
Количество ответов	до 10	до 50	Не ограничено	не ограничено	не ограничено
Использование ASR	–	–	+	+	+
Простые действия	до 5	до 20	более 100	более 100	более 100
Интеграция со сторонними программами	–	–	+	+	+
Самостоя-тельное приложение	–	–	+	+	–
Добавление навыков сторонними разработчиками	–	–	+	+	+
Модуль синтеза речи	–	–	+	+	+

В современном мире люди сталкиваются с проблемой нехватки времени, что в отношении к чат-ботам проявляется нежеланием печатать и читать текст. В таком случае большей используемости чат-бота может помочь включение в него модулей распознавания и синтеза речи, что позволит человеку выполнять несколько действий разом: заниматься своими делами и одновременно общаться с чат-ботом.

Многие чат-боты и голосовые ассистенты на данный момент не могут работать без вспомогательных программ. Так, чат-боты, работающие в разных социальных сетях, разработаны исключительно для этих социальных сетей, и вне них не функционируют. Даже известная Яндекс.Алиса, считающаяся сторонним приложением, поставляется исключительно с Яндекс.Браузером. Для многих пользователей это является лишним функционалом, усложняющим работу с приложением, и они отказываются от использования чат-ботов и голосовых ассистентов. В связи с этим разработка отдельного приложения становится более актуальной.

На основе проведенного сравнения были сформулированы общие базовые требования, которым должен соответствовать любой чат-бот.

Минимальные требования:

1. До 30 фраз с простым синтаксисом, которые чат-бот способен понимать.
2. До 15 фраз с простым синтаксисом, которыми чат-бот может ответить.
3. Реализация на любом языке программирования для любой социальной сети.

Достаточные:

1. Более 200 фраз, которые чат-бот способен понимать.
2. Более 50 фраз, которыми чат-бот может ответить.
3. Выполнение простых операций (например, запись/вывод требуемых данных).

Опциональные:

1. Интеграция с любой системой ASR.
2. Самостоятельное приложение.
3. Использование нейросетей для понимания запроса и ответа на него.
4. Возможность добавления операций.

На данный момент существует несколько достаточно известных коммерческих ASR. Это Google Cloud Speech, Amazon Alexa, IBM Watson, Siri и Яндекс.SpeechKit. Однако у данных систем есть недостатки, мешающие использовать их для разработки собственных программ:

– все эти ASR работают только с интернетом, что резко ограничивает их использование – при любой ошибке связи возможность распознавания голоса станет недоступна;

– отсутствие возможности персонализации распознавателя для нужд определенной программы – все вышеперечисленные системы ориентированы на среднего пользователя и будут хуже работать со многими специфическими областями;

– время распознавания и ответа на команду может увеличиться из-за низкой скорости интернета, любых неполадок в сети или на сервере;

– проблемы с приватностью и защитой информации – любой, у кого есть доступ (в том числе и незаконный) к серверу, может прослушать запись, отправленную для распознавания.

Исходя из вышесказанного, следует выбирать системы распознавания речи с открытым кодом, что позволит настроить и обучить их, исходя из потребностей разработчика и пользователя.

Наиболее используемыми и известными ASR с открытым исходным кодом являются Kaldi, Mozilla DeepSpeech, Sphinx, RWTH ASR и Julius. Критерии и сравнение перечисленных ASR представлены в таб. 2 [4, 5]:

Таблица 2

Сводная таблица характеристик выбранных ASR

Критерии	Kaldi	DeepSpeech	Sphinx	RWTH ASR	Julius
WER[1], %	6,5	7,2	21,4	15,5	23,1
SF[2]	0,6	4,3	0,5	3,8	1,3
Язык	C++	Python	C/Java	C++	C
Структура	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная	Модульная
Поддержи-ваемые ОС	Linux, Windows, FreeBSD	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS, Windows, Android	Linux, Mac OS	Linux, Windows, FreeBSD, Mac OS
Интерфейс	Консоль-ный	Консоль-ный	Консоль-ный, API	Консоль-ный	Консоль-ный, API
Языки	Английский	Английский	Множество языков, в том числе экзотичес-кие	Английский	Японский, Английский
Исследова-ние распознава-ния речи	Предназна-чена	Нужно писать модули в случае необходи-мости	Нужно писать модули в случае необходи-мости	Нужно писать модули в случае необходи-мости	Нужно писать модули в случае необходи-мости

Из полученной таб. 2 видно, что у системы Julius наиболее высокий процент ошибок, а у системы DeepSpeech самое долгое время распознавания звуковой записи, соответственно, эти системы не позволят обеспечить необходимый уровень работы чат-бота.

Из оставшихся трех систем наиболее примечательны Kaldi и Sphinx. Однако только CMU Sphinx предназначена для использования в приложениях, разработанных для операционной системы Android, а так как чат-ботом наиболее удобно пользоваться с помощью смартфона, именно с этой операционной системой должна работать ASR. Исходя из вышесказанного, для разработки прототипа чат-бота была выбрана система распознавания речи CMU Sphinx.

В результате разработки был получен прототип чат-бота, способный общаться с человеком (рис. 2). Одной из задач данной работы является разработка программы, которая способна поддержать диалог с человеком в текстовом виде и распознавать голос пользователя, поэтому часть функциональности (например, возможность выполнения команд) намеренно игнорировалась.

На основе характеристик и проведенного ручного тестирования бота можно утверждать, что разработанный прототип находится на уровне чат-ботов Telegram и ВКонтакте, а по некоторым характеристикам даже превосходит: прототип не использует Интернет и другие дополнительные ресурсы, обладает большим набором фраз, чем большинство ботов социальных сетей.

[1] Word Error Rate (WER) – показатель точности распознавания речи. Чем ближе к нулю значение WER, тем выше качество распознавания.

[2] Speed Factor (SF) - показатель отношения времени распознавания к длительности распознаваемого сигнала.

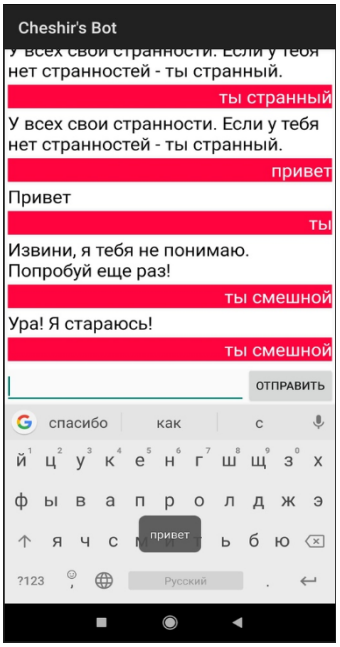


Рис. 2. Результат работы

Однако по сравнению с более развитыми голосовыми ассистентами по большей части характеристик прототип на данный момент проигрывает: ограниченность количества фраз и отсутствие встроенной нейросети не позволяют обучить бот и сделать его менее предсказуемым.

Главной задачей прототипа является общение с пользователем. Для доказательства способности выполнить свою задачу необходимо выполнить верификацию и валидацию требований, на основе которых и был написан чат-бот.

Для проведения валидации и верификации было проведено ручное тестирование чат-бота, при этом использовалось три различных смартфона (Xiaomi Redmi Note 6 Pro, Xiaomi Redmi 4, Huawei P10 lite). Тестирование проводилось четырьмя людьми.

В процессе тестирования было выявлено, что все требования полностью реализованы, соответственно, верификация продукта пройдена. Также в процессе тестирования было выявлено, что совместная работа модулей, нацеленных на исполнение требований, позволяет достичь приложению цели его создания – способности общаться с человеком.

Развитие технологий, связанных с искусственным интеллектом, на сегодняшний день происходит очень быстро, однако для достижения цели человеку нужно проделать еще большое количество работы, в том числе в сфере распознавания речи и обучения компьютеров.

Одним из исследований, направленных на изучение и улучшение данной области, является данная дипломная работа, в ходе которой было рассмотрено несколько различных чат-ботов и голосовых ассистентов, проведено их сравнение. На основе проведенного сравнения были сформулированы общие требования для чат-ботов.

Также были рассмотрены наиболее известные системы распознавания речи с открытым исходным кодом, проведено их сравнение и выбрана оптимальная для использования в мобильном приложении ASR.

Создание прототипа чат-бота на основе некоторых требований и последующие за этапом разработки этапы сравнения полученного продукта с известными, валидации и верификации данного прототипа позволяет сделать вывод, что сформулированные

требования действительно позволяют создать продукт, уже сейчас способный соперничать со многими известными чат-ботами, а в будущем и с голосовыми ассистентами (имеются в виду только способности голосовых ассистентов к общению). Соответственно, данные требования можно включать в технические задания по созданию чат-ботов, подобные требования позволят поднять уровень разрабатываемого чат-бота и получить большее количество прибыли от его работы.

Также в рамках обучения в магистратуре планируется продолжить и расширить данное исследование, включив в него интеграцию с нейросетью, ее обучение, возможность улучшения ASR, и на основе исследований создать максимально эффективный чат-бот.

Литература

1. Техническое задание на разработку и внедрение чат-ботов в мессенджерах: «Viber», «Telegram», «Facebook» и в социальной сети «ВКонтакте» для», «Facebook» и в социальной сети «ВКонтакте» для» и в социальной сети «ВКонтакте» для потребителей услуги по обращению с ТКО. Ханты-Мансийск. 2019 г.
2. Навыки Алисы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://dialogs.yandex.ru/store, своб.
3. Google Ассистент [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://assistant.google.com/explore?hl=ru_ru, своб.
4. Бойко Д. Системы распознавания речи с открытым исходным кодом [Электронный ресурс] Режим доступа: https://lvee.org/en/abstracts/273, своб.
5. Беленко М.В. Сравнительный анализ систем распознавания речи с открытым кодом / Беленко М.В., Балакшин П.В. // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. №4-4(58). С. 13-18.

Нигматулин Федор Олегович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V3436,
направление подготовки: 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика,
e-mail: fonigmatulin@gmail.com
Вартанян Тигран Арменакович
Год рождения: 1953
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
д.ф.-м.н., с.н.с.,
e-mail: tigran.vartanyan@mail.ru

УДК 535.016

РЕЗОНАНСНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ С ПЛАЗМОННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Ф.О. Нигматулин

Научный руководитель – д.ф.-м.н., с.н.с. **Т.А. Вартанян**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе теоретически рассмотрен плазмонный резонанс в сфероидальной золотой наночастице в присутствии резонансно поглощающей среды из атомарных паров щелочного металла в рамках квазистатического приближения и осцилляторной модели. Оценена концентрация атомарных паров, необходимая для экспериментального наблюдения изменения плазмонного пика поглощения из-за взаимодействия плазмона с атомами окружения.
Ключевые слова
Плазмонный резонанс, металлические наночастицы, квазистатическое приближение, атомарные пары, резонансное взаимодействие.

Бурное развитие наноплазмоники в последние десятилетия связано с уникальными свойствами металличеких нанообъектов, благодаря которым устройства на основе плазмонов находят различные применения. Особый интерес представляют плазмоны, локализованные в наночастицах, размеры которых много меньше длины волны света, возбуждающего плазмонные колебания. Взаимодействие локализованного плазмона с окружающей средой может существенно изменять оптические свойства частицы. Поэтому для эффективного использования плазмонных систем на практике важно иметь теоретическое описание оптических свойств плазмонов, взаимодействующих с внешней средой. В данной работе теоретически изучается плазмонный резонанс, локализованный в золотой сфероидальной наночастице в присутствии резонансно поглощающей среды из атомарных паров щелочного металла. Для описания плазмонно-атомных систем может быть применена осцилляторная модель, в которой колебания электронов в плазмонной частице и атомах рассматриваются, как два взаимодействующих осциллятора. Недостатком данной

модели является невозможность учета формы плазмонной частицы, от которой зависят ее оптические свойства. Кроме того, данная модель позволяет рассматривать спектры поглощения только в относительных единицах, так как отсутствует зависимость константы связи двух осцилляторов от реальных параметров системы. Для случая локализованных плазмонов в расчетах может быть применено квазистатическое приближение, в котором поле внутри частицы оказывается однородным. Поскольку ближнее поле плазмона быстро спадает на расстояниях, сравнимых с размерами наночастицы, с плазмонами взаимодействует относительно тонкий слой атомов окружения. Это позволяет рассмотреть модель эллипсоидальной наночастицы в оболочке из атомарных паров щелочного металла (рис. 1). Преимуществом квазистатической модели является возможность учета формы наночастиц и их взаимодействия с окружающими их атомами в рамках простых аналитических формул. В данной работе квазистатическое приближение было использовано впервые для частиц в атомарных парах.

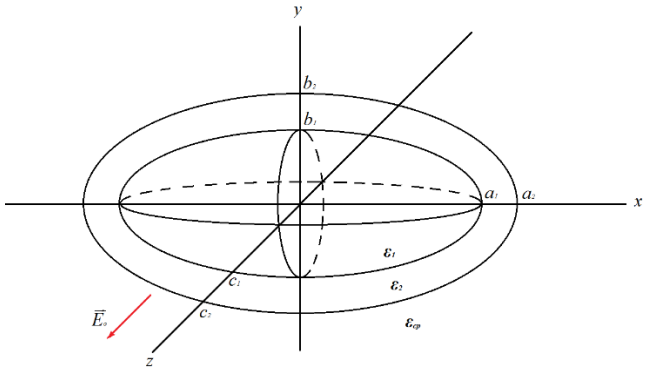


Рис. 1. Эллипсоидальная частица в оболочке во внешнем однородном электрическом поле

В настоящей работе были поставлены следующие задачи: расчет спектров поглощения золотых сфероидальных частиц с различными соотношениями между полуосями, помещенных в атомарные пары натрия в рамках осцилляторной модели и квазистатического приближения для случаев однородного и доплеровского уширения спектральных линий; анализ условий экспериментального наблюдения резонансного взаимодействия между плазмоном и атомами. При этом особо исследовался случай, когда резонансная частота перехода в атомах щелочного металла совпадает с частотой плазмонного резонанса.

В рамках двухосцилляторной модели смещения электронной плотности в наночастице x_p и в окружающих ее атомах x_a под действием возбуждающего света описываются уравнениями движения для осцилляторов с затуханием [1]:

$$\begin{cases} \ddot{x}_p + \gamma_1 \dot{x}_p + \omega_1^2 x_p + \Omega \cdot x_a = \frac{q}{m} E_0 e^{i\omega t} \\ \ddot{x}_a + \gamma_2 \dot{x}_a + \omega_2^2 x_a + \Omega \cdot x_p = 0 \end{cases}, \qquad (1)$$

где γ_1, γ_2 - постоянные затухания, определяющую ширину резонансов, причем γ_1 ? γ_2, ω_1, ω_2 - собственные частоты осцилляторов, Ω – константа связи двух колебательных систем, ω – частота, падающего на частицу света, q – величина электрического заряда. От смещения электронной потности можно перейти к поляризуемости α_p, мнимая часть которой определяет сечение поглощения:

$$\sigma_n = k \cdot \mathrm{Im}\,\alpha_p, \qquad (2)$$

где k – модуль волнового вектора падающей на частицу волны. Подставляя выражение для поляризуемости, полученное из решения системы (1) в формулу (2) найдем выражение для сечения поглощения света плазмонно-атомной системы:

$$\sigma_n = \frac{\omega^2 q^2}{\varepsilon_0 \cdot m \cdot c} \frac{\left(\gamma_1\omega^4 - 2\gamma_1\omega_2^2\omega^2 + \gamma_1\gamma_2^2\omega^2 + \gamma_1\omega_2^4 + \gamma_2\Omega^2\right)}{\left(\Omega^2 + \left(\omega_1^2 - \omega^2\right)\left(\omega^2 - \omega_2^2\right) + \gamma_1\gamma_2\omega^2\right)^2 + \left(\gamma_1\omega^3 - \left(\gamma_1\omega_2^2 + \gamma_2\omega_1^2\right)\omega\right)^2}. \qquad (3)$$

На рис. 2 представлены спектры поглощения плазмонно-атомной системы в относительных единицах, рассчитанные по формуле (3).

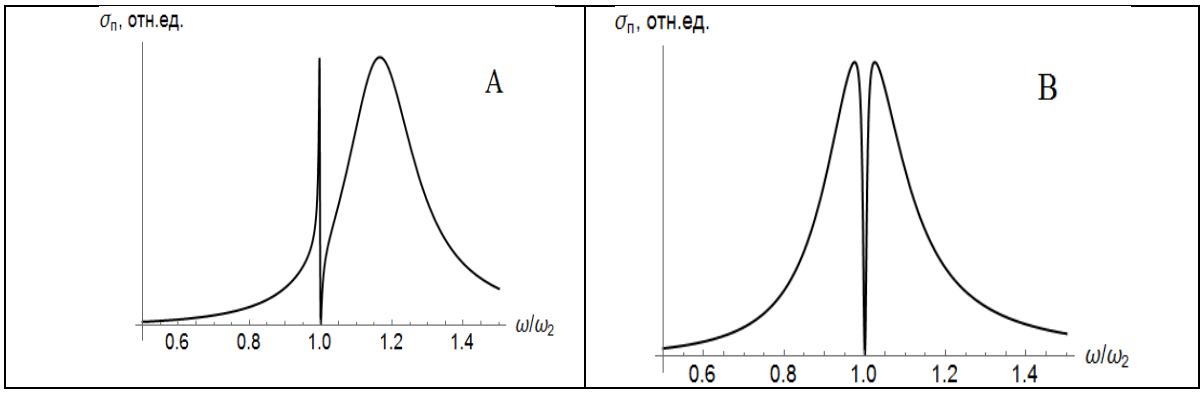


Рис. 2. Спектры поглощения плазмонно-атомной системы в относительных единицах при различной частоте плазмонного резонанса: А – $\omega_1 = 1.16$, В – $\omega_1 = \omega_2 = 1$.

Из рис. 3А видно, что, когда ω_1 не совпадает с частотой ω_2, система имеет два резонанса: широкий плазмонный резонанс вблизи собственной частоты плазмонов и узкий ассиметричный резонансный пик, обусловленный поглощением атомами окружения, смещенный относительно своей собственной частоты. На собственной частоте колебаний электронов в атомах окружения плазмонно-атомная система практически полностью перестает поглощать излучение. В случае совпадения резонансных частот (рис. 3В) взаимодействие плазмона с атомами, приводит к появлению провала в плазмонном пике поглощения. Данное рассмотрение позволяет увидеть характерные особенности поглощения плазмонно-атомной системы, однако оно далеко от реальности, из-за невозможности учета формы плазмонной частицы и отсутствии зависимости константы связи Ω от параметров системы – плазменной частоты и концентрации атомов окружения.

В квазистатическом дипольном приближении поляризуемость эллипсоидальной частицы в оболочке описывается следующей формулой [2]:

$$\alpha_e = \frac{a_2 b_2 c_2}{3} \frac{\left(\left(\varepsilon_2 - \varepsilon_{cp}\right)\left[\varepsilon_2 + \left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)\left(L_c^{(1)} - \beta L_c^{(2)}\right)\right] + \beta\varepsilon_2\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)\right)}{\left(\left[\varepsilon_2 + \left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)\left(L_c^{(1)} - \beta L_c^{(2)}\right)\right] \cdot \left[\varepsilon_{cp} + \left(\varepsilon_2 - \varepsilon_{cp}\right)L_c^{(2)}\right] + \beta L_c^{(2)}\varepsilon_2\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)\right)}, \qquad (4)$$

где $\beta = \frac{a_1 b_1 c_1}{a_2 b_2 c_2}$, $L_c^{(k)} = \frac{abc}{2}\int_0^\infty \frac{dq}{\left(c_k^2+q\right)\sqrt{\left(a_k^2+q\right)\left(b_k^2+q\right)\left(c_k^2+q\right)}}$ – геометрический фактор, k = 1,2. В данной работе значения диэлектрической проницаемости золота были взяты из [3]. Диэлектрическая проницаемость атомарных паров щелочного металла для случая однородного уширения спектральных линий описывается формулой из классической теории дисперсии:

$$\varepsilon_2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\left(\omega^2 - \omega_2^2 + i\omega\gamma_2\right)}. \quad (5)$$

Тепловое движение атомов приводит к доплеровскому уширению спектральных линий. Модель фойгтовского контура диэлектрической проницаемости позволяет учесть вклады однородного и доплеровского уширений. Предполагая, что распределение атомов по скоростям максвелловское, диэлектрическая проницаемость атомарных паров, будет иметь следующий вид [4]:

$$\varepsilon_2 = 1 - \frac{Nd^2}{\sqrt{\pi}v_t \mathrm{h}\varepsilon_0}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\omega - \omega_2 - kv_y - i\frac{\gamma_2}{2}}{\left(\omega - \omega_2 - kv_y\right)^2 + \frac{\gamma_2^2}{4}} e^{-\frac{v_y^2}{v_t^2}} dv_y, \quad (6)$$

где v_t – тепловая скорость. Расчет поляризуемости по формуле (4) позволяет перейти к сечению поглощения, которое может быть определено по формуле (2). Рассеяние света частицами в данной работе не учитывается, поскольку в пределах применимости квазистатического приближения сечение рассеяния много меньше сечения поглощения.

С помощью формул квазистатического приближения были рассчитаны спектры поглощения золотых сфероидальных наночастиц, окруженных атомарными парами натрия для случая однородного уширения (рис. 3). Частота плазмонного резонанса в сфероидальной наночастице зависит от эксцентриситета сфероида. Таким образом, изменяя отношение полуосей можно варьировать резонансную частоту. Данный факт используется в работе для совмещения плазмонного резонанса и резонанса в атомах щелочного металла.

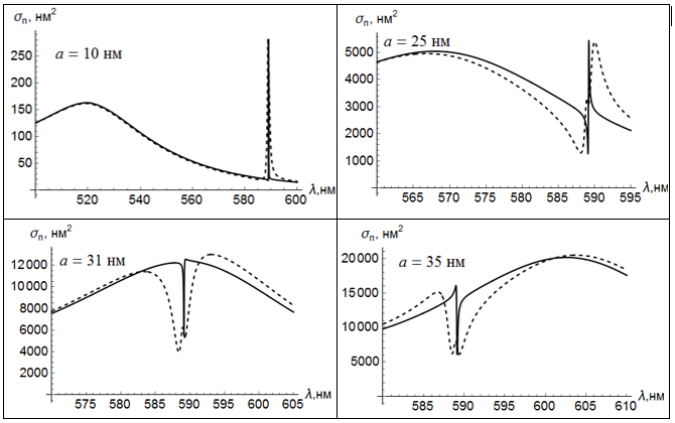


Рис. 3. Спектры поглощения золотой сфероидальной частицы, окруженной парами натрия при различной величине большой полуоси a (b = 5 нм); толщина оболочки 5 нм (по оси y). При a = 31 нм плазмонный резонанс совпадает с резонансом в атомах Na. Сплошная линия – T = 850 K, пунктирная – T = 1100 K

Примечательно, что при увеличении большой полуоси пик поглощения, обусловленный поглощением атомарных паров, распадается на два пика. Один из них смещается в длинноволновую область относительно резонансной длины волны в атомах щелочного металла (для натрия – 589.158 нм) и уширяется при дальнейшем увеличении *a*. На рис. 4 приведен спектр поглощения вблизи резонанса в атомах натрия при a = 15 нм (плазмонный пик поглощения вдали от резонансной длины волны перехода в натрии) и при a = 31 нм (случай совпадения резонансов). Механизм возникновения второго пика может быть объяснен возникновением плазмонного резонанса в полости, образованной оболочкой из паров натрия. Данный факт подтверждается расчетом спектра поглощения сферического слоя из атомарных паров без металлической частицы, на котором также наблюдается два пика вблизи резонанса в атомах.

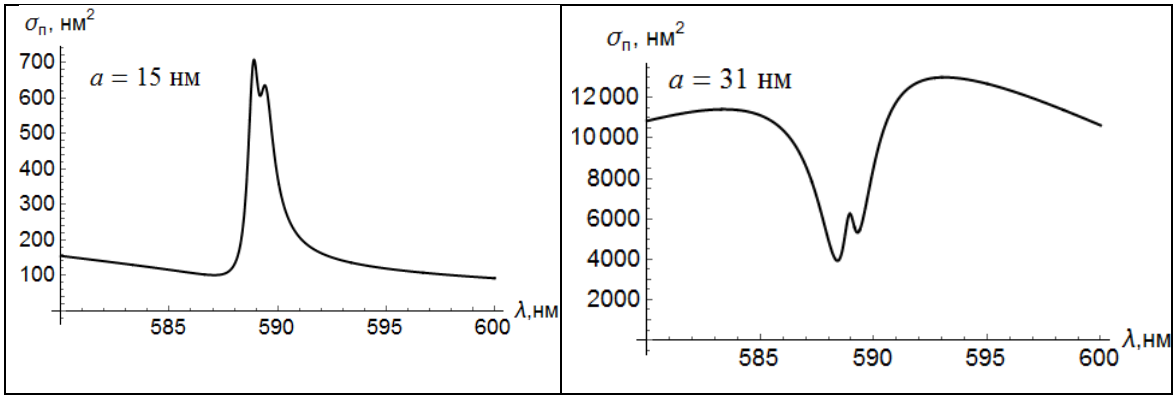


Рис. 4. Спектры поглощения вблизи резонансной длины волны в Na при однородном уширении. T = 1100 K

При подстановке диэлектрической проницаемости вида (6) в формулу для поляризуемости сфероида (4) можно рассчитать спектры поглощения с учетом неоднородного доплеровского уширения. При высоких температурах столкновительное уширение преобладает над доплеровским, поэтому спектры поглощения рассматриваемой системы практически не отличаются от спектров в случае только однородного уширения. Однако уже при T = 700 K, что соответствует концентрации атомов натрия $1.035 \cdot 10^{16}$ см$^{-3}$ различия существенны. Дополнительный механизм уширения приводит к тому, что расщепление пика, обусловленного поглощением оболочки, не наблюдается.

По мере приближения плазмонного резонанса к резонансу в атомах окружения взаимодействие между плазмоном и атомами усиливается, что иллюстрирует рис. 6, на котором представлена зависимость резонансных длин волн рассматриваемой плазмонно-атомной системы от соотношения между полуосями сфероида. Как видно изменяющийся вследствие изменения формы наночастицы плазмонный резонанс не пересекается с резонансом в атомах окружения, что следовало бы ожидать при отсутствии взаимодействия.

Так как сила взаимодействия между атомами и плазмонами зависит от концентрации паров, то с практической точки зрения полезно знать концентрацию, при которой можно экспериментально наблюдать эффект резонансного взаимодействия. На рис. 7 представлена зависимость глубины провала в плазмонном пике, обусловленного взаимодействием с атомами натрия, от концентрации атомарных паров. Согласно этой зависимости, провал может надежно регистрироваться при концентрации $2.5 \cdot 10^{12}$ см$^{-3}$ (T = 500 K).

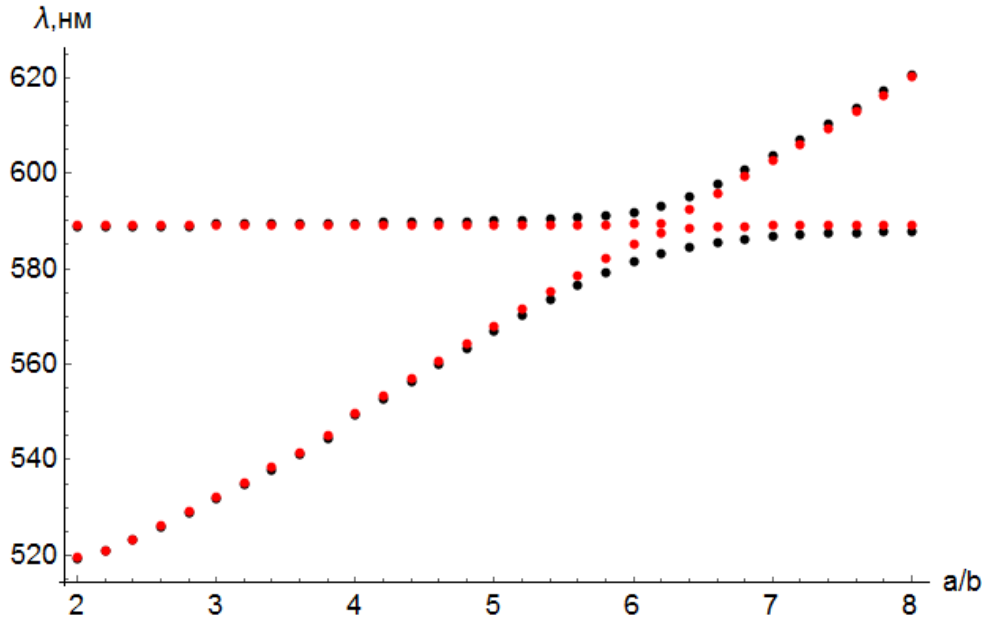


Рис. 6. Теоретическая зависимость резонансных длин волн сфероидальных наночастиц, окруженных атомарными парами натрия, от отношения полуосей сфероида a / b при T = 850 K (красные точки) и при T = 1100 K (черные точки)

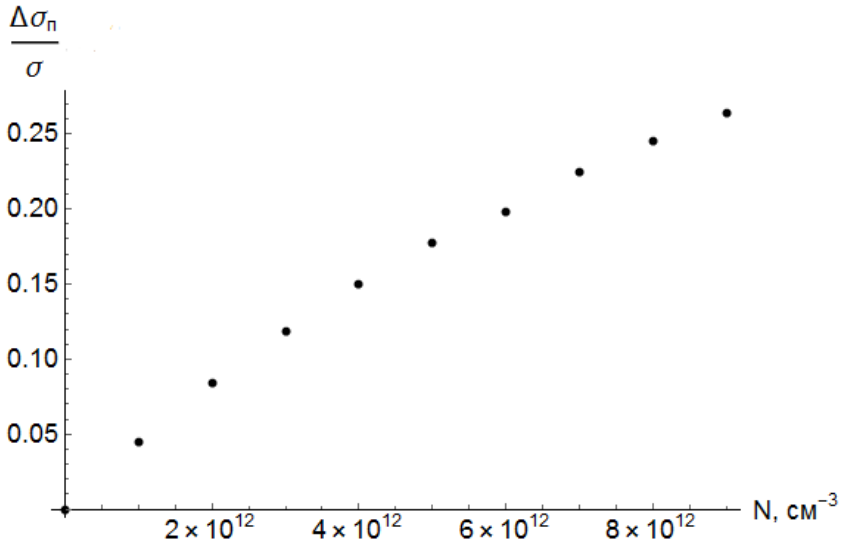


Рис. 7. Зависимость относительной глубины провала в плазмонном пике от концентрации атомарных паров

Выполненные в рамках квазистатического приближения и осцилляторной модели расчеты спектров поглощения золотых сфероидальных частиц, помещенных в атомарные пары натрия, свидетельствуют о существовании сильного взаимодействия между резонансными переходами в атомах щелочных металлов и локализованными в металлических наночастицах плазмонами. Полученная зависимость глубины провала в плазмонном пике поглощения от концентрации атомарных паров позволила сделать оценку концентрации атомарных паров необходимой для экспериментального наблюдения изменения плазмонного пика поглощения из-за взаимодействия плазмона с атомами. Анализ рассматриваемой плазмонно-атомной системы показал, что форма

контура линии поглощения атомов щелочного металла имеет вид ассиметричного резонанса. В дальнейшем планируется с помощью численного моделирования рассчитать спектры поглощения рассматриваемой плазмонно-атомной системы вне рамок квазистатического приближения. Это позволит корректно описать процессы с участием плазмонных наночастиц большего размера и отклонение их формы от сфероидальной. Учет тонкой структуры спектральных линий, и рассмотрение эффектов, связанных с модификацией дипольных правил отбора в неоднородном ближнем поле плазмонных частиц позволит усовершенствать теоретическое описание взаимодействия между плазмоном и атомами. Также исследуемая атомно-плазмонная система может быть реализована и на эксперименте.

Литература

1. Syed Abdullah Aljunid, Eng Aik Chan, Giorgio Adamo, Martial Ducloy, David Wilkowski, Zheludev N. I. Atomic Response in the Near-Field of Nanostructured Plasmonic Metamaterial // Nano Letters. 2016. Т. 16. С. 3137-3141.
2. Bohren C.F., Huffman D.R. Absorption and Scattering of light by small particles. NY, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: A Wiley-Interscience Publication John & Sons. 1983. 530 с.
3. Johnson P.B., Christy R.W. Optical constants of the noble metals // Phys. Rev. 1972. V. 6. P. 4370-4379. URL: https://refractiveindex.info/.
4. Vdovin Yu.A., Galitskll V.M. Dielectric constant of a gas of resonant atoms// Soviet physics Jetp. 1966. Т. 25. С.1345-1359.

Никитин Игорь Александрович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы W3460,
направление подготовки: 14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика,
e-mail: ravenstr1337@gmail.com
Пилипенко Николай Васильевич
Год рождения: 1938
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
д.т.н., профессор,
e-mail: pilipenko38@mail.ru

УДК 536.6

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

И.А. Никитин

Научный руководитель – д.т.н., профессор **Н.В. Пилипенко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИИР «Динамические характеристики датчиков теплового потока».

Аннотация
В работе рассмотрен способ восстановление нестационарного теплового потока с применением фильтра Калмана на примере батарейного приемника теплового потока. Проанализированы динамические характеристики данного приемника, зависимость этих характеристик от различных толщин слоев.
Ключевые слова
Приемники теплового потока, восстановление теплового потока, фильтр Калмана, обратные задачи теплопроводности, дифференциально-разностные модели, батарейный приемник теплового потока, ПТП.

Ранее уже выполнялись работы о динамических характеристиках, проводили ряд исследований, однако остались невыясненные некоторые аспекты, а именно:

1) Назначение фильтра Калмана, его цели и задачи;
2) Дифференциально-разностные модели для различных приемников теплового потока (далее ПТП) и способы их решения;
3) Обратные задачи теплопроводности и их параметризация;
4) Выбор базисных функций, их использование при решении обратных задач теплопроводности (ОЗТ) и задач параметризации;
5) Параметрическая идентификация для решения граничной ОЗТ;
6) Пошаговое нахождение оптимальной оценки вектора искомых параметров с использованием рекуррентного алгоритма фильтра Калмана.

Явления теплообмена сопровождают функционирование различных технических устройств и процессы многих производств. Зачастую, они имеют существенное влияние и требуют обязательного учета при проектировании технических объектов, процессов. Они являются решающим фактором при выборе внешнего вида и параметров объектов, составляют основу разрабатываемых процессов. В настоящее время при различных проектированиях и обработках используются системные подходы. Они заключаются в моделировании процессов теплопереноса (математических, физических) в теле и в средах. Применение моделирования должно быть обосновано, и важно, имело связь между математическим и физическим (экспериментальным) моделированием процессов теплопереноса и тепловых режимов. Оно должно быть интегрировано на любых этапах конструирования и испытаний. Верное использование всего вышеупомянутого позволяет получить оптимальные результаты на любых стадиях создания объекта [1].

Существуют различные способы, при помощи которых можно восстановить тепловой поток $q(\tau)$. К сожалению, при решении обратных задач теплопроводности, данные способы не удовлетворяют требованиям:

1) Универсальности;
2) Быстротечности;
3) Использования информации от различного количества датчиков температуры;
4) Наличия производных по времени для всех порядков;
5) Возможности учета контактных сопротивлений при анализе составных тел;
6) Анализа и учета тепловых физических характеристик различных материалов;
7) Наличия доверительных интервалов, необходимых по окончанию расчета восстановления $q(\tau)$[2, 4].

Исходя из этих требований, был предложен алгоритм восстановления потока при помощи фильтра Калмана. Фильтр Калмана (ФК) – важнейшее историческое открытие в статической теории оценивания. С помощью него люди смогли осуществить то, что раньше считалось невозможным, но сейчас стало нужным и незаменимым. Например, рассмотрение кремния в производстве электронных систем. В основном фильтр Калмана стал использоваться в управлении сложными динамическими системами, которыми выступают непрерывные производственные процессы, самолеты, корабли и космические аппараты и др. Для того, чтобы управлять динамической системой необходимо в первую очередь определить ее текущее состояние. Для этих целей не всегда имеется возможность измерить каждый интересующий нас параметр управления, тогда как ФК обеспечивает средствами для получения отсутствующей информации о неизвестных параметрах косвенных измерений [3].

В дипломной работе были выбраны одномерные батарейные ПТП в качестве объектов для осуществления данной методики. Для данных объектов необходимо восстановить нестационарный тепловой поток, который проходит через тепломер.

В численном моделировании процесса теплообмена задача является линейной. Это предполагает, что коэффициент теплопроводности λ, плотность ρ, удельная теплоемкость c материала тепломера, коэффициенты теплообмена поверхностей прибора с окружающей средой не зависят от температуры. Начальное распределение температуры $T_0(x)$ является известным.

Коротко алгоритмический способ решения обратной задачи теплопроводности при помощи фильтра Калмана можно описать следующим способом:

1) Интервал времени делится на n равных участков сплайн-аппроксимации.

2) n-ый участок разбивается на k шагов. Далее для 1-го шага (при k = 1) задают начальное значение вектора исходных параметров $\hat{\vec{Q}}_0$. После так же указывают нулевое значение ковариационной матрицы P_0.

3) Выводится вектор температур $\hat{\vec{Y}}_k(\hat{\vec{Q}}_k)$ при помощи решения прямой задачи теплопроводности (ПЗТ).

4) С помощью (1.16) и (1.17) вычисляется матрица чувствительности.

5) После этого по формулам (1.13) и (1.15) происходит вычисление весовой K_{k+1} и ковариационной P_{k+1} матриц, а также уточнение оценок теплового потока $\hat{\vec{Q}}_{k+1}$ по формуле (1.14).

6) Рассматривают следующий шаг k+1. После 5-го шага (k=5) переходят к следующему участку n+1 сплайн-аппроксимации и повторяют всё с п.2.

Более подробно данные шаги рассмотрены в дипломной работе.

Рисунок. 1. Пример восстановления теплового потока

Были найдены и проанализированы динамические характеристики (импульсные, переходные, амплитудно-частотные, фазочастотные) данного приемника, при помощи математического пакета MatLab. Из-за особенностей датчика, были проанализированы потоки на внутренних блоках (без учета изоляции) (рис. 1).

Было выяснено, что существенное влияние на динамические характеристики оказывают теплоизолирующие слои батарейного ПТП. Проанализированы случаи для разных толщин слоев: 1 - δ=0,1 мм, 2 - δ=0,2 мм и 3 - δ=0,3 мм. Так же было рассмотрено их влияние на восстановление теплового потока.

Литература

1. Пилипенко Н.В. Методы и приборы нестационарной теплометрии на основе решения обратных задач теплопроводности. СПб: СПБГУ ИТМО. 2011. 180 с.

2. Бек Дж., Блакуэлл Б., Сент-Клэр Ч. Некорректные обратные задачи теплопроводности. М.: Мир. 1989.
3. Пилипенко Н.В. Применение фильтра Калмана в нестационарной теплометрии. Учебное пособие. СПб: Университет ИТМО. 2017. 36 с
4. Кириллов К.В., Пилипенко Н.В. Алгоритмы программ для решения прямых и обратных задач теплопроводности при использовании дифференциально-разностных моделей // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2010. № 5. С. 106–110.

Никитин Михаил Михайлович
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы №B3405,
направление подготовки: 12.03.02 – Оптотехника,
e-mail: nikmik666@yandex.ru
Коняхин Игорь Алексеевич
Год рождения: 1953
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
д.т.н. профессор,
e-mail: igor@grv.ifmo.ru

УДК 681.78

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСТРА

М.М. Никитин

Научный руководитель – д.т.н., профессор **И.А. Коняхин**

Университет ИТМО

Аннотация
В данной работе рассматривается исследование влияния величины составляющих погрешности на суммарную погрешность измерения координат оптико-электронной системы, состоящей из источника излучения, лазерного модуля (представляющего излучательный канал) и стереосистемы (представляющей два приёмных канала), разработанной для измерения координат точек объекта (бюста) с целью мониторинга и реставрации.
Ключевые слова
Лазерный растр, модель стереопары, система микроэлектромеханическая (МЭМС).

Измерение координат бесконтактными методами используется в различных областях деятельности человека [1]. Однако, если рассматривать практическое применение в рамках таких городов как Санкт-Петербург, Москва, Калининград и др. важной задачей является сканирование памятников истории и культуры, с целью создания трёхмерных моделей для их мониторинга и реставрации (в частности бюстов, так как они зачастую имеют малые габариты и сильно подвержены внешним воздействиям). Был выполнен анализ рынка приборов, выполняющих данную задачу (Arctec Eva, Thor3D drake, Shining 3D optimscan 3M и пр.) и выяснено, что их цена довольно высока (порядка 1 млн руб.), а погрешность в среднем составляет 0,1 мм.

Цель работы: разработать оптико-электронную систему измерения координат точек объекта (бюста), превосходящую серийные системы по критерию малости мультипликативного показателя (погрешность×цена).

Была разработана структурная схема системы, в которой измерение координат происходит по методу прямой угловой засечки (так как он не чувствителен к цвету

поверхности, в отличие от активного параллаксного метода, и не требует нанесения меток на объект, в отличие от фотограмметрического метода), представленная на рис. 1.

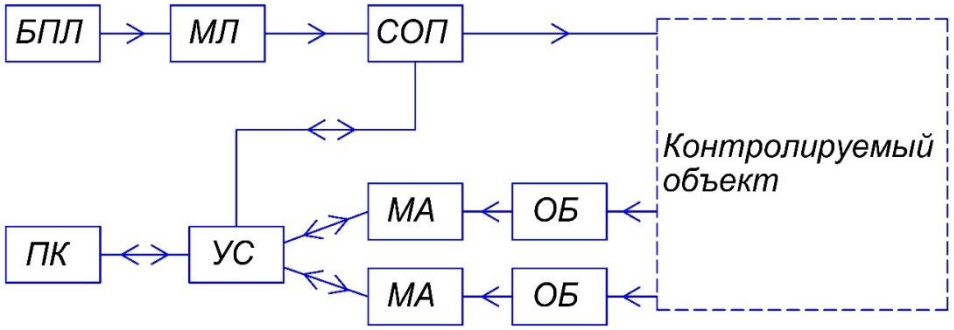


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемой системы

Блок питания лазера (БПЛ) подаёт напряжение на лазерный модуль (МЛ) который генерирует пучок, падающий на систему отклонение пучка (СОП) и направляющийся на контролируемый объект, после чего лазерная точка засекается стереосистемой, каждый из приёмных каналов которой состоит из объектива (ОБ) и матричного анализатора (МА), сигнал с МА подаётся на устройство сопряжения (УС) и далее на персональный компьютер (ПК). Это представляет собой один цикл работы системы, по его завершению СОП переводит пучок в следующее положение и цикл повторяется, таким образом на контролируемом объекте наблюдается растр.

Был произведён расчёт минимального угла развёртки СОП ($\alpha \approx 7{,}2°$), минимального углового поля объектива в пространстве предметов ($2\beta \approx 20°$) и максимального фокусного расстояния (f' = 17,14 мм) при базе b = 200 мм, величине контролируемого объекта 500×500 мм, дистанции 2 м, что продемонстрировано на рис. 2.

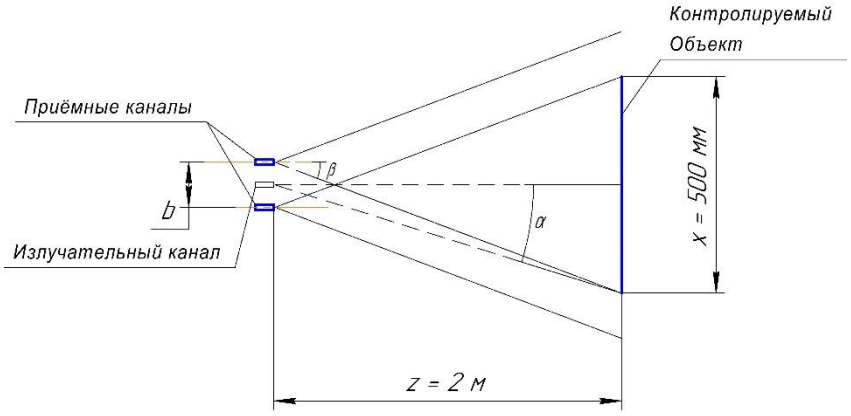
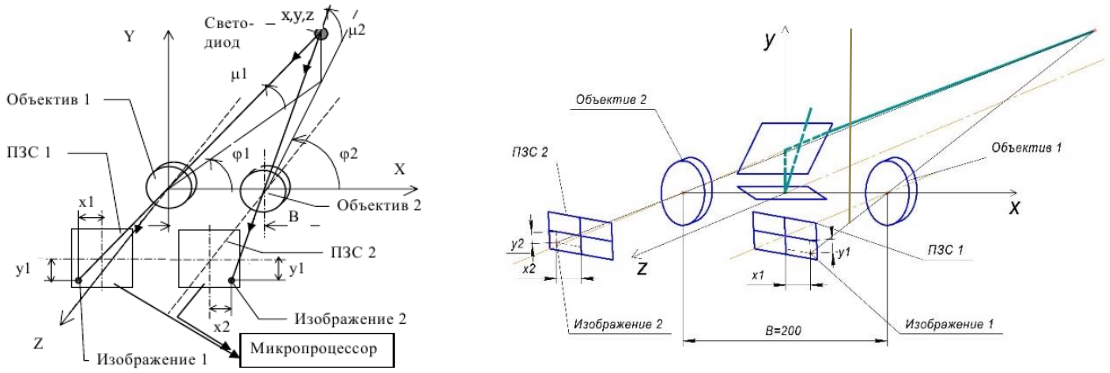


Рис. 2. К расчёту параметров излучательного и приёмных каналов

Также принято решение, что размер изображения всего поля зрения объектива не должен превышать 6 мм, так как увеличение изображения ведёт к увеличению светочувствительной площадки МА, а следовательно, к увеличению цены. В качестве МА выбрана ПЗС ICX252AQ, так как она имеет квадратные пикселы с малым размером (3,45 мкм) и подходящую чувствительную площадку (8,1×6,64 мм). Источником излучения служит МЛ AML53041-XX-01 имеющий малые апертуру на выходе (2 мм) и угловую расходимость (1,2 мрад). СОП реализована с помощью двухосевого зеркального модуля МЭМС (микроэлектромеханическая система) MAR1800

максимальный угол развёртки которой составляет 20°, а максимальный диаметр падающего пучка 3 мм.

В ходе габаритно-энергетического расчёта выбран объектив Гелиос-10 (f' = 17 мм, 2ω = 34°, τ = 0,79) и рассчитано, что на матрице создаётся отношение сигнал/шум (μ = 1100) обеспечивающее наименьшую погрешность измерений [2].



а б

Рис. 3. Модель стереосистемы из [3] (а); созданная модель стереосистемы (б)

Была синтезирована модель разрабатываемой системы в программе MATLAB, состоящая из 2-х подмоделей: модели стереосистемы и модели зеркального модуля (рис. 3б). Модель стереосистемы уже существует [3] (рис. 3а), однако в ней центр системы координат помещён в центр первого объектива. Данная модель и формулы измерения координат были пересмотрены таким образом, чтобы центр системы координат находился посередине базы, что позволило совместить две вышеупомянутые подмодели (модель стереосистемы и модель зеркального модуля) в одну модель разрабатываемой системы. Если известны координаты изображения на ПЗС матрицах (x1, y1, x2, y2), фокусное расстояние – f' и база – b, можно определить углы визирования (1) – (2) и координаты лазерной точки, проецируемой на объект следующим образом (3) – (4) :

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg}\left(\frac{x1}{f'}\right); \varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}\left(\frac{x2}{f'}\right), \quad (1)$$

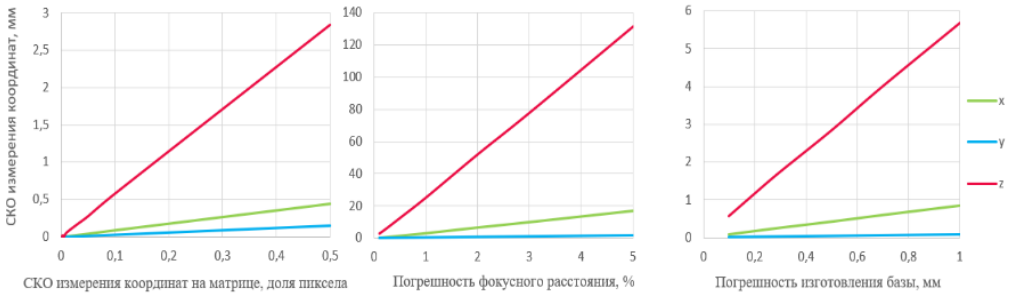
$$\mu_1 = \operatorname{arctg}\left(\frac{-y1}{\sqrt{f'^2 + x1^2}}\right); \ \mu_2 = \operatorname{arctg}\left(\frac{-y2}{\sqrt{f'^2 + x2^2}}\right), \quad (2)$$

$$z = \frac{b \cdot \operatorname{tg}(-\varphi_1) \cdot \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(-\varphi_1) + \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}; \ x = \frac{b \cdot \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)}{\operatorname{tg}(-\varphi_1) + \operatorname{tg}(\pi - \varphi_2)} - \frac{b}{2}, \quad (3)$$

$$y = 0{,}5 \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{2} + x\right)^2 + z^2} \cdot \operatorname{tg}\mu_1 + 0{,}5 \cdot \sqrt{z^2 + \left(\frac{b}{2} - x\right)^2} \cdot \operatorname{tg}\mu_2. \quad (4)$$

Источниками погрешности стереосистемы являются: несоответствие фокусного расстояния и базы номинальным значениям и шумы ПЗС. Были рассмотрены зависимости СКО (среднее квадратическое отклонение) измерения координат от вышеперечисленных источников погрешности (рис. 4) и выявлено, что необходимо произвести компенсацию всех погрешностей за исключением шумов ПЗС (которые в данном случае принимаются за СКО измерения координат на матрице), при этом при СКО измерения координат на матрице равном 0,01 доля пиксела обеспечивается СКО измерения координат объекта 0,06 мм, что удовлетворяет решаемой задаче (рис. 4а). Как можно заметить из рис. 4 наибольшее влияние на суммарную погрешность

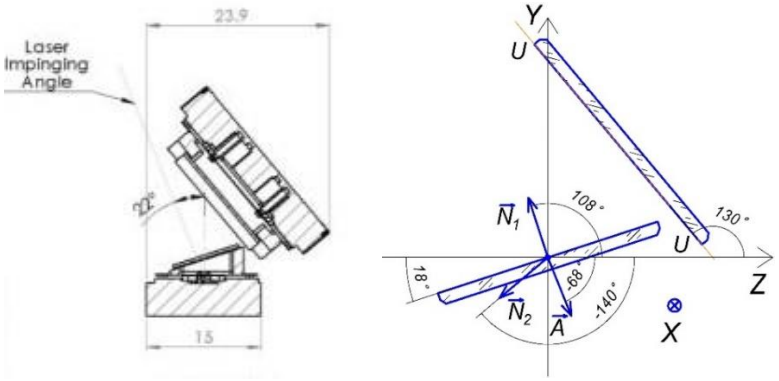
оказывает несоответствие фокусного расстояния номинальному значению, однако данная погрешность может быть устранена за счёт калибровки системы перед её использованием.



а б в

Рис. 4. Зависимость СКО измерения координат объекта:
от СКО измерения координат на матрице (а); от погрешности фокусного расстояния (б); от погрешности изготовления базы (в)

Рассмотрим зеркальный модуль (рис. 5). На рис. 5(б) указан A – вектор падающего излучения МЛ (перенесён в начало системы координат), N_1 – вектор нормали первого зеркала, N_2 – вектор нормали второго зеркала (перенесён в начало системы координат). Ось вращения первого зеркала совпадает с осью X (перпендикулярно плоскости рисунка и в сторону от наблюдателя), а ось вращения второго зеркала UU лежит в плоскости чертежа и расположена под углом 130° к оси Z.



а б

Рис. 5. Вид зеркального модуля MAR1800 (а); эквивалентная схема MAR1800 (б)

Для описания поворота одного плоского зеркала пользуются следующим математическим аппаратом (5) описанным в [4]:

$$\vec{B}_1 = P \cdot M_1 \cdot P' \cdot \vec{A}, \quad (5)$$

где $\vec{B}_1$ – вектор отражённого от первого зеркала пучка, P – матрица поворота плоского зеркала, M_1 – матрица первого плоского зеркала, P' – транспонированная матрица поворота плоского зеркала, $\vec{A}$ – вектор падающего излучения от МЛ.

Для случая первого зеркала, ось качения которого совпадает с осью X (рис. 5(б)) матрица P и матрица M_1 имеют вид (6):

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Theta_1 & -\sin\Theta_1 \\ 0 & \sin\Theta_1 & \cos\Theta_1 \end{bmatrix};\ M_1 = \begin{bmatrix} 1-2N_x^2 & -2N_xN_y & -2N_xN_z \\ -2N_xN_y & 1-2N_y^2 & -2N_yN_z \\ -2N_xN_z & -2N_yN_z & 1-2N_z^2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

где Θ_1 – угол качения первого зеркала, а N_x, N_y, N_z – проекции нормали зеркала $\overrightarrow{N_1}$ на соответствующие оси.

Так как модуль нормали равен единице, то соответствующие проекции N_x, N_y, N_z равны направляющим косинусам углов α, β, γ, образуемых с осями (рис. 6(а)). Однако, данное представление не удобно, поэтому воспользуемся следующим представлением (рис. 6(б)).

Учитывая это, теперь можно определить проекции N_x, N_y, N_z как (7):

$$N_x = \sin\beta_1 \cdot \cos\alpha_1;\ N_y = \sin\alpha_1;\ N_z = \cos\beta_1 \cdot \cos\alpha_1. \quad (7)$$

а б

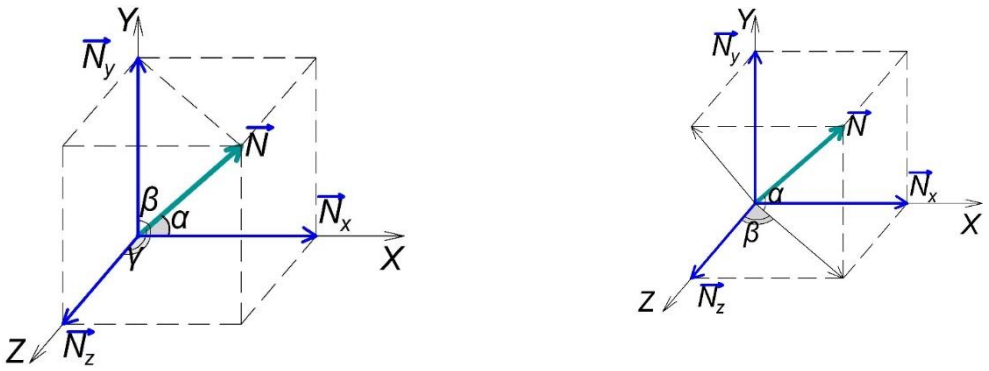


Рис. 6. Представление координат нормали: через направляющие косинусы (а); через углы тангажа и рыскания (б)

Обратимся снова к рис. 5(б). Из него видно, что для $\overrightarrow{N_1}$: $\alpha_1 = 108°, \beta_1 = 0°$ (для идеального случая, когда нормаль расположена в плоскости ZY); для $\overrightarrow{N_2}$: $\alpha_2 = -140°, \beta_2 = 0°$; для $\vec{A}$: $\alpha_A = -68°, \beta_A = 0°$. Теперь, задавая угол качения первого зеркала Θ_1 можно определить координаты вектора отражённого от первого зеркала пучка $\vec{B}_1$.

Задача нахождения вектора $\vec{B}_2$ (пучка, отражённого от второго зеркала) усложняется тем, что ось вращения второго зеркала не совпадает ни с одной из осей, и расположена под углом. Для описания поворота вокруг такой оси пользуются параметрами Эйлера (λ, μ, ν, ρ) [4], зависящими от угла поворота вокруг произвольной оси. Основываясь на этих параметрах, матрица поворота вокруг произвольной оси может быть записана как (8):

$$L = \begin{bmatrix} \lambda^2-\mu^2-\nu^2+\rho^2 & 2(\lambda\mu-\nu\rho) & 2(\nu\lambda+\mu\rho) \\ 2(\lambda\mu+\nu\rho) & \mu^2-\nu^2-\lambda^2+\rho^2 & 2(\mu\nu-\lambda\rho) \\ 2(\nu\lambda-\mu\rho) & 2(\mu\nu+\lambda\rho) & \nu^2-\lambda^2-\mu^2+\rho^2 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Аналогично (5) для $\vec{B}_2$ теперь можно записать (9):

$$\vec{B}_2 = L \cdot M_2 \cdot L' \cdot \vec{B}_1, \quad (9)$$

где $\vec{B}_2$ – вектор пучка, отражённого от второго зеркала, L – матрица поворота вокруг произвольной оси, M_2 – матрица второго плоского зеркала (находится аналогично (10)), L' – транспонированная матрица поворота вокруг произвольной оси, $\vec{B}_1$- вектор отражённого от первого зеркала пучка.

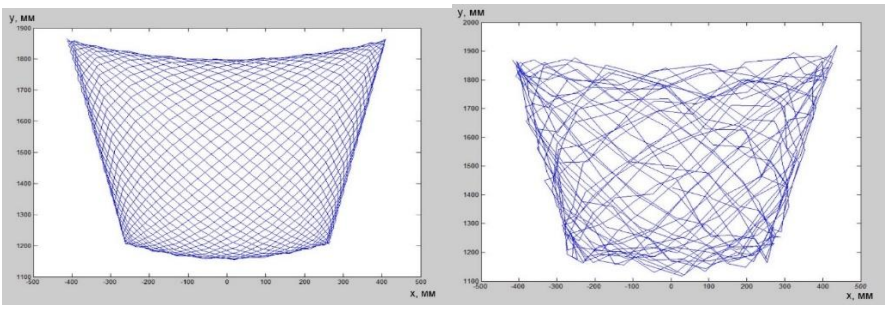
Таким образом по (9) может быть найден $\vec{B}_2$ – вектор пучка, отражённого от второго зеркала, который также можно назвать вектором пучка, прошедшего зеркальный модуль. Чтобы найти координаты проецируемой точки на дистанции 2 м ($z = -2000$ мм) воспользуемся математическим аппаратом, используемым в [5]:

$$x = z \cdot tg\left(\arcsin\sqrt{B_x^2 + B_y^2}\right) \cdot \frac{B_x}{\sqrt{B_x^2+B_y^2}};\ y = z \cdot tg\left(\arcsin\sqrt{B_x^2 + B_y^2}\right) \cdot \frac{B_y}{\sqrt{B_x^2+B_y^2}},$$

где B_x, B_y, B_z – проекции вектора $\overrightarrow{B_2}$ на соответствующие оси.

Данные выражения представляют собой математическую модель формирования растра.

Источниками погрешности зеркального модуля являются: колебания оси источника излучения и нормалей зеркал в следствии вибрации, пример растра приведён на рис. 7 (если: принять закон качения зеркал за синусоидальный; Θ_1 изменяется от -3° до -9°; Θ_2 изменяется от 10° до -10°; при отношении частот качения первого зеркала к второму как 525 к 25).



а б

Рис. 7. Вид растра при: отсутствии колебаний (а);
случайных колебаниях оси источника в пределах 1°(б)

В ходе исследования колебаний оси источника излучения было выявлено, что при работе системы необходимо, чтобы величина колебаний не превышала 10". Схожие результаты оказались получены при исследовании колебания векторов нормалей первого $\vec{N}_1$ (4") и второго $\vec{N}_2$ (5") зеркал.

Рассмотрим конструкцию приёмного блока одного измерительного канала (рис. 8).

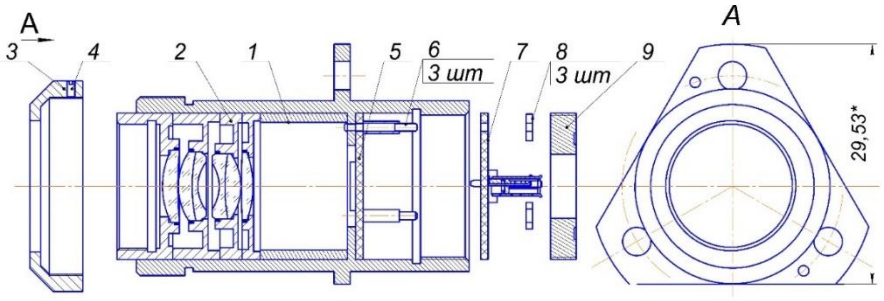


Рис. 8. Предлагаемый вариант конструкции приёмного блока

Сначала в корпус устанавливается прокладное кольцо (поз. 1). Далее линзы в оправах насыпаются (поз. 2) и фиксируются гайкой-торцом (поз. 3) и стопорным винтом (поз. 4). Плата с матрицей (поз. 5) прикрепляется 3-мя шпильками (поз. 6), ввинченными в корпус, с обратной стороны шпилек крепится плата с разъёмом (поз. 7) и завинчивается гайками (поз. 8). Для защиты матрицы и плат от внешних воздействий предусмотрена резьбовая втулка (поз. 9), которая закручивается после установки плат.

Заключение: В ходе работы разработана оптико-электронная система измерения координат точек объекта методом пространственного растра, выбрана структурная схема и компоненты данной системы, по итогам габаритно энергетического расчёта доказано, что на ПЗС матрице создаётся отношение сигнал/шум обеспечивающее наименьшую погрешность измерений, синтезирована модель разрабатываемой системы в программе MATLAB, состоящая из подмоделей: модели зеркального модуля и модели стереосистемы (у которой, в отличии от существующей [3] центр системы координат помещён в центр базы). Также рассмотрены зависимости СКО измерения координат от СКО измерения координат на матрице, от погрешности фокусного расстояния и базы. Предложен вариант конструкции приёмного блока измерительного канала.

Литература

1. Гужов В.И. Методы измерения 3D-профиля объектов. Контактные, триангуляционные системы и методы структурированного освещения: учеб. пособие / В.И. Гужов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. 82 с.
2. Андреев А.Л. Особенности расчёта оптико-электронных систем позиционирования на основе готовых телевизионных модулей / А.Л. Андреев, В.В. Коротаев // Приборостроение. Том 53. 2010. №10. С.69-74.
3. Коняхин И.А. Моделирование оптико-электронной системы измерения пространственных координат на основе метода “прямой угловой засечки” / Коняхин И.А., Бузян А.Т. // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. 2005. №18. С. 207-210.
4. Корн Г., Справочник по математике для научных работников и инженеров / Корн Г., Корн Т.; под ред. Арамановича И.Г. Москва: Наука. 1973. 832 с.: илл.
5. Коняхин И.А. Применение кватернионов для расчёта параметров отражателя автоколлимационной углоизмерительной системы / Коняхин И.А., Хоанг В.Ф. // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. №5. С. 773-779.

Одинцов Андрей Александрович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3425,
направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника,
e-mail: Odintsov.arw@gmail.com
Коваленко Павел Павлович
Год рождения: 1984
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.т.н., доцент,
e-mail: kovalenko_p.p@mail.ru

УДК 378.14

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЧАСОВ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ

А.А. Одинцов

Научный руководитель – к.т.н., доцент **П.П. Коваленко**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР «Разработка интеллектуальных часов для слабовидящих».

Аннотация
В работе рассматривается разработка устройства – интеллектуальных часов для слабовидящих. В результате проделанной работы были рассмотрены аналоги, поставлены технические требования, подобраны компоненты, произведено моделирование и симуляция антенны, создана печатная плата и корпус, программное обеспечение микроконтроллера устройства.
Ключевые слова
Часы для незрячих, программирование микроконтроллеров, беспроводная связь, трассировка печатных плат, носимые устройства.

В данной работе рассматривается разработка интеллектуальных наручных часов для незрячих и слабовидящих людей, с возможностью управления с мобильного приложения, позволяющего осуществлять голосовую настройку и управление часами посредством bluetooth. Основной функцией часов является сообщение времени, и это реализовано при помощи вибромотора. Данные сообщаются последовательностью длинных и коротких вибраций, информация кодируется двоично, поразрядно. Наличие приложения-ассистента позволяет гибко настраивать все временные интервалы работы алгоритма, а также выбирать из нескольких предустановленных вариантов. Это возможность особенно важна, поскольку упрощает конструкцию часов. Не менее важной является возможность настройки силы вибрации - у незрячих и слабовидящих людей выражается повышенная чувствительность к вибровоздействиям. Также необходимость в этой функции обусловлена индивидуальными особенностями всех

людей. Помимо этих функций, часы также оснащены акселерометром, и могут производить расчет шагов. В перспективе возможна разработка алгоритмов для отслеживания других активностей: бега и т.д. [1–5].

На рынке представлены несколько моделей часов для незрячих, но им всем присущи определенные недостатки: в большинстве представленных моделей часов используются всевозможные механические элементы: вибромоторы (часы FYT), движущиеся элементы циферблата (часы Eone) а также открывающаяся крышка (Тактильные часы) и выдвижные части адаптивного шрифта брайля (The Dot Watch). Эти механические элементы, в особенности, содержащие в себе микромеханику, как например в часах с шрифтом брайля, имеют существенный недостаток в виде малой надежности. При проектировании часов учитывалось, что с сокращением количества подвижных элементов в конструкции сокращается стоимость и вероятность отказа. С этой целью при разработке часов был выбран вибромотор – он является единственным подвижным элементом в конструкции.

При разработке часов были выдвинуты следующие требования к корпусу устройства:

1. Степень защиты не менее IP65 по стандарту ГОСТ 14254-2015
2. Устойчивость материала корпуса к воздействию УФ излучения и высокой влажности
3. Гипоаллергенность материала корпуса
4. Низкий коэффициент трения материала корпуса
5. Широкий диапазон рабочих температур: -35°C до +40°C
6. Умеренная жесткость материала (для возможности нажатия на кнопку)
7. Доступность
8. Износостойкость

Требования к печатной плате часов:

1. Размер печатной платы не более 40x40 мм
2. Время автономной работы - 7 дней
3. Зарядка от micro-USB
4. Время заряда аккумулятора - 60 минут
5. Дальность работы bluetooth - 10 м
6. Точность хода часов: уход не более 0.1 с / сутки
7. Диапазон рабочих температур: -35°C до +40°C

Разработка устройства велась в несколько этапов:

1. Подбор, расчет, моделирование и трассировка 2.4 ГГц приемопередающей антенны устройства для реализации протокола связи Bluetooth low energy
2. Выбор микроконтроллера и электронных компонентов
3. Расчет потребления электрической схемы
4. Построение принципиальной схемы и трассировка печатной платы устройства
5. Проектирование корпуса устройства
6. Разработка протокола взаимодействия устройства и приложения
7. Программирование микроконтроллера

Разработка алгоритма вибрации часов велась с учетом того, что передаваемой информацией будут являться только числовые данные – часы и минуты, поэтому алгоритм Морзе был исключен ввиду его чрезмерного объема для данного применения. В результате был разработан алгоритм, представляющий собой поразрядное двоичное кодирование значения времени. В двоичном представлении единица – длинная вибрация, ноль – короткая. Каждый разряд переводится отдельно, разряды в двоичном

виде отделены большей паузой, нежели пауза между отдельными вибрациями. Пример преобразования показан на рис. 1.

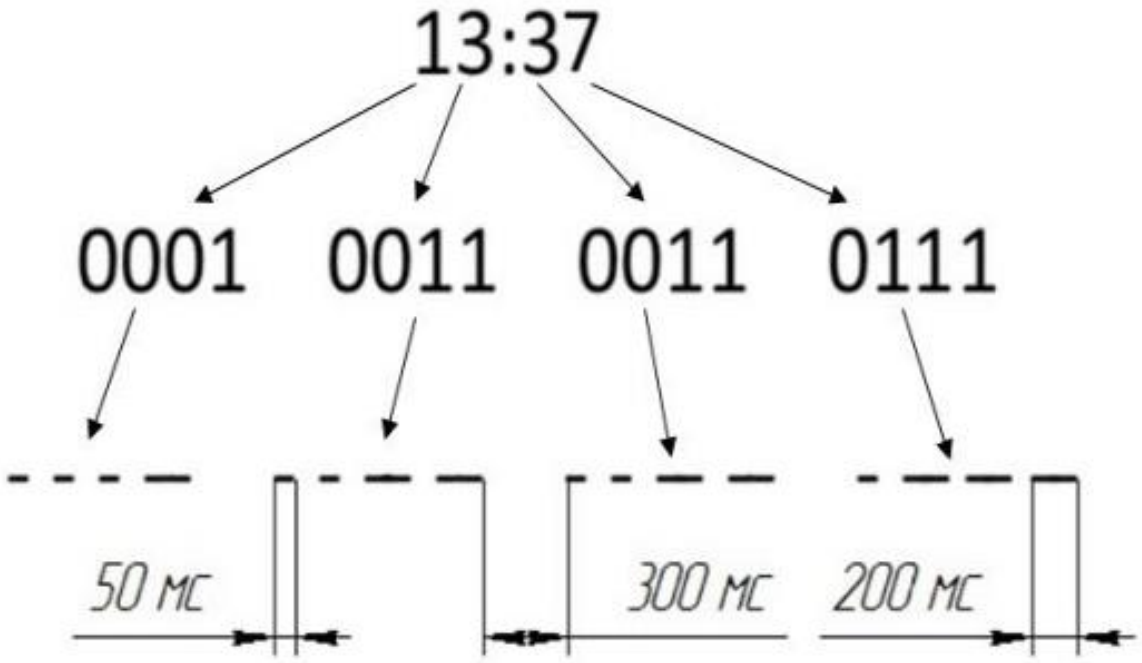


Рис. 1. Схема алгоритма поразрядного двоичного кодирования

Для алгоритма вибрации заданы стандартные временные интервалы, возможна гибкая настройка по Bluetooth.

Для реализации связи по Bluetooth был выбрана и спроектирована меандрическая инвертированная F- антенна на печатной плате, модель приведена на рис. 2. Была произведена симуляция в вычислительном пакете Ansys HFSS, на рис. 3 и 4 показаны результаты: график коэффициента отражения, а также диаграмма направленности в трехмерной плоскости.

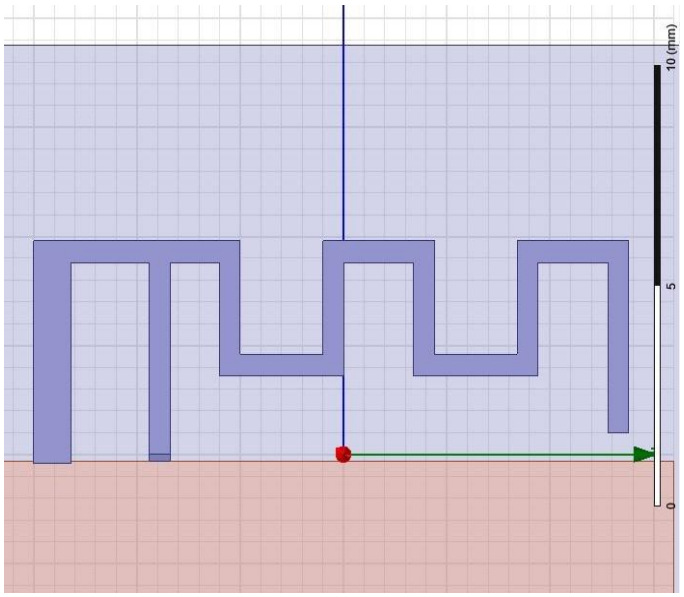


Рис. 2. Модель антенны

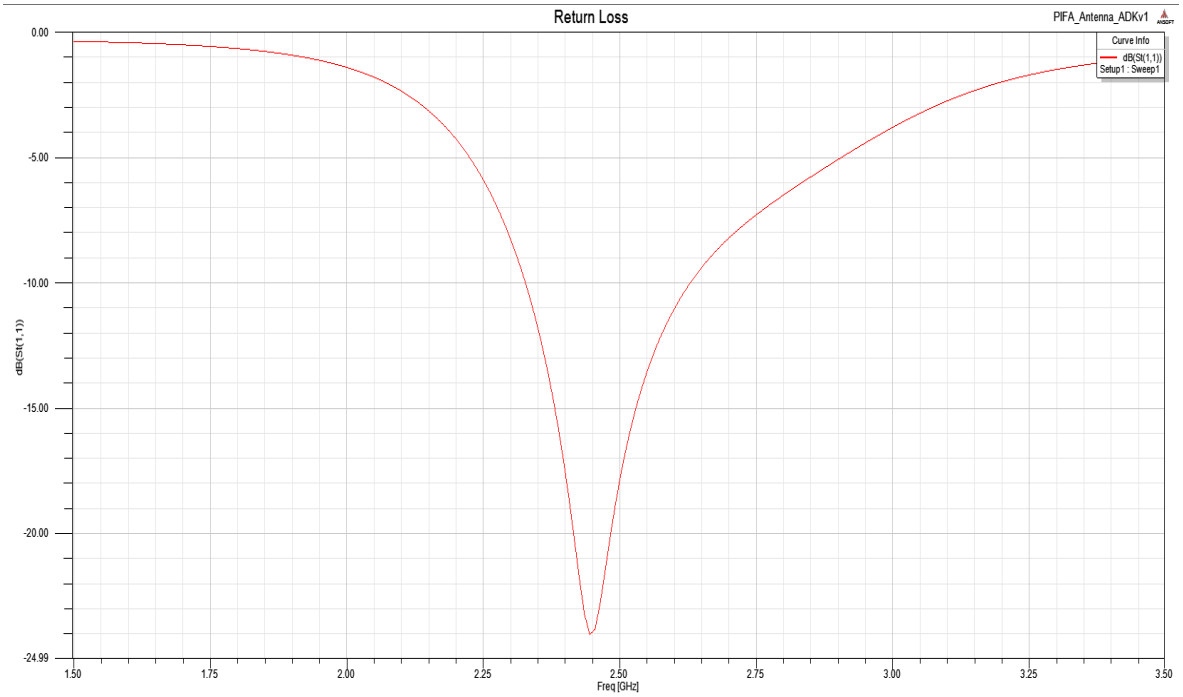


Рис. 3. Коэффициент отражения сигнала

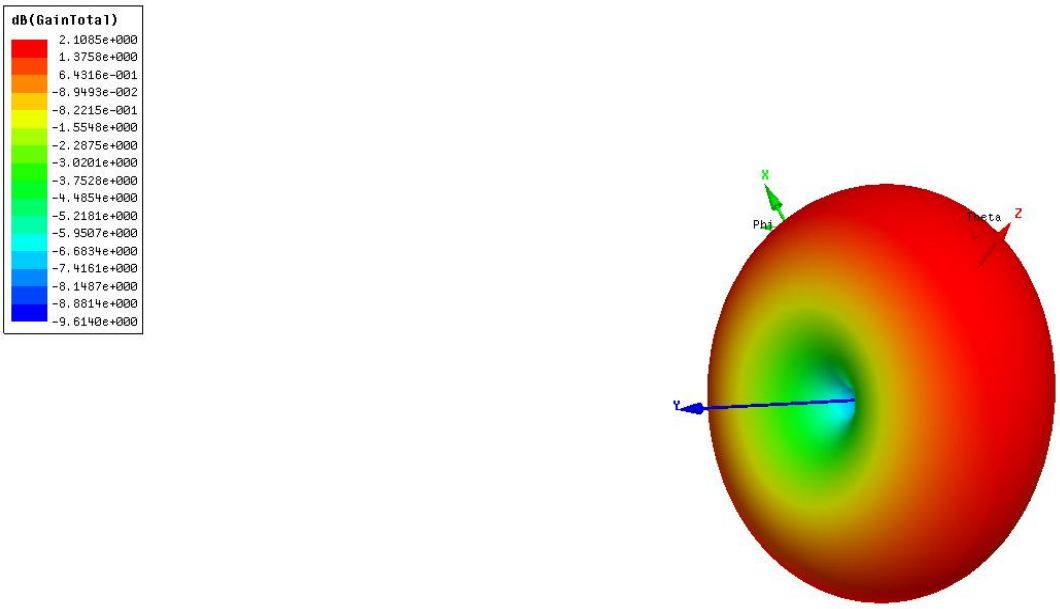


Рис. 4. Диаграмма направленности антенны

Для печатной платы устройства были подобраны компоненты с учетом требований по габаритам и энергопотреблению, была построена принципиальная схема устройства, приведённая на рис. 5.

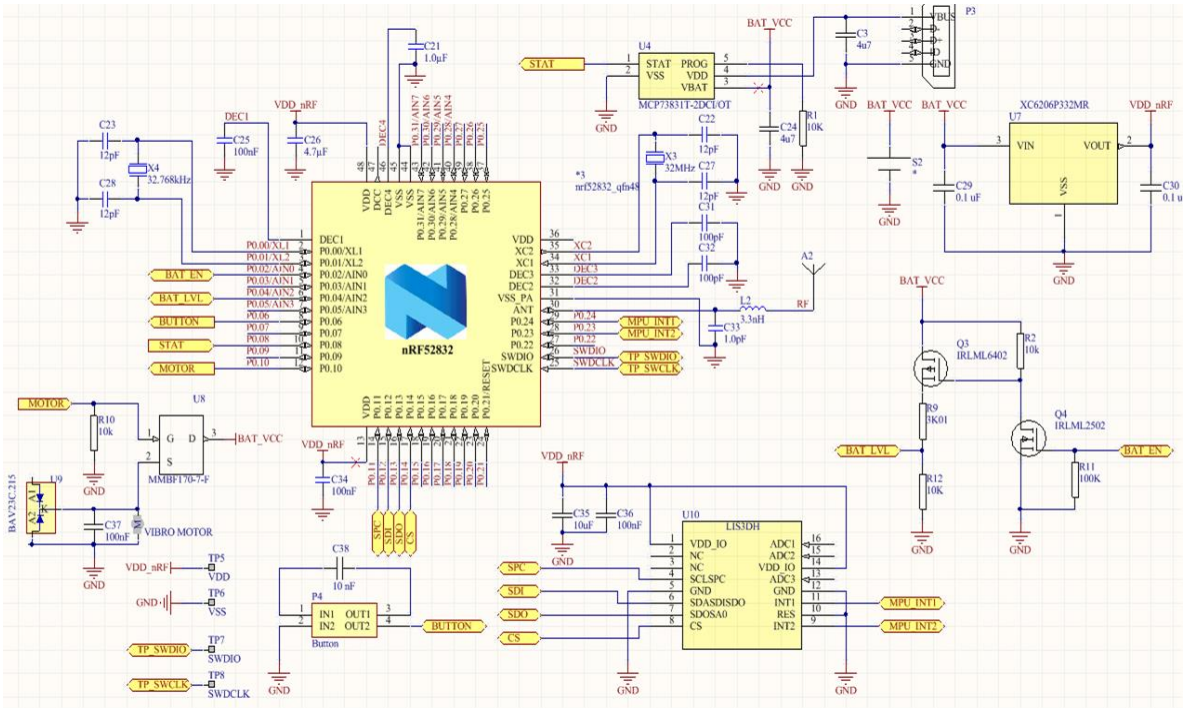


Рис. 5. Принципиальная схема устройства

Разработка велась в пакете Altium Designer 17, в результате трассировки была получена печатная плата, общий вид приведен на рис. 6 и 7.

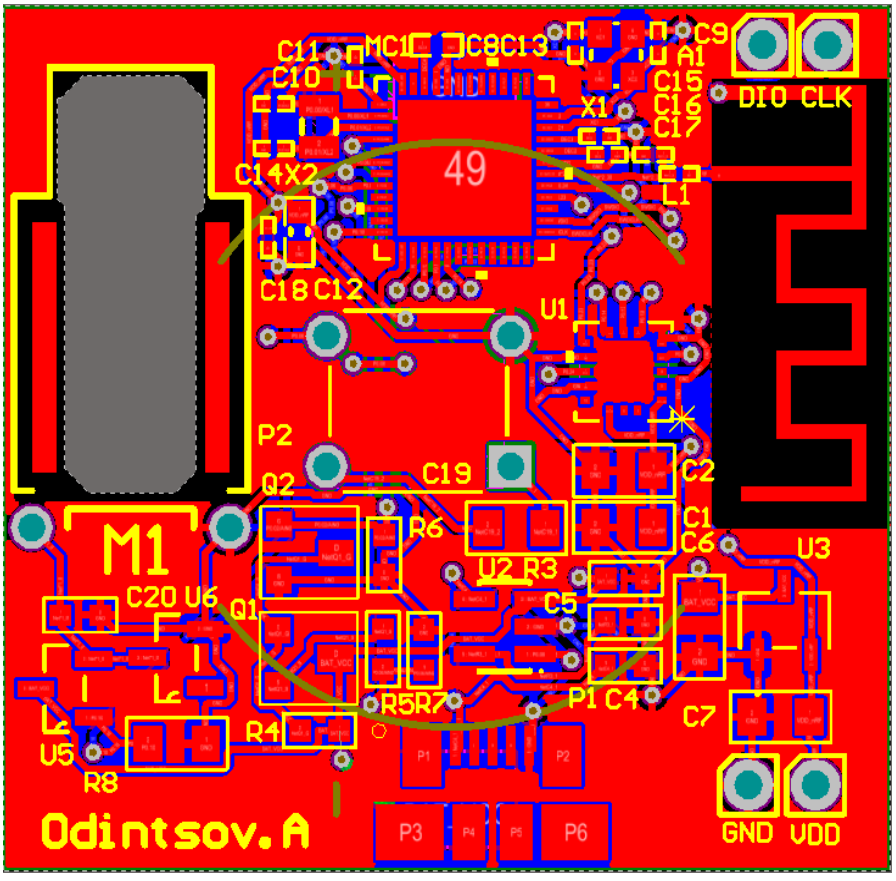


Рис. 6. Двухмерный вид платы

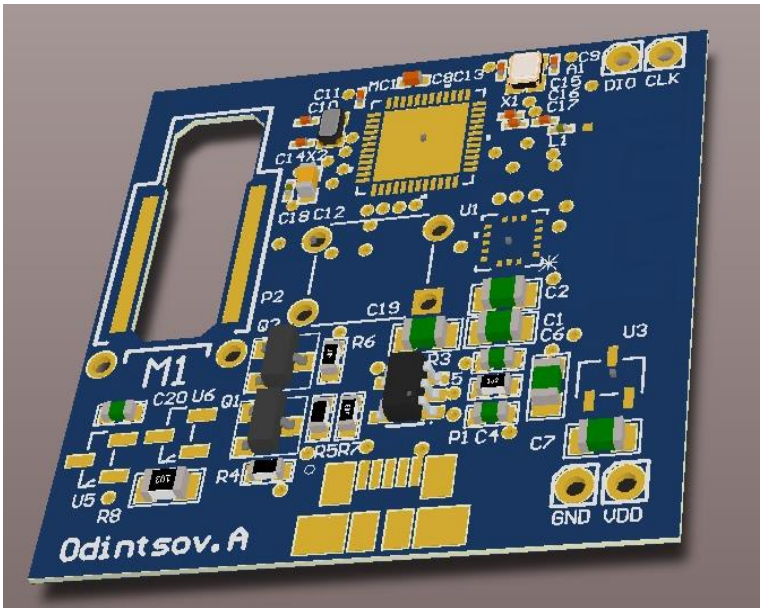


Рис. 7. Трехмерный вид печатной платы

Корпус устройства был разработан в пакете Компас 3D, материал был подобран с учетом требований – ABS – пластик. Вид модели корпуса приведен на рис. 8.

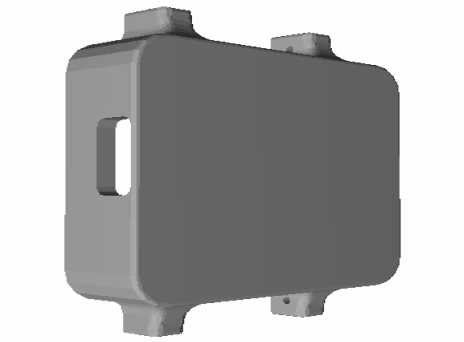


Рис. 8. Модель корпуса

Для взаимодействия с приложением был разработан протокол, представляющий из себя систему из 8 команд стандартного формата, приведенного на рис. 9.

Начало пакета	Номер команды	id команды	Данные	Конец пакета
0xCC	uint8_t	uint8_t	Определено протоколом	0xE3

Рис. 9. Формат команды

Для микроконтроллера устройства была разработана управляющая программа, написанная на языке Си. Программа разбита на простейшие блоки, диаграмма взаимодействия между блоками приведена на рис. 10.

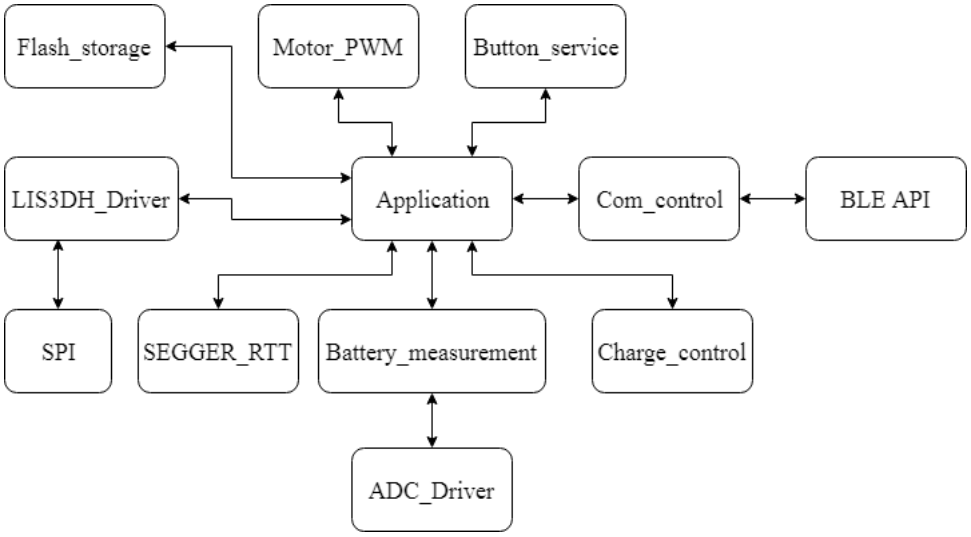


Рис. 10. Диаграмма работы программы

В результате было разработано носимое устройство - наручные часы, позволяющие незрячему человеку определять текущее значение времени при помощи вибраций. Часы оборудованы bluetooth передатчиком, который позволяет использовать часы со смартфоном, что значительно расширяет их функционал. Дальность работы до 15 м в помещении. Была разработана приемопередающая антенна 2.4 ГГц для реализации беспроводной связи. Для печатной платы устройства было проведено исследование по подбору компонентов с учетом требований по габаритам и энергопотреблению. В результате была спроектирована печатная плата устройства, разработан корпус. Время автономной работы – 10 дней. Для устройства была написана программа на языке С, которая выполняет управление основными функциями часов, а также поддерживает связь со смартфоном по разработанному протоколу. Вид устройства приведен на рис. 11.

Рис. 11. Вид готового устройства

В дальнейшем планируется расширять функционал часов путем разработки дополнительных функций работы с акселерометром, улучшением работы алгоритма вибрации.

Литература

1. Лямин А.В., Череповская Е.Н. Языки программирования C/C++. Компьютерный практикум: [Учебно-методическое пособие]. Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2017.
2. BLE Antenna Design Guide [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10992.pdf.
3. nRF52832 Production Programming [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nwp_027.pdf.
4. Altium Designer [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://wiki.altium.com/pages/viewpage.action?pageId=25079340.
5. EasyElectronics. Электроника для всех. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://easyelectronics.ru.

Омельченко Дарья Евгеньевна
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
студент группы U3447,
направление подготовки: 38.03.01 – Экономика предприятий и организаций,
e-mail: dasha_omelchenko@mail.ru
Батова Татьяна Николаевна
Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет технологического менеджмента и инноваций,
к.э.н., доцент,
e-mail: battat888@gmail.ru

УДК 338.512

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ

Д.Е. Омельченко

Научный руководитель – к.э.н., доцент **Т.Н. Батова**

Университет ИТМО

Аннотация
При анализе системы управления затратами на Балтийском заводе было выявлено, что на предприятии с 2018 года была введена японская философия «Кайдзен». На Балтийском заводе внедрена система 5С, которая является одним из инструментов философии «Кайдзен». В работе предложено внедрение «кампании красных ярлыков», как один из этапов системы 5С. Система 5С направлена на организацию эффективного рабочего пространства. Каждый из этапов системы был рассмотрен в работе и приведены способы их применения на Балтийском заводе.
Ключевые слова
Кайдзен, система 5С, кайдзен-костинг, системы управления затрат, методы калькулирования затрат.

Затраты влияют на себестоимость продукции и в конечном счете на ее стоимость и конкурентоспособность на рынке, именно поэтому управление затратами является актуальной темой. Анализ системы управления затратами и анализ себестоимости продукции позволяет выявить упущенные возможности снижения себестоимости. Грамотное использование резервов предприятия с целью снижения себестоимости способствует повышению прибыли, повышению эффективности производства.

Балтийский завод – это верфь, которая специализируется на строительстве надводных кораблей 1 ранга, судов ледового класса с атомными и дизель-электрическими силовыми установками, атомных плавучих энергоблоков, плавучих опреснительных комплексов.

Внедрение новых систем управления затратами и калькулирования себестоимости позволяет более совершенно контролировать затраты и влиять на их изменение.

На сегодняшний день на Балтийском заводе внедряют систему 5С.

Этапы 5С:

1С – Сортировка (устранить ненужное).

2С – Соблюдение порядка (правильная организация рабочего места).

3С – Содержание в чистоте (создание безупречной рабочей зоны).

4С – Стандартизация (превращение процедур сортировки, рационального расположения и уборки в привычку).

5С – Совершенствование (учеба и дисциплина).

Стандарт, применяемый сегодня – это хорошо известный путь выполнения работы, но с помощью системы 5С он может быть усовершенствован.

На Балтийском заводе уже выполнен первый шаг – обучение, персонал прошёл обучение, и понимает важность качественного выполнения последующих этапов по системе 5С. В работе рассмотрены все шаги внедрения системы 5С. Наибольшее внимание уделено внедрению первого этапа системы 5С – сортировка (устранение ненужного в рабочей зоне), а именно внедрение «кампании красных ярлыков». Так как производственные затраты на Балтийском заводе, связанные с наличием лишних предметов в рабочей зоне:

- Ненужные запасы или запасы сверх нормы требуют дополнительного места для хранения.
- Длительное хранение изделий может привести к их порче и устареванию.
- Оборудование, которое на данном этапе не потребуется для выполнения работы, может помешать текущей работе или повлиять на качество выполненных работ.

Этап сортировки (1С) предполагает исключение из целевой зоны предметов, которые не использовались в течение определенного периода времени и которые не предполагается использовать в дальнейшем.

«Кампания красных ярлыков» – это простой метод, который позволяет определить потенциально ненужные предметы на рабочем месте, оценить степень их полезности и, в соответствии с этим, принять решение об их дальнейшем местонахождении. Предметы, степень необходимости которых легко определить, оцениваются сразу. Предметы, степень необходимости которых неочевидна, становятся объектами «кампании красных ярлыков» [3].

Так на территории рабочих цехов организованы «зоны карантина» (место временного хранения) для эффективной сортировки рабочих зон.

Затраты на создание красных ярлыков для одного цеха представлены в таб. 1.

Таблица 1

Затраты на создание красных ярлыков для одного цеха на Балтийском заводе

№п/п	Наименование затрат	Количество, шт.	Стоимость, руб.
1	Пачка бумаги, 500 л.	3	220,0
2	Скотч	1	55,0
3	Сигнальная лента, 100 м	1	200,0
4	Маркер, чёрный	2	79,0
5	Краска для принтера, черная	1	2 400,0
Итого			3 473,0

Следуя шагам, расписанным в работе, для проведения «кампании красных ярлыков» потребуются дополнительные затраты, связанные с вывозом ненужных материалов, инструментов, деталей, сборочных единиц, а также дополнительные

надбавки к заработной плате участникам комиссии в размере 15% от заработной платы. Полный перечень затрат на проведение представлен в таб. 2.

Таблица 2

Затраты на проведение «кампании красных ярлыков» для одного цеха на АО «Балтийский завод»

№ п/п	Шаг	Затраты, руб.
1.	Бюро совершенствования производства (БСП) готовит проект приказа о проведении «кампании красных ярлыков». Для каждого цеха БСП составляет списки комиссий, которые будут проводить ревизию рабочих мест.	15% надбавка к заработной плате членам комиссии = =30 000,0
2,3,4.	Комиссия организовывает «зону карантина», которая соответствует всем требованиям безопасности. Определяют предметы, которые должны быть удалены. Изготавливают красные ярлыки.	3 473,0
5.	Вывоз ненужных инструментов, деталей, сборочных единиц и материалов с территории завода.	3 500,0
Итого для одного цеха		36 973,0

Эффект внедрения «кампании красных ярлыков»:

1. Физический износ основных средств наступит позже, за счёт соблюдения всех условий эксплуатации и технического обслуживания каждой единицы, а также содержания оборудования в чистоте.

2. Повысится безопасность труда, за счёт улучшения санитарно-гигиенических условий труда.

3. Снизится процент бракованных деталей.

4. Увеличения объема производства, за счёт рационального использования производственной мощности [1, 2, 4].

Литература

1. Вумек Д. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании / Джеймс Вумек, Дэниел Джонс; пер. с англ. [С. Турко]. 5-е изд. М.: Альпина Паблишерз Центр "Приоритет", 2010. 471 с.
2. Имаи М. Кайдзен: ключ к успеху японских компаний / Масааки Имаи; пер. с англ.: [Гутман Т.]. 6-е изд. М.: Альпина Паблишер. 2013. 271 с.
3. Маурер Р. Шаг за шагом к достижению цели : метод кайдзен / Роберт Маурер ; пер. с англ.: [Е. Бакушева]. М.: Альпина Паблишер, 2014. 190 с.
4. Управление заводом в стиле кайдзен: как снизить затраты и повысить прибыль / Гринин А.Ю. М.: Альпина Паблишер. 2012. 189.

Омелянчук Ольга Николаевна
Год рождения: 1998
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы № Т3417,
направление подготовки: 19.03.02 – Технология бродильных производств и виноделие,
e-mail: olua_bad13@mail.ru
Смотраева Ирина Владимировна
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: irinasmotraeva@yandex.ru

УДК 663.86.054.1

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАПИТКА НА ОСНОВЕ ЗЕЛЕНОГО ЧАЯ

О.Н. Омелянчук

Научный руководитель – к.т.н., доцент **И.В. Смотраева**

Университет ИТМО

Аннотация
Производство продуктов питания является самой динамичной и быстроизменяющийся отраслью. Связано это с удовлетворением потребительских запросов. В данный момент пищевая индустрия направлена на создания новых продуктов питания для разных слоев населения. Разработка нового функционального напитка необходима для профилактики различных заболеваний у людей всех возрастов и вывода токсинов из организма за счет своих антиоксидантных свойств. Антиоксидантные свойства зависят от количества ОВП в напитке: чем ниже значение ОВП, тем выше антиоксидантные свойства продукта. Целью данного исследования стало разработка нового функционального напитка с высокими антиоксидантными свойствами выше, чем у других напитков. Для данной цели основным компонентом нового напитка стал зеленый чайный лист, который дополнится такими компонентами как лемонграсс, имбирь, вода, сахар и лимонная кислота. Данный напиток будет обладать хорошими физико-химическими и органолептическими свойствами.
Ключевые слова
Антиоксидантные свойства, окислительно-восстановительный потенциал, зеленый чай, лемонграсс, имбирь.

Существует большое количество фондов, чьи исследования нацелены на изучение влияния продуктов питания на человеческий организм. Связано это с потребностью организма в новых продуктах питания, которые смогут поддерживать организм в тонусе из-за необратимых изменений в окружающей среде. Её изменения приводят к появлению новых вирусов, а в следствии и к усугубленным заболеваниям. Основной проблемой и причиной заболеваний людей является недостаточный вывод токсинов, накопившиеся в человеческом организме. Разработка нового

функционального напитка поспособствует выводу этих токсинов за счет своих антиоксидантных свойств.

Безалкогольный напиток является одним из самых востребованных напитков. В особенности после перехода большинства людей с алкогольных напитков на более здоровые и полезные для организма. Новый безалкогольный напиток был приготовлен на основе зеленого чая. Также напиток содержит важные компоненты, такие как лемонграсс и имбирь.

Зеленый чай содержит около 25 % от веса полифенолов. Часть из которых составляет катехин. Он обладает высокой антиоксидантной активностью, которая помогает предотвратить повреждение клеток с помощью уменьшения в организме формирования свободных радикалов.

Научный исследования показывают, что имбирь содержит сотни соединений и метаболитов, которые могут способствовать улучшению общего состояния организма человека. Наиболее тщательно изучены это гингеролы (эфирные масла). Основной задачей имбиря в новом напитке является вкусовой и ароматический аспект напитка [1–5].

Используется лемонграсс в напитке для придания ему лимонного вкуса и цитрусового аромата. Лемонграсс известен как источник питательных веществ, в частности витаминов. Наибольшее количество приходится на витамин B9. Бета-каротин и витамин C находятся на одной ступени по доле в продукте, около 2,8 мкг на 100 г продукта. Лемонграсс содержит такие витамины как витамин B1, витамин B2, витамин B3, витамин B5, витамин B6.

Необходимо было провести анализ на определения окислительно-восстановительного потенциала для дальнейшего сравнения образцов. Чем ниже ОВП, тем выше антиоксидантная активность. Также вместе с этим анализом, было проведено ряд других. Осуществили сравнение их ph, а также их содержания растворимых веществ. Для этого нам необходимо заварить чай в одинаковых условиях. Были подобраны виды чая по разному происхождению. Для удобства было присвоено каждому виду чая номер образца. Китайский чай- образец №1, японский чай- образец №2, индийский чай- образец №3, цейлонский чай- образец №4.

Метод приготовления чайного настоя для сравнительного анализа. Взвешиваем по 2 грамма каждого образца. Заливаем 200 мл воды температурой 80 градусов. И настаиваем 10 минут. Затем каждый образец настоя фильтруем через бумажный фильтр

Каждый образец проанализирован на приборе 848 Titrino plus. С его помощью определили ОВП и ph. На рефрактометр ИРФ-454 Б2Ме было определено количество растворимых сухих веществ в каждом из образцов. Результаты приведены в таб. 1.

Таблица 1

Показатели ОВП, ph и количество сухих веществ в образцах 1,2,3,4

Номер образца	Свойства объекта		
	ОВП, мВ	ph	сухие вещества, %
1	32,1	6,4	0,3
2	46,1	6,4	0,2
3	34,4	6,4	0,3
4	38,6	6,5	0,3

На основе приведенных результатов можно сказать, что наилучшими образцами по физико-химическим показателям стали образец №1 и №3. После был проведен

опрос потенциальных покупателей для определения наиболее понравившегося чая из двух образцов. Данные опроса приведены на рис. 1. Для дальнейшей разработки напитка был выбран на основе физико-химического и органолептического анализа образец №3.

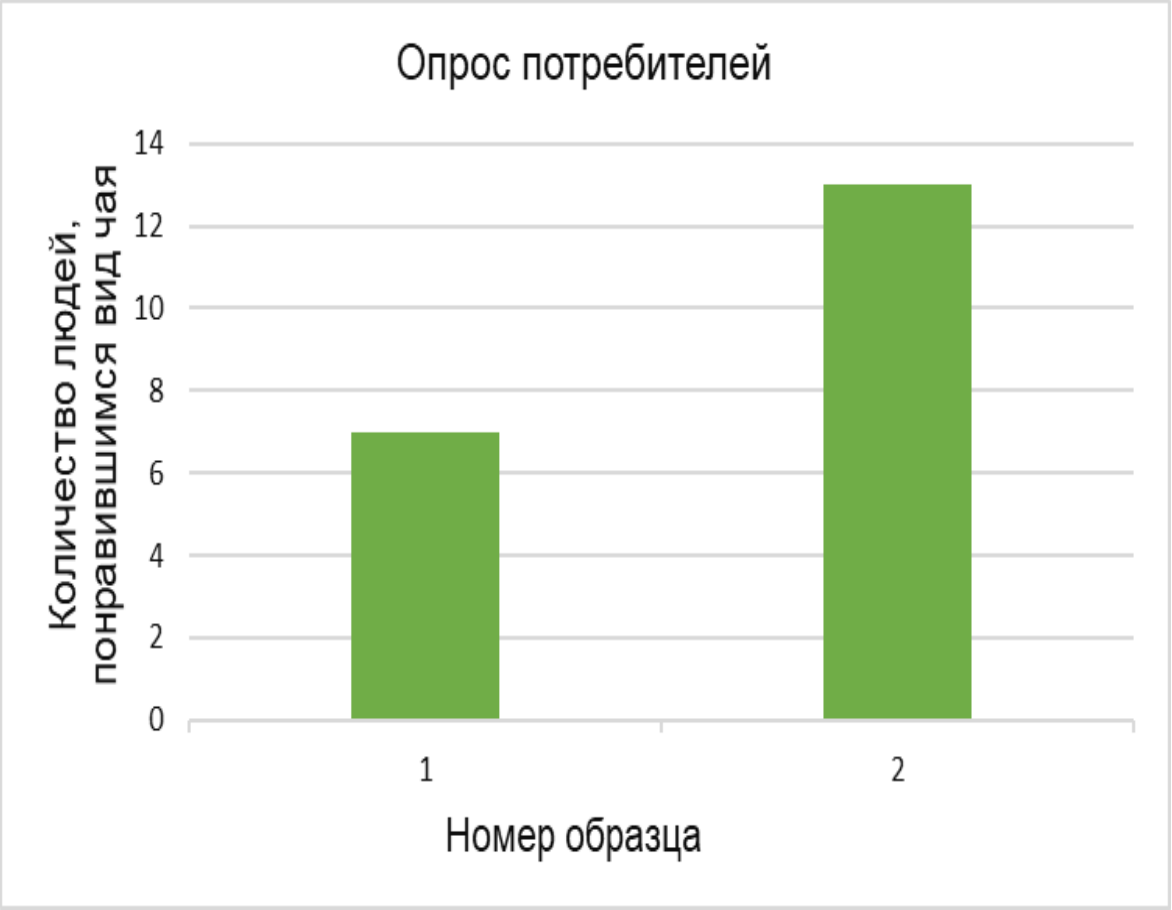


Рис. 1. Опрос потребителей

Следующей задачей было разработка технологии приготовления чайного концентрата. Приготовление чайного концентрата даст положительных эффект на производстве. Если завод будет закупаться готовым концентратом, следовательно, он сможет не тратить деньги для его изготовления. В итоге производство экономит на покупке оборудования, экономит на электричестве, воде, сырье, рабочей площади, а также присутствует экономия на рабочей силе.

Метод приготовления чайного настоя для последующего выпаривания. Необходимо взвесить по 2 грамма каждого образца. Залить 200 мл воды температурой 80 градусов. И настаивать 10 минут. Затем каждый образец настоя необходимо профильтровать через бумажный фильтр.

Для того, чтобы найти лучший вариант концентрата, необходимо было зафиксировать изменение в количестве выпаренного настоя с учетом времени, а также в каждом из вариантов измерить его ОВП, ph и количество растворенных сухих веществ. В таб. 2 отображены количественные изменения концентрата в зависимости от времени выпаривания.

Каждому объему выпаренного концентрата присвоен номер, указанный в скобках. Он также выражен в процентах от первоначального чайного настоя в таб. 3.

Таблица 2

Зависимость количества концентрата от времени выпаривания

Количество концентрата с учетом времени выпаривания	Номер приготовленной смеси для выпаривания	
	1	2
Первоначальный объем чайного настоя, мл	150	140
После 90 минут выпаривания, мл	50 (1)	45 (4)
После 110 минут выпаривания, мл	47 (2)	43 (5)
После 150 минут выпаривания, мл	45 (3)	41 (6)

Таблица 3

Процент объема выпаренного концентрата от его первоначального объема

Номер концентрата	Первоначальный объем чайного настоя, мл	Процент объема концентрата от первоначального объема чайного настоя, %
1	150	33,33333
2		31,33333
3		30
4	140	32,14286
5		30,71429
6		29,28571

Этот процент колеблется от 29 до 33%. Для лучшего выпаривания был взят средний процент, который составляет 31%. Конечный концентрат, приготовленный с помощью ротационной испарительной системы, который имеет объем 31% от первоначального настоя, был исследован на количество ОВП, ph и сухих растворенных веществ. Данные результатов показаны в таб. 4.

Таблица 4

Физико-химические показатели готового концентрата

Исследуемый параметр	Результат
ОВП	84 мВ
ph	5,5
Содержание растворенных сухих веществ, %	9,5%

Вода в среднем имеет ОВП 200 мВ. Человеческий организм всегда имеет отрицательную, в среднем -120 мВ. Организм для лучшей работы нуждается в

жидкости с наименьшей из возможных ОВП. Так как наш концентрат имеет ОВП 84 МВ, что намного меньше ОВП питьевой воды, это свидетельствует о том, что даже сконцентрированный чайный настой очень полезен для организма.

Основной задачей было разработка рецептуры нового напитка. Было предложено 2 рецептуры. Рецептура №2 разработана с использованием чайного листа, а рецептура №1 – с использованием чайного концентрата.

Рецептура №1 (таб. 5). Для приготовления нового напитка понадобиться чайный концентрат, имбирь, лемонграсс, лимонная кислота, сахар, вода. Для начала надо концентрат разбавить водой, затем нагреть эту жидкость до 80 градусов. В данный раствор добавить измельченный лемонграсс и имбирь. Дать настояться 20 минут. Данную смесь надо профильтровать. Затем добавить сахарный сироп. В конце для стабилизации напитка нужно добавить лимонную кислоту. Дать напитку остыть и разлить по бутылкам и упаковать. Данный продукт готов к продаже.

Таблица 5

Рецептура №1 на 100 дал напитка

Наименование сырья	Содержание сырья в готовом напитке	
	единица измерения	количество
чайный концентрат	л	290
лемонграсс	кг	23
имбирь	кг	20
сахар	кг	40
лимонная кислота	кг	1,7
вода	л	64,6

Готовый напиток исследовали на количество ОВП, ph и сухих растворенных веществ. Данные приведены в таб. 6.

Таблица 6

Физико-химические свойства напитка, приготовленного по рецептуре №1

Исследуемый параметр	Результат
ОВП	96 мВ
ph	5,6
Содержание растворенных сухих веществ, %	12,5%

Данный продукт имеет очень низкий ОВП, почти в 2 раза меньше, чем в питьевой воде, что свидетельствует о полезности его для человеческого организма. Данный продукт позиционируется как функциональный напиток профилактического действия.

Рецептура №2 (таб. 7). Для приготовления нового напитка необходимо листовой цейлонский зеленый чай, вода, имбирь, лемонграсс, лимонная кислота, сахар. Чайный лист заварить водой температурой 80 градусов вместе с измельченными лемонграссом и имбирем. Выдержка 20 минут для передачи из чайного листа, лемонграсса и имбиря необходимых сухих веществ. Данный продукт профильтровать. Добавить в него

сахарный сироп (приготовленный из сахара и воды). Размешать до растворения. Добавить лимонную кислоту для стабилизации напитка. Розлив по бутылкам и фасовка. Данный продукт готов к продаже и употреблению.

Таблица 7

Рецептура №2 на 100 дал напитка

Наименование сырья	Содержание сырья в готовом напитке	
	единица измерения	количество
чайный зеленый лист	кг	18,7
лемонграсс	кг	23
имбирь	кг	20
сахар	кг	40
лимонная кислота	кг	1,7
вода	л	93,5

Готовый напиток исследовали на количество ОВП, ph и сухих растворенных веществ. Данные приведены в таб. 8.

Таблица 8

Физико-химические свойства напитка, приготовленного по рецептуре №2

Исследуемый параметр	Результат
ОВП	81 мВ
ph	5,6
Содержание растворенных сухих веществ, %	12,7%

Напиток, изготовленный по рецептуре №2 имеет меньшее количество ОВП, чем новый напиток по рецептуре №1. На данный момент этот напиток лучший из всех образцов по своему физико-химическому составу.

Литература

1. Татарченко И.И., Мохначев И.Г., Касьянов Г.И. Технология субтропических и пищевкусовых продуктов. Издательский центр «Академия». 2004-384 с.
2. Parkin D.M., Bray F., Ferlay J., et al. Global cancer statistics. CA Cancer J Clin. 2005;55(2):74–108.
3. Ahmad N, Feyes DK. Green tea constituent epigallocatechin-3-gallate and induction of apoptosis and cell cycle arrest in human carcinoma cells. J Natl Cancer Inst. 1997;89(24):1881–1886.
4. Hamed Samavat, April R Newman. Effects of green tea catechin extract on serum lipids in postmenopausal women: a randomized, placebo-controlled clinical trial. The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 104- Issue 6, 1 December 2016. Pages 1671–1682.
5. Niggemann B, Gruber C. Side-effects of complementary and alternative medicine. Allergy 2003; 58: 707–716.

Пименов Федор Дмитриевич
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы №R3450,
направление подготовки: 16.03.01 – Техническая физика,
e-mail: fedpim@yandex.ru
Лукьянов Геннадий Николаевич
Год рождения: 1946
Университета ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
д.т.н., профессор,
e-mail: gn_lukyanov@corp.ifmo.ru

УДК 681.2:57.017.7:531.787

СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ МЕЖДУ КАРДИО- И ДЫХАТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ф.Д. Пименов

Научный руководитель – д.т.н., профессор **Г.Н. Лукьянов**

Университет ИТМО

Аннотация
Представлен приборный комплекс для совместного исследования процессов дыхания и сердечной деятельности человека. Комплекс состоит из прибора для измерения характеристик дыхания и кардиоритмоанализатора «КАРДИОТЕХНИКА-04-8(М)», объединённых в единую систему. Проведены результаты исследования взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой систем организма.
Ключевые слова
Измерительный комплекс, ринологический прибор, датчики давления, анализ процессов.

Применение измерительных приборов и систем для комплексных исследований организма человека даёт возможность получить новые данные о характере взаимодействия его органов. Нахождение и определение взаимосвязи между работой лёгочной и сердечно-сосудистой систем позволит как можно скорее и точнее выявить проблемы с их работой, что позволит быстрее поставить верный диагноз и приступить к лечению. Предполагается, что в ходе полного обследования организма, опираясь на графики взаимосвязи показания дыхания и сердцебиения, пациенту можно будет поставить диагноз с более высокой степенью точности либо в ходе локального исследования одной из указанных систем будет возможно диагностировать заболевания органов иной системы [1]. В отличие от иных систем, измеряющих показатели работы сердца и лёгких, данная система должна измерять, отображать и сохранять кардиограмму, как наиболее информативный показатель работы сердца, и пневмограмму, как результат снятия показаний работы лёгочного аппарата дифференциальными датчиками давления [2].

Для проведения исследований зависимости работы сердца от показателей дыхания было необходимо провести ряд экспериментов на добровольцах. Для проведения экспериментов был создан программно-аппаратный комплекс, состоящий из:

1. компьютера на базе операционной системы Windows,
2. специально спроектированного и разработанного электропневмографа на базе двух дифференциальных датчиков давления MPX5005GVP,
3. внешнего блок питания для работы электропневмографа,
4. внешнего модуля АЦП на шину USB LCARD-E14-440,
5. программы Lgraph2 для считывания и сохранения данных с АЦП,
6. кардиографа КАРДИОТЕХНИКА-04-8(М),
7. программы KTResult2 для считывания и сохранения данных с кардиографа,
8. программы Matlab для синхронизации и обработки полученных данных.

Измерения проводились на группе из 10 добровольцев в НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе. Полученные данные были синхронизированы, обработаны и представлены в удобном для анализа виде.

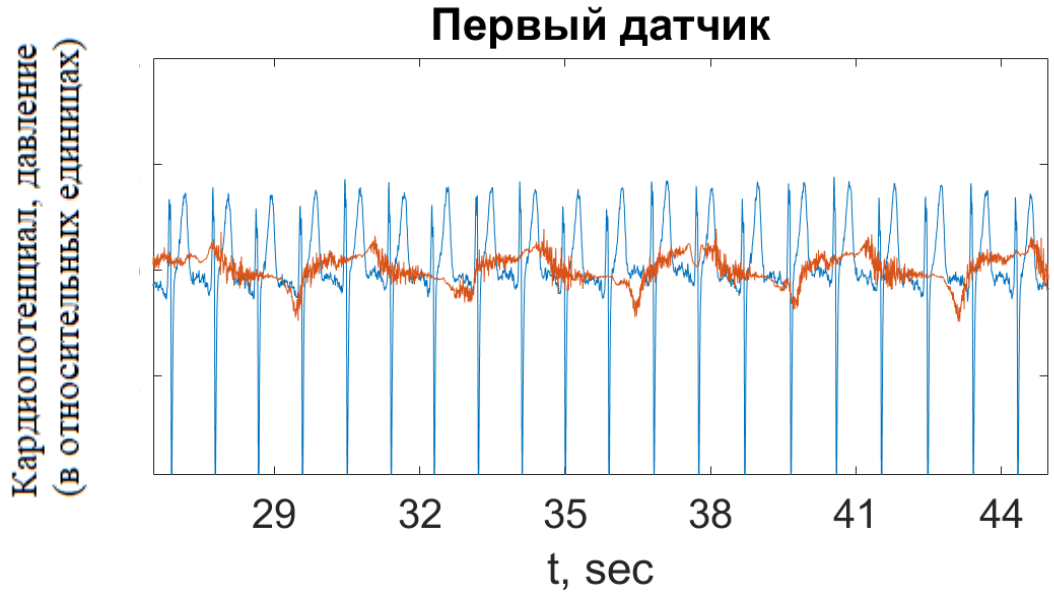


Рисунок 1. Синхронизированные графики кардиограммы и давления воздуха в первом датчике

На рис. 1 представлены обработанные и подготовленные для анализа показания кардиографа (отмечены синим цветом) и электропневмографа с первого канала (отмечены красным цветом). На нём чётко видна картина, характерная для всех остальных полученных графиков – у здорового человека чётка прослеживается взаимосвязь работы сердечно-сосудистой и лёгочной систем. В один дыхательный цикл укладывается равное количество сердцебиений, R-зубцы кардиограммы находятся на одних и тех же этапах дыхания, показания не меняются хаотично. Чем более серьёзное заболевание у обследуемого (астма, аритмия), тем взаимосвязь выражена менее чётко [3].

Разработанный измерительный комплекс успешно снимает показания работы сердца и дыхательной системы, обрабатывает и преобразует в формат, удобный для последующего анализа. По полученным данным можно судить о степени здоровья кардио- и дыхательной систем человека. Проведя ряд дополнительных опытов, возможно будет оценивать работу одной из систем лишь по показаниям работы другой.

Если расширитель функционал данного программно-измерительного комплекса, то можно будет устанавливать взаимосвязь работы и других органов человека.

Литература

1. Воронин А.А., Дмитриев И.А., Лукьянов Г.Н., Рыбина Л.А. Измерительный комплекс для исследования колебательных процессов в человеческом организме // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2010. Т.53 №4. С.18-22.
2. Лукьянов Г.Н., Воронин А.А., Экспериментальные исследования взаимодействия процессов дыхания и сердцебиения. Биотехносфера // Биотехносфера. 2011. №5.
3. Определение состояния человека по характеристикам его дыхания. Лукьянов Г.Н., Рассадина А.А., Усачёв В.И.// Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №18. С.72-76.

Репин Владислав Андреевич
Год рождения: 1995
Университет ИТМО,
факультет прикладной оптики,
студент группы №B5608,
направление подготовки: №12.05.01 – Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения,
e-mail: vladrepin777@yandex.ru

УДК 53.087

РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНЫМ УГЛОВЫМ ПОЛЕМ

В.А. Репин

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.Н. Чертов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615868 «Исследование методов и принципов построения автоматизированных видеоинформационных систем для контроля качества продуктов, объектов, материалов»

Цель работы – разработка макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем для исследования возможностей применения свойств фасеточного зрения при слежении за подвижным объектом. Системы, построенные по принципу фасеточного зрения, позволяют получить широкое угловое поле без применения крупногабаритных оптических компонентов или электромеханического привода для сканирования пространства, что позволяет сократить габариты оптико-электронных устройств. Кроме того, системы с дискретным угловым полем за счет обзора пространства с разных позиций могут давать информацию о дальности. Эти преимущества могут быть использованы для решения таких задач, как, например, оценка расстояний до препятствий для людей с ослабленным зрением; использование в качестве органов ориентации автомобильного транспорта; разработка гибких камер; благодаря наличию множества каналов регистрации излучения может быть реализована спектрозональная съемка [1, 2].

В процессе работы над устройством была разработана его структурная схема, представленная на рис. 1.

Для реализации макета в качестве приемников оптического излучения были выбраны фотодиоды SFH203FA с максимальной чувствительностью на длине волны $\lambda_{max} = 900$ нм и работающие в диапазоне $\lambda = 750 \div 1100$ нм. В качестве источника оптического излучения был выбран излучающий диод TSAL5100 с максимальным потоком излучения на длине волны $\lambda_{max} = 940$ нм и углом расходимости излучения $20°$.

Энергетический расчет показал следующие результаты:

– энергетический поток на приемника оптического излучения: 0,016 мкВт;

– интегральная чувствительность приемника оптического излучения по рабочему источнику излучения: 0,7 А/Вт;

– ток на выходе фотоприемника: 0,012 мкА;

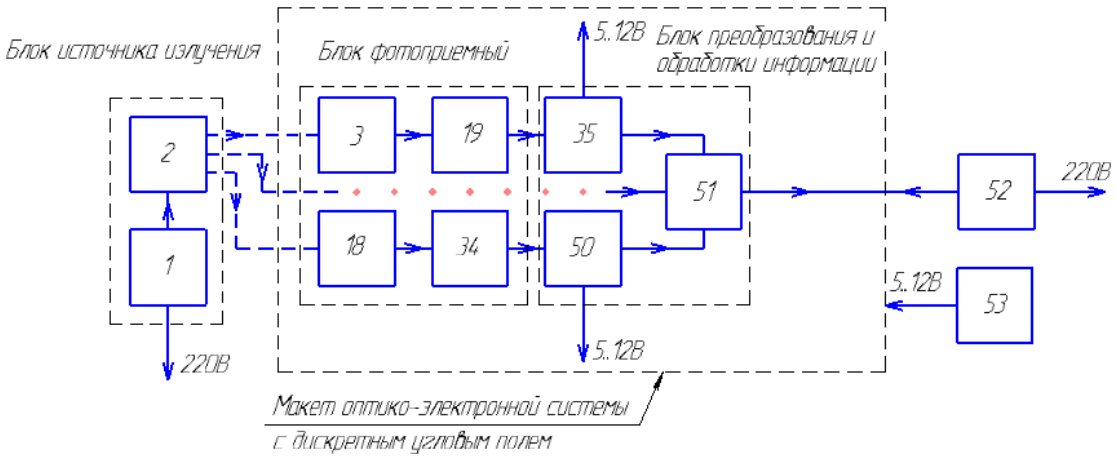


Рис. 1. Структурная схема оптико-электронной системы с дискретным угловым полем: 1 – лабораторный источник питания; 2 – излучающий диод (TSAL 5100); 3..18 – линзы фотодиодов; 19..34 – фотодиоды (SFH203A); 35..50 – преобразователи тока в напряжение на операционных усилителях (усилители LM224N); 51 – плата обработки (отладочная плата Arduino Mega); 52 – персональный компьютер; 53 – сетевой адаптер

При энергетическом расчете дистанция от фотоприемного блока системы до источника излучения принималась равной 8 м согласно техническому заданию.

Для подключения фотодиодов были использованы схемы преобразователей тока в напряжение на операционных усилителях. С учетом параметров схем отношение «сигнал/шум» составило 91 дБ, что позволяет говорить об увеличении дальности работы системы.

Была разработана оптическая схема макета, представленная на рис. 2.

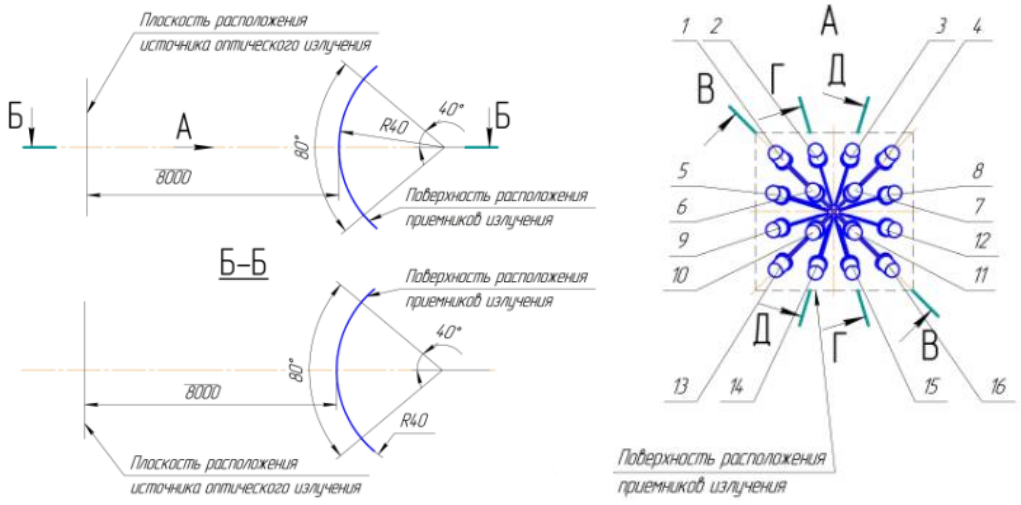


Рис. 2. Оптическая принципиальная схема фотоприемного блока макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем: расположение плоскости ИИ относительно фотоприемного блока (а); взаимное расположение фотодиодов (б)

Основные параметры оптической схемы:

– угол перекрытия угловых полей смежных каналов: $\beta_1 = 20°$;

– угловое расстояние между фотодиодами: $\beta = 20°$;

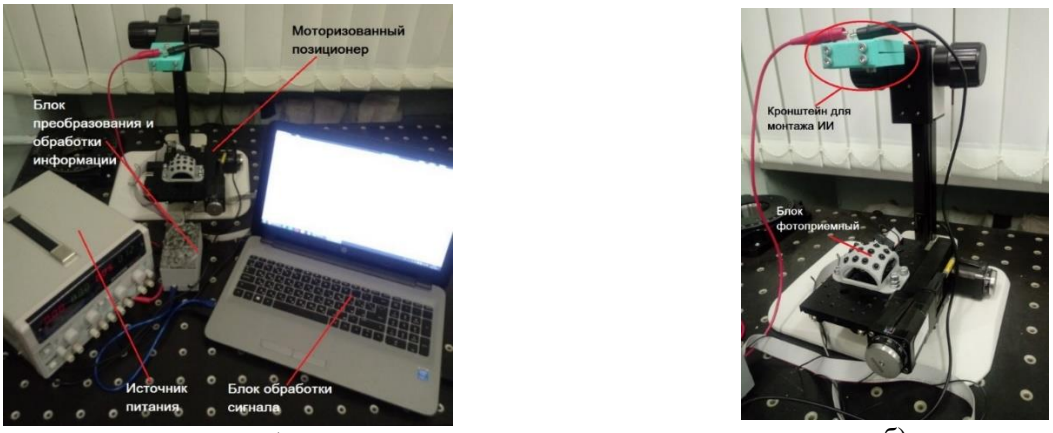
– радиус кривизны поверхности расположения фоточувствительных площадок фотодиодов: $R = 38$ мм;

– высота слепой зоны: $h' = 37$ мм;

– суммарное угловое поле макета 80°.

Фотоприемный блок, а также корпус макета были изготовлены методами 3D-печати. Схемы преобразователей тока в напряжение были разведены на плате.

Собранный макет в составе установки для его испытаний можно видеть на рис. 3.



а) б)

Рис. 3. Установка для испытаний макета:
внешний вид установки (а); фотоприемный блок на моторизованном позиционере (б)

Средствами LabVIEW был реализован алгоритм Лукаса-Канаде, позволяющий визуализировать векторные поля оптического потока. Под оптическим потоком в данном контексте понимается векторное поле явного движения объектов в визуальной сцене между кадрами, вызванное относительным движением между наблюдателем и сценой [3].

Испытания макета показали, что алгоритм адекватно определяет направления перемещений источника излучения, а также реагирует на скорость перемещений (при изменении скорости меняется модуль векторов).

Таким образом, представленный вариант реализации оптико-электронной системы с дискретным (фасеточным) угловым полем может быть применен для задач оценки направлений перемещений источника излучения.

Литература

1. Соломатин В.А., Иванова Н.В. Современные направления развития панорамных оптических и оптико-электронных систем: [Электронный ресурс]. URL: http://www.oop-ros.org/maket2012/part1/ref1_1/1.2.1.pdf (дата обращения: 07.03.2016).
2. Dario Floreano et al. Miniature curved artificial compound eyes // PNAS, vol. 110, №23, June 4. 2013.
3. David J. Fleet & Yair Weiss (2006). "Optical Flow Estimation". In Paragios; et al. Handbook of Mathematical Models in Computer Vision. Springer. ISBN 0-387-26371.

Садреев Эльнар Ренатович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N3450,
направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,
e-mail: elyasad@mail.ru
Канжелев Юрий Алексеевич
Год рождения: 1962
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент, старший научный сотрудник,
e-mail: kanzhelev@gmail.com

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ

Э.Р. Садреев

Научный руководитель – к.т.н., доцент, с.н.с. **Ю.А. Канжелев**

Университет ИТМО

Аннотация
В работе рассмотрено применение беспроводных сенсорных сетей (БСС) в таких медицинских системах, как системы мониторинга состояния здоровья с точки зрения информационной безопасности, была разработана модель обнаружения сетевых аномалий в БСС с целью детектирования подозрительной активности и дальнейшего оперативного реагирования. Актуальность проведенного исследования обусловлена высокой критичностью функционирования системы мониторинга состояния здоровья и, как следствие, высоким уровнем предъявляемых требований к надежности.
Ключевые слова
Беспроводные сенсорные сети, системы мониторинга состояния здоровья, сетевые аномалии, угрозы доступности, информационная безопасность.

В эпоху развития Индустрии 4.0, характеризующейся массовым внедрением киберфизических систем в промышленность, растет сфера применения технологий беспроводных сенсорных сетей. Беспроводные сенсорные сети (БСС) применяются в разных сферах жизнедеятельности, наиболее распространенные из которых – военная область, медицина, экология, бытовая техника, системы типа «Умный дом», Интернет вещей и т. п. Исследование, представленное в данной статье, сфокусировано на сфере медицины.

В сфере здравоохранения и медицины беспроводные сенсорные сети применяются, по большей мере, для решения задач мониторинга показателей жизненно важных функций пациента, таких как температура тела, артериальное давление, пульс, частота дыхания, пульсоксиметрия, уровень сахара в крови и др.

В настоящее время отсутствуют надежные механизмы детектирования аномалий

в беспроводных сенсорных сетях, применяемых в таких критических медицинских системах, как системы мониторинга состояния здоровья. В данной статье представлена разработка модели обнаружения аномалий в БСС систем мониторинга состояния здоровья на основе многослойного персептрона – нейронной сети прямого распространения. Под аномалией понимается некоторое явление в сети, которое не соответствует шаблону ожидаемого нормального поведения. В частности, в данной работе аномалией будет считаться состояние беспроводной сенсорной сети, при котором трафик, генерируемый узлами сети, превышает допустимые пределы отклонения от показателей при нормальной работе сети.

БСС применяются в медицине в нескольких форматах, самые распространенные из которых [1]:

– беспроводная нательная компьютерная сеть (WBAN);
– малоинвазивные процедуры;
– телемедицина.

Применение технологий беспроводных сенсорных сетей в медицине имеет ряд преимуществ, среди которых [2]:

– гибкость (данные собираются системой без участия пациента и передаются по радиоканалу);
– непрерывный мониторинг (данные собираются постоянно с определенной периодичностью, следовательно, пациент находится под постоянным медицинским контролем);
– самоорганизация (назначение функционирующей сети может быть изменено доктором в зависимости от изменяющихся потребностей);
– низкая стоимость (основной фактор, позволяющий без лишних затрат решать задачу постоянного мониторинга).

Однако подобные системы имеют и ряд ограничений:

– низкая пропускная способность узлов;
– проблема надежности передачи данных;
– продолжительность автономной работы;
– проблемы безопасности;
– малая мощность устройств;
– помехи от других устройств.

Беспроводные сенсорные сети, применяемые в медицине, отличаются от БСС, применяемых в других сферах, более высокими требованиями к надежности, поскольку рассматриваемые системы являются критическими и напрямую влияют на состояние здоровья наблюдаемого пациента. Так, ключевыми требованиями к разрабатываемой модели являются:

– низкое время отклика;
– высокая точность;
– непрерывная работа;
– частый сбор статистики;
– ограничение энергопотребления.

В данной статье сформулирована постановка задачи для разрабатываемой модели БСС. Имеется беспроводная сенсорная сеть в системе мониторинга здоровья, состоящая из нескольких узлов-датчиков, пространственно-распределенных по телу пациента. Пример типовой структуры такой системы представлен на схеме на рис. 1.

Имеется K узлов беспроводной сенсорной сети $N = \{n_1, n_2, \dots n_K\}$. Предполагается смоделировать работу системы на протяжении времени T. Общее время моделирования разделено на Z равных по времени промежутков: $T = \{t_1, t_2, \dots t_Z\}$.

Каждый узел имеет набор из L свойств (метрик), которые изменяются каждый промежуток времени $t_i, i \in [1; Z]$. Таким образом, каждый узел сети в каждый промежуток времени характеризуется набором свойств: $M_i^j = \{m_{i1}^j, m_{i2}^j, \dots m_{iL}^j\}, i \in [1; K], j \in [1; Z]$.

Путем объединения наборов свойств каждого из узлов получаются векторы входных значений для разрабатываемой модели. Для каждого промежутка времени $t_i, i \in [1; Z]$:$MA^j = M_1^j \cup M_2^j \dots \cup M_K^j, j \in [1; Z]$.

Имеется множество исходов работы разрабатываемой модели, которое содержит всего два возможных значения: $D = \{0, 1\}$. Единице соответствует положительный результат работы модели, свидетельствующий о том, что модель идентифицировала набор свойств MA^j, соответствующий временному промежутку $t_j, j \in [1; Z]$, как состояние аномалии. Ноль соответствует отрицательному результату и свидетельствует о том, что набор MA^j был идентифицирован как нормальное состояние системы.

Таким образом, формализованная задача, стоящая перед разрабатываемой моделью, представлена в формуле (1):

$$F(MA^j) = d^j, d^j \in D, j \in [1; Z]. \quad (1)$$

Разрабатываемая модель должна осуществлять некоторую функцию по преобразованию подаваемых на вход наборов метрик узлов модели БСС для каждого из Z промежутков времени работы системы в число $d \in D$, определяющее поданный на вход набор свойств как аномалию, либо как нормальную работу системы.

Предполагается, что разрабатываемая модель соответствует представленным в предыдущем пункте требованиям к надежности. Низкое время отклика системы обеспечивается быстрой доставкой метрик каждого из узлов на центр обработки и последующей оценкой текущего состояния работы сети.

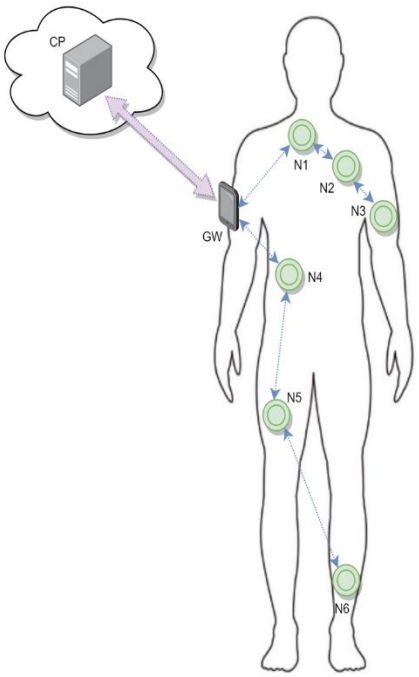


Рис. 1. Схема узлов сенсорной сети с датчиками, измеряющими показатели жизненно важных функций (GW – шлюзовый узел, CP – устройство обработки данных, N1-N9 - датчики)

Степень точности разрабатываемой модели предстоит уточнять на этапе разработки и тестирования, однако предполагается использование алгоритмов классификации, способных обеспечить наивысшие показатели точности в решении данной задач.

Непрерывная работа обеспечивает постоянный мониторинг текущего состояния работы системы, обеспечивающий максимально быстрое реагирования в случае возникновения нештатных ситуаций.

Частый сбор статистики позволяет накапливать и обрабатывать данные о метриках узлов с заданной периодичностью с целью сокращения времени реагирования на возникающие инциденты.

Требование ограничения электропотребления достигается исключением исполнения алгоритмически сложных задач на узлах беспроводной сенсорной сети. Для уменьшения потребляемой энергии все вычисления разрабатываемой модели должны быть вынесены в центр обработки, а на узлах должны осуществляться менее требовательные к ресурсам процедуры: сбор вспомогательных данных-характеристик узлов (метрик) и пересылка накопленных данных в центр обработки.

Для проведения обучения и тестирования разрабатываемой модели обнаружения аномалий была разработана имитационная модель беспроводной сенсорной сети системы мониторинга состояния здоровья. Моделируемая система состоит из набора датчиковых узлов, шлюзового узла и центра обработки. В качестве датчиков были выбраны сенсоры, осуществляющие мониторинг следующих показателей [3]:

– температура тела (BT);
– частота сердечных сокращений (HR);
– артериальное давление (BP);
– пульсоксиметрия (PO);
– уровень сахара в крови (GL);
– частота дыхания (RR).

Помимо измерительных узлов в системе также присутствует шлюзовый узел (GW), через который осуществляется переадресация всех собираемых в БСС данных в центр обработки (CP), который производит дальнейшую обработку накопленных данных. Топология смоделированной сети с каналами связи между соответствующими устройствами представлена на рис. 2.

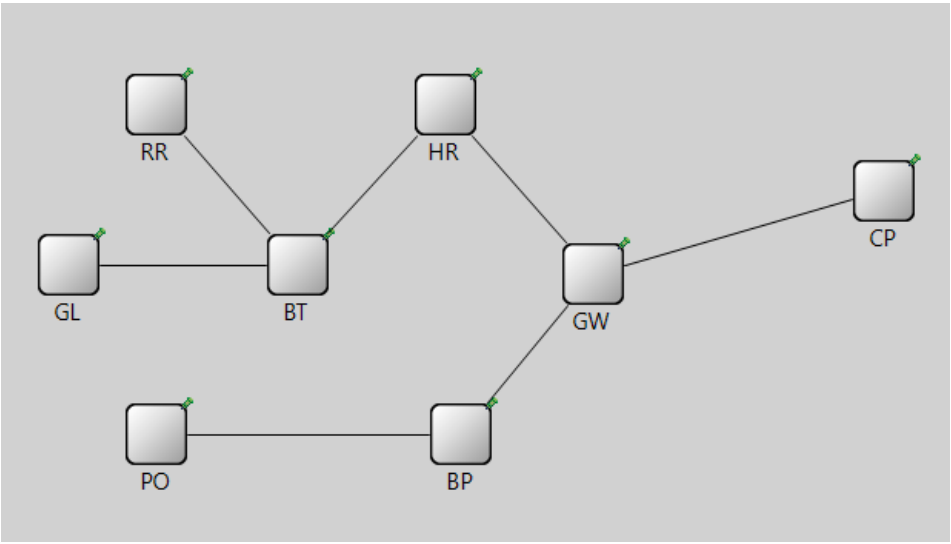


Рис. 2. Схема смоделированной БСС

В штатном режиме работы датчиковые узлы, через некоторые, примерно равные промежутки времени, генерируют пакеты, имитируя таким образом работу реальной системы. Сгенерированные пакеты отправляются к следующим узлам до тех пор, пока не достигнут центра обработки, после чего удаляются. Для всех каналов связи установлена задержка передачи пакетов в 500 мс. Система также имитирует аномальный режим работы. Через некоторые случайные промежутки времени узел BT помимо полезных данных начинает генерировать аномальный трафик. Реализуется это путем генерации пакетов с частотой, несовпадающей с частотой отправки данных в штатном режиме. После некоторого времени работы системы в аномальном режиме система возвращается к штатному режиму работы. Со следующим событием начала аномального режима работы все вышеперечисленные действия повторяются.

В число наиболее информативных свойств, позволяющих определить поведение системы как нормальное или аномальное [4], входят количество входящих и исходящих пакетов в единицу времени. Эти показатели были выбраны в качестве метрик, подаваемых на вход разработанной модели.

Каждые 60 секунд работы модели производится запись следующих параметров системы: количество входящих и исходящих пакетов за прошедшие 60 секунд для узлов GL, RR, BT, HR, PO, BP и GW; флаг состояния системы за текущий промежуток времени, позволяющий идентифицировать режим работы системы как нормальный, либо аномальный. Каждая такая запись, не считая флага состояния, представляет собой вектор входных данных модели обнаружения аномалий.

Моделируемое время работы системы составляет 600 000 секунд, следовательно, число получаемых векторов состояний составляет 10 000. Для целей обучения и тестирования разрабатываемой модели обнаружения аномалий были сгенерированы две выборки, размером в 10 000 каждая.

С целью оценки точности работы спроектированной модели был проведен эксперимент, в ходе которого были определены верно определенные моделью состояния системы, а также ошибки первого и второго рода. На вход блоку тестирования была подана тестовая выборка, состоящая из 10 000 состояний системы, из которых 221 являлось аномальным. Результаты работы модели на тестовой выборке представлены в таблице.

Таблица

Результаты проведения эксперимента

Результат работы модели	Фактические состояния	
	Аномальное состояние	Нормальное состояние
«Аномалия»	207	1
«Норма»	14	9778

Исходя из полученных данных для разработанной модели обнаружения аномалий:

– $True\ Positive = 207;$
– $False\ Positive = 1;$
– $False\ Negative = 14;$
– $True\ Negative = 9778.$

True Positive – число состояний, корректно определенных моделью как аномалии; False Positive – число ложных срабатываний (ошибок первого рода); False Negative – число пропущенных аномалий (ошибок второго рода); True Negative – число состояний, корректно определенных как нормальные.

Для количественной оценки точности работы спроектированной модели на основе полученных данных были рассчитаны три параметра бинарной классификации [5], представленные в формулах (2)–(4):

– точность (Precision);
– полнота (Recall);
– F-мера (F-measure).

Значение параметра точности определяется отношением количества истинно-позитивных решений модели к общему числу позитивных решений:

$$\text{Точность} = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Positive} \approx 0{,}995. \quad (2)$$

Полнота определяется отношением истинно-позитивных решений модели к общему числу смоделированных аномальных состояний:

$$\text{Полнота} = \frac{True\ Positive}{True\ Positive + False\ Negative} \approx 0{,}937 \quad .(3)$$

Параметр F-меры является средним гармоническим между точностью и полнотой и, таким образом, будет стремиться к нулю, если хотя бы один из параметров стремится к нулю:

$$F = 2 \cdot \frac{\text{Точность} \cdot \text{Полнота}}{\text{Точность} + \text{Полнота}} \approx 0{,}965. \quad (4)$$

Представленная в данной статье модель характеризуется высокой точностью детектирования аномалий. Данная модель может применяться на практике в беспроводных сенсорных сетях систем мониторинга состояния здоровья в тестовом экспериментальном режиме.

Литература

1. Furtado H., Trobec R., Applications of wireless sensors in medicine // 2011 Proceedings of the 34th International Convention MIPRO. 2011. P. 257–261.
2. Sadiku M. N. O., Eze K., Musa S. M. Wireless Sensor Networks for Healthcare // Journal of Scientific and Engineering Research. 2018. 5(7). P. 210–213.
3. Storm-Versloot M.N., Verweij L., Lucas C., Ludikhuize J., Goslings J. C., Legemate D. A., Vermeulen H. Clinical Relevance of Routinely Measured Vital Signs in Hospitalized Patients: A Systematic Review // Journal of Nursing Scholarship. 2014. 46:1. P. 39–49.
4. Zikratov I., Korzhuk V., Shilov I., Gvozdev A. Formalization of the Feature Space for Detection of Attacks on Wireless Sensor Networks // Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT. 2017. P. 526–533.
5. Powers D. M. W. Evaluation: From precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness & correlation / D. M. W. Powers // Journal of Machine Learning Technologies. 2011. N 2(1). P. 37–63.

Сойту Екатерина Андреевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
студент группы №Т3430,
направление подготовки: 19.03.01 – Биотехнология,
e-mail: esoitu@rambler.ru
Сучкова Елена Павловна
Год рождения: 1959
Университет ИТМО,
факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
к.т.н., доцент,
e-mail: silena07@bk.ru

УДК 664.8/9

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕСЕРТОВ НА МОЛОЧНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Е.А. Сойту

Научный руководитель – к.т.н., доцент **Е.П. Сучкова**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР-ФУНД № 617027 «Ресурсосберегающие экологически безопасные биотехнологии функциональных и специализированных продуктов на основе глубокой переработки продовольственного сырья».

Аннотация
В работе представлена разработка состава сухой смеси для десерта. Были подобраны компоненты данной рецептуры и их дозы внесения. Также проводился подбор стабилизатора и дозы его внесения на основании одного из органолептических показателей образцов (консистенции). Далее определялись физико-химические показатели сухой смеси для десерта и готового продукта (пудинга). Проводился расчет пищевой и энергетической ценности сухой смеси для десерта и готового продукта (пудинга). Далее рассчитывалась степень удовлетворения суточной потребности в макронутриентах и энергии при употреблении 100 грамм продукта.
Ключевые слова
Сухая смесь, диетическое питание, пудинг.

В последние годы в мире наблюдается несколько глобальных проблем, связанных с питанием. Одной из них является проблема дефицита пищевого белка, что приводит к проблемам со здоровьем, плохому самочувствию, а в критических случаях нарушению работы всех систем органов человека. Поэтому разработка высокобелковых продуктов является на сегодняшний день актуальной. Также происходит расширение ассортимента диетических продуктов и все больше здоровых людей потребляют данные продукты в обычном рационе. Они могут быть с измененным составом жиров, углеводов, пониженной энергоценности или обогащенные эссенциальными

нутриентами [2]. Вдобавок одним из наиболее частых направлений исследований в области разработки диетических десертов на молочной основе является выбор структурообразователя (стабилизирующей добавки) или загустителя для создания вязкой или желеобразной консистенции.

Кроме того, в настоящее время на рынке происходит расширение ассортимента сухих смесей для десертов. Преимущества данных видов продукции заключаются в быстром и простом приготовлении (10-15 мин), высокой концентрации питательных веществ в малом объеме и массе, способности длительного хранения и транспортабельности [1].

Основным компонентом сухой смеси для десерта выбрано сухое обезжиренное молоко (СОМ), так как использование данного сырья является важным фактором в безотходной технологии производства молока. Для повышенного содержания белков в сухой смеси был использован концентрат сывороточных белков (КСБ) в количестве, необходимом для удовлетворения суточной потребности в белках более, чем на 10%.

В качестве замены сахара использована сукралоза. Сукралоза (трихлоргалактосахароза) – это термостабильный подсластитель, который широко применяется для различных пищевых производств. Организм человека выводит данное вещество почти полностью (85%) в течение суток. Доза внесения сукралозы подбиралась на основе литературных источников и составила 0,1%.

Так как коэффициент сладости сукралозы равен 600, а также сукралоза имеет более длительное послевкусие по сравнению с сахаром [4], была внесена соль для предотвращения появления привкуса. Доза внесения соли пищевой была подобрана опытным путем. При содержании соли в количестве 0,1 и 0.2 % привкус сукралозы все еще чувствовался, а в количестве 0,4% стал проявляться соленый привкус. При содержании соли в количестве 0,3% привкуса сукралозы не наблюдалось. Поэтому соль вносилась в количестве 0,3%.

Был проведен опрос по оценке вкусовых потребительских предпочтений для десертного пудинга. Наибольшую часть участников опроса составили женщины (75%). Выбор состоял из следующих вкусов: ванильный, шоколадный, фруктовый, карамельный, ореховый. Результаты опроса представлены на рис. 1.

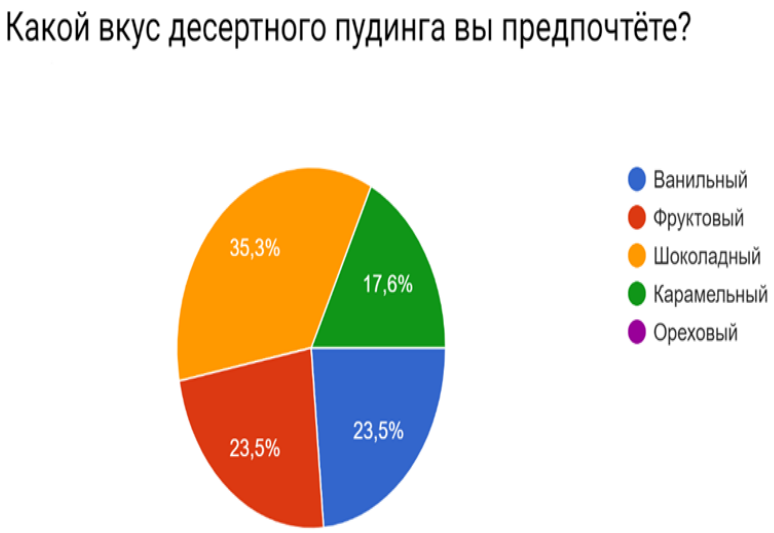


Рис. 1. Результаты опроса вкусовых потребительских предпочтений для десертного пудинга

По результатам данного опроса было решено разрабатывать десертный пудинг со вкусом шоколада. Для этого в рецептуру включен какао-порошок, а также ароматизатор шоколад для предотвращения частичной потери вкуса и аромата пудинга. Ароматизатор в количестве 1% [3].

Содержание какао-порошка определялось опытным путем. Были подготовлены образцы с содержанием какао-порошка 5,10 и 15%. Образцы с содержанием какао-порошка 5 и 10% существенно отличались по цвету. Образец с 5% какао имел бледно-шоколадный цвет и недостаточно выраженный вкус шоколада, что не соответствует требованиям к данному продукту. Образец с содержанием какао 10% имел насыщенный шоколадный вкус и соответствующий цвет. Образец с содержанием какао 15% не отличался по цвету от образца с какао 10%, но имел горьковатый привкус. Поэтому было решено добавлять какао-порошок в количестве 10%.

Разработанная рецептура основы сухой смеси для десерта представлена в таб. 1.

Таблица 1

Рецептура основы сухой смеси для десерта

Наименование сырья	Норма расхода, кг
Концентрат сывороточных белков (КСБ)	26,6
Сухое обезжиренное молоко (СОМ)	62,0
Сукралоза	0,1
Соль пищевая	0,3
Ароматизатор шоколад	1,0
Какао-порошок	10,0
Итого	100,0

Следующим этапом стал подбор типа стабилизатора и дозы его внесения в основу сухой смеси.

Использовались 3 стабилизатора:

1. КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза)
2. Гуаровая камедь
3. Ксантановая камедь

В основу сухой смеси для десерта добавлялось от 6 до 12 % стабилизатора сухого с шагом 2. Далее добавлялась питьевая вода в количестве 250 мл на 50 гр сухой смеси по экспериментальным данным, которые показали, что при соотношениях сухой смеси и воды 1:1, 1:2, 1:3 и 1:4, продукт не соответствует вкусовым характеристикам, и происходило перемешивание продукта в течение 5-7 мин в одинаковых условиях: температура воды 40±2 °С, скорость вращения мешалки- 750 об/мин. Потом продукт помещали в холодильник при 6±2 °С на 20-25 мин. Далее проводилась органолептическая оценка полученных образцов. Так как одним из самых важных показателей для пудинга является его консистенция, органолептическая оценка проводилась именно по этому показателю. Консистенция продукта должна быть плотной, однородной, сгусток должен быть выраженным, поверхность ровной, глянцевой, без пузырей воздуха и нерастворенных частиц сухих компонентов.

Описание консистенции полученных образцов с различными стабилизаторами при разном содержании их в сухой смеси представлено в таб. 2.

Также для органолептической оценки была проведена дегустация. Образцы оценивались дегустаторами по разработанной 5-бальной шкале.

Таблица 2

Консистенция образцов

Наименование стабилизатора	Количество стабилизатора, %			
	6	8	10	12
Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)	Структура сгустка неоднородная, с большим количеством пузырей воздуха и комочков	Структура сгустка более однородная, чем у образца с 6% КМЦ, жидковатая, с небольшим количеством пузырей	Структура сгустка однородная, плотная, вязкая, без пузырей воздуха и комочков	Структура сгустка очень плотная, однородная, вязкая, без пузырей воздуха и комочков
Гуаровая камедь	Сгусток жидкий, консистенция однородная, с небольшим количеством пузырей, без комочков	Консистенция смеси неоднородная, с комочками и небольшим количеством пузырей	Консистенция смеси неоднородная, с комочками и небольшим количеством пузырей	Сгусток жидкий, консистенция однородная, с небольшим количеством пузырей, без комочков
Ксантановая камедь	Консистенция неоднородная, слизистая, с наличием большого количества пузырей воздуха и комочков			

По баллам, данным дегустаторами, вычислялись средние баллы по исследуемому параметру. Средние баллы представлены в виде профилограммы на рис. 2.

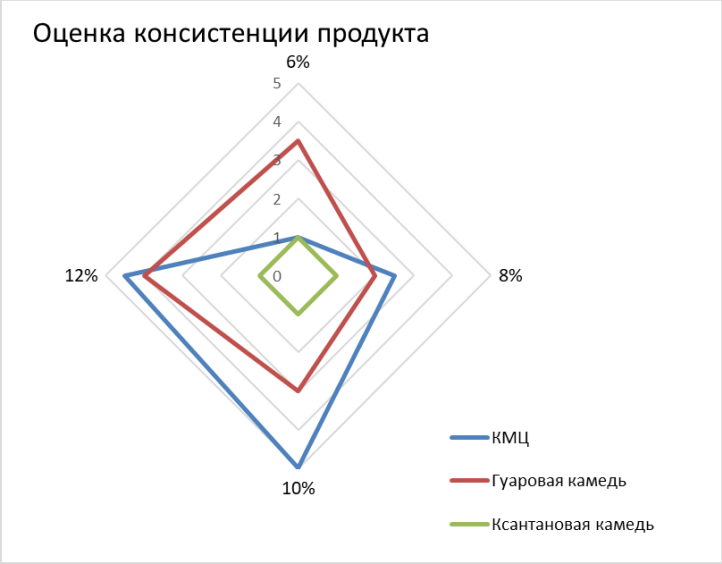


Рис. 2. Оценка консистенции продуктов со стабилизаторами КМЦ, гуаровой камедью и ксантановой камедью при разном содержании их в сухой смеси

По результатам органолептической оценки выяснилось, что при добавлении ксантановой камеди в качестве стабилизатора, все образцы не удовлетворяли требованиям к исследуемому показателю. Их консистенция была неоднородной,

слизистой, с большим количеством пузырей воздуха и нерастворенных частиц сухих компонентов.

При добавлении гуаровой камеди в качестве стабилизатора, образцы при разном содержании его в сухой смеси получили средние баллы при оценке дегустаторов. Стоит отметить, что два образца из четырех были без пузырей воздуха и нерастворенных частиц сухих компонентов, однако недостаточно плотными и вязкими, с невыраженным сгустком, за что не получили высоких баллов при оценке.

При добавлении карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) в качестве стабилизатора, с увеличением содержания ее в сухой смеси консистенция готового продукта становилась более плотной, вязкой. Образец с содержанием КМЦ 10% имеет самый высокий средний балл из представленных, поэтому выбираем КМЦ в качестве стабилизатора с дозой внесения 10%.

После выбора стабилизатора и дозы его внесения, его добавляли в рецептуру основы сухой смеси для десерта. Полученная рецептура представлена в таб. 3.

Таблица 3

Рецептура сухой смеси для десерта

Наименование сырья	Норма расхода, кг
Концентрат сывороточных белков (КСБ)	26,6
Сухое обезжиренное молоко (СОМ)	52,0
Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)	10,0
Сукралоза	0,1
Соль пищевая	0,3
Ароматизатор шоколад	1,0
Какао-порошок	10,0
Итого	100,0

Далее определялись физико-химические показатели сухой смеси для десерта и готового продукта. Результаты представлены в таб. 4, 5.

Таблица 4

Физико-химические показатели сухой смеси для десерта

Наименование показателя	Сухая смесь для десерта
Массовая доля влаги, %	3,0
Индекс растворимости, $см^3$	0,1
Кислотность, Т (% от молочной кислоты)	16,0

Таблица 5

Физико-химические показатели готового продукта (пудинга)

Наименование показателя	Готовый продукт
Массовая доля жира, %	0,45
Кислотность, Т	14,00
Вязкость, Па*с	3,40
Массовая доля сухих веществ, %	17,00

Данные показатели соответствуют требованиям, предъявляемым к данному продукту.

Далее проводился расчет пищевой и энергетической ценности сухой смеси. Он представлен в таб. 6.

Таблица 6

Расчет пищевой и энергетической ценности сухой смеси для десерта

Наименование компонента	Количество, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
КСБ	26,60	20,78	1,73	1,66	361,21
СОМ	52,00	19,71	0,78	25,64	
КМЦ	10,00	-	-	9,95	
Сукралоза	0,10	-	-	0,10	
Соль пищевая	0,30	-	-	-	
Ароматизатор шоколад	1,00	-	-	-	
Какао-порошок	10,00	2,43	1,50	1,02	
Итого	100,00	42,92	4,01	38,37	

Далее проводился расчет степени удовлетворения суточной потребности организма человека в макронутриентах и энергии при употреблении 100 гр продукта. Он представлен в таб. 7.

Таблица 7

Расчет степени удовлетворения суточной потребности

	Количество, г	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал
Сухая смесь (пудинг)	16,66	7,15	0,67	6,39	60,19
Вода питьевая	83,34	–	–	–	
Степень удовлетворения, %	–	12,11	1,06	2,33	3,17

По результатам данных, представленных в таблице 7, можно сделать вывод о том, что разработанный продукт является продуктом с повышенным содержанием белка, пониженным содержанием жиров, а также является низкокалорийным.

Литература

1. Авилова И.А. Рецептурно-компонентные решения и технологии производства пищевых концентратов сладких блюд / Авилова И.А. //Проблемы

идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров (Юго-Западный государственный университет, 10 ноября 2017 г.). Курск. 2017. С. 15-19.
2. Барановский Ю.А. Диетология. Руководство. 3-е издание. / Ю.А. Барановский. СПб: Питер. 2008. 1024с.
3. Пищевые добавки: Энциклопедия. 2-е изд., испр. и доп. СПб: ГИОРД. 2004. 808 с.
4. Подсластители и сахарозаменители [Текст]: перевод с английского / Хелен Митчелл (ред.-сост.). Санкт-Петербург: Профессия. 2010. 508с.

Соловьева Александра Юрьевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет фотоники и оптоинформатики,
студент группы № V3436,
направление подготовки: 12.03.03 – Физика наностуктур,
e-mail: alexandra.solo@mail.ru
Вениаминов Андрей Викторович
Год рождения: 1960
Университет ИТМО, ЦИОТ,
д.ф.-м.н., с.н.с.,
e-mail: veniaminov@phoi.ifmo.ru

УДК 535.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ТЕХНИКОЙ FRAP

А.Ю. Соловьева

Научный руководитель – д.ф.- м.н., с.н.с. **А.В. Вениаминов**

Университет ИТМО

Аннотация
В данной работе рассмотрено применение техники FRAP (восстановление люминесценции после фотообесцвечивания) на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе и разработка алгоритма обработки данных с целью исследования подвижности углеродных точек и нахождения коэффициентов их диффузии в пластифицированных полимерных пленках и в жидком растворе.
Ключевые слова
Двумерная диффузия, коэффициент диффузии, полимерные пленки, углеродные точки, FRAP, конфокальный микроскоп, микровязкость.

Введение

Восстановление флуоресценции после фотообесцвечивания (Fluorescence Recovery After Photobleaching, FRAP) – техника оптической микроскопии, используемая для исследования диффузии молекул, которые под действием света могут переходить из люминесцирующей формы в нелюминесцирующую. В простейшем варианте методика измерения состоит в том, что участок объекта обесцвечивается сфокусированным световым пучком и перестаёт люминесцировать, а потом наблюдается восстановление люминесценции за счет диффузионного замещения обесцвеченных молекул необесцвеченными, способными люминесцировать, и по скорости этого восстановления судят о скорости диффузии. С помощью лазерного сканирующего микроскопа появляется возможность засвечивать участки различной формы и анализировать не только среднюю интенсивность, но и пространственное распределение, *получая информацию о пространственном распределении коэффициента диффузии,* в отличие от других оптических методов изучения подвижности в микроскопических масштабах, таких как динамическое рассеяние света

(Dynamic Light Scattering, *DLS) или флуоресцентная корреляционная спектроскопия.* Но изучение подвижности может быть интересно не только для оценки размеров, для чего уже есть хорошо отработанные методики, но и для получения информации о пространственном распределении подвижности, следовательно, вязкости.

Следует заметить, что обычно в экспериментах FRAP светочувствительными зондами являются молекулы красителей или люминесцирующие белки, а не наночастицы.

Теоретические основы

Диффузия в трёхмерном пространстве описывается дифференциальным уравнением [1]:

$$\frac{dc}{dt} = D\left(\frac{\partial^2 c}{dx^2} + \frac{\partial^2 c}{dy^2} + \frac{\partial^2 c}{dz^2}\right), \quad (1)$$

где c – концентрация вещества, а D – коэффициент диффузии, связанный с радиусом частицы a (в предположении её сферической формы), температурой T и вязкостью окружающей среды η соотношением Стокса-Эйнштейна:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a}, \quad (2)$$

Решение уравнения диффузии (1) при соответствующих конфигурации эксперимента FRAP начальных и граничных условиях позволяет определить коэффициент диффузии и далее, с помощью уравнения (2) – вязкость или размер зонда.

Подобно любой аналитической модели, применяемая нами техника FRAP основана на ряде допущений [2]:

1. диффузия изотропна и протекает в двумерном пространстве – бесконечной фокальной плоскости (движение вдоль оптической оси не рассматривается);
2. время обесцвечивания пренебрежимо мало по сравнению с характерным временем восстановления люминесценции;
3. процесс фотообесцвечивания вызывает линейное уменьшение флуоресценции.

При засвечивании области прямоугольной формы распределение интенсивности люминесценции описывается выражением (3):

$$\frac{F(x,y,t)}{F_0} = 1 - \frac{K_0}{4} \times \left[erf\left(\frac{x+\frac{l_x}{2}}{\sqrt{r^2+4Dt}}\right) - erf\left(\frac{x-\frac{l_x}{2}}{\sqrt{r^2+4Dt}}\right)\right] \times \left[erf\left(\frac{y+\frac{l_y}{2}}{\sqrt{r^2+4Dt}}\right) - erf\left(\frac{y-\frac{l_y}{2}}{\sqrt{r^2+4Dt}}\right)\right], \quad (3)$$

где F_0 – интенсивность люминесценции перед фотообесцвечиванием; K_0 – глубина фотообесцвечивания; lx и ly – длина и ширина отбеленного прямоугольника в x- и y-направлениях; D – коэффициент диффузии. Со временем разность двух функций ошибок в формуле (3) будет приближаться к гауссовой функции [3, 4], и коэффициент диффузии может быть определён по линейной зависимости ширины распределения интенсивности люминесценции вдоль стороны прямоугольника от времени:

$$c = c_0 \cdot exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) = c_0 \cdot exp\left(-\left(\frac{x}{\omega}\right)^2\right) \Rightarrow D \approx \frac{\omega^2}{4t}. \quad (4)$$

Объект исследования

Объектом исследования были синтезированные в химической лаборатории Научно-образовательного центра «Физика наноструктур» Университета ИТМО

(руководитель д-р А.Ю. Дубовик) углеродные точки (УТ) диаметром 50 нм, помещённые в плёнки из полибутилметакрилата (ПБМА) с молекулярной массой M_w = 337000 Г/моль, пластифицированные 13-50% дибутилфталата (ДБФ), а также УТ, растворённые в ДБФ (100%). Спектры поглощения и люминесценции УТ показаны на рис. 1.

Эксперимент

По люминесцентным изображениям, снятым с помощью конфокального микроскопа LSM710 (Zeiss) в различные моменты времени после фотообесцвечивания, с помощью программы Origin2017 строятся профили интенсивности люминесценции прямоугольной обесцвеченной области, которые впоследствии аппроксимируются функцией Гаусса.

Квадрат ширины профиля ω от времени линейно зависит от времени (4), и коэффициент диффузии определяется наклоном этой зависимости. Пример такой обработки данных приведен на рис. 2. Коэффициент диффузии УТ для образца с 50 масс.% ДБФ составил $(5\pm1)\cdot10^{-10}$ см^2/с.

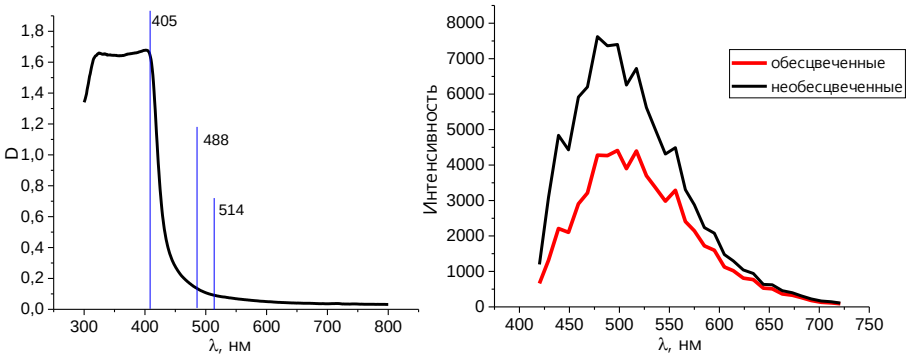
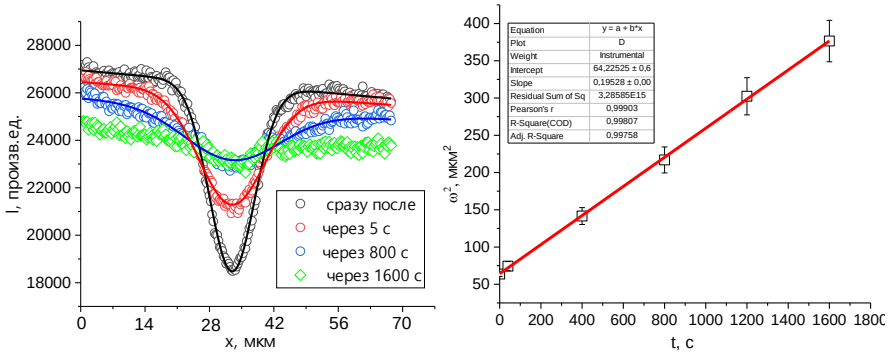


Рис. 1. Спектры: поглощения раствора углеродных точек в толуоле, измеренный на спектрофотометре Shimadzu UV3600 (а), и люминесценции пленки ПБМА с ДБФ и углеродными точками, измеренный до (чёрная линия) и после (красная линия) фотообесцвечивания на микроскопе Zeiss LSM 710 при возбуждении лазером с длиной волны 405 нм (б).

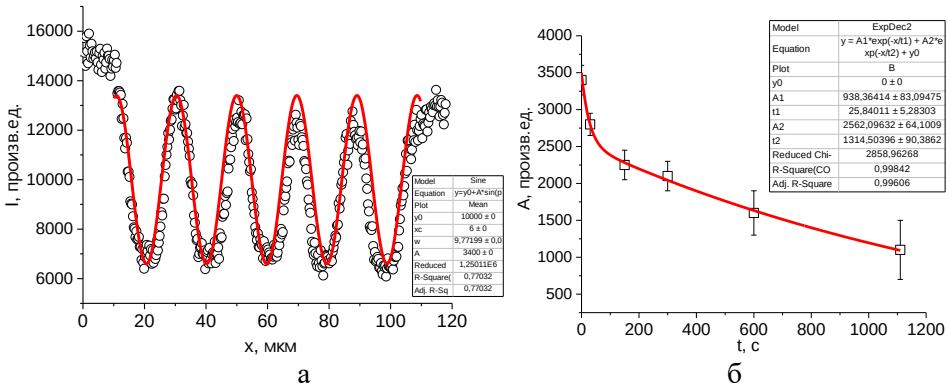


а б

Рис. 2. Профили интенсивности люминесценции в направлении, перпендикулярном обесцвеченной полосе с начальной шириной 10 мкм в образце с 50% ДБФ, измеренные (точки) сразу после обесцвечения и в разные моменты времени после него, и результат их аппроксимации (линии) функцией Гаусса (а); зависимость $\omega^2(t)$, использованная для расчета коэффициента диффузии (б)

Альтернативой обесцвечиванию одиночной области (полосы, прямоугольника) является периодическая структура – решётка. Решение уравнения диффузии с простейшими периодическими – синусоидальными – начальными условиями представляет собой также синусоиду с экспоненциально уменьшающейся амплитудой: $A:\ \exp\left(-4\pi^2 Dt/l^2\right)$, где l – период синусоиды. Это даёт возможность определить коэффициент диффузии по скорости релаксации решётки (рис. 3), как это делается в голографической релаксационной спектроскопии (релаксометрии) и FRAP с периодическими структурами, в том числе голографическом.

В нашем случае наблюдалась биэкспоненциальная зависимость амплитуды от времени, что означает необходимость привлечения двух коэффициентов диффузии для описания трансформации профиля и является следствием пространственной неоднородности аморфного полимера в наноразмерных масштабах.



а б

Рис. 3. Профиль интенсивности люминесценции для периодической структуры с периодом 20 мкм в образце с 40% ДБФ (а) и зависимость $A(t)$ для расчета коэффициента диффузии (б). Линии – результаты аппроксимации периодической (а) и биэкспоненциальной (б) функциями

Полученные результаты по диффузии УТ в пленках из ПБМА с различной концентрацией ДБФ были сопоставлены (рис. 4) с известными результатами исследования диффузии фотохромного красителя в подобных средах [5].

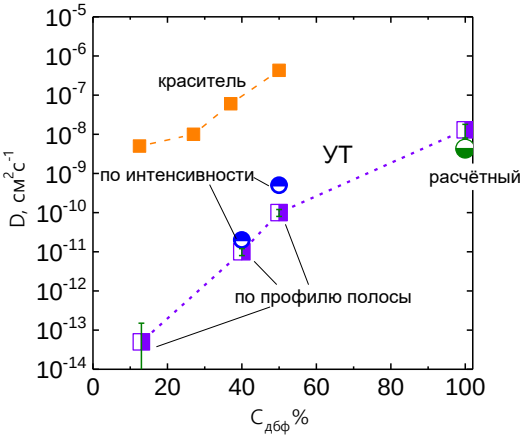


Рис. 4. Зависимости коэффициента диффузии углеродных точек (УТ) в композиции ПБМА+ДБФ, измеренного методом FRAP в традиционном варианте (по восстановлению интенсивности) и по динамике профиля интенсивности люминесценции, от концентрации ДБФ, в сравнении с подобной зависимостью для молекул фотохромного красителя ТФ [5].

Видно, что коэффициент диффузии как красителя, так и УТ заметно растёт с увеличением концентрации пластификатора. Значения коэффициента диффузии УТ, определённые по скорости уширения профиля интенсивности люминесценции, близки к значениям, полученным по стандартному варианту FRAP, основанному на отслеживании интенсивности люминесценции в экспонированной области и требующему также учёта воздействия сканирующего лазерного излучения на неэкспонированные области. Измеренное значение коэффициента диффузии УТ в чистом ДБФ несколько превосходит значение, рассчитанное по формуле Стокса-Эйнштейна с учётом известных значений вязкости ДБФ и радиуса УТ 25 нм, что может быть связано с влиянием остатков толуола, из раствора в котором УТ вводились в ДБФ.

Отношение коэффициентов диффузии УТ и молекул красителя значительно превосходит отношение их линейных размеров (50-100, с учётом неопределённости «диаметра» молекулы), обратную пропорциональность которому предусматривает соотношение Стокса-Эйнштейна (2). Это кажущееся нарушение известной закономерности может быть объяснено на основе представления о зависимости эффективной микровязкости от соотношения размера диффундирующего объекта и масштаба «зернистости» среды, в которой он диффундирует. Эта зависимость отсутствует в случае диффузии в однородной среде, то есть среде, состоящей из элементов, значительно меньших, чем диффундирующая частица. Именно так обстоит дело при диффузии УТ диаметром в десятки нанометров в полимере, кинетические единицы которого состоят из нескольких мономерных звеньев и имеют размеры, не превосходящие нескольких нанометров. При этом измеренный коэффициент диффузии УТ в ДБФ близок к значению, рассчитанному по соотношению (2). Молекулы красителя близки по размеру к мономерным звеньям, и для их диффузии микровязкость пластифицированного полимера примерно в 60 раз меньше, чем для диффузии УТ.

Заключение

В ходе проведения экспериментов была реализована методика измерения коэффициента диффузии, основанная на отслеживании динамики пространственного распределения интенсивности люминесценции с помощью лазерного сканирующего микроскопа; кроме того, впервые для исследования диффузии использовано пространственно периодическое распределение интенсивности люминесценции, записанное лазерным сканирующим микроскопом. Что позволило сделать следующие выводы:

- Впервые использованные в экспериментах FRAP углеродные точки можно использовать в качестве диффузионных нанозондов: они люминесцируют в видимом диапазоне, обладают достаточной для проведения фотообесцвечивания светочувствительностью, будучи наноразмерными, всё же достаточно велики по сравнению с масштабом «зернистости» полимерной среды; измеренный коэффициент их диффузии в растворе ДБФ близок к рассчитанному;
- введение пластификатора в полимер на порядки ускоряет диффузию зонда;
- микровязкость пластифицированного полимера, проявляющаяся в диффузии УТ, почти на два порядка превышает микровязкость для диффузии молекул тиоиндигоидного красителя, а для чистого пластификатора близка к известному «макроскопическому» значению, что, наряду с близкой к сферической формой УТ, делает их удобными нанозондами для диффузионных исследований аморфных материалов;
- диффузия зонда в полимере в ряде случаев не описывается одним коэффициентом диффузии – проявление неоднородности среды. так как акриловые полимеры представляют собой скопление клубков.

Литература

1. Crank J. The mathematics of diffusion. – London: Clarendon press, 1975. 421 p.
2. Xiong R., Deschout H., Demeester J. Rectangle FRAP for measuring diffusion with a laser scanning microscope // Methods Molecular Biology. 2014. V. 1076. P. 433–441.
3. Deschout H., Hagman J., Fransson S. Straightforward FRAP for quantitative diffusion measurements with a laser scanning microscope // Optics Express. 2010. V.18. P. 22886.
4. Seiffert S., Oppermann W. Systematic evaluation of FRAP experiments performed in a confocal laser scanning microscope // Journal of Microscopy. 2005. V. 220. P. 20–30.
5. Мостославский М.А., Горбас Л.Ф., Кисилица П.П. Влияние пластификации на диффузию фотохромных тиониндигоидных красителей в полимере // Высокомолекулярные соединения. 1984. Т. 26, № 11. С.817–819.

Халиманчик Александр Олегович
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
студент группы №W3407,
направление подготовки: 14.03.01 – Ядерная энергетика и теплофизика,
e-mail: apfelbaum11111@mail.ru
Зайцев Андрей Викторович
Год рождения: 1954
Университет ИТМО,
факультет низкотемпературной энергетики,
к.т.н., доцент,
e-mail: zai_@inbox.ru

УДК 62-97/-98

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

А.О. Халиманчик

Научный руководитель – к.т.н., доцент **А.В. Зайцев**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках конкурса на лучшую научно–исследовательскую квалификационную работу среди выпускников Университета ИТМО.

Аннотация
В работе рассмотрены различные уравнения состояния для реальных газов. Особое внимание было обращено на определение теплофизических свойств многокомпонентных смесей при помощи программы REFPROP. Продемонстрирован процесс создания многокомпонентных газовых моделей. Также показана разница в составах жидкой и газообразной фаз, находящихся в термодинамическом равновесии.
Ключевые слова
Уравнения состояния, природный газ, REFPROP, многокомпонентные смеси, теплофизические свойства.

Природный газ в настоящее время – это стратегический продукт, доля которого на мировом рынке энергоресурсов из года в год увеличивается. Это связано с одной стороны с тем, что запасы природного газа выше, чем запасы нефти или угля. С другой стороны, он является наиболее экологически чистым источником энергии среди углеводородов. Однако его состав, во-первых, зависит от месторождения, и во-вторых, изменяется в технологических процессах, совершаемых над природным газом. В связи с этим появляется задача по определению теплофизических свойств природного газа различного состава.

Природный газ обладает свойствами реальных газов (в отличии от идеальных), поэтому используются соответствующие уравнения состояния. Существует два подхода к расчету уравнений состояния.

К первой группе относятся кубические уравнения. Прежде всего, это уравнение Ван-дер-Ваальса (1), где были учтены размеры молекул и силы их взаимодействия. Но, данное уравнение является не точным, поэтому требуется модификация [1].

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT. \quad (1)$$

Первой такой модификацией является уравнение Редлиха-Квонга (2). В нем был изменен расчет коэффициентов, также был изменен вид уравнения. Необходимо сказать, что при создании уравнения ученые не основывались на каких-либо теоретических знаниях, и поэтому оно является удачной аппроксимацией.

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{T^{0.5}v(v+b)}. \quad (2)$$

Однако, уравнение Редлиха-Квонга, несмотря на то, что увеличило точность расчетов на порядок в парообразной фазе, для жидкости и процессов испарения/конденсации, дает достаточно плохие результаты.

Чтобы исправить этот недостаток, ученый Соаве занялся улучшением уравнения Редлиха-Квонга. Снова был изменен процесс расчета коэффициентов, введен ацентрический фактор. Благодаря этому появилось уравнение Соаве-Редлиха-Квонга (3), и точность расчетов в проблемных областях была улучшена.

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)}. \quad (3)$$

В 80-х годах также было разработано уравнение Пенга-Робинсона (4), которое создавалось непосредственно для расчета процессов конденсации/испарения.

$$p = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v(v+b)+b(v-b)}. \quad (4)$$

Было разработано большое количество уравнений состояния, и возникла необходимость систематизации знаний. Этим занялся советский ученый А.И. Брусиловский. В своей работе он произвел расчет свойств различных веществ по разным уравнениям состояния. Ниже приведена таб. 1, где показаны отклонения расчетных значений от экспериментальных.

Таблица 1

Средние арифметические значения модулей относительных расхождений (%) расчетных и экспериментальных плотностей жидкости, пара и теплоты парообразования на линии насыщения

Вещество	Уравнение состояния		
	Редлиха-Квонга	Соаве-Редлиха-Квонга	Пенга-Робинсона
Плотность насыщенной жидкости			
Метан	11,63	6,93	6,14
н-Гексан	56,3	19,31	5
н-Октан	81,72	21,57	6,38
Бензол	44,71	18,36	7,16
Азот	10,38	8,07	7,74

продолжение таблицы

Вещество	Уравнение состояния		
	Редлиха-Квонга	Соаве-Редлиха-Квонга	Пенга-Робинсона
Плотность насыщенной жидкости			
Сероводород	20,28	13,75	5,22
В среднем	37,50	14,66	6,27
Плотность насыщенного пара			
Метан	1,2	1,05	2,23
н-Гексан	2,46	2,31	1,07
н-Октан	3,56	3,69	2,13
Бензол	7,28	4,24	6,28
Азот	0,75	0,47	1,95
Сероводород	1,85	3,49	1,25
В среднем	2,85	2,54	2,48
Теплота парообразования			
Метан	16,68	3,53	2,63
н-Гексан	33,62	1,2	1,15
н-Октан	45,61	3,14	2,77
Бензол	33,76	9,63	8,86
Толуол	30,86	6,66	6,93
Циклопентан	26,2	2,61	2,19
Циклогексан	27,87	6,21	5,82
Азот	10,75	5,55	4,68
В среднем	28,17	4,82	4,38

Видно, что уравнение Редлиха-Квонга, являясь самым старым из представленных, не справляется с расчетами теплоты парообразования и плотности насыщенной жидкости.

Если же сравнивать два более современных уравнения кубического типа: Соаве-Редлиха-Квонга и Пенга-Робинсона, стоит обратить внимание на то, что плотность насыщенного пара и теплота парообразования считаются с примерно одинаковой точностью, какие-то вещества считаются лучше по первому уравнению, другие – по второму.

Если же говорить о расчете плотности насыщенной жидкости, то наиболее близкие к реальным значениям получаются при расчетах с помощью уравнения Пенга-Робинсона. Однако, даже по нему, данные не являются точными.

Также существует и другой подход к расчету уравнений состояния – это так называемые многоконстантные уравнения. Американский физик Дж. Майер и советский физик Н.Н. Боголюбов определили, что уравнение состояния реального газа должно соответствовать виду, представленному в формуле (5). Однако коэффициенты здесь рассчитываются, исходя из экспериментальных данных, поэтому уравнения данного типа не могут описывать весь диапазон по давлениям и температурам. Одним из наиболее удачных является уравнение Старлинга-Хана (6). При этом ученые отмечают, что данное уравнение плохо считает свойства для веществ с большими плотностями [2].

$$pv = RT\left(1 - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{k}{k+1} \frac{\beta_k}{v^k}\right), \quad (5)$$

$$p = RT\rho + \left(B_0RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} + \frac{D_0}{T^3} - \frac{E_0}{T^4}\right)\rho^2 + \left(RTb - a - \frac{d}{T}\right)\rho^3 + \alpha\left(a + \frac{d}{T}\right)\rho^6 + \\ + \left(\frac{c\rho^3}{T^2}\right)(1 + \gamma\rho^2) * \exp(-\gamma\rho^2). \quad (6)$$

Сейчас ученые все чаще пользуются различными программами для получения нужных значений свойств. Одной из наиболее популярных и функциональных является программа REFPROP, разработанная Национальным институтом стандартов и технологий США.

Программа содержит большую базу данных по веществам, в том числе и по различным фреонам. Существует возможность построения диаграмм во всевозможных координатах. Еще одной особенностью является то, что программа позволяет создавать газовые модели, состоящие из нескольких компонент.

Так, в данной работе были созданы три газовые модели с различными составами, представленными в таб. 2.

Таблица 2

Состав заданных газовых смесей

Номер смеси	Концентрация метана(CH_4), %	Концентрация этана(C_2H_6), %	Концентрация пропана(C_3H_8), %
1	90	9	1
2	90	5	5
3	90	1	9

На рис. 1 представлена последовательность создания газовой модели состоящей из веществ, встречающихся в природном газе.

Далее были получены таблицы с различными термодинамическими параметрами. Так, особое внимание стоит обратить на различие в концентрациях метана между жидкой и газообразной фазой. Концентрация в жидкой фазе составляет 90 %, в то время как концентрация в газообразной фазе представлена на рис. 2.

Это связано, прежде всего, с тем, что метан обладает наименьшей температурой кипения по сравнению с другими компонентами, входящими в состав (этан, пропан). В [3] показано, что температура кипения метана равна –161,5 °С; этана – –88,6 °С; пропана – –42,1 °С.

В результате проведенного анализа следует отметить, что в однофазной газовой области в настоящее время теплофизические свойства природного газа различного состава и в разных фазовых состояниях рассчитываются достаточно точно. Однако процессы испарения/конденсации, а также расчет теплофизических свойств жидкой фазы все еще являются достаточно сложными задачами. Особенно тяжело они рассчитываются для многокомпонентных смесей, к которым относится природный газ. Также практически отсутствуют сведения об учете в расчетах изменения состава природного газа в процессе проведения различных технологических операций. В связи с этим следует подчеркнуть актуальность исследований по направлениям, описанным в данной работе.

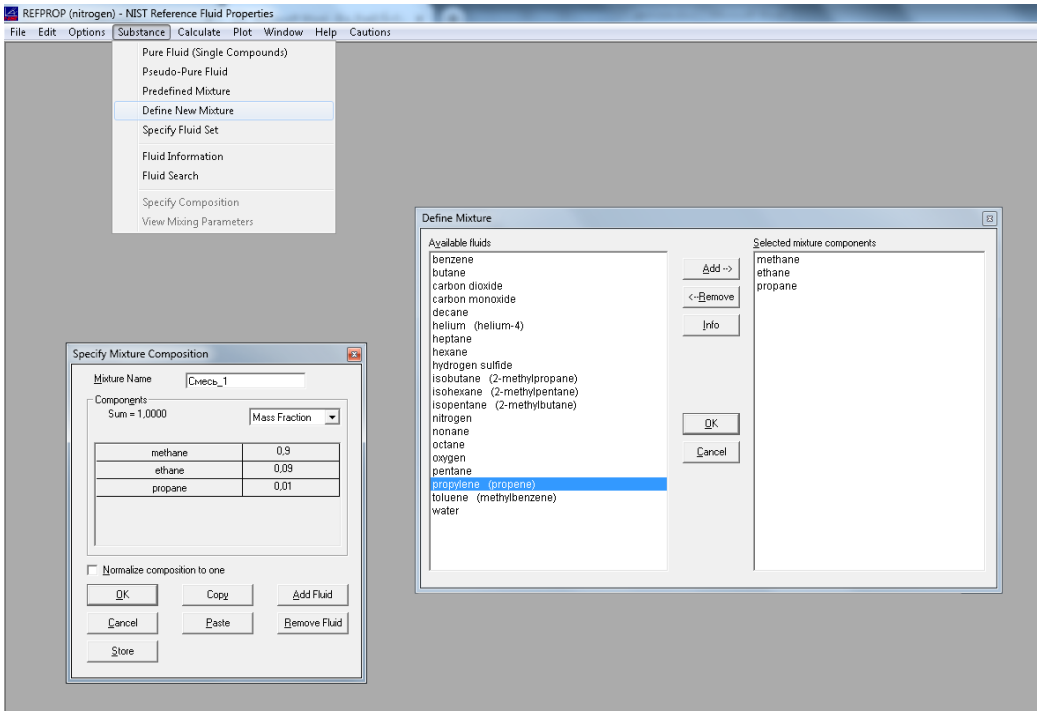


Рис. 1. Диалог создания модели газовой смеси

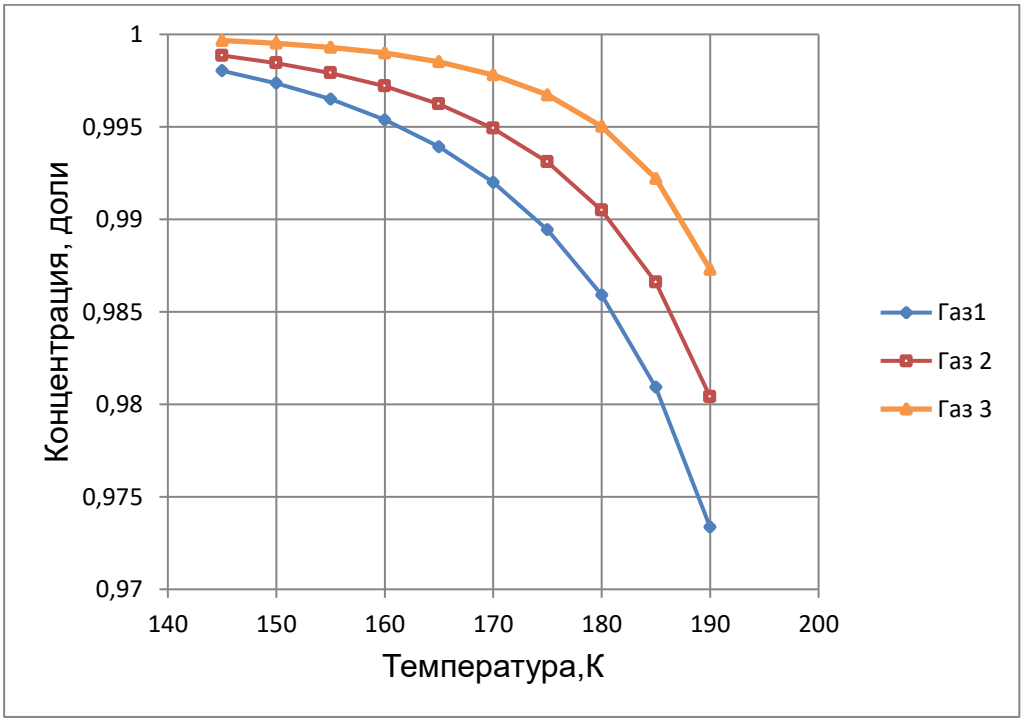


Рис. 2. Диаграмма концентрации метана в газообразной фазе
в зависимости от температурного уровня

Литература

1. Баталин О.Ю., Брусиловский А.И., Захаров М.Ю. Фазовые равновесия в системах природных углеводородов. М.: Недра, 1992. 272 с.

2. Григорьев Б.А., Брусиловский А.И., Зинченко И.А. Методы моделирования фазового поведения пластовых систем / Б.А. Григорьев, А.И. Брусиловский, И.А. Зинченко // Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2016. №4 (28). С. 13–20.
3. Чичибабин А.Е. Основные начала органической химии. Т. 1 / Под ред. П.Г. Сергеева и А.Л. Либермана. Изд. 7–е. М.: Госхимиздат, 1963. 910 с.

Шайкина Алевтина Андреевна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
студент группы № R3496,
направление подготовки: 01.03.02 – Прикладная математика и информатика,
e-mail: Ksh_sa@mail.ru
Трифанов Александр Игоревич
Год рождения: 1985
Университет ИТМО,
факультет систем управления и робототехники,
к.ф.-м.н., доцент,
e-mail: alextrifanov@gmail.com

УДК 004.896

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНКУРИРУЮЩИХ ДВУМЕРНЫХ МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ

А.А. Шайкина

Научный руководитель – к. ф.-м. н., доцент **А.И. Трифанов**

Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 619296 «Разработка методов создания и внедрения киберфизических систем».

Аннотация
Данная работа направлена на моделирование двух плоских трёхзвенных и обладающих динамическими свойствами манипуляторов, функционирующих в общей рабочей плоскости. Задача каждого из манипуляторов - достижение своей цели, генерируемой случайным образом, без столкновения с конкурентом и без выхода за границы. Основной целью работы является моделирование пары таких манипуляторов без использования общего конфигурационного пространства размерности 6 и без применения блокировки рабочей области.
Ключевые слова
Математическое моделирование, манипулятор, рабочее пространство, конфигурационное пространство, взаимодействие, планирование движения, прямая кинематика, обратная кинематика, Java.

В настоящий момент взаимодействие нескольких манипуляторов в общей рабочей области может быть реализовано использованием общего конфигурационного пространства, обеспечивающего достаточную размерность для предпросчёта условий их взаимного пересечения, или блокировкой общей области для всех манипуляторов кроме одного, уже работающего в ней. Такие методы имеют ряд недостатков, таких как: высокая размерность конфигурационного пространства для первого способа, низкая эффективность совместной работы для второго. Тем не менее на современном производстве, например, автомобилей, мебели, запчастей возникает необходимость

совместного взаимодействия нескольких манипуляторов, следовательно, поставленная задача крайне актуальна. Главное требование работоспособности такой системы – возможность робота перемещаться от своего начального положения к цели, избегая вероятные столкновения с предметами рабочего пространства и другими роботами. В данной работе описаны поставленные задачи для моделирования системы взаимодействующих манипуляторов и использованные методы их решения, а также представлены: алгоритм планирования движения манипулятора с учётом его динамических характеристик и алгоритм взаимодействия двух манипуляторов при использовании трёхмерного конфигурационного пространства без блокировки общей рабочей области.

Целью данного научного проекта является моделирование двух обладающих динамическими свойствами плоских манипуляторов, функционирующих в общей рабочей области, без использования общего конфигурационного пространства размерности 6, так как это неэффективно по затратам времени и памяти.

На плоскости стороной a = b = 1м расположены два плоских робота-манипулятора с тремя сочленениями напротив друг друга таким образом, что каждый робот может попасть в любую точку наблюдаемой плоскости, то есть длина выпрямленного робота равна расстоянию до самой удалённой точки и длина каждого звена равна d = (√5*a)/6 ≈ 0.3727. Каждый из роботов распознаёт свой знак – точку соответствующего цвета. В начальный момент времени манипуляторы имеют углы $\frac{\pi}{3}, \frac{2*\pi}{3}, -\frac{2*\pi}{3}$ от начала закрепления робота. На плоскости загораются целевые точки, которые генерируются случайным образом. Манипуляторы должны просчитать путь к ним с учётом второго манипулятора и границ области, и своими конечными точкам достигнуть цели. В тот момент, когда манипулятор принимает необходимое положение – его цель появляется в другом месте. Если цель недостижима, манипулятор пропускает ход, его целевая точка меняется, а другой манипулятор начинает движение.

Во время работы манипулятора решается несколько задач: задачи прямой и обратной кинематики, задача планирования движения (motion planning). Результатом решения задачи прямой кинематики является вычисление координат энд-эффектора манипулятора по его заданным углам между звеньями и известной кинематической схеме. Соответственно решение задачи обратной кинематики представляет собой углы, которые вычисляются по кинематической схеме манипулятора и координатам расположения энд-эффектора.

Для решения задачи прямой кинематики могут использоваться следующие представления манипулятора: представление Денавита – Хартенберга, представление, опирающееся на произведение экспонент, и явное тригонометрическое представление [1]. Последнее основывается на базовой тригонометрии и может быть применено к простым манипуляторам, однако для более сложных механизмов и систем использование тригонометрического представления усложняет анализ.

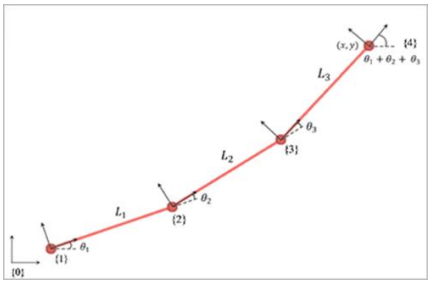


Рис. 1. Системы координат сочленений манипулятора

В данной работе рассматриваются роботы с шарнирными соединениями. Для такой системы возможно тригонометрическое представление манипулятора. При этом оно является менее ресурсозатратным для вычислений. Таким образом, система уравнений, описывающая манипулятор, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} x = L_1 \cos\theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ y = L_1 \sin\theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{cases},$$

где x, y – координаты энд-эффектора, L_1, L_2, L_3 – длины звеньев манипулятора, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – углы сочленений – изображено на рис. 1.

В отличие от задачи прямой кинематики, задача обратной кинематики может иметь несколько решений или не иметь решений вовсе. Решение задачи может быть аналитическим, если количество решений конечно. Однако в случае данной задачи, когда участвуют трёхзвенные манипуляторы, число решений бесконечно, и возможно только численное решение.

Задача планирования движения является ключевой задачей робототехники и заключается в поиске оптимального пути без столкновений с препятствиями [2, 3]. Существует несколько методов решения задачи планирования движения: полные, сеточные и выборочные методы, потенциальные поля, нелинейная оптимизация. Для трёхмерного конфигурационного пространства, используемого в рассматриваемой задаче для планирования движения, подходит сеточный поиск, так как он несложен в реализации и может возвращать оптимальные значения при невысокой размерности пространства. В программе с помощью алгоритма Дейкстры на графе, составленном из точек разбиения конфигурационного пространства, осуществляется поиск кратчайшего пути.

Для учёта динамических характеристик манипулятора используется следующая модификация алгоритма: пусть функция веса учитывает не только дистанцию, но и то, что путь лежит на прямой (т.е., если следующая точка пространства лежит на прямой с предыдущей, то это добавляет ей вес) – описание представлено на рис. 2. Такая модификация позволяет получить траекторию с большими прямолинейными участками, где прямолинейный участок, в случае моей задачи, – изменение только одного угла. Это позволяет достигать большей скорости при движении манипулятора по заданной траектории, которая гарантированно обходит препятствия и является близкой к оптимальной с точки зрения суммы изменения трёх углов.

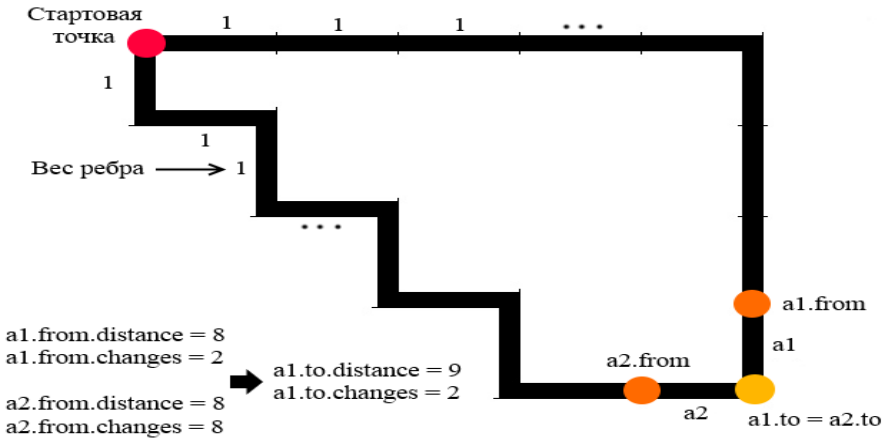
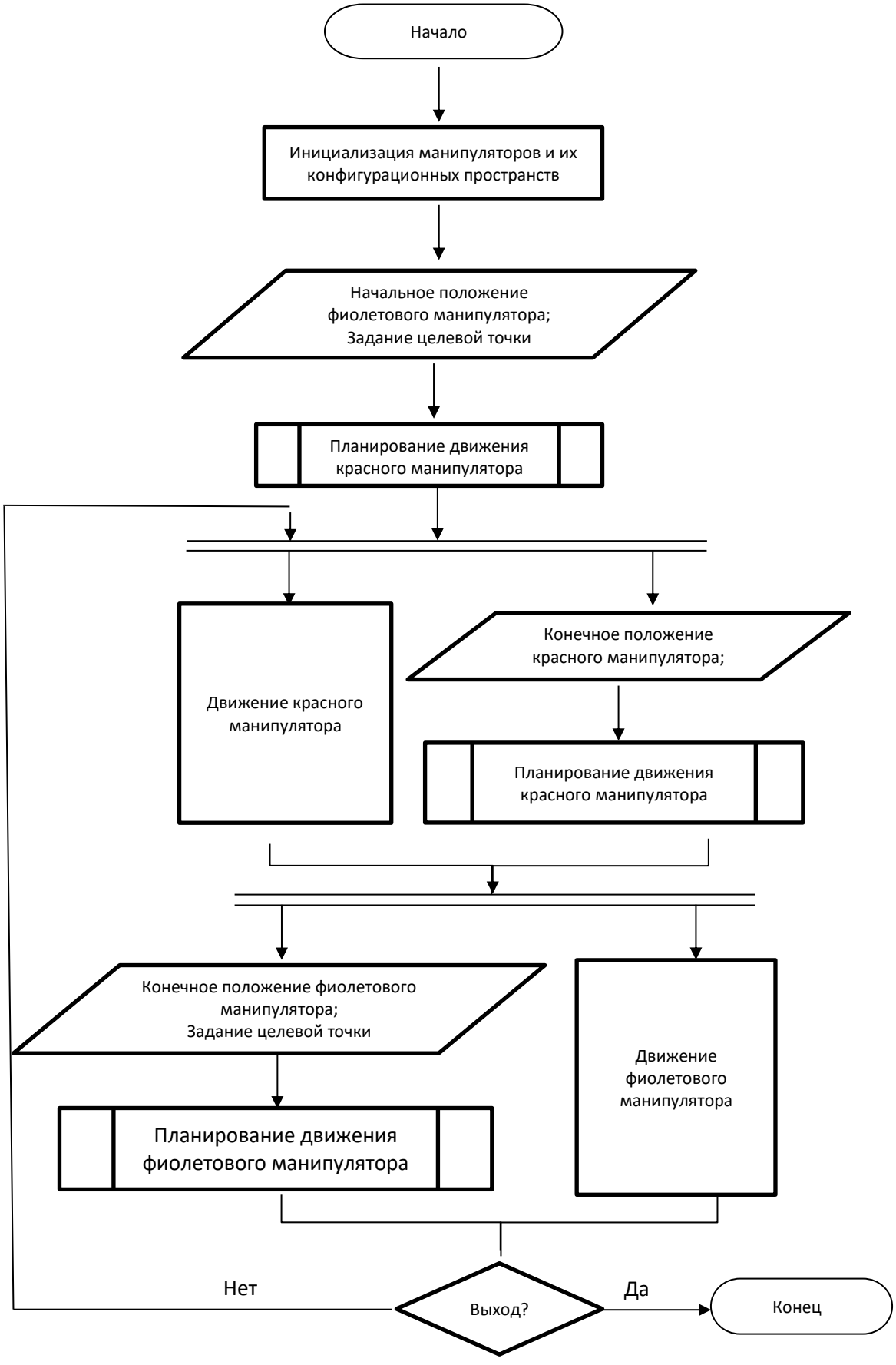


Рис. 2. Сравнение двух рёбер для алгоритма Дейкстры

Блок-схема алгоритма совместного взаимодействия двух манипуляторов



Для решения задачи совместного взаимодействия нескольких манипуляторов распространёнными методами являются:

– использование общего конфигурационного пространства системы манипуляторов или

– блокировка общей рабочей области: в то время, когда один из манипуляторов работает в ней, остальные не могут выполнять никаких действий над объектами в общей рабочей зоне.

Данные методы непродуктивны, а второй метод и невозможен в описанной задаче. Поэтому в данной работе используется последовательное поочерёдное выполнение задач роботов: пока один из роботов выполняет движение к целевой точке, второй в это время просчитывает свой путь с учётом конечного положения робота, совершающего движение, по выполнении второй передаёт первому просчитанный путь, и они меняются ролями. При этом просчёт пути каждого из них осуществляется в своём конфигурационном пространстве размерности три. Полное описание алгоритма представлено на блок-схеме.

Компьютерная модель написана на языке Java, с использованием фреймворка LibGDX для визуализации движения манипуляторов к их целевым точкам [4, 5]. В реализации модели конфигурационное пространство разбито сеткой, задающей граф, по которому выполняется поиск пути в задаче планирования движения для каждого манипулятора в отдельности. Алгоритм взаимодействия манипуляторов построен на базе модификации алгоритма Дейкстры, он учитывает динамические характеристики манипуляторов и препятствия: границы рабочей области, другой манипулятор, свои звенья.

Конфигурационное пространство и сам граф, содержащий разрешённые конфигурации манипулятора, задаются при его инициализации. Это означает, что конфигурации, в которых происходит выход за границы рабочего пространства или самопересечение, исключаются на этом этапе. На рис. 3 продемонстрировано приложение, в котором визуализировано движение манипуляторов. В данном случае движение фиолетового манипуляторов ещё продолжается, при этом красный манипулятор достиг своей точки, и ожидает следующую целевую точку.

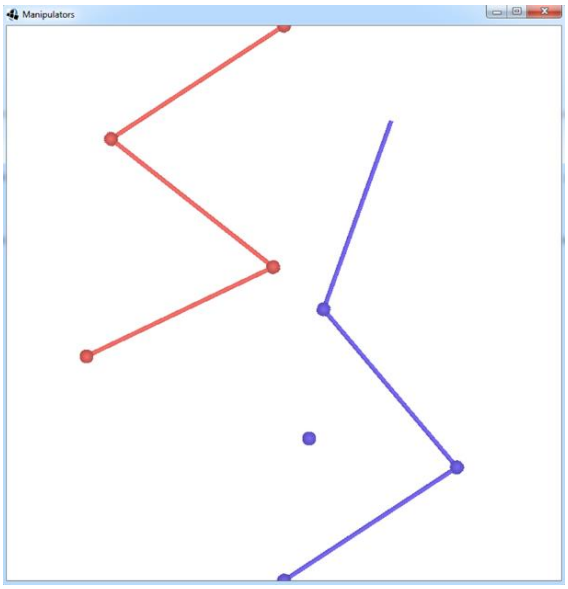


Рис. 3. Экран приложения – один из манипуляторов уже достиг своей цели, а другой находится в процессе движения

В результате работы:

– построена математическая модель системы двух взаимодействующих манипуляторов, избегающих коллизий во время движения и обладающих динамическими характеристиками;

– предложены алгоритмы: планирования движения манипулятора с учётом его динамических характеристик, управления парой манипуляторов в общей рабочей области;

– написана компьютерная программа, реализующая данную модель и алгоритмы планирования движения и управления, а также визуализирующая совместную работу манипуляторов.

Литература

1. Lynch K., Park F. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control. Cambridge University Press. 2017. 624 p.
2. Afaghani A.Y., Aiyama Y. Advanced-collision-map-based on-line collision and deadlock avoidance between two robot manipulators with PTP commands // Taipei. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE). 2014. P. 1244–1251.
3. Kuffner J.J., LaValle S. M. RRT-connect: An efficient approach to single query path planning // San Francisco, CA, USA, Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings. 2000. P. 995–1001.
4. Latombe J.-C. Robot Motion Planning. Norwell, MA, Kluwer Academic Publishers, 1991. 651 p.
5. Шилдт Г. Java. Полное руководство. 10-е издание. Диалектика. 2018. 1488 с.

Шахмаметьева Альфия Рашидовна
Год рождения: 1997
Университет ИТМО,
Факультет информационных технологий и программирования,
студент группы № М3410,
направление подготовки: 38.03.05 – Бизнес-информатика,
e-mail: alfia.shakhmameteva@aisec.org
Хлопотов Максим Валерьевич
Год рождения: 1980
Университет ИТМО,
факультет инфокоммуникационных технологий,
к.т.н., доцент,
e-mail: khlopotov@corp.ifmo.ru

УДК 65

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЯЗАТЕЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА НА БАЗЕ BPMS ПЛАТФОРМЫ

А.Р. Шахмаметьева

Научный руководитель – к.т.н., доцент **М.В. Хлопотов**

Университет ИТМО

В настоящее время большинство компаний находится на пути цифровой трансформации, которая преследуется ключевые сообщения:

- Быстрая поставка ценности;
- Упрощение и дебюрократизация;
- Кросс-функциональное взаимодействие;
- Гибкость и изменения (рис. 1).

Платформа по управлению бизнес-процессами (BPMS) удовлетворяет всем вышеперечисленным ключевым сообщениям. И компании, внедряющие средства управления процессами существенно результативнее и эффективнее тех компаний, которые этим не занимаются. А логически правильно выстроенные и непрерывно совершенствуемые внутренние процессы делают эти компании более успешными. Следовательно, чтобы быть конкурентоспособными, важно заниматься оптимизацией и повышением эффективности бизнес-процессов всех категорий, а не только в операционной деятельности. Все это позволяет повышать уровень зрелости и эффективность организации [1–3].

В рамках выпускной квалификационной работы был проведен анализ бизнес-процесса «Организация обязательного обучения производственного персонала». В результате анализа было обнаружено, что Владелец процесса (руководитель) осуществляет ручное управление процессом, руководитель перегружен запросами (почта, телефон, личные встречи). Аналитика по исполняемому процессу отсутствует, нет метрик оценки. Изменить процесс долго, трудоёмко, утомительно и дорого, а также отсутствует объективная оценка удовлетворенности клиента качеством результата. В то же время участники процесса находятся в постоянном ожидании поручений от

руководителя и ждут согласования задачи, имеют множество регламентов, но они не всегда соблюдаются, к тому же импровизировать не безопасно. Исполнение процесса сопровождается использованием огромного количества бумажной документации, что замедляет протекание деятельности. Задачи, выполняемые в разных системах и разных отделах, «связываются» вручную. Для конкретного исполнителя процесс не всегда прозрачен, поскольку следующий шаг в другом отделе, а влияния на него нет.

Рис. 1. Возможности систем управления процессами

Почему был выбран процесс «Организация процесса обязательного обучения производственного персонала»? Обучение персонала является крайне важной стороной деятельности компании. Обучение и развитие персонала в организации носит непрерывный характер и проводится в течение всей трудовой деятельности работника в организации.

Непрерывность обучения и развития обеспечивается путем рационального сочетания самообразования, а также профессионального обучения, проводимого в учебном центре организации, образовательных учреждениях или непосредственно в структурных подразделениях.

Обучение персонала и организационное развитие выполняет такие важные цели и задачи, как:

- Повышение конкурентоспособности продукции организации на основе распространения знаний и опыта применения современных технологий, эффективных методов организации труда, управления производством;
- Создание условий для профессионального роста, самореализации работников на основе повышения мотивации на освоение и развитие профессиональных компетенций, использования новейших программ, средств и технологий обучения;
- Систематическое совершенствование у работников знаний, навыков и умений, необходимых для эффективной и безопасной работы;
- Формирование и поддержание необходимого уровня квалификации работников с учетом требований существующего производства и перспектив его развития;
- Сохранение и рациональное использование профессионального потенциала.

К тому же на текущий момент процесс организации обучения ведется практически мануально с минимальным использованием ИТ-поддержки. Бизнес-логика процесса фрагментирована.

Целью выпускной работы является анализ и моделирование процесса «Организация обязательного обучения производственного персонала» для его

автоматизации в BPMS в рамках проекта по цифровой трансформации HR-функции (рис. 2).

В качестве BPMS платформы используется Bpm'online Studio. Bpm'online Studio – система для создания бизнес-приложений на базе смоделированных процессов. Система предназначена для компаний, которым нужна гибкая и конфигурируемая платформа создания исполняемых процессов и приложений. Система Bpm'online Studio имеет широкий функционал для решения бизнес-задач. Основой Bpm'online служит система управления бизнес-процессами в нотации BPMN 2.0. (рис. 3)

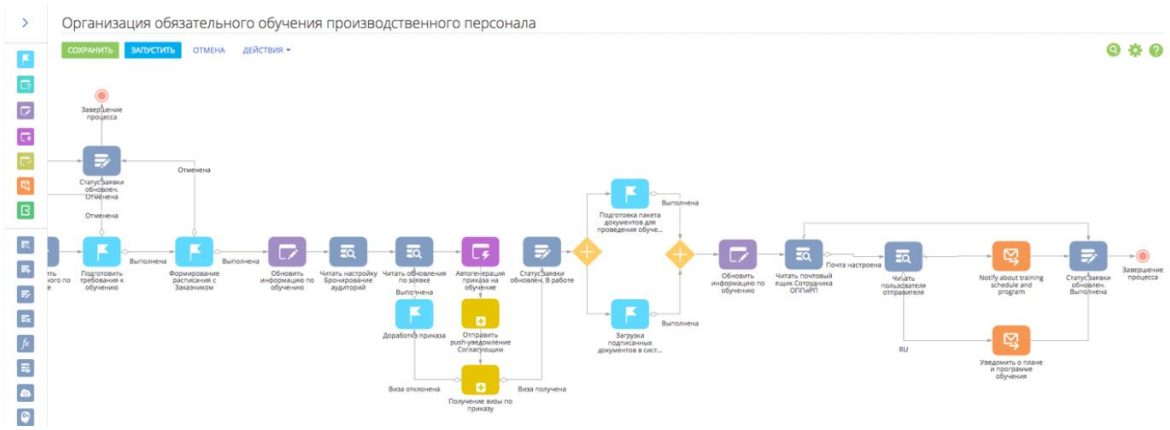


Рис. 2. Бизнес-процесс «Организация обязательного обучения производственного персонала» в Bpm'online Studio

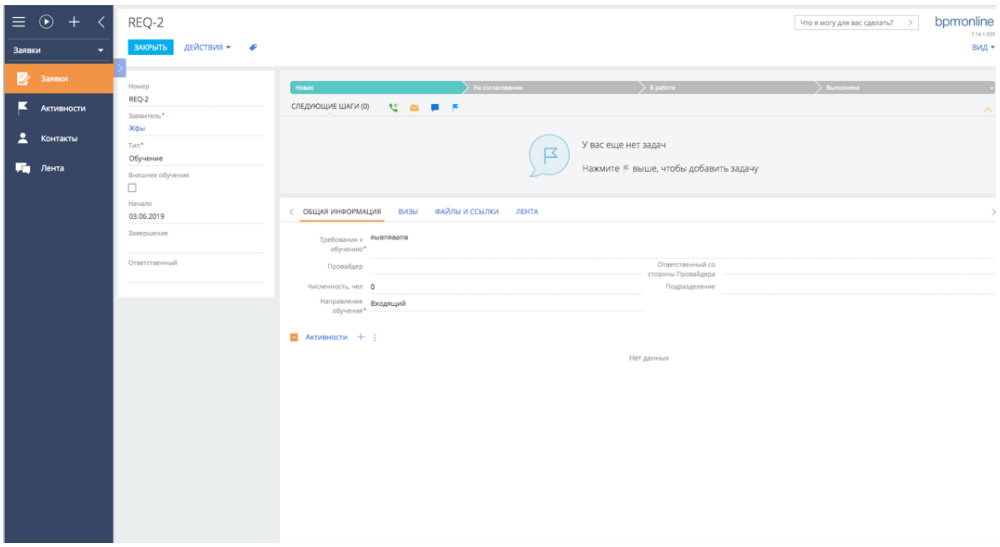


Рис. 3. Раздел «Заявка» в Bpm'online Studio

В дальнейшем процесс будет разрабатываться как бизнес-приложение на языке C# с использованием формата «портал самообслуживания». А также моделируемый процесс является пилотным процессом для старта формирования экосистемы HR-функции с использование BPMS в качестве движка бизнес-правил. Был определен путь развития управления процессами, роль и место BPMS в условиях Цифровой трансформации.

1. **Анализ и оптимизация:**

- Упрощение процедуры изменений;
- Гибкие процессы (BPMS);

- Доступность простых настроек владельцам процессов (BPMS);
- Обратная связь по процессам и онлайн коллаборация.

2. Проектирование, описание:

- Проектирование в кросс-функциональной команде;
- Проектирование исполняемых процессов, автоматизация (BPMS).

3. Исполнение:

- Гарантированное выполнение сценария за счет автоматизации сквозных процессов (BPMS);
- Инструменты обучения, интерактивные справки, геймификация и т.д.

4. Мониторинг и контроль:

- Онлайн мониторинг (BPMS);
- Развитие инструментов business-intelligence (BI, бизнес-аналитики);
- Process mining (рис. 4).

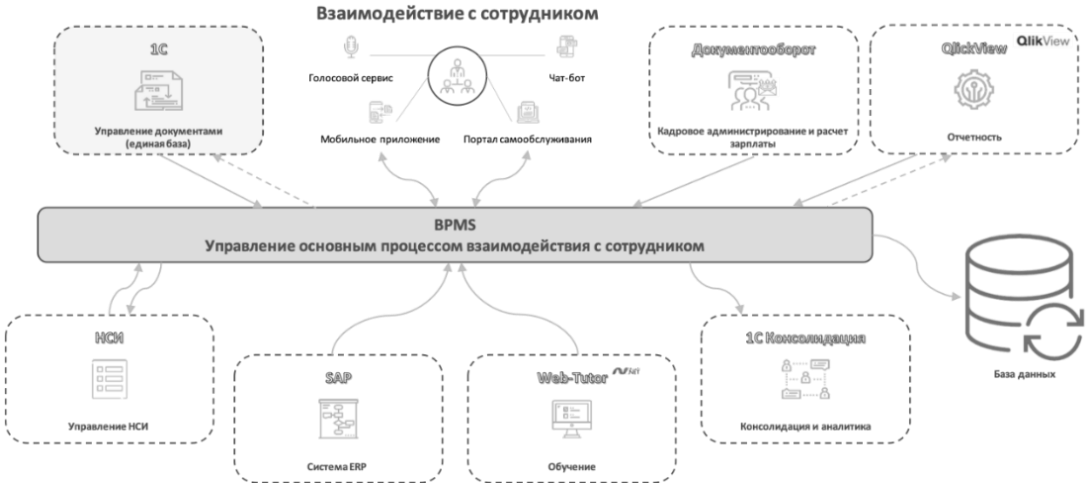


Рис. 4. Модель экосистемы HR-функции

В результате получаем единое место для управления, исполнения и взаимодействия по процессам, где:

Владелец процесса (онлайн):

- Видит все свои активные процессы;
- Анализирует ход процесса и нагрузку по исполнителям;
- Контролирует сроки и качество исполнения этапов процессов;
- Формирует отчетность как «общую», так и в разрезе по исполнителям;
- Получает онлайн оценку SLA (соглашение об уровне предоставления услуги) и KPI (ключевые показатели эффективности) по процессам;
- Имеет аналитическую информацию для инициирования изменений;
- Изменяет и совершенствует процессы.

Сотрудник / исполнитель (онлайн):

- Видит Журнал процессов организации;
- Видит, в каких процессах он участвует, как исполнитель, какие процессы запускает как клиент – все процессы из одной точки;
- Знает, как запустить процесс, что и когда ему нужно делать в процессе, с кем взаимодействовать (без детального изучения регламента);
- Видит весь ход исполнения процесса.

Литература

1. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес- процессов [Текст] / Репин В., Елиферов В. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 544 с.
2. Palmer N. iBPMS: Intelligent BPM Systems: Intelligent BPM Systems: Impact and Opportunity [Текст] / N. Palmer. M.: Future Strategies Inc. 2014. 220 с.
3. Perkin N. Abraham P. Building The Agile Business Through Digital Transformation [Текст] / Perkin N., Abraham P. M.: Kogan Page Ltd., 2017. 288 с.

Шкенев Иван Олегович
Год рождения: 1996
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
студент группы N3453,
направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность,
e–mail: shkenev.ivan@gmail.com
Канжелев Юрий Алексеевич
Год рождения: 1962
Университет ИТМО,
факультет безопасности информационных технологий,
к.т.н., доцент, с.н.с.,
e–mail: kanzhelev@gmail.com

УДК 004.056

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАБОЧЕМ МЕСТЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА

И.О. Шкенев

Научный руководитель – к.т.н., с.н.с. **Ю.А. Канжелев**

Аннотация
В настоящее время уделяется пристальное внимание вопросам защиты информации в корпоративной инфраструктуре, однако несмотря на все усилия сотрудников структурных подразделений, обеспечивающих безопасность информации и несмотря на все механизмы защиты информации, всегда остается человеческий фактор. В работе рассмотрено снижение вероятности несанкционированного доступа в корпоративной инфраструктуре к рабочему месту сотрудника путем использования метода двухфакторной аутентификации с использованием отпечатка пальца
Ключевые слова
Двухфакторная аутентификация, биометрическая аутентификация, биометрические данные, сканер отпечатков пальцев, мобильное устройство.

В наше время, когда прогресс не стоит на месте, а информационные технологии и электронные системы стремительно развиваются и являются неотъемлемой частью нашей жизни. Особую важность и значимость занимают задачи по защите информации и разграничению доступа к управлению информационных систем, потоков и к их ресурсам, а также защиты от несанкционированного доступа. Одним из таких способов является идентификация по биометрическим данным, которые делятся на статические методы: отпечаток пальца, сканирование радужной оболочки глаза, сетчатки глаза, геометрии руки, или динамические, иными словами, поведенческие: голос, почерк.

Для каждого из методов распознавания по биометрическим данным нужно специальное оборудование. Распознавание человека по клавиатурному почерку сильно зависит от состояния и здоровья человека, поэтому данный способ имеет малую эффективность идентификации пользователя. Для аутентификации человека в системе, с использованием сетчатки глаза или радужной оболочки глаза, потребуется

дорогостоящее оборудование, что является одним из решающих факторов при выборе. Рассматривая метод распознавания и идентификации личности по голосу, можно выделить то, что для данного метода понадобиться хороший микрофон. Шумы и помехи, которые могут приходить со стороны внешней, окружающей среды, способны значительно снизить эффективность данного метода распознавания.

В настоящее время уделяется пристальное внимание вопросам защиты информации в корпоративной инфраструктуре, однако несмотря на все усилия сотрудников структурных подразделений, обеспечивающих безопасность информации, всегда остается человеческий фактор. Несмотря на все механизмы защиты информации, до сих пор остается актуальной проблема компрометации системы через пароли пользователей, не соответствующие базовым требованиям. Однако вместе с тем не следует забывать, что чересчур сложные механизмы авторизации пользователей влекут за собой понижение производительности системы в целом.

На основании вышесказанного было принято решение разработать алгоритм централизованной двухфакторной аутентификации пользователей на автоматизированном рабочем месте с использованием отпечатка пальца.

Один из самых распространённых методов аутентификации пользователя в системе является распознавание по отпечатку пальца. Так как отпечаток пальца обладает неизменностью, а также своей уникальностью, то его применяют по всему миру в системах контроля доступа. Аппаратно–техническая часть для данного метода не требует крупных вложений, по сравнению с другими альтернативными вариантами.

С быстрым ростом сетевых систем и приложений, защита доступа к данным на рабочих станциях, личных персональных компьютерах и серверах, стала одним из самых главных вопросов информационной безопасности. Чаще всего идентификация и аутентификация пользователей, реализована простейшими методами, что приводит к риску проникновения злоумышленника, особенно это опасно, если это корпоративная система, в которой находится большое количество сотрудников. Таким образом, на данный момент, все ещё актуально изучение алгоритмов и методов аутентификации пользователей и дальнейшая разработка новых решений в этой сфере.

Одним из методов аутентификации пользователей является двухфакторная аутентификация на основе биометрических данных, которая повышает надежность входа в систему. Вероятность проникновения злоумышленника снижается, по сравнению с однофакторной аутентификацией.

Существует несколько различных способов аутентификации пользователей с использованием нескольких методов аутентификации. В настоящее время большинство методов аутентификации используют известные и традиционные знания, например, пароль в то время, как методы ДФА используют добавочные факторы.

Ниже будут представлены факторы двухфакторной аутентификации, которые перечислены в приблизительном порядке принятия вычислений [5]:

– фактор знания: знание пароля, PIN–кода или какой–либо другого секрета;

– фактор владения: наличие идентификационной карты, токена безопасности, смартфона или другого мобильного устройства;

– биометрический фактор: что–то, что является чем–то присущим пользователю с физической стороны. Это может быть сопоставление физических характеристик, личных атрибутов, таких как отпечаток пальца, радужка глаза. Помимо этого, к наследственным факторам может относиться распознавание лица и голоса. Так же включает в себя поведенческую биометрию, такую как динамика нажатия клавиш, походка или какие–либо речевые паттерны.

Помимо вышеперечисленных факторов, которые являются основополагающими в двухфакторной аутентификации, можно выделить ещё два фактора, которые могут быть реализованы и добавлены в уже имеющуюся систему аутентификации:

– фактор местоположения: данный фактор обусловлен местоположением, из которого делается попытка аутентификации, может быть реализован путем ограничения попыток аутентификации с определенного устройства в конкретном географическом местоположении. Отслеживание определенного местоположения может быть реализовано на основе IP адреса устройства пользователя, или с помощью GPS;

– временный фактор: данный фактор ограничивает аутентификацию пользователя путем установления определенного временного окна, в котором разрешен вход в систему, и ограничивает доступ к системе за приделами этого окна.

В алгоритме используется двухфакторная аутентификация на основе биометрии.

Биометрическая аутентификация получает большую популярность в обществе как способ обеспечить персональную идентификацию человека. Идентификация личности имеет большое значение во многих случаях, такие как увеличение числа случаев мошенничества и кражи личных данных. Индивидуальные пароли, идентификация ПИН–кода или даже устройство на основе токенов имеют недостатки, которые ограничивают их применение по всему миру. Биометрические решения способны обеспечить конфиденциальность транзакций и конфиденциальность личных данных. Необходимость в биометрических решениях может быть найдена в государственных и местных органах власти, федеральных, военных и коммерческих приложениях и предприятиях. Инфраструктуры безопасности предприятия, правительственные инфраструктуры, безопасный электронный банкинг, инвестиции и другие финансовые транзакции, розничные продажи, правоохранительная деятельность, а также медицинские и социальные услуги на данный момент получают выгоду от этих технологий [4].

Биометрические признаки, используемые для идентификации, должны обладать следующими свойствами [2]:

– универсальность: каждый человек должен обладать данной характеристикой или атрибутом. Этот атрибут должен быть универсален и редко теряться или изменяться в результате несчастного случая или болезни;

– уникальность: атрибут должен быть невоспроизводимым другими средствами. Чем менее воспроизводим атрибут, тем более вероятно, что он будет заслуживать доверия. Достоинства: характеристика не должна меняться;

– измеримость: свойства должны быть пригодны для захвата без времени ожидания и должны легко собирать данные атрибутов пассивно;

– эффективность: возможность идентификации, скорость, гибкость, потребность в ресурсах для обеспечения желаемой точности и скорости идентификации, а также факторы, возникающие в процессе идентификации и внешние факторы, влияющие на точность идентификации и скорость;

– доступность: готовность людей использовать биометрический метод в повседневной жизни;

– защищенность от подделки: отражает защищенность системы от обмана.

Изначально, когда биометрические сканеры отпечатков пальцев появились в мобильных устройствах, хранение и передача данных происходила не в зашифрованном виде в памяти устройства, а напротив, данные «лежали» в открытом виде. Например, отпечатки пальцев владельцев мобильных устройств хранились в виде фотографии во внутренней памяти телефона, что приводило к повышению риска взлома и давало злоумышленнику возможность пройти аутентификацию и

авторизоваться в системе, после чего скомпрометировать личные пользовательские данные.

После осознания производителями проблемы отсутствия защиты конфиденциальных биометрических данных, хранящихся на мобильных устройствах, начали разрабатываться механизмы представления этих данных, хранимых и обрабатываемых непосредственно на используемом устройстве. Таким решением стала аппаратная часть, обеспечивающая функции безопасности, которая может предоставить программному обеспечению привилегии и изолированную среду выполнения. Такая изоляция обеспечивается с помощью аппаратной части, что считается более надежным, чем программное обеспечение [3]. Таким образом, среда выполнения также известная как доверенная среда выполнения (TEE). Технология была названа TrustZone и предложена в 2002 году, но не получила широкого распространения вплоть до 2009 года, когда Apple выпустила iPhone 5s. В iPhone 5s Apple использовала TrustZone для защиты своего сканера отпечатков пальцев – Touch ID, который гарантирует, что даже если iOS полностью скомпрометирована, данные отпечатков пальцев пользователя все ещё будут в безопасности.

Для реализации алгоритма был взят протокол аутентификации Цербер (от англ. Kerberos). Из списка протоколов аутентификации выбор пал на данный, так как данный протокол является улучшенной версией протокола Нидхейма–Шредера, в котором есть недостатки, такие как подтверждение полученного ключа что он новый. Был рассмотрен протокол широкоротой лягушки, недостаток данного протокола в том, что генерация сеансового ключа ложится на участника A, что является небезопасно. Протокол Отвэй–Риса, в это протоколе есть один недостаток, он не содержит подтверждения ключа, тем самым подвергая опасности передаваемые данные и информацию [1].

Так как был выбран протокол Kerberos, он же Цербер, ниже, на рис.1, будет показана работа этого протокола, как он взаимодействует с участниками алгоритма аутентификации.

Пример алгоритма обмена информации на примере Алисы и Боба выражен в Формулах 1–5 [1]:

$$A \rightarrow S : A, B, \tag{1}$$

$$S \rightarrow A : \left\{ t_s, l, k_{ab}, b, \{t_s, l, k_{ab}, a\}_{k_{bs}} \right\}_{k_{as}}, \tag{2}$$

$$A \rightarrow B : \{t_s, l, k_{ab}, a\}_{k_{bs}}, \{a, t_a\}_{k_{ab}}, \tag{3}$$

$$B \rightarrow A : \{t_a + 1, F_p\}_{k_{ab}}, \tag{4}$$

$$A \rightarrow B : \{t_c + 1\}_{k_{ab}}, \tag{5}$$

где k_{as} – сеансовый ключ Алисы и сервера, k_{bs}– сеансовый ключ Боба и сервера, k_{ab} – сеансовый ключ Алисы и Боба, a, b – ip–адрес телефона и персонального компьютера, l – время жизни сертификата, t_s– временная метка сертификата, F_p – хешированная метка о пройденной, или не пройденной аутентификации на телефон, с помощью отпечатка пальца, так же включает в себя:

$$F_p = I_p + a + t_c, \tag{6}$$

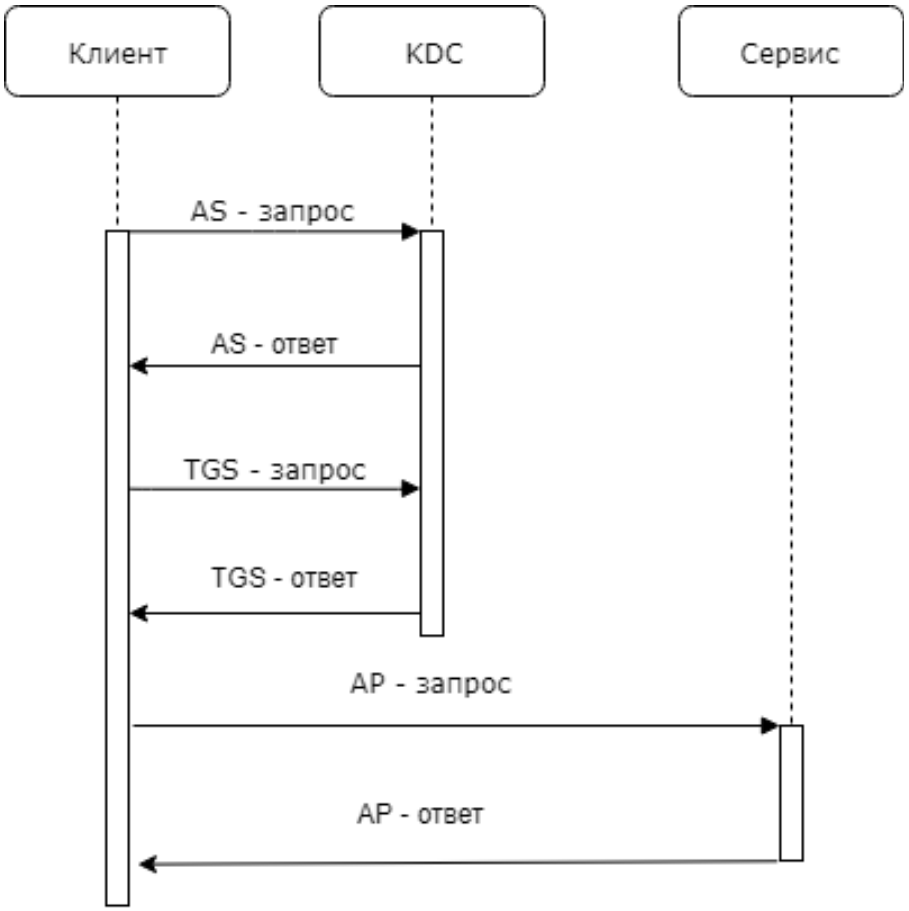


Рис. 1. Алгоритм работы протокола Цербер

На рис. 2 изображен короткий алгоритм аутентификации пользователя в системе. Как видно на рис.2, пользователя просят ввести имя пользователя и пароль от его учетной записи на персональной вычислительной машине. Если данные введены неверно, то переходят к предыдущему шагу, просят снова ввести имя пользователя и пароль. После подтверждения введенных данных идет запрос на ввод биометрических данных, в нашем случае это отпечаток пальца. Если данные введены неверно, то происходит ошибка. В случае успешного прохождения пользователь получает доступ к системе.

Ниже будет расписаны шаги аутентификации пользователя в системе, которая основана на протоколе аутентификации Цербер, который был видоизменен, добавлен 5 шаг (5) и дополнительный атрибут (6).

Первый шаг: пользователь вводит логин и пароль от учетной записи в системе что бы авторизоваться. В случае успеха переходит ко второму шагу, иначе доступ закрыт.

Второй шаг: после правильного ввода пароля, персональный компьютер отправляет запрос серверу на аутентификацию пользователя в системе по двухфакторной аутентификации.

Третий шаг: сервер смотрит, есть ли у него в базе данных такой пользователь, если есть, то отправляет рабочей станции зашифрованный сертификат общим ключом сервера и персонального компьютера, в котором находится временная метка сервера, время жизни сертификата, ключ компьютера и телефона, идентификатор телефона. Помимо этого, есть вложенное сообщение, в котором находится все тоже самое,

отличие лишь в идентификаторе, в этом сообщение он принадлежит персональному компьютеру, а также это сообщение зашифровано ключом сервера и телефона.

Рис.2. Блок–схема аутентификации пользователя в системе

Четвертый шаг: персональная станция принимает данный сертификат, расшифровывает его с помощью общего ключа с сервером, проверяет все атрибуты в сертификате, достает от туда сообщение которое сгенерировал сервер для телефона, зашифрованное их общим ключом (телефона и сервера), добавляет свой сертификат, в котором указывает свой идентификатор и свою временную метку. Когда все сообщения сформированы, персональная станция отправляет их мобильному устройству.

Пятый шаг: мобильное устройство принимает запрос с сообщением от персональной станции, расшифровывает первое сообщение и получает оттуда ключ мобильного устройства и персональной станции, после чего расшифровывает второе сообщение, в котором находится идентификатор и временная метка. После этого на мобильном устройстве пользователь сканирует свой отпечаток пальца, и если аутентификация на устройстве прошла успешно, то отправляется сообщение с предыдущей временной меткой и прибавляется единица, в знак подтверждения принятия данного сообщения, добавляется метка отпечатка пальца, в котором находится подтверждения того, что пользователь аутентифицировался, идентификатор кому отправляется сообщение и временная метка данного шага Если пользователь с пяти попыток не смог получить аутентификацию по отпечатку пальца, тогда на

мобильном устройстве устанавливается таймер на одну минуту, в течении которой нельзя аутентифицироваться.

Шестой шаг: компьютерная станция принимает данный запрос, расшифровывает его с помощью полученного ранее ключа. После чего получает подтверждения удачной аутентификации на мобильном устройстве и прибавляет единицу к полученной временной метке, в знак подтверждения того, что сообщение было получено и прочитано, а затем отправляет эту временную метку обратно мобильному устройству.

Литература

1. Смарт Н. Криптография // М.: Техносфера, 2005. 528 с.
2. Юсупов О.Р. Сравнительный анализ возможности использования технологий биометрической идентификации // Молодой ученый. 2016. 19(123). С. 118–121.
3. Li W., Xia Y., Chen H. Research on ARM TrustZone // GetMobile: Mobile Computing and Communications. 2018. 22(3). P. 17–22.
4. Yang W., Wang S., Hu J., Zheng G., Valli C. Security and Accuracy of Fingerprint–Based Biometrics: A Review // MDPI. 2019. P. 1–19.
5. two–factor authentication (2FA). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://searchsecurity.techtarget.com/definition/two–factor–authentication, своб.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Авсеенко А.А.
РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАГРЕВА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТГЦ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ И ТЕРАПИИ ЗАБОЛЕВАНИЙ……..….. 6
Бокатый И.О.
РАЗРАБОТКА СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ФОТОЭЛЕКТРОННОГО УМНОЖИТЕЛЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ……..….. 12
Зенкин А.М.
СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАДРОКОПТЕРА……..….. 16
Киреев В.Ю.
РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО МОДУЛЯ МАСШТАБИРОВАНИЯ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ OPENNEBULA…….. 21
Пономарева Е.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ФИЛАМЕНТАЦИИ В ПЛОСКИХ СТРУЯХ ВОДЫ И ЭТАНОЛА……... 28
Хмелевская Д.
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdSe/ZnS В ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ С ГРАНУЛИРОВАННЫМИ ПЛЕНКАМИ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ……..… 35

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Арынова Э.А.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СУХИХ КОКТЕЙЛЬНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ……. 42
Багно В.С.
ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ГРАДИЕНТНОГО БУСТИНГА В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОГРАММ ПО ПОБАЙТОВЫМ СИГНАТУРАМ……. 47
Бережной И.А.
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ КЛЮЧ-КАРТ……..…… 50

Вышлов Г.П.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ
ГРИБОВ РОДА ASPERGILLUS ORYZEA НА ПИТАТЕЛЬНОЙ
СРЕДЕ С МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКОЙ…… 55
Гурда М.Д.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
КИСЛОМОЛОЧНОГО НАПИТКА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА……..……. 60
Иванов А.Б.
АЛГОРИТМЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА
СЕРИЙ МЕТАГЕНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ ДЕ БРЕЙНА
ДЛЯ БИБЛИОТЕК МЕТАГЕНОМНЫХ ЧТЕНИЙ……..…….. 65
Колесников М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
КОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ……...….. 70
Мельничук Д.В.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФРУКТОВО-ОВОЩНОЙ КОМПОЗИЦИИ
С ЭКСТРАКТОМ КРАПИВЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СМУЗИ……. 76
Мельчаков Р.М.
РАЗРАБОТКА НАУЧНО-ОБОСНОВАННОЙ
РЕЦЕПТУРЫ ВЛАЖНОГО КОРМА ДЛЯ ВЗРОСЛЫХ КОШЕК
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕПАРАТА «ЗООПРОТЕИН»…….. 82
Панарина Д.Н.
ПРИМЕНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ OPENCV
ДЛЯ АНТРОПОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА…….. 91
Тюльпенева М.С.
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕЙ СТОИМОСТИ РЕМОНТА
1 ПРИВЕДЕННОГО КМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
РЕГИОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ……..…… 98
Фомичева Д.А.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТА
НА ОСНОВЕ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ С ОВОЩНЫМИ СОКАМИ……... 103

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ НА «ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ СРЕДИ БАКАЛАВРОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО»

Байкова Е.Ю.
МИКРОМАГНИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТОПОЛОГИЧЕСКИ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ СТРУКТУР……. 109
Благородная Е.В.
РАЗРАБОТКА ДЕСЕРТА ИЗ ПАХТЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ…….. 117
Бутонова С.А.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО БАТОНЧИКА
МЮСЛИ ДЛЯ ШИРОКОЙ ЦЕЛЕВОЙ АУДИТОРИИ……. 122

Ветошкина К.С.
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ
ПРАВАМИ ДОСТУПА К МЕДИЦИНСКИМ ДАННЫМ
ПРИ МЕЖОРГАНИЗАЦИОННОМ ОБМЕНЕ……... 127
Горохова Н.Н.
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГИБАНИЕМ
МОДУЛЯ ПРОТЕЗА АНТРОПОМОРФНОЙ КИСТИ…….. 132
Гресько В.Р.
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ
ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ МИКРОПЛАЗМОЙ…… 137
Добрых Ф.Г.
АНАЛИЗ МЕТОДОВ И РАЗРАБОТКА
ОПИСАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ НА НЕКРУГЛОМ ЗРАЧКЕ ДЛЯ ИМПОРТА В ZEMAX…… 143
Ермолаев А.В.
СПЕКТРОСКОПИЯ СВЕРХТОНКИХ
СЛОЕВ РАЗРЕЖЕННЫХ АТОМАРНЫХ ПАРОВ……... 148
Журба Д.В.
СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ
ЛАЗЕРНОГО ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ
АНТИКОРРОЗИОННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ
НА ПОВЕРХНОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ……... 155
Замиралов А.
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ СЕМАНТИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ТЕКСТА И ГЕНЕРАЦИЯ ЗАГОЛОВКОВ……. 161
Колодийчук П.А.
ПОГРЕШНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОСОСТАВНЫХ ОБЪЕКТОВ…… 165
Коржова А.Е.
БИОТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОД……... 170
Кузнецова А.А.
РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО РАЗВИТИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МАРКИРОВКИ ПРОДУКЦИИ
КАК КРИТЕРИЯ ВЫБОРА ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЯ…… 173
Кулеш А.С.
АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО СЛЕЖЕНИЯ
ВЫХОДА ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА ЗА НЕИЗВЕСТНЫМ
МУЛЬТИСИНУСОИДАЛЬНЫМ СИГНАЛОМ…… 179
Кшенин А.Д.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДВИЖУЩИХСЯ
ОБЪЕКТОВ С ПЕРЕСЕКАЮЩИМИСЯ ТРАЕКТОРИЯМИ……... 188
Малышева М.О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IT-ТЕХНОЛОГИЙ
В СФЕРЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ…… 194
Муратова У.Д.
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГОЛОСОВЫХ АССИСТЕНТОВ……..... 199
Нигматулин Ф.О.
РЕЗОНАНСНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
АТОМОВ С ПЛАЗМОННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ…… 206

Никитин И.А.
ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДАТЧИКОВ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА……. 213
Никитин М.М.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ
СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК
ОБЪЕКТА МЕТОДОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСТРА……... 217
Одинцов А.А.
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ
ЧАСОВ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ……... 224
Омельченко Д.Е.
УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ……. 232
Омелянчук О.Н.
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО
НАПИТКА НА ОСНОВЕ ЗЕЛЕНОГО ЧАЯ……... 235
Пименов Ф.Д.
СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ
МЕЖДУ КАРДИО- И ДЫХАТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ……. 241
Репин В.А.
РАЗРАБОТКА СЛЕДЯЩЕЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ
СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНЫМ УГЛОВЫМ ПОЛЕМ…… 244
Садреев Э.Р.
РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБНАРУЖЕНИЯ
АНОМАЛИЙ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ
СЕТЯХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ…… 247
Сойту Е.А.
РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ
СВОЙСТВ СУХИХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ДЕСЕРТОВ
НА МОЛОЧНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ ДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ……... 253
Соловьева А.Ю.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ
УГЛЕРОДНЫХ ТОЧЕК ТЕХНИКОЙ FRAP…….. 260
Халиманчик А.О.
ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПРИРОДНОГО
ГАЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ……. 266
Шайкина А.А.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ДИНАМИКИ КОНКУРИРУЮЩИХ ДВУМЕРНЫХ
МНОГОЗВЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ…….. 272
Шахмаметьева А.Р.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБЯЗАТЕЛЬНОГО
ОБУЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА
НА БАЗЕ BPMS ПЛАТФОРМЫ…….. 278
Шкенев И.О.
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ДВУХФАКТОРНОЙ
АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ
НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РАБОЧЕМ МЕСТЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА…… 283

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ среди бакалавров и специалистов Университета ИТМО

Сборник трудов

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Дизайн обложки Н.А. Потехина
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Верстка Я.Я. Платунова
Подписано к печати 16.12.2019
Заказ № 4354
Тираж 100 экз.