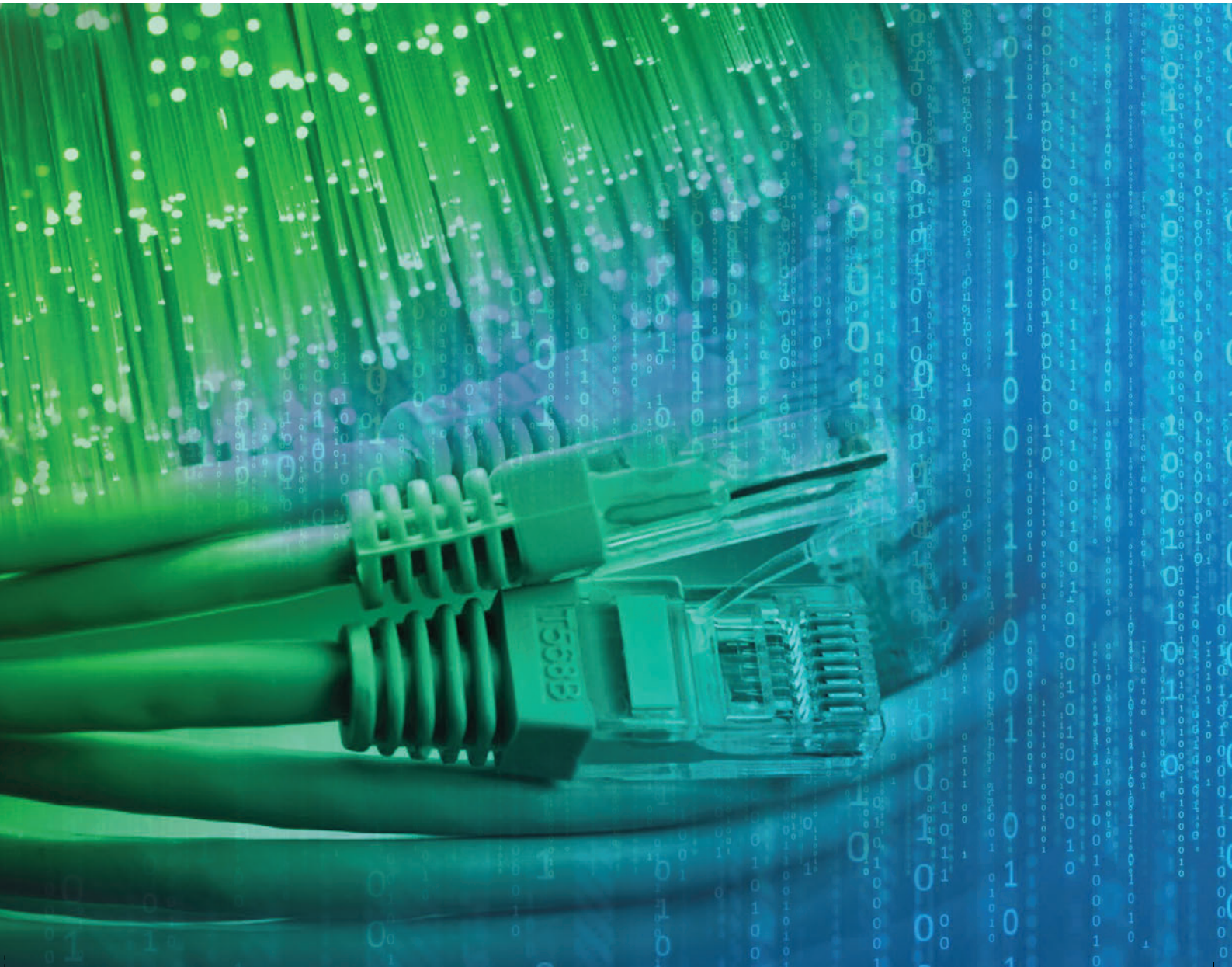
УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

МАГИСТРОВ

2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров Университета ИТМО

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров Университета ИТМО / Главный редактор проректор по НР д.т.н., профессор В.О. Никифоров. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 455 с.

Сборник представляет итоги конкурса на лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу среди магистров Университета ИТМО и издается 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.

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

© Авторы, 2016

ВВЕДЕНИЕ

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

Конкурсы оценивают умение студента проводить самостоятельную творческую исследовательскую работу, показывают профессиональную зрелость выпускника, его способность решать реальные научно-технические задачи. Конкурсы проводятся в целях совершенствования системы подготовки кадров высшей квалификации, в рамках реализации программы развития ВУЗа как Национального исследовательского университета на 2009–2018 годы.

Первый этап Конкурса проводился на выпускающих кафедрах университета. По итогам предзащит ВКР магистров кафедрами было принято решение о выдвижении лучших работ в Государственную экзаменационную комиссию (ГЭК). По итогам работы ГАК были окончательно определены 112 лучших НИВКР на 43 кафедрах.

Второй этап Конкурса проводился на факультетах университета. По итогам представленных кафедрами работ, деканами факультетов был проведен анализ ВКР магистров, и определены победители Конкурса на факультетах. В итоге по факультетам состоялось 12 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 определены «Лучшие НИВКР» проведенные в университете за 2016 год.

Статистические данные участия магистров в Конкурсе

Этап	Название конкурса	Приняло участие	Победители
I	Конкурсы кафедр	112	97
II	Конкурсы факультетов	97	57
III	Конкурс университета	57	30

По итогам Конкурса среди магистров было определено 30 победителя на «Лучшую НИВКР университета» и 27 лауреатов, которые стали победителями Конкурсов, проведенных на факультетах.

Общее количество магистров, участвовавших в конкурсах на «Лучшую научно-исследовательскую выпускную квалификационную работу» составило 112 человека.

Организационную работу по Конкурсам проводили следующие структурные подразделения Университета ИТМО: Департамент научных исследований и разработок, Управление магистратуры, отдел НИРС.

Основные критерии оценки работ

При оценке НИВКР учитывались следующие критерии:
- соответствие тематики работы основным научным направлениям университета;
- новизна предложенных в работе решений;
- оригинальность предложенных решений;
- наличие актов об использовании результатов работы;
- наличие выигранных грантов, стипендий, в том числе стипендий Президента Российской Федерации;
- наличие публикаций по результатам работы в научных журналах и изданиях (как в российских, так и в зарубежных);
- наличие документов защиты объектов интеллектуальной собственности, созданных в процессе выполнения ВКР;
- наличие заявок на объекты интеллектуальной собственности;
- наличие наград, полученных на всероссийских, региональных и городских конкурсах;
- наличие докладов по тематике ВКР на научных конференциях и семинарах;
- наличие документов о представлении результатов ВКР на различного уровня конкурсах и выставках;
- глубина раскрытия темы, логичность изложения;
- качество оформления (в том числе соблюдение ГОСТов);
- степень самостоятельности выполненной работы.

Общие требования к материалам, представляемым на НТС

Для окончательного подведения итогов Конкурса на НТС представлялись следующие документы:
- анкета участника Конкурса;
- отзыв научного руководителя;
- рекомендация от кафедры (служебная записка, подписанная зав. кафедрой);
- рекомендация ГАК;
- техническое задание ВКР;
- краткое изложение ВКР в форме статьи до 4 страниц.

К работе прилагались акты о внедрении результатов научной работы, копии патентов, научных статей и тезисов.

Итоги Конкурса были подведены на заседании НТС университета и оформлены приказом ректора Университета ИТМО № 745-од от 25.08.2016 г.

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА УНИВЕРСИТЕТА НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ

Абдула Полина Андреевна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4201
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: a-poly@ya.ru

УДК 681.7.02

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОБЛЕГЧАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗЕРКАЛ

П.А. Абдула
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Д. Толстоба

Благодаря развитию современных технологий в области космического приборостроения ученые могут делать невероятные открытия. Чтобы улучшить качество изображения, получаемого с космических телескопов, необходимо увеличивать диаметр главного зеркала. Вследствие этого вес зеркала увеличивается и его необходимо облегчать, но при этом деформации рабочей поверхности будут возрастать. Решение этой проблемы является очень важной на сегодняшний день задачей. Размещение обсерваторий в космосе дает возможность ученым регистрировать электромагнитное излучение, в которых земная атмосфера непрозрачна. А за счет отсутствия атмосферы, разрешающая способность телескопа в разы больше [1–3].

Решением проблемы массы зеркала является создание жестких пассивных зеркал, не требующих управления формой своей поверхности. Речь идет о создании облегченных зеркал. Помимо прямой задачи уменьшения массы зеркала для отправки его на орбиту, облегчение позволяет создавать цельные зеркала большего диаметра, так как уменьшение веса влечет за собой и уменьшение деформаций зеркала.

Задача работы состояла в теоретическом исследовании вариантов конструкций зеркал с целью найти оптимальное соотношение между параметрами зеркала, массой и деформациями рабочей поверхности.

Для достижения поставленной задачи в работе необходимо:

– исследовать зависимость влияния облегчающей конструкции на деформации и массу зеркал;
– перебрать возможные конструкции, традиционные и нетрадиционные материалы для изготовления крупногабаритных зеркал;
– изучить влияние опор зеркала на деформации;
– получить при этом деформации рабочей поверхности не более 0,1 мкм, и максимально облегчить зеркало.

В настоящее время известны и применяются следующие модели облегчения:

1. при облегчении отверстиями в подложке зеркала выполняются цилиндрические несквозные отверстия;
2. при облегчении ребрами на тыльной стороне зеркала благодаря пересечению ребер образуются карманы (ячейки):
   – простая реберная конструкция (трапецеидальные карманы);
   – ребра с треугольными ячейками;
   – треугольная структура;
   – сотовая структура;

– прямоугольная структура;

3. сендвич. Он схож с реберной конструкцией, но карманы в данном случае закрываются с тыльной стороны листом материала;
4. зеркала контурного сечения. С тыльной стороны зеркала определенным образом снимается слой материала, образуя в сечении контур. Таких контуров может быть несколько:

– одноарочное зеркало и двухарочное зеркало;
– контур окружность.

Для того чтобы сравнивать характеристики различных облегчающих конструкций и материалов была выбрана модель зеркала с параметрами, представленными в табл. 1. Зеркало является особо точным.

Таблица 1. Параметры зеркала без облегчения

Тип	Радиус сферы, м	Диаметр, м	Толщина, м	Экранирование	Материал
Сферическое	5	1	0,15	20%	Титан

Для анализа данных в работе были выполнены следующие этапы:

– исследование заготовки зеркала на деформации в зависимости от способа фиксирования и от выбора материалов;
– оптимизация каждой конструкции облегчения зеркала на минимум деформаций. Исследование каждого типа на деформации в зависимости от способа фиксирования и от выбора материалов. Сравнение с результатами заготовки зеркала.

В результате исследований всех облегчающих конструкций была получена табл. 2. Из нее можно сделать вывод, что наименьшими деформациями обладает двухарочный способ облегчения. Наибольшее облегчение дает простая реберная конструкция (трапецеидальные карманы), однако при этом она вносит дополнительные деформации.

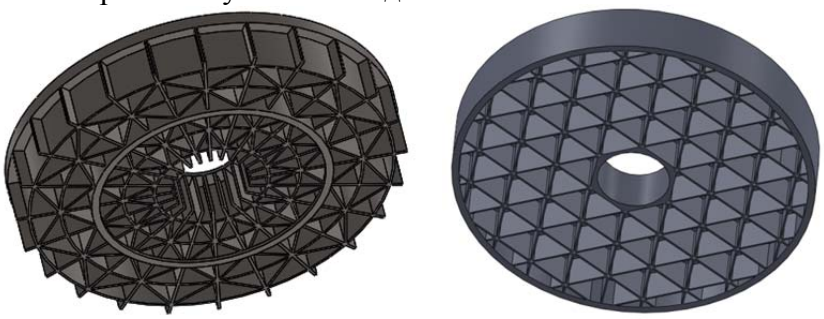
Таблица 2. Сводная таблица по типу облегчения

№	Конструкция облегчения	Масса, кг	Облегчение, %	Max деформации, мкм
1	Без облегчения (заготовка)	478,48	0%	0,191
2	Облегчение по контуру окружность	324,63	32%	0,840
3	Треугольная структура	252,80	46%	0,820
4	Двухарочное зеркало	246,38	48%	0,112
5	Прямоугольная конструкция	240,87	49%	2,940
6	Сотовая структура	227,4	52%	0,357
7	Сендвич	185,77	61%	0,236
8	Отверстия	174,95	63%	0,485
9	Ребра с треугольными ячейками	174,7	63%	0,264
10	Одноарочное зеркало	160,53	66%	1,088
11	Простая реберная конструкция (трапецеидальные карманы)	151	68%	0,375

Примеры структур с облегчениями представлены на рисунке.

Чтобы облегчить зеркало, не только необходимо было подобрать конструкцию, но и выбрать наиболее подходящий материал по условиям эксплуатации. В связи с

этим авторы исследованы разные традиционные и нетрадиционные материалы для крупногабаритных зеркал. Результаты сведены в табл. 3.



а б

Рисунок. Облегчение ребрами с ячейками треугольной формы (а) и треугольная структура облегчения (б)

Таблица 3. Сравнение материалов для заготовки зеркала

Материал	Информация	Масса, кг	Деформация, мкм
Титан	Металл	478,82	1,112
«СКЕЛЕТОН»	Алмаз – карбидный композиционный материал	343,39	0,142
Карбид кремния 12%	Неметалл, карборунд	322,70	0,235
Al 6061-T6	Металл	281,04	1,015
Robax	Огнеупорное стекло	270,64	0,771
Zerodur	Стеклянная керамика	263,35	0,778
CO115M	Ситалл	256,06	0,722
ULE	Стекло	230,50	0,950
SUPREMAX	Боросиликатное стекло	229,00	0,979
Бериллий O-H30	Металл	191,94	0,185

В табл. 3 приведены данные, полученные для заготовки зеркала. Из этого исследования следует, что наилучшими материалами являются бериллий и карбид кремния. Но нельзя забывать, что при обработке бериллий опасен для человека, так как бериллиевая пыль токсична. Но также необходимо обратить внимание на материал: «СКЕЛЕТОН» – новый тип композиционного материала с уникальными свойствами.

Перед отправкой на орбиту необходимо исследовать (с помощью моделирования) зеркало в трех разных условиях:

– в условиях земного притяжения, когда зеркало проходит обработку и исследования;
– при запуске, когда зеркало испытывает нагрузку до 10g, при этом температурные условия изменяются;
– при эксплуатации при нулевом g и существующим дополнительным температурным флуктуациям.

1. Были исследованы заготовки и наиболее слабая конструкция – одноарочное зеркало. Материал – титан. Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4. Исследование модели зеркала на выдерживание нагрузки 10g

Модель	Масса, кг	Напряжение, Н/м^2	Деформация, мкм
Заготовка	478,78	5520773,5–6326,7	11,12
Одноарочное зеркало	173,03	1814855,9–109042,6	9,38

2. Исследования для заготовки из других материалов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Исследование заготовки зеркала на выдерживание нагрузки 10g для разных материалов

Материал	Масса заготовки, кг	Максимальное напряжение, Н/м^2	Предел текучести, Н/м^2	Запас прочности
Титан	478,78	5520773,5	140 000 000	Более чем в 25 раз
ULE	230,50	7807479,5	240 000 000	Более чем в 30 раз
Al 6061-T6	281,04	9528678,0	275 000 000	Более чем в 28 раз

При изменении нагрузки в десять раз полученные результаты не превышают предел текучести материала, следовательно, зеркало выдержит нагрузку при отправке его в космос. Также необходимо иметь запас прочности, превышающий полученные напряжения в 5 раз. Из табл. 5 видно, что и это условие выполняется. Можно видеть, что напряжения не зависят от массы, но напрямую зависят от прочностных характеристик используемого материала.

Результаты. Было проведено моделирование и сравнительное исследование основных облегчающих конструкций зеркал с учетом применения материалов, удовлетворяющих требованиям для создания крупногабаритных зеркал. Также было проведено исследование на выдерживание нагрузки 10*g*, необходимое для моделирования условий запуска зеркала в космос.

Литература

1. Vukobratovich D. Lightweight Mirror Design. Optomechanical Engineering Handbook. – CRC Press LLC, 1999. – 41 p.
2. Yoder P.R. Mounting optics in optical instruments. – 2nd ed. – Bellingham: SPIE Press, 2008. – 752 p.
3. Абдула П.А. Исследование конструкций облегчения зеркал контурного сечения // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров Университета ИТМО. – 2014. – С. 6–8.

Аксенова Ольга Игоревна
Год рождения: 1991
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра процессов и аппаратов пищевых производств,
группа № Т4245
Направление подготовки: 15.04.02 – Технологические машины и оборудование
e-mail: oksi280491@yandex.ru

УДК 664.97

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА И АППАРАТА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭКСТРУДИРОВАННОГО КОРМА

О.И. Аксенова
Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.В. Алексеев

В работе рассмотрены проблемы производства и лабораторного исследования процесса экструдирования кормов для непродуктивных животных. Для решения которых, на основании полученной математической модели составления рецептур, проведенных расчетов и эмпирических исследований, разработан сбалансированный натуральный экструдированный

корм и способ его производства, определены структурно-механические свойства рецептурной смеси, доработана конструкция лабораторного экструдера.
Ключевые слова: экструзия, лабораторный экструдер, корм, непродуктивные животные.

По результатам Международного исследования кормов, которое в 2016 году опубликовала компания Alltech, отмечено увеличение производства кормов по всей Европе на 22%, по сравнению с результатами 2015 года, что, в частности, обусловлено увеличением объема их производства в России. В настоящее время Правительством Российской Федерации в плане мероприятий по содействию импортозамещению в промышленности [1], разработана новая стратегия импортозамещения, в том числе в областях сельского хозяйства, машиностроения для пищевой и перерабатывающей промышленности. Таким образом, увеличение объема производства, а также совершенствование производственных процессов и аппаратов для производства кормов является одним из приоритетных направлений в сложившихся условиях импортозамещения.

На основании проведенного анализа был сделан вывод, что рецептуры большинства экструдированных кормов для непродуктивных животных, выпускаемых в нашей стране, несбалансированны, технологический процесс производства включает в себя большое количество дополнительных операций, отсутствует лабораторная экструзионная техника, а оборудование, используемое для производства кормов морально устарело.

Таким образом, с учетом повышенного спроса и существующих проблем, разработка нового сбалансированного экструдированного корма для непродуктивных животных, а также технологического процесса и аппарата для его производства является актуальной задачей.

Так как обеспечение животных необходимым уровнем макро- и микронутриентов должно быть создано малым количеством корма, то возникают повышенные требования к точности разрабатываемых рецептур. Исходя из этого, в работе построена математическая модель составления рецептур кормов для непродуктивных животных на основании теории нечетких логических множеств и методов математической статистики.

Математическая модель на основании методов математической статистики основывается на количественных характеристиках оценки. Выходной характеристикой является уровень потребления корма животными, входными характеристиками были выбраны уровни pH (x_1), влажности (x_2) и концентрации белковых компонентов в рецептуре корма (x_3).

При анализе матрицы коэффициентов парной корреляции, был сделан вывод, что уровень потребления корма непродуктивными животными наиболее тесно связан с концентрацией белковых компонентов в рецептуре корма, а влияние остальных переменных – уровня pH корма и уровня влажности корма – менее значимо. На основании результатов дисперсионного и регрессионного анализа построено уравнение регрессии:

$$y=-0{,}111-0{,}113x_1-0{,}031x_2+0{,}027x_3. \quad (1)$$

В результате дисперсионного анализа сделан вывод о неадекватности полученной линейной модели (1), так как расчетное значение критерия Фишера меньше стандартного.

Для новой модели квадратичного вида варьируемыми переменными в соответствии с наибольшими коэффициентами парной корреляции были выбраны уровень влажности корма (x_2) и концентрация белковых компонентов в рецептуре

корма (x_3). В пакете MathCad для этих факторов было составлено новое уравнения регрессии:

$$y=-0{,}018x_2^2-0{,}04x_2-1{,}561\cdot10^{-3}x_3^2+0{,}147x_3+7{,}183\cdot10^{-3}x_3x_2-4{,}79. \quad (2)$$

Таким образом, в пакете было получено решение:

$$\text{lsolve}(x_3, x_2)=(82{,}416;\ 15{,}333). \quad (3)$$

Анализируя полученное решение, был сделан вывод о достижении максимального уровня потребления корма непродуктивными животными при концентрации белковых компонентов в рецептуре корма 82,4% и уровня влажности корма 15%.

Математическая модель на основании теории нечетких логических множеств основывается на сенсорной оценке, и учитывает специфику данного вида продукта.

Входные переменные модели, изменялись в следующем диапазоне:

– уровень pH корма 5–8;
– уровень влажности корма 7–11%;
– концентрация белковых компонентов в рецептуре корма 0–90%;
– размер частиц компонентов в рецептуре корма 0,3–0,8 мм;
– пищевая ценность 100–500 ккал/100 г корма;
– общая биологическая обсемененность 0–1000 клеток в 1 г корма.

Уровень потребления корма являлся выходной переменной.

Для построения модели составления рецептур кормов для непродуктивных животных на основании теории нечетких логических множеств функция была представлена в виде базы знаний, включающей 21 правило.

Графическое отображение результата зависимостей выходной переменной от двух входных имело вид трехмерной модели с разноокрашенной поверхностью вывода (рис. 1): желтый цвет – желаемый результат, синий – не желаемый.

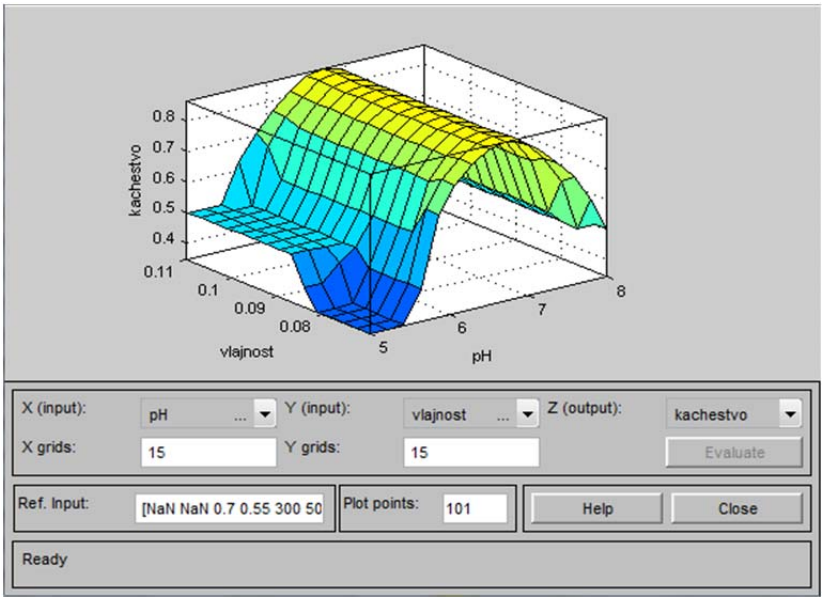


Рис. 1. Зависимость уровня потребления корма непродуктивными животными от уровня pH и уровня влажности корма

Анализ полученных графических зависимостей показал, что наиболее высокие органолептические качества корма, а следовательно, и максимальный уровень потребления корма животными, будут достигаться при: уровне pH корма – 6,5; уровне влажности корма – 9%; концентрации белковых составляющих в рецептуре корма 85%; размера частиц компонентов в рецептуре корма – 0,55 нм и пищевой ценности – 267 ккал.

Полученный результат показал, что моделирование составления рецептур кормов для непродуктивных животных на основании теории нечетких логических множеств позволяет более точно подбирать соотношения компонентов рецептур кормов для непродуктивных животных.

Для экспериментальной проверки адекватности полученной модели были составлены комовые смеси, рецептуры которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры сухих кормов для непродуктивных животных, %

Ингредиенты смеси, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мясо цыпленка механической обвалки	35	55	35	35	35	15	15	15	4	4
Рисовая мука	25	5	5	15	15	15	45	15	50	26
Меланж сухой	4	10	25	5	5	5	10	45	4	20
Молоко сухое цельное	12	10	15	25	5	45	10	5	4	20
Жир животный топленый	14	9	9	9	34	9	9	9	27	19
Вода	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Дрожжи	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Уровень потребления корма животными оценивался на протяжении 1 недели при полной замене обычного рациона животных экспериментальными образцами. Оценивались количество съеденного корма и скорость его употребления по шкале в процентах группой наблюдателей. В исследовании были задействованы 75 непродуктивных животных различных пород, полов и возрастов, кормление которых длительное время осуществлялось кормами промышленного производства. Влажность кормовых смесей исследуемых рецептур была оценена методом высушивания.

Результаты исследования зависимости уровня потребления корма непродуктивными животными от рецептуры корма и его влажности отражены на рис. 2.

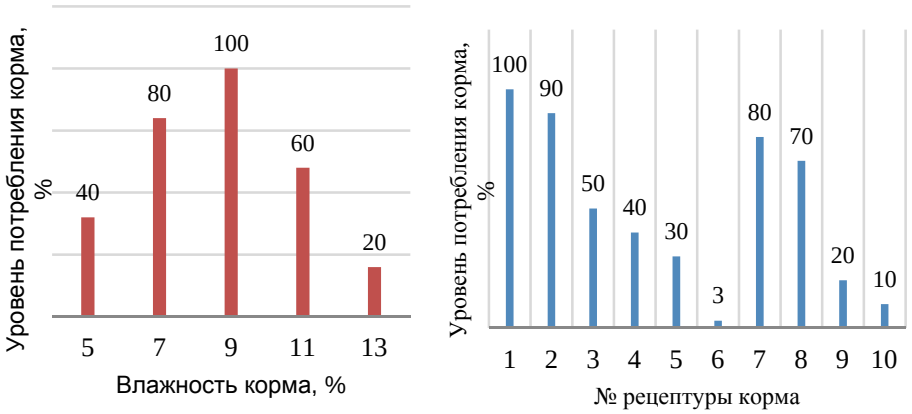


Рис. 2. Уровень потребления корма непродуктивными животными в зависимости от влажности и рецептуры кормов

По результатам экспериментов сделан вывод, что максимальный уровень потребления корма непродуктивными животными достигается для корма с рецептурой №1, влажность которого составила 9%.

Таким образом, анализ показал, что концентрации белковых компонентов в рецептурной смеси должны быть 50–70% для достижения высокого уровня потребления корма животными. Понижение концентраций белковых компонентов в рецептурной смеси приводило к снижению привлекательности корма для животного,

а повышение концентраций белковых компонентов в рецептурной смеси приводило к росту экономических затрат и дисбалансу рациона питания. Также в результате анализа было выявлено, что завышение или занижение влажности кормов приводит к потере уровня качества корма, из-за снижения органолептических характеристик корма, и повышению рисков биологической порчи корма.

Полученные результаты исследования подтверждают выведенную ранее на основании нечетких логических множеств и математической статистики модель составления рецептур кормов для непродуктивных животных по уровню потребления корма животными в зависимости от влажности и рецептуры корма для входных характеристик концентрации белковых компонентов в рецептурной смеси и уровня влажности корма.

На основании проведенных расчетов пищевой и энергетической ценности полученной математической модели составления рецептур кормов для непродуктивных животных и эмпирических исследований, подтвердивших эту модель, был разработан новый продукт – сбалансированный натуральный экструдированный корм для кошек. Рецептура которого представлена в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Рецептура теста для корма

Сырье	Сухие вещества, %	На 1 тонну готовой продукции	
		В натуре, кг	В сухих веществах, кг
Фарш из мяса цыпленка	60,0	350,0	210,0
Рисовая мука	85,0	250,0	212,5
Вода	0,0	90,0	0,0
Пивные дрожжи	25,0	10,0	0,25
Итого	–	700,0	422,8
Выход	74,3	696,9	420,9

Таблица 3. Рецептура начинки корма

Сырье	Сухие вещества, %	На 1 тонну готовой продукции	
		В натуре, кг	В сухих веществах, кг
Меланж сухой	91,0	40,0	36,4
Молоко цельное сухое	97,0	120,0	116,4
Жир говяжий топленый	99,7	140,0	139,6
Итого	–	300,0	229,4
Выход	95,9	298,7	228,1

Также в работе была разработана технологическая схема производства сбалансированного корма для непродуктивных животных, выбранная последовательность технологических операций и режимы обработки обеспечивают высокое качество корма для непродуктивных животных, сокращение продолжительности операций, непрерывность производственного процесса.

Рисовую муку просеивают для исключения посторонних примесей, магнитных частиц и более крупной фракции. После чего необходимое количество рисовой муки, размороженного мяса цыпленка механической обвалки, дрожжей и воды отправляют на смешивание. При начальном смешивании используются только сухие компоненты (рисовая мука, дрожжи, мясо цыпленка), после чего к смеси добавляют воду и продолжают замес. Одновременно с процессом замеса теста идет процесс варки начинки. Говяжий топленый жир загружается в варочный котел, где при температуре 46–49°С он растапливается. После чего к нему добавляются сухое цельное молоко и

сухой меланж. В котле одновременно происходит перемешивание ингредиентов начинки и ее темперирование.

После смешивания тесто попадает в загрузочный бункер экструдера, а сваренная начинка по трубопроводам подается в фильеры матрицы. Продвигаясь вдоль корпуса экструдера, масса подогревается до 100°С за счет сил внутреннего трения и сжатия, а также дополнительного подвода тепла ТЭНами. Тестовая масса, транспортируемая шнеком внутри рабочей камеры, выпрессовывается через фильеры матрицы (p=7,5 МПа), обтекая металлические трубочки, через которые поступает начинка, образуя на выходе заполненные жгуты.

Полученные начиненные жгуты разрезаются на кусочки необходимой длины, образуя тем самым подушечки. При обрезке подушечки скользят по наклонному лотку, с направляющими желобами, который направляет их на сетчатый транспортер. Мягкие подушечки с остаточной влажностью 14% по сетчатому транспортеру отправляются в сушилку, где из них в течение 2 мин удаляются излишки влаги, и происходит окончательное формирование структуры. После сушки гранулы необходимо охладить, для исключения выпадения конденсата. Охлаждение подушечек производится при комнатной температуре в течение 7–10 мин на сетчатом транспортере.

Применение экструзионного оборудования позволяет добиться непрерывности технологического процесса, повысить его контролируемость и универсальность, как по сырью, так и по готовому продукту [2]. Таким образом, экструзионная обработка в технологическом процессе производства кормов выступает в качестве ресурсосберегающей технологии.

Для дальнейших инженерных расчетов экструдера в работе были экспериментально определены структурно-механические свойства (плотность и эффективная вязкость) сырьевой смеси оболочки.

Определение плотности проводили опытным путем с помощью пикнометра, полученное среднее значение плотности исследуемой смеси равно ρ=1352 кг/м^3 при нормальных условиях (Т=20ºС, P=760 мм рт.ст.). В среднем полученная погрешность результатов эксперимента, равная 4% удовлетворительна, и позволяет применять полученное значение плотности для инженерных расчетов.

Эффективная вязкость сырьевой смеси рассчитывалась по формуле [3]:

$$\mu_{эф}=\mu_{пл}+\tau_0/\gamma_{эф}, \quad (4)$$

где $\gamma_{эф}$ – эффективная скорость сдвига, с$^{-1}$; τ_0 – предельное напряжение сдвига.

Для шнековых нагнетателей эффективная скорость сдвига определялась по формуле [4]:

$$\gamma_{эф}=2\pi \cdot D \cdot n/[60(D-d)], \quad (5)$$

где $\mu_{пл}$ – пластическая вязкость массы, определяется опытным путем на вискозиметре.

Предельное напряжение сдвига в работе определяли опытным путем на структурометре СТ-2 (коническом пластометре). Для конических пластометров величина предельного напряжения сдвига τ_0 вычислялась по максимальному погружению конуса в исследуемый материал и определялась по формуле [3]:

$$\tau_0=K_\alpha g F_{max}/H_{max}^2, \quad (6)$$

где K_α – константа конуса, зависящая только от угла α при его вершине; g – ускорение свободного падения, м/с^2; F_{max} – масса нагрузки, действующей на конус. По результатам измерений из F_{max}=0,5 кг; H_{max} – максимальное погружение конуса в исследуемый материал. По результатам измерений H_{max}=0,0245 м.

В связи с отсутствием необходимого измерительного оборудования (реотеста) для определения пластической вязкости теста в работе использовали сенсорную оценку, которая позволяет получать результаты с допустимой для инженерных

расчетов погрешностью 10–20%. Таким образом, из таблицы ориентировочной оценки вязкости пищевых масс [4] можно увидеть, что пластическая вязкость теста лежит в пределах 10^2–10^4. Принимаем пластическую вязкость исследуемого теста $\mu_{пл}$=556 Па·с [3], равной пластической вязкости пряничного теста после замеса, так как она попадает в заданный предел ориентировочной оценки вязкости пищевых масс, при напряжении сдвига, близкому к расчетному. Таким образом, эффективная вязкость теста в результате расчетов равна 711 Па·с.

В ходе исследования экспериментальные образцы кормов получали на лабораторном одношнековом экструдере, значение давления прессования в котором регулировалось изменением величины зазора между расширяющимся конусом шнека экструдера и отверстиями в формующей матрице. Измерения давления, температуры рецептурной смеси на выходе и частоты вращения шнека осуществлялось с помощью соответствующих датчиков и специализированного интерфейса для вывода аналоговых сигналов датчиков на компьютер системы L-физика. Полученные результаты измерений при минимальном зазоре между отверстиями матрицы и конусом шнека (т.е. при достижении максимального давления прессования) на холостом ходу и при экструдировании рецептурной смеси показали, что обработка смеси проходила при малом избыточном давлении 149 кПа и температуре продукта на выходе 60ºС. Из полученных экспериментальных данных был сделан вывод, что необходимые технологические параметры процесса изготовления экструдированных кормов – давление около 7,5 МПа и температура продукта на выходе около 100ºС – не были достигнуты.

Таким образом, в ходе эксперимента были выявлены недостатки конструкции лабораторной установки, для устранения которых были проведены инженерный, кинематический, прочностной расчеты экструдера, и создан сборочный чертеж усовершенствованной конструкции экструдера с динамической матрицей.

В качестве основных результатов работы можно отметить следующие.

1. Разработана математическая модель создания рецептуры кормов для непродуктивных животных на основании методов математической статистики и теории нечетких логических множеств, адекватность которой подтверждена экспериментальным путем.
2. В результате проведенных анализов разработана технологическая схема производства экструдированных кормов для непродуктивных животных.
3. На основании полученной математической модели, проведенных расчетов пищевой и биологической ценности и экспериментальных исследований, создан сбалансированный натуральный экструдированный корм для непродуктивных животных и способ его производства (подана заявка на патент изобретение «Натуральный экструдированный корм для кошек и способ его производства» № 2015123176 от 08.06.2015).
4. Проведены эмпирические исследования структурно-механических свойств оболочки подушечек корма для непродуктивных животных разработанной рецептуры, и эксперименты по отработки технологических режимов экструдирования кормов, которые позволили выявить недостатки конструкции лабораторного экструдера.
5. Разработана конструкция лабораторного экструдера с динамической матрицей для производства кормов для непродуктивных животных, проведены инженерные, кинематические и прочностные расчеты экструдера новой конструкции. Это позволит в дальнейшем создать опытную модель экструдера, обеспечивающего требуемые параметры технологического процесса экструдирования кормов для непродуктивных животных.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 2 октября 2014 года № 1948-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по содействию импортозамещению в сельском хозяйстве на 2014–2015 годы».
2. Абрамов О.В. Научное обеспечение процесса экструзии модельных сред на основе крахмалсодержащего сырья и разработка высокоэффективного оборудования для его реализации: дисс. ... докт. техн. наук : 05.18.12. – Воронеж, 2009. – 600 с.
3. Горбатов А.В., Маслов А.М., Мачихин Ю.А. и др. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
4. Moscicki L., Mitrus M., Wojtowicz A., Oniszczuk T., Rejak A. Extrusion-Cooking of Starch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/39936.pdf, своб.

Беляев Михаил Евгеньевич
Год рождения: 1993
Факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, группа № Р4237
Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление
e-mail: belyaevmihail@mail.ru

УДК 519.713.1

УПРАВЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЕМ ВОЗДУХ-ТОПЛИВО В ИНЖЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С РЕЛЕЙНЫМИ λ-ДАТЧИКАМИ

М.Е. Беляев
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Н. Герасимов

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615864 «Разработка методов и технологий управления и обработки информации для сложных динамических систем».

С момента создания двигатели внутреннего сгорания претерпели множество изменений. Вместе с совершенствованиями на двигатели внутреннего сгорания налагались все более строгие требования по экономии топлива и количеству вредных выбросов в атмосферу. Решить одновременно задачи по повышению экономичности и экологичности двигателя можно с помощью стабилизации отношения воздух-топливо на стехиометрическом уровне. Для бензина стехиометрическое соотношение равно 14,7, т.е. 14,7 весовых частей воздуха к одной части топлива. При таком соотношении происходит полное сгорание смеси. В этой связи достижение стехиометрического соотношения является важной задачей в управлении двигателем внутреннего сгорания.

Водитель задает желаемую скорость движения автомобиля, регулируя поток воздуха во впускном коллекторе. По этой причине для достижения стехиометрического соотношения необходимо регулировать массу впрыскиваемого топлива. Но просто подавать топливо в необходимой пропорции не получиться, так как при впрыске часть топлива оседает на стенках впускного коллектора, образуя топливную пленку. Эта

пленка попадает в цилиндр двигателя на следующих тактах впуска при испарении. Масса пленки, динамические параметры ее испарения и количество оседающего топлива неизвестны. О текущем соотношении смеси можно судить по показаниям λ-датчика, измеряющего соотношение по выхлопным газам. **Целью работы** являлась разработка системы управления, стабилизирующей соотношение воздух-топливо на стехиометрическом уровне при использовании релейного λ-датчика, который дешевле и долговечнее датчиков с линейной характеристикой. Сформулируем цель в виде неравенства:

$$\left|\lambda^* - \lambda(t)\right| \le \Delta, \forall t > \tau,$$

где λ^* – желаемое значение соотношения; $\lambda(t)$ – текущее значение соотношения; Δ – допустимая погрешность; τ – время настройки. Сигналом управления является длительность открытия впрыскивающей форсунки Δ_f. Соотношение воздух-топливо $\varphi = 1/\lambda$ прямо пропорционально сигналу Δ_f, поэтому в качестве регулируемой переменной будем рассматривать именно соотношение воздух-топливо.

В работе решались три основных задачи:

1. синтез регулятора на основе упрощенной модели;
2. построение уточненных моделей;
3. синтез регулятора при использовании релейного λ-датчика.

Упрощенную математическую модель образования соотношения воздух-топливо можно представить в следующем виде [1]:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = -\dfrac{1}{T}x(t) + \dfrac{K}{T}u(t) \\ y(t) = \dfrac{F_s}{m_{ac}(t)}(x(t) + (1-K)u(t)), \\ z(t) = sign(1-y(t)) \end{cases}$$

где $x(t)$ – масса топливной пленки; T – неизвестный постоянный параметр, описывающий динамику испарения пленки; K – оседающая на стенках впускного коллектора часть впрыскиваемого топлива; $u(t)$ – масса впрыскиваемого топлива; $y(t)$ – нормированное соотношение воздух-топливо; F_s – стехиометрическое соотношение; $m_{ac}(t)$ – масса поступающего в цилиндр воздуха; $z(t)$ – выходной сигнал релейного λ-датчика.

Регулятор на основе такой модели был получен путем инверсии модели согласно принципу обратной динамики [2]. Запишем его передаточную функцию:

$$W_p(s) = \frac{m_{ac}(t)}{F_s} \cdot \frac{Ts+1}{(1-K)Ts+1}.$$

Адаптивный регулятор получается при подстановке оценок неизвестных параметров вместо самих параметров:

$$W_p(s) = \frac{m_{ac}(t)}{F_s} \cdot \frac{\hat{T}s+1}{(1-\hat{K})\hat{T}s+1}.$$

Система управления с таким регулятором работает следующим образом: в начальные моменты времени работает пропорционально-интегрирующий (ПИ)-регулятор, оценивание параметров производится с помощью метода наименьших квадратов, затем управление передается адаптивному регулятору. Следует отметить, что модель была параметризована разложением в ряд Тейлора по степеням устойчивого звена вида:

$$H(s) = \frac{\lambda}{s+\lambda},$$

где λ – постоянный параметр. Оценивание производилось в моменты переключения датчика, когда значение регулируемой переменной становилось известным.

В упрощенной модели параметры предполагались постоянными, в действительности же они зависят от различных факторов. Масса воздуха полагалась известной функцией, она зависит от скорости и давления следующим образом:

$$m_{ac}(k) = K_T \eta_C(\omega(k), P(k), \theta_{cam}(k))P(k),$$

где K_T – постоянный коэффициент, зависящий от физических констант, размеров двигателя и количества цилиндров; ω – скорость на валу двигателя; P – давление во впускном коллекторе; θ_{cam} – положение фазовращателя; k – дискретное время.

Для учета этих зависимостей была построена уточненная прямая модель следующего вида:

$$\phi(k) = \frac{1}{z^m}\sum_{i=1}^{10} W_i(z,k)[\varphi_i(k)\Delta_f(k)].$$

В модели передаточные функции $W_i(z,k)$ описывают нестационарную динамику объекта. Передаточные $W_i(z,k)$ функции имеют вид:

$$W_i(z,k) = \frac{b_i}{1 + z^{-1}a_{n-1}(k) + \cdots + z8a_0(k)},$$

где $a_j(k) = \theta_j^T \varphi(k)$, $j = \overline{0, n-1}$ – переменные параметры, а b_i и θ_j – неизвестные постоянные параметры. Порядок модели определяется значением n. Значение m определяет транспортное и измерительное запаздывание. В качестве входных функций используются скорость двигателя ω, давление воздуха в коллекторе P и положение фазовращателя θ_{cam}, а также их сочетания:

$$\varphi = \begin{bmatrix} \omega & \omega P & \omega\theta_{cam} & \omega^2 & P & P\theta_{cam} & P^2 & \theta_{cam} & \theta_{cam}^2 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Модель дискретна, так как все процессы связаны с тактом впуска, и она дискретизирована относительно него. Регулятор на основе этой модели был получен путем инверсии, так как передаточные функции $W_i(z,k)$ имеют нулевую относительную степень. Также была построена инверсная модель схожей структуры, которая при подстановке желаемого значения становится регулятором.

Обе модели были проверены на реальных данных после идентификации параметров с помощью метода наименьших квадратов. На основе этих моделей были получены системы управления со структурами, представленными на рис. 1.

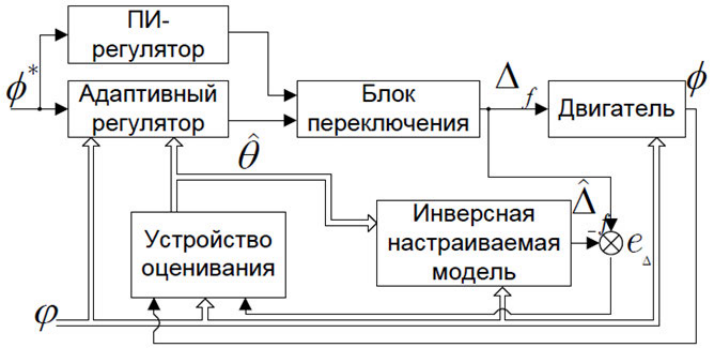


Рис. 1. Схема адаптивной системы управления с инверсной настраиваемой моделью

Работает такая система так же, как и система, основанная на упрощенной модели. Представленная система работает с датчиком, у которого линейная характеристика. Моделирование систем с прямой и инверсной настраиваемой моделью показало, что они обеспечивают выполнение целевого неравенства [3].

При использовании релейного λ-датчика в системе с инверсной настраиваемой моделью идентификация производилась в моменты его переключения, как и в случае с упрощенной моделью. На рис. 2 представлены результаты моделирования в пакете MATLAB/Simulink, где в качестве двигателя была использована прямая уточненная модель четвертого порядка, а настраиваемая модель была восьмого порядка.

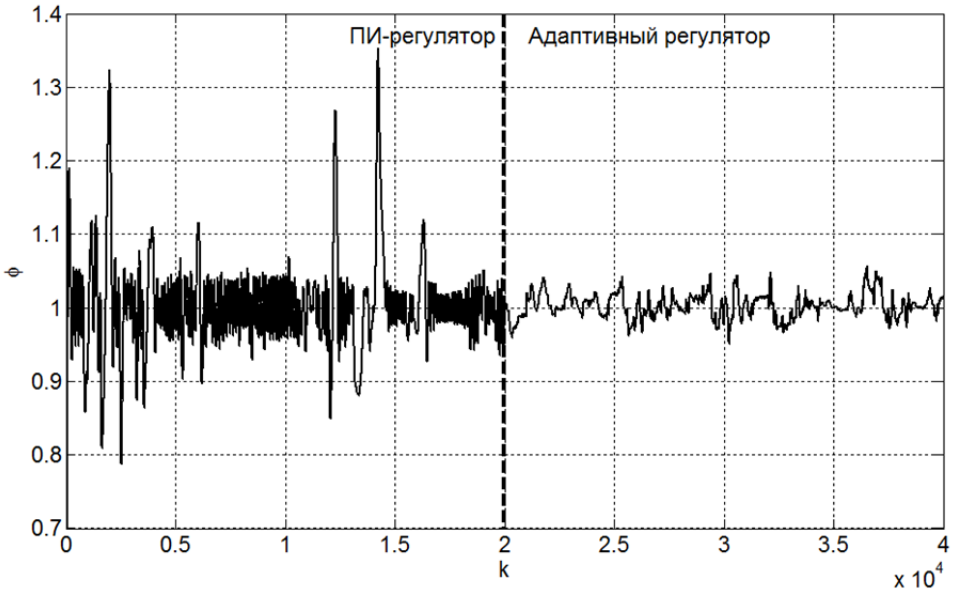


Рис. 2. Результаты моделирования системы с релейным λ-датчиком

На рис. 2 видно, что адаптивный регулятор обеспечивает более точное управление. В дальнейшем планируется исследовать возможность повышения точности, а также сокращения времени настройки параметров.

Литература

1. Aquino C.F. Transient A/F Control Characteristics of the 5 liter Central Fuel Injection Engine // SAE paper. – 1981. – № 810494. – P. 6–10.
2. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. – М.: Машиностроение, 2004. – 574 с.
3. Gerasimov D.N., Belyaev M.E., Nikiforov V.O., Javaherian H., Li S., Hu Y. Inverse Adaptive Air-Fuel Ratio Control in Spark Ignition Engines // Proc. European Control Conf. – 2016. принята к публикации.

Борисов Владимир Николаевич
Год рождения: 1993
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа №V4202
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: pvlc2013@gmail.com

УДК 535.421

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-УГЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕМНЫХ ГОЛОГРАММ С ДИФФУЗИОННЫМ МЕХАНИЗМОМ ФОРМИРОВАНИЯ

В.Н. Борисов
Научный руководитель – д.ф.-м.н., ст.н.с. А.В. Вениаминов

Введение. В современном мире голография обладает серьезной значимостью с точки зрения ее прикладного использования. Статическая голография, которая чаще всего работает с реальными голограммами, зарегистрированными в светочувствительном материале при помощи статической интерференционной картины, нашла широкое применение в различных областях науки и техники.

В этой области выгодно выделяются объемные голограммы, в основном из-за присущего им свойства селективности – ограничения дифракции условиями Брэгга, как по углу, так и по длине волны. Именно это свойство позволяет применять объемные голограммы в качестве узкополосных спектральных селекторов, элементов голографической памяти, а также, при достаточной модуляции показателя преломления, в качестве фотонно-кристаллических структур. Более того, это же свойство позволяет применять объемные голограммы для исследования светочувствительных материалов, к примеру, при помощи голографической релаксометрии.

Однако для того, чтобы использовать объемные голограммы в вышеперечисленных областях, необходимо уметь тщательно и точно производить их анализ. С этой точки зрения наиболее полезной характеристикой является профиль голограммы – пространственное распределение ее оптических параметров.

Примечательно, что профиль голограммы может быть получен непосредственно из измерений угловой селективности. Согласно теории связанных волн [1], зная распределение интенсивности прошедшего света в окрестностях угла Брэгга, можно получить все необходимые параметры голограммы. Такой экспериментальный подход известен уже несколько десятков лет и позволяет получать значения профиля голограммы с высокой точностью [2], однако, поскольку измерения проводятся на отдельной длине волны, подход не дает информации по спектральному распределению параметров. При этом очевидно, что исследование высокоточных голографических оптических элементов и фотонно-кристаллических структур, зарегистрированных в светочувствительных материалах, также как и самих материалов, не может считаться завершенным без получения информации о спектральных зависимостях оптических параметров.

Данная работа направлена на создание методики анализа спектральных зависимостей параметров объемных голограмм, посредством разработки: а) экспериментального подхода, позволяющего одновременно получать контуры как угловой, так и спектральной селективности голограмм, б) алгоритма для последующего анализа контуров и получения спектрального распределения амплитуд модуляции показателя преломления и коэффициента поглощения, а также других

параметров. Эта методика может быть использована как при анализе уже готовых голограммных оптических элементов и фотонно-кристаллических структур, так и для непосредственного исследования материалов и процессов, которые в них происходят.

Методика и результаты. Для одновременного получения как спектральной, так и угловой зависимости дифракционной эффективности 0-го порядка дифракции (далее – гиперконтура) измерялись спектры прошедшего через голограмму коллимированного излучения «белого» светодиода при сканировании по углу его падения (рис. 1).

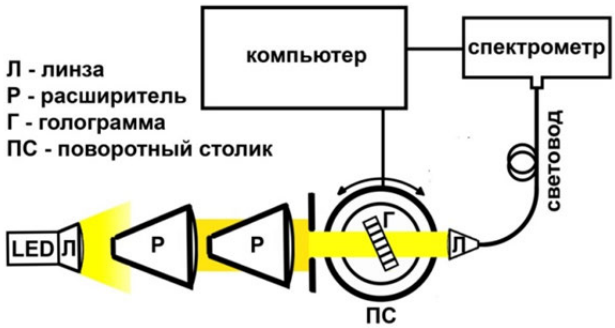
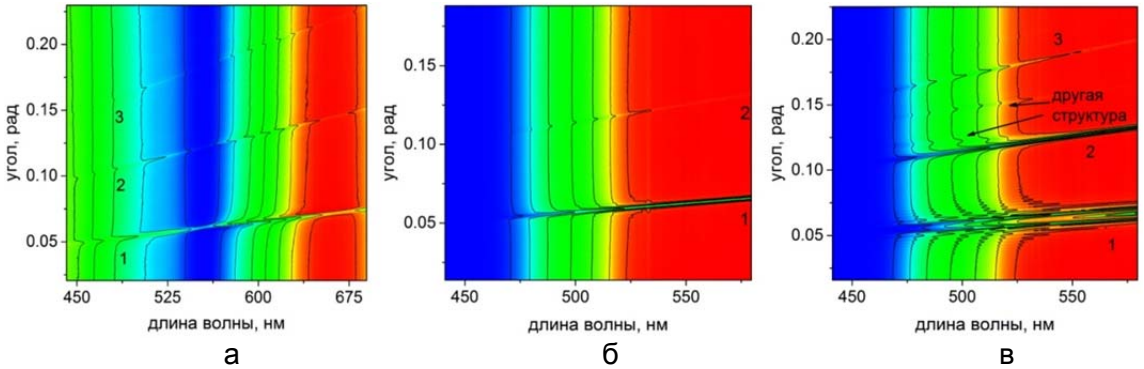


Рис. 1. Необходимая расходимость (<0,1 мрад) на установке по измерению гиперконтуров селективности была достигнута за счет использования малой центральной области пучка излучения светодиода, прошедшего последовательно через коллимационную линзу и два телескопических расширителя

При помощи данной установки были получены гиперконтуры селективности для пропускающих голограмм в двух разных материалах (рис. 2). Первый из них – аддитивно окрашенный кристалл фторида кальция (флюорит), голограммы в котором регистрируются посредством фотоионизации, фототрансформации и перемещения центров окраски [3] (рис. 2, а). Второй – полиметилметакрилат с добавлением светочувствительного фенантренхинона (ФХ-ПММА). Отличительная черта этого материала заключается в том, что непосредственно после записи голограммы дифракционная эффективность не слишком значительна из-за образования двух взаимно дополнительных голограмм. Затем одна из них начинает релаксировать вследствие диффузии, благодаря чему дифракционная эффективность увеличивается [4]. Данный эффект позволяет провести измерения для голограмм в ФХ-ПММА на различных стадиях ее проявления (рис. 2, б, в).



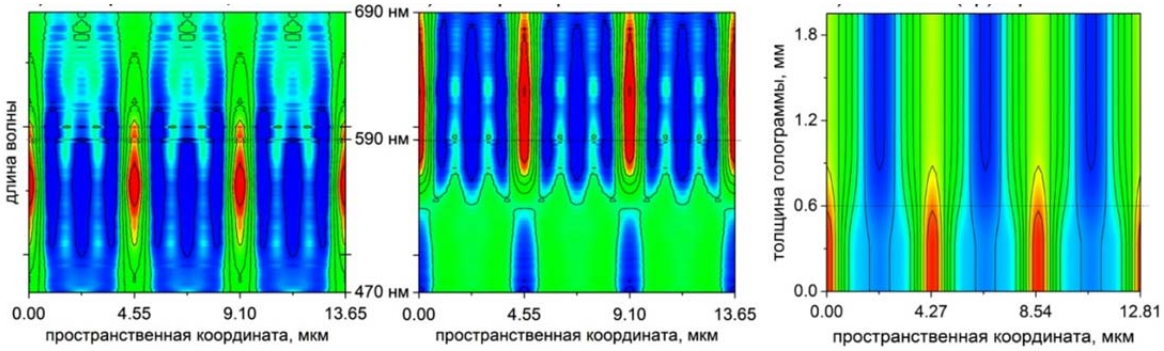
а б в

Рис. 2. Гиперконтуры селективности – последовательности контуров угловой селективности по спектру для нулевого порядка дифракции голограммы; для голограммы во флюорите (а) отчетливо видно три порядка дифракции; для непроявленной голограммы в ФХ-ПММА (б) наблюдается два порядка дифракции, в то время как для проявленной голограммы (в), помимо трех порядков дифракции, также видна дифракция от другой периодической структуры

Гиперконтуры подверглись процедуре аппроксимации при помощи теории связанных волн, в результате которой были получены значения оптических параметров для каждого порядка дифракции голограмм.

Для определения границ применимости метода была проведена сверка отдельно взятых контуров угловой селективности из гиперконтуров селективности с полученными при помощи монохроматического лазерного излучения. Для голограммы во флюорите формы контуров хорошо согласуются друг с другом, однако для проявленной голограммы в ФХ-ПММА между контурами наблюдаются различия в глубине побочных экстремумов, связанные с конечным спектральным разрешением приемника и не влияющие на результат аппроксимации.

Полученные в результате аппроксимации данные позволили реконструировать так называемые гиперпрофили голограмм – последовательности профилей показателя преломления и коэффициента поглощения голограмм по спектру (рис. 3, а, б) или толщине голограммы (рис. 3, в).



а б в

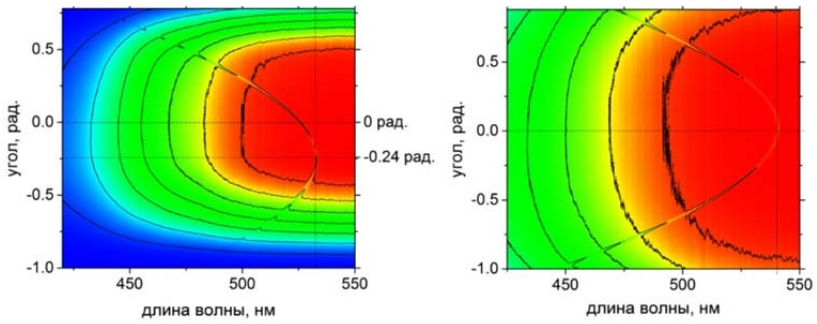
Рис. 3. Гиперпрофили поглощения (а) и преломления (б) с разверткой по длине волны для голограммы во флюорите; гиперпрофиль преломления для проявленной голограммы в ФХ-ПММА (в)

Гиперпрофили поглощения и преломления (рис. 3, а, б) с разверткой по длине волны для голограммы во флюорите имеют несинусоидальную форму по всему спектру; модуляция преломления и поглощения вносит одинаковый вклад в дифракционную эффективность на длине волны 590 нм; гиперпрофиль преломления для проявленной голограммы в ФХ-ПММА (рис. 3, в) был построен с разверткой по толщине, поскольку голограмма имеет неоднородность по толщине, однако ее параметры не изменяются по спектру; данный гиперпрофиль изменяется от несинусоидального у переднего края к чисто синусоидальному у заднего края.

Вследствие наличия всего двух порядков дифракции гиперпрофиль для непроявленной голограммы в ФХ-ПММА не был построен. Гиперпрофиль поглощения для проявленной голограммы в ФХ-ПММА также не был построен ввиду отсутствия модуляции коэффициента поглощения.

Также гиперконтуры селективности были получены для отражательных голограмм в двух материалах: в ФХ-ПММА (рис. 4, а) и в поликарбонате с добавлением фенантренхинона (ФХ-ПК) (рис. 4, б). Поскольку в данной работе рассмотрение теории связанных волн проводилось только для пропускающих голограмм, вместо численного анализа гиперконтуров селективности был проведен сравнительный анализ:

– контуров спектральной селективности, полученных при помощи разного оборудования;
– контуров угловой селективности, полученных различными способами.



а б

Рис. 4. При рассмотрении гиперконтура селективности отражательной голограммы в ФХ-ПММА (а) можно заметить, что контур смещен в сторону отрицательных углов, что свидетельствует о наклонной записи голограммы, тогда как на гиперконтуре селективности отражательной голограммы в ФХ-ПК (б) не наблюдается сдвига по углу

Сравнительный анализ контуров, полученных различными способами, показал корреляцию между спектральным разрешением приемника и рассчитанной по контуру дифракционной эффективностью голограммы (а также полушириной самого контура), что свидетельствует о недостаточном спектральном разрешении используемого приемника, и, как следствие, неприменимости данного метода в его нынешнем виде к высокоселективным отражательным голограммам.

Заключение. В ходе работы разработаны экспериментальная установка и алгоритм аппроксимации для получения и анализа гиперконтуров селективности. Пропускающие голограммы были проанализированы при помощи данного алгоритма, благодаря чему были вычислены спектральные распределения их параметров, а также реконструированы гиперпрофили с разверткой как по длине волны, так и по толщине. Отражательные голограммы подверглись сравнительному анализу.

По гиперпрофилям голограмм во флюорите можно судить об изменении амплитудно-фазовой природы голограммы по спектру: от амплитудно-фазовой в противофазе, через чисто амплитудную и амплитудно-фазовую в фазе, к практически полностью фазовой. Для голограмм в ФХ-ПММА реализована возможность отслеживания изменений голограммы во времени при помощи данного метода: от смешанного состояния для непроявленных голограмм до полностью фазовой природы по всему спектру для проявленных голограмм.

Установлено, что основные ограничения на работу метода накладывает конечное спектральное разрешение приемника. Решением этой проблемы может стать адаптация алгоритма аппроксимации для работы с конечным спектральным разрешением, которое определяется разрешением приемника.

Настоящий метод является многообещающим средством для анализа элементарных, и может стать таковым для более сложных голографических структур. Это, в свою очередь, может спровоцировать рост интереса и, как следствие, развитие направления по поиску сред для создания сложных дифракционных оптических элементов, фотонно-кристаллических структур и метаматериалов голографическим способом.

Литература

1. Kogelnik H. Coupled wave theory for thick hologram gratings // Bell System Technical Journal. – 1969. – V. 48. – № 9. – P. 2909–2947.
2. Carretero L. et al. Study of angular responses of mixed amplitude–phase holographic gratings: shifted Borrmann effect // Optics Letters. – 2001. – V. 26. – № 11. – P. 786–788.

3. Shcheulin A.S. et al. Holograms convertible by an incoherent photo-thermal treatment in CaF 2 crystals with color centers // JOSA B. – 2014. – V. 31. – № 2. – P. 248–254.
4. Veniaminov A.V., Mahilny U.V. Holographic polymer materials with diffusion development: Principles, arrangement, investigation, and applications // Optics and Spectroscopy. – 2013. – V. 115. – № 6. – P. 906–930.

Боровкова Мария Анатольевна
Год рождения: 1992
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа № V4200c
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: mariiaborovkova@gmail.com

УДК 535.3

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

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

Мало- и неинвазивная диагностика и терапия социально-значимых заболеваний электромагнитным излучением инфракрасного и терагерцового диапазона частот.

Терагерцовое (ТГц) излучение обладает рядом применений в связи с его уникальными свойствами: импульсная терагерцовая спектроскопия (ИТС) используется для неинвазивного изучения произведений искусства [1], в области идентификации, в диагностике различных заболеваний или аномалий путем облучения биологических тканей и объектов [2]. Кроме того, сильное поглощение ТГц излучения водой позволяет использовать его как чувствительный датчик гидратации [3]. В связи с постоянно ухудшающейся экологической ситуацией в мире существует потребность в разработке неинвазивных методов оценки реакции растений на засуху и другие стрессы. На данный момент для оценки содержания воды применяются деструктивные методы: гравиметрический метод или метод напорной камеры. Существующие неинвазивные методы определения концентрации воды с помощью ТГц излучения основаны на проведении корреляции между содержанием воды в образце и уровнем пропускания ТГц излучения через него. Область применения таких методов ограничена толщиной используемого объекта, содержащего воду. В отличие от геометрии на пропускание, гораздо больший потенциал для использования имеет режим на отражение в силу отсутствия ограничений по толщине объекта. Таким образом, **целью работы** являлась разработка методов определения концентрации воды в биологических объектах и тканях с помощью ИТС в режимах на пропускание и на отражение.

Задачи исследования: модификация существующего метода определения концентрации воды в биологических объектах с помощью ИТС в режиме на пропускание; разработка программного пакета в среде MATLAB с графическим пользовательским интерфейсом для быстрого расчета концентраций воды в режиме на пропускание; разработка метода для определения концентрации воды в приповерхностном слое биологических объектов с помощью ИТС в режиме на

отражение; разработка программного пакета в среде MATLAB с графическим пользовательским интерфейсом для быстрого расчета концентраций воды в режиме на отражение; проведение экспериментов по определению концентрации воды в режимах на отражение и на пропускание с использованием листов растений (режим на пропускание) и более крупных биологических образцов (режим на отражение).

Методика измерения концентрации воды в биологических объектах основана на теории эффективной среды, которая позволяет рассматривать объект как смесь его компонентов. Расширенная модель Ландау–Лифшиц–Лоенга связывает эффективную комплексную диэлектрическую проницаемость неоднородной структуры с диэлектрическими проницаемостями компонентов соотношением [4]:

$$\sqrt[3]{\varepsilon_{\text{mix}}(f)} = a_w \sqrt[3]{\varepsilon_w(f)} + a_1 \sqrt[3]{\varepsilon_1(f)} + a_2 \sqrt[3]{\varepsilon_2(f)}, \quad (1)$$

где ε_{mix}, ε_w, ε_1, ε_2 – диэлектрические проницаемости неоднородной водосодержащей структуры, воды, первого и второго компонентов; a_w, a_1, a_2 – концентрации воды, первого и второго компонентов, соответственно.

Для работы в ТГц диапазоне частот диэлектрическую проницаемость воздуха можно считать равной 1, а диэлектрические проницаемости воды и сухой части объекта определялись экспериментально.

Для расчета концентрации воды в листе растения с помощью ИТС в геометрии на пропускание необходимо записать сигналы, прошедшие через образец и дегидратизированную ткань. Из экспериментально полученных спектров рассчитывались диэлектрические проницаемости образцов. Для определения концентраций каждого из компонентов неоднородного объекта необходимо было провести соответствие между экспериментально полученными данными и теоретически рассчитанными. Таким образом, для расчета концентраций было необходимо программно реализовать итерационный алгоритм, который бы подбирал необходимые концентрации компонентов, при которых теоретически и экспериментально полученные коэффициенты пропускания были бы равны в пределах заданной погрешности. Для проведения экспериментов в естественных условиях было предусмотрено введение приблизительных параметров исследуемых объектов (толщина, шероховатость).

Для расчета концентраций воды с помощью ИТС в геометрии на отражение необходимо записать сигналы, отраженные от границы раздела сред опорный диэлектрик – образец, для исследуемого и дегидратизированного образцов. Метод расчета концентраций воды в приповерхностных слоях биообъектов основан на итерационном алгоритме, который подбирает такие концентрации компонентов, при которых модули теоретически и экспериментально полученных комплексных диэлектрических проницаемостей объекта равны в пределах заданной погрешности. В отличие от метода на пропускание, в методе на отражение нет необходимости измерять толщины образцов.

На рис. 1 представлены интерфейсы разработанных программ в среде MATLAB для быстрого расчета концентрации воды в биообъекте по временным формам, полученным с помощью ИТС в режимах пропускания (рис. 1, а) и отражения (рис. 1, б).

В обеих программах, разработанных для расчета концентраций в разных режимах, реализованы три типа Фурье-преобразования с использованием 6 различных фильтров, предусмотрено сохранение любых рассчитанных значений в .txt файлы, а также вывод графиков.

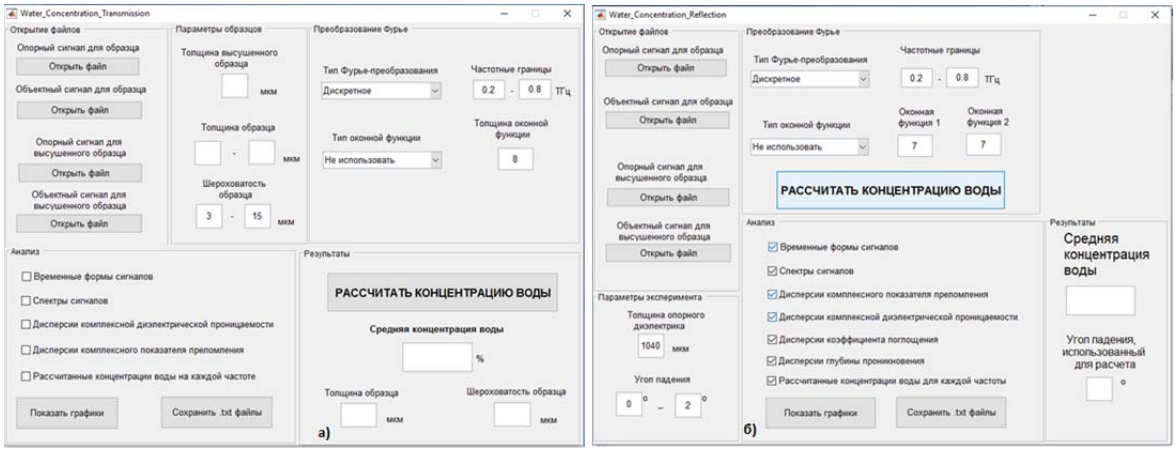


Рис. 1. Рабочие окна программ для расчета концентраций с помощью ИТС в режиме пропускания (а) и отражения (б)

Для проверки разработанных методик, был проведен ряд экспериментов для определения концентрации воды в биообъектах гравиметрическим методом и с помощью ИТС в обоих режимах. Каждый эксперимент включал в себя исследование нескольких стадий высушивания образца.

Эксперименты на пропускание были проведены на коммерческом импульсном ТГц спектрометре mini-Z в Институте оптики Рочестерского университета (США). В качестве образцов использовались листья растений *Carpinus caroliniana* (а) и *Cissus rhombifolia* (б). На рис. 2 представлены результаты двух экспериментов: сравнение концентраций, рассчитанных гравиметрически и по ТГц сигналу. На представленных графиках наблюдается хорошая сходимость результатов, рассчитанных разными методами.

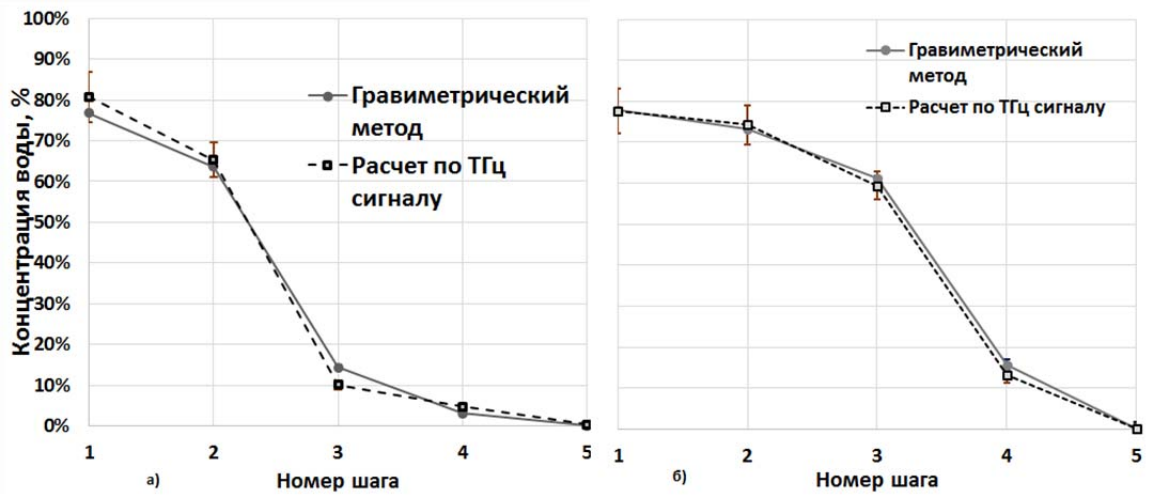


Рис. 2. Результаты двух экспериментов: сравнения значений концентраций воды, полученных гравиметрическим методом (а) и с помощью ИТС в режиме на пропускание (б)

Эксперименты на отражение были проведены на универсальном импульсного ТГц спектрометре в лаборатории терагерцовой медицины Университета ИТМО. В качестве образцов использовались цедра апельсина (а) и образец свиного мяса (б). На рис. 3 представлены результаты двух экспериментов: сравнение концентраций, рассчитанных гравиметрически и по ТГц сигналу. Полученные графики демонстрируют, что метод ИТС на отражение позволяет определить направление изменения концентраций воды в исследуемом объекте, а также величину этого

изменения, однако экспериментальные кривые, полученные гравиметрически и из расчета по ТГц сигналу, различаются в нескольких точках. Это объясняется тем, что гравиметрический метод позволяет оценить общую концентрацию воды в крупном объекте по всему его объему, в то время как расчет по ТГц сигналу дает информацию лишь о приповерхностных слоях объекта. Общее схожее поведение экспериментальных кривых позволяет использовать гравиметрический метод для корреляционной оценки результатов экспериментов с помощью ИТС в режиме отражения.

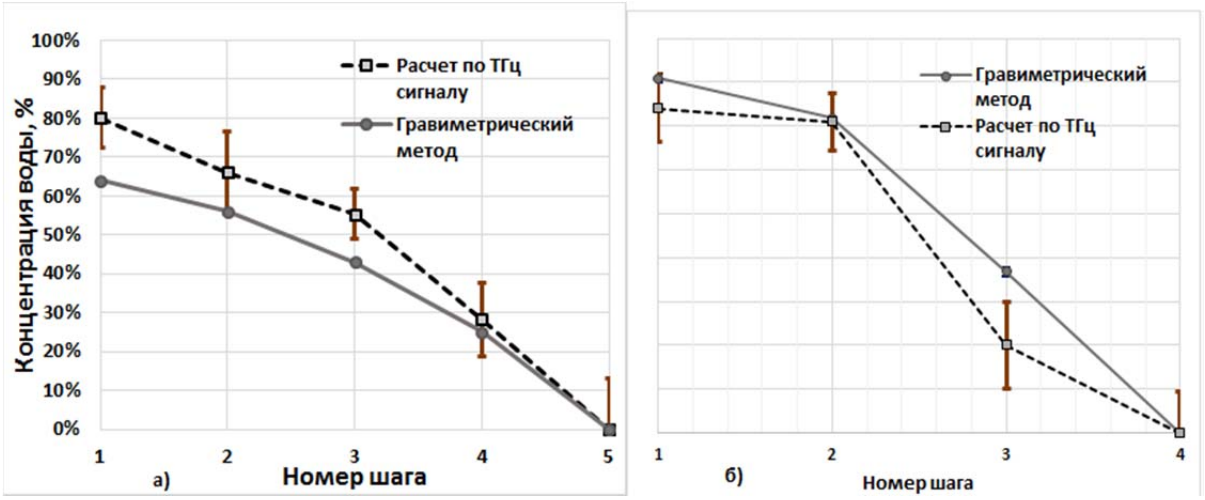


Рис. 3. Результаты двух экспериментов: сравнения значений концентраций воды, полученных гравиметрическим методом (а) и с помощью ИТС в режиме отражения (б); образцы: свиное мясо, цедра апельсина

Таким образом, в результате данного исследования были разработаны методы определения концентрации воды в биологических объектах и тканях с помощью ИТС для проведения экспериментов в режимах на пропускание и на отражение: были разработаны две программы в среде MATLAB с графическим пользовательским интерфейсом для быстрого расчета концентраций воды в объектах с помощью ИТС в режимах на пропускание и отражение. Программы и методы были экспериментально апробированы на импульсном ТГц спектрометре mini-Z (Zomega, США) и универсальном импульсном ТГц спектрометре лаборатории ТГц биомедицины (Университет ИТМО, Россия); метод определения концентрации воды с помощью ИТС в режиме на пропускание позволяет рассчитать значение концентрации воды со средней относительной погрешностью 6% и отклонением от гравиметрического метода 3% (метод подходит для тонких биологических объектов); метод определения концентрации воды с помощью ИТС в режиме на отражение позволяет рассчитать значение концентрации воды в приповерхностном слое биологического объекта толщиной от 1 мм со средней относительной погрешностью около 10%.

Литература

1. Jackson J.B., Mourou M., Whitaker J.F., Duling I.N., Williamson S.L., Menu M., Mourou G.A. Terahertz imaging for non-destructive evaluation of mural paintings // Optics communications. – 2008. – V. 281(4). – P. 527–532.
2. Zhang X.C., Xu J. Introduction to THz wave photonics. – New York: Springer, 2010. – P. 201–204.

3. Hernandez-Serrano A.I., Corzo-Garcia S.C., Garcia-Sanchez E., Alfaro M., Castro-Camus E. Quality control of leather by terahertz time-domain spectroscopy // Applied optics. – 2014. – V. 53(33). – P. 7872–7876.
4. Born N., Behringer D., Liepelt S., Beyer S., Schwerdtfeger M., Ziegenhagen B. et al. Monitoring plant drought stress response using terahertz time-domain spectroscopy // Plant Physiol. – 2013. – V. 164(4). – P. 1571–7.

Волкова Дарья Александровна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: volkova.daria.alexandrovna@gmail.com

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ

Д.А. Волкова
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Горбачев

В работе рассмотрен способ построения оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков. На основании проведенного обзора были определены основные компоненты, рассмотрена структурная схема системы, проведено уточнение параметров оптической части, а также разработан алгоритм функционирования системы.

Одной из причин дорожно-транспортных происшествий является непреднамеренное игнорирование дорожных знаков, предупреждающих водителя о соблюдении скоростного режима или возможных опасностях на пути. По статистике за 2014 год на российских дорогах зарегистрировано 204068 дорожно-транспортных происшествий. Этот показатель выше на 0,2% по сравнению с предыдущим годом [1]. Довольно часто дорожные знаки остаются без внимания водителей при движении в незнакомой местности, в местах, где автомобили передвигаются на высокой скорости, в плотном городском потоке. В связи с этим большое внимание уделяется автомобильным системам интеллектуальной обработки информации и принятия решений. Инженерами разных стран мира разработано множество систем активной безопасности таких, как антиблокировочная система, система распределения тормозных усилий, система динамической стабилизации автомобиля и многие другие. Одной из последних является система распознавания дорожных знаков, которая предназначена для предупреждения водителя о наличии дорожных знаков по пути следования автомобиля.

Проведенный аналитический обзор показал, что существующие оптико-электронные системы распознавания дорожных знаков имеют типовые конструкции, которые не позволяют производить установку в любой автомобиль в процессе его эксплуатации. Главные их различия заключаются в их аппаратной «начинке» и в дополнительном функционале, который они способны обеспечить. На территории Российской Федерации сертифицированы системы только от компаний Opel и BMW. В результате проведенных испытаний обеих систем на российских дорогах, было

выявлено, что в них не выполняется заявленные дистанция обнаружения дорожных знаков и вероятность распознавания.

Таким образом, в результате аналитического обзора были выявлены следующие необходимые решения для разрабатываемой системы: система должна иметь конструкцию, позволяющую производить установку в любой автомобиль в процессе его эксплуатации; горизонтальный угол обзора должен быть не менее 16º; система должна обладать высокой чувствительностью и высокой скоростью работы.

Принцип действия разрабатываемой системы изображен на рис. 1.

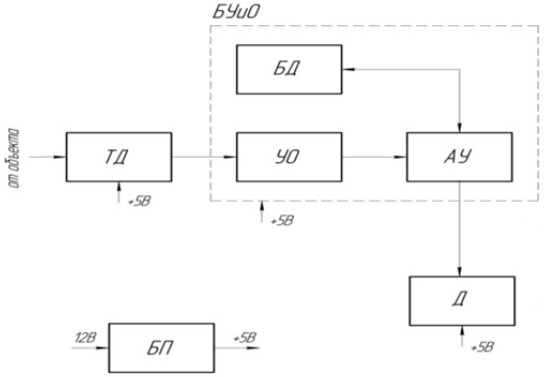


Рис. 1. Схема структурная разрабатываемой системы

Телевизионный датчик (ТД) формирует изображения пространства перед автомобилем (справа и сверху по ходу движения) и передает их на устройство обработки (УО). После обработки изображения поступают на анализирующее устройство (АУ), в котором происходит сравнение полученных изображений с имеющимися в базе данных (БД) эталонными изображениями дорожных знаков. При совпадении изображений АУ передает изображение на дисплей (Д). Блок питания (БП) предназначен для питания имеющихся блоков.

Таким образом, **целью работы** являлись исследование и разработка оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков, предназначенной для снижения информационной нагрузки на водителя.

В результате проведенных расчетов были выбраны матричный приемник оптического излучения и объектив. Для разрабатываемой оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков предлагается выбрать матричный приемник на основе КМОП [2], так как: обеспечивается параллельное считывание данных со всех пикселей, что повышает скорость работы, что, в свою очередь, играет немаловажную роль при динамической съемке; однокристальное исполнение приводит к уменьшению общих размеров видеокамеры и снижению энергопотребления, что является актуальным для систем автомобиля.

Принимая также во внимание следующие характеристики: разрешающая способность не менее 1048 ТВЛ, формат кадра 16:9, была выбрана бескорпусная камера ACE VISION ACV-322AHDVB. Учитывая расстояния установки дорожных знаков согласно ГОСТ, были определены размеры обозреваемой площадки, на основании которых были рассчитаны необходимые фокусное расстояние и угловое поле объектива. Полученным значениям соответствует выбранный объектив Daiwon DW9611. В результате энергетического расчета было определено минимальное требуемое относительное отверстие для объектива. Выбранный объектив удовлетворяет полученному значению.

В ходе работы описан подробный алгоритм функционирования системы. Поясним подробно разработанный принцип функционирования системы. Разрабатываемая оптико-электронная система производит покадровую обработку

видеопотока. После выделения текущего кадра происходит выделение области для дальнейшего анализа изображения, т.е. область, где наиболее вероятно расположен дорожный знак.

На первоначальном этапе разработки система распознает предупреждающие и запрещающие дорожные знаки, отличительными особенностями которых является наличие красного ободка и круглая или треугольная форма. Учитывая цвет ободка, на полученном участке изображения проводится поиск областей красного цвета. Так как распознавание дорожного знака должно происходить в различных условиях освещенности, то стоит учитывать, что цвет дорожного знака может меняться в зависимости от освещения. В связи с этим для этого этапа предлагается перевести изображение из цветовой модели RGB в цветовую модель HSV, учитывая, что она позволяет более точно указать оттенки красного цвета. Данная цветовая модель часто используется в системах машинного зрения, также отмечается, что именно такая цветовая модель полностью соответствует восприятию цветов зрительными органами человека [3].

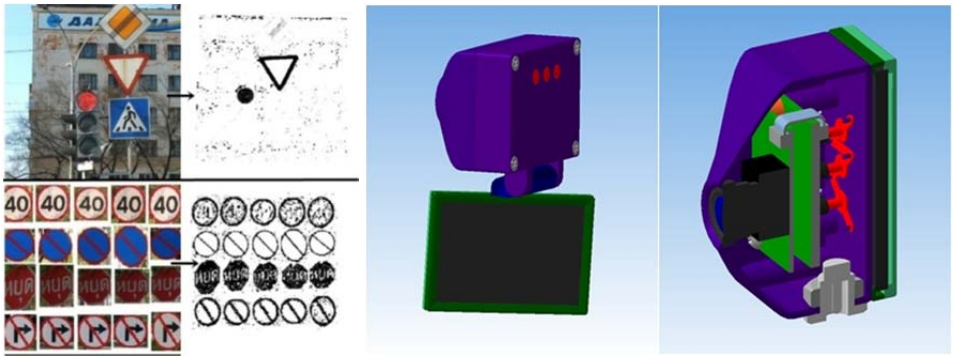
После проведения пороговой обработки изображения на выходе получается бинаризованное изображение, на котором будут выделены области интереса. Если области обнаружены, то на следующем этапе происходит морфологическая фильтрация для уменьшения шумов изображения, но если области не обнаружены, то происходит переход к анализу следующего кадра. Использование морфологической фильтрации обусловлено тем, что после бинаризации не обеспечивается гладкость контуров, что позволяет исправить морфологическая обработка. В частности, предлагается использовать операцию «закрытие», которая вызывает появление ярких областей на изображении, а также позволяет объединить большую область, разбитую не несколько более мелких из-за присутствия шумов.

После обработки составляется список контуров из выделенных областей и проводится определение формы контура. В работе [3] отмечается, что наиболее подходящим для данной задачи является метод преобразование Хаффа, который предназначен для поиска объектов, принадлежащих определенному классу фигур. Если форма контура круг или треугольник, то далее вычисляется его площадь, если форма контура не соответствует данному критерию, то происходит переход к анализу следующего контура. В системе заданы допустимые границы площади контура и если его значение выходит за эти границы, то происходит переход к анализу следующего контура. Если значение площади контура находится в заданных границах, то происходит выделение области с контуром в отдельное изображение для дальнейшего анализа.

Заключительным этапом является идентификация дорожного знака с целью определения его смысла. Для этой задачи был выбран метод сверточных нейронных сетей. Их достоинство заключается в том, что они не обрабатывают полностью исходное изображение, а в них составляется карта признаков, которые содержат характерные признаки объекта.

В программном пакете MATLAB был реализован этап выделения областей красного цвета для статических изображений, с использованием встроенной библиотеки Image Processing Toolbox, так как она обладает большим количеством функций для обработки изображений, что позволило избежать длительных операций кодирования. Рассмотрим проведение пороговой обработки изображения в цветовом пространстве HSV. Исходное изображение представлено в цветовом пространстве RGB, для того чтобы перевести его в цветовое пространство HSV в библиотеке Image Processing Toolbox существует стандартная функция rgb2hsv (Исходное изображение). Далее необходимо провести пороговую обработку каждой из трех компонент цветового пространства в отдельности. Для этого суммарную матрицу изображения разделим на три матрицы, которые соответствуют трем компонентам цвета H, S и V.

Для каждой из трех полученных матриц проведем поэлементное пороговое преобразование, а именно, если элемент матрицы попадает в интервал пороговых значений, то ему присваивается значение 1, если нет, то 0. В результате получаем три матрицы элементами, которых будет либо 0, либо 1, т.е. получаем три бинарных изображения. Полученные матрицы необходимо объединить в одну, для этого также существует стандартная функция *cat* для создания многомерных массивов. После объединения матриц, получим бинарное изображение, на котором области красного цвета будут черными, а все остальное – белым. Для устранения шумовой составляющей на полученном изображении необходимо проведение фильтрации. Для этого была применена морфологическая операция «закрытие», которая позволяет убирать небольшие по площади элементы на изображении. В библиотеке Image Processing Toolbox также имеется стандартная функция для проведения морфологической фильтрации bwmorph (изображение, операция). На рис. 2, а приведены результаты проведения пороговой обработки изображения в цветовом пространстве HSV, на котором видно, что по сравнению с фоном четко выделяются области красного цвета.



а б

Рис. 2. Результат применения пороговой обработки (а); конструкция оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков (трехмерная модель) (б)

Таким образом, данный метод может быть использован для обнаружения областей красного цвета на изображении.

На основании аналитического обзора предложена съемная конструкция системы распознавания дорожных знаков, трехмерная модель которой приведена на рис. 2, б.

В конструкции системы предусмотрен поворотный экран, что позволит водителю настраивать его положение для наиболее комфортного наблюдения.

В результате проведения аналитического обзора были выделены основные недостатки существующих оптико-электронных систем распознавания дорожных знаков, влияющих на вероятность правильного распознавания. На основе аналитического обзора была разработана структурная схема системы. В результате расчетов по полученным характеристикам были подобраны необходимые компоненты системы. Разработан алгоритм функционирования системы распознавания дорожных знаков. Проведена реализация этапа обнаружения областей красного цвета на статических изображениях, исходя из особенностей внешнего вида класса дорожных знаков распознаваемых системой. При реализации был выбран метод пороговой обработки по координатам цвета в цветовом пространстве HSV. Была показана эффективность использования данного цветового пространства в сравнении с цветовым пространством RGB. Разработана съемная конструкция оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков, что позволит производить ее установку в автомобиль в процессе его эксплуатации. Разрабатываемая оптико-электронная система предназначена для использования в автотранспортных средствах для

информирования водителя о дорожных знаках в реальном времени. Возможно ее интегрирование с системой навигации. При достаточной точности распознавания данная система может стать активной и при объединении с другими активными системами интеллектуальной обработки информации и принятия решений привести к созданию автопилотируемых автотранспортных средств.

Литература

1. Гибдд опубликовала статистику аварий по итогу 2014 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.1gai.ru/publ/514267-gibdd-opublikovala-statistiku-avariy-po-itogu-2014-goda.html, своб.
2. Advanced Driving Assistance and active safety systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: media.opel.com, своб.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

Гладских Полина Владимировна
Год рождения: 1992
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, группа № V4236
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: 4p63@mail.ru

УДК 538.975; 538.958

ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМОННЫХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

П.В. Гладских
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Т.А. Вартанян

На сегодняшний день существует множество областей применения тонких металлических пленок, среди которых одной из привлекательных является солнечная энергетика [1]. Высокоэффективные солнечные элементы требуют оптически толстых слоев, которые полностью поглощают падающий солнечный свет. В то же время такое обширное использование материала значительно увеличивает стоимость готового изделия. Одним из способов решения данной проблемы было создание тонких пленок, которые, в частности, благодаря своим хорошим антибликовым свойствам увеличивают поглощение [2, 3]. В связи с этим встает вопрос о методах создания тонких пленок на поверхности полупроводников и изучения других явлений, возникающих в них.

Так соотношение между рассеянием и поглощением света в наноплазмонике [4] является предметом интенсивных исследований, поскольку оптические свойства плазмонных наноструктур благоприятны в плане дальнейшей миниатюризации и увеличения рабочих частот современных и перспективных устройств фотоники и оптоэлектроники. В последнее время были предприняты попытки установления баланса между поглощением и рассеянием света, однако подавляющее большинство работ сосредоточены на изменении формы и размеров наноструктур благородных металлов на диэлектрических подложках. В настоящей работе исследовались тонкие

металлические пленки из золота и серебра на поверхности полупроводникового арсенида галлия – материала совместимого с современными технологиями интегральных схем.

Поскольку оптические и электрические свойства металлических наночастиц сильно зависят от их размера и формы, изучение связи между морфологией тонких металлических пленок, их оптическими спектрами и вольт-амперными характеристиками (ВАХ) является необходимым условием для дальнейшего внедрения металлических наноструктур в устройства фотовольтаики, в частности, в фотоэлектрические преобразователи. Несмотря на перспективу использования ансамблей металлических наночастиц на подложках из полупроводниковых материалов, процессы их самоорганизации при напылении в вакууме остаются малоизученными. В частности, не до конца выяснены механизмы роста пленок на поверхности полупроводников, поскольку для каждой пары металл–полупроводник они индивидуальны.

Таким образом, **цель работы** заключалась в выявлении зависимостей оптических и электрических свойств от морфологии пленок благородных металлов на поверхности арсенида галлия.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. отработка режимов напыления и термической обработки металлических пленок для получения различных структур;
2. создание экспериментальных схем и отработка экспериментальных методик для исследования оптических и электрических свойств;
3. изучение полученных образцов методами атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии, выявление механизма роста;
4. исследование спектров оптической плотности и отражения металлических пленок с различной структурой;
5. исследование проводимости металлических пленок на поверхности GaAs при различных параметрах, в том числе во время термического отжига.

В настоящее время можно выделить несколько основных подходов для создания наноструктур:

1. диспергирование (измельчение) макроскопических объектов;
2. химические методы синтеза;
3. литографические методы;
4. методы молекулярно-лучевой и газофазной эпитаксии.

Последний способ создания тонких металлических пленок представляет наибольший интерес для исследования в данной работе. В настоящее время принято выделять три основных механизма роста пленок различных материалов:

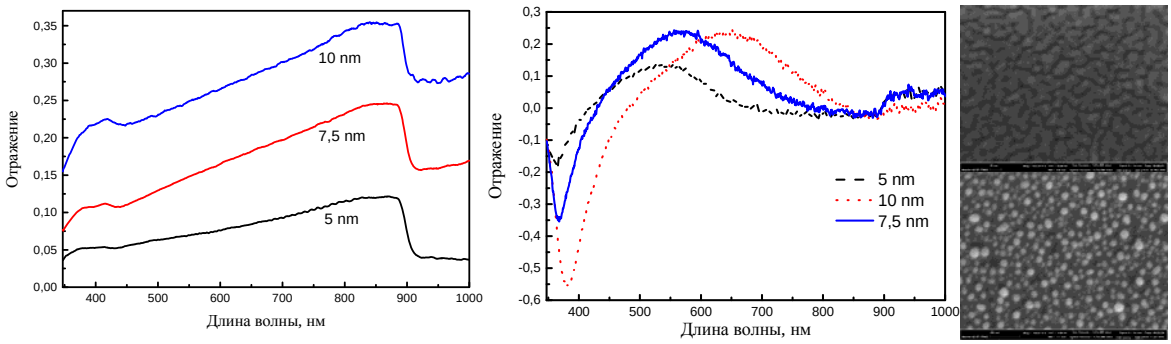
– послойный рост Франка-ван дер Мерве;
– островковый рост Вольмера–Вебера;
– послойно-островковый рост Странского–Крастанова.

Методы исследования. Металлические пленки были созданы методом осаждения термически испаренного серебра [5] на полупроводниковую подложку GaAs в высоковакуумной камере Kurt J. Lesker при давлении остаточных газов порядка 10^{-7} торр. В работе использовалось серебро и золото с содержанием примесей на уровне 0,01%. Эквивалентная толщина островковой пленки определялась при помощи кварцевого датчика, скорость напыления материалов обычно составляет 0,1 Å/с до 1 Å/с, для изменения морфологии производился термический отжиг как в вакууме, так и на воздухе.

Исследование экстинкции получаемых образцов затруднено в связи с непрозрачностью GaAs в видимом спектральном диапазоне. В связи с этим проводились исследования спектров отражения, для этого использовался многоканальный фотонный анализатор Hamamatsu (PMA 12) в диапазоне длин волн от 350 до 1100 нм.

Сравнивая спектры полученных образцов серебряных пленок на поверхности GaAs при различной толщине серебряной пленки, получены следующие результаты, приведенные на рис. 1, а. Из спектров следует, что серебряные наноструктуры демонстрируют неоднородное уширение спектра, которое обусловлено коллективными эффектами отражения света наночастицами. Очевидно, что отражательная способность возрастает с количеством осаждаемого серебра.

На рис. 1, б, представлен спектр отражения различных пленок после термического отжига в одинаковых условиях при температуре 200°С в течение 2 ч. Как видно, спектр отражения сужается по сравнению с неотожженными образцами. Это сужение связано с изменением морфологии серебряных наноструктур. Красный сдвиг плазмонного резонанса в спектрах отражения при увеличении эквивалентной толщины вызван увеличением размеров частиц. Полученные образцы исследовались при помощи сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) рис. 1, в. Как видно из предоставленных данных, пленка до отжига имеет нерегулярную лабиринтную структуру, после отжига она меняет свою структуру на островковую с размером островков от 10 нм до 70 нм.



а б в

Рис. 1. Разностные спектры отражения серебряных пленок толщиной 5 нм; 7,5 нм; 10 нм: до отжига (а); после термического отжига при 200°С в течении 2 ч на поверхности GaAs (б); СЭМ-изображение пленки толщиной 5 нм до и после термического отжига на поверхности GaAs (в)

Сравнивая ранее полученные спектры, соответствующие напыленным наночастицам серебра на сапфировой подложке при аналогичных условиях, получаем, что максимумы спектров на GaAs смещены в длинноволновую сторону. Данное смещение обусловлено тем, что частота локализованных плазмонных резонансов зависит от диэлектрической проницаемости окружающего вещества. Так, для сапфира показатель преломления составляет n=1,8, а для GaAs в данной спектральной области показатель преломления n близок к 3,5.

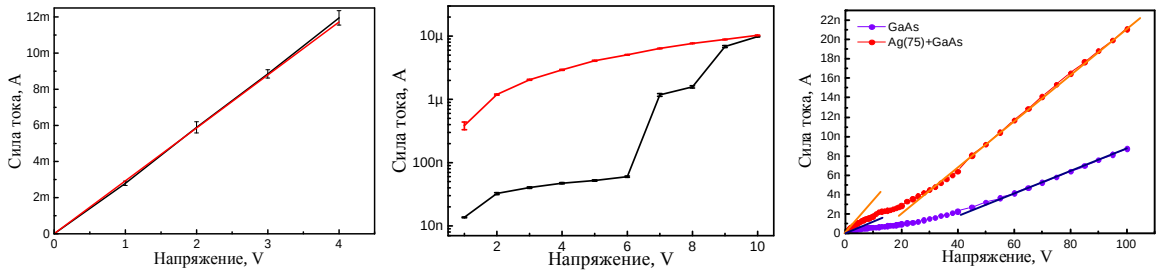
Помимо серебряных, были произведены исследования золотых пленок с эквивалентной толщиной 5 нм и 2 нм. Из полученных спектров следует, что максимум величины отраженного сигнала увеличился после отжига. Однако за счет того, что основной вклад золотой пленки приходится на спектральную область, где фундаментальное поглощение арсенида галлия обрывается, трудно сделать достоверный вывод об изменении ширины спектра. Образцы толщиной 2 нм, напылялись на горячую подложку, в результате получили максимум, смещенный в

коротковолновую область спектра. Согласно данным, полученным при помощи СЭМ-микроскопии, золотая пленка, нанесенная на горячую подложку, представляет из себя достаточно равномерную структуру с небольшими островками с размером от 2 нм до 10 нм. Из спектров отражения золотых и серебряных пленок можно сделать вывод о том, что серебряные пленки наиболее ярко демонстрируют плазмонные свойства. И оказываются пригодными для дальнейших экспериментов по исследованию электрических свойств.

В качестве пленки для предварительного исследования электрических свойств были взяты серебряные пленки толщиной 75 Å. Сопротивление самой серебряной пленки составляет около 330 Ом, что значительно меньше сопротивления чистого GaAs (около 11 ГОм). Зависимость тока от напряжения практически линейная (рис. 2, а), однако с ростом напряжения значительно увеличиваются флуктуации тока. После напыления пленка отжигалась при 100°C в течении 30 мин до резкого увеличения сопротивления.

На рис. 2, б, представлена ВАХ после такого отжига. При увеличении напряжения (черная кривая) пленка находится в высокоомном состоянии с сопротивлением около 80 МОм. Однако при приложении порогового напряжения 7 В сопротивление пленки уменьшилось более чем на порядок. Дальнейший рост напряжения приводил к небольшому росту проводимости. При уменьшении напряжения (красная кривая) ВАХ практически линейна, а сопротивление пленки составляло около 1 МОм. Однако при снятии напряжения пленка переходила обратно в высокоомное состояние. Данная зависимость ВАХ повторялось многократно.

Подобный характер проводимости также наблюдался в серебряных пленках на диэлектрических подложках. Таким образом, данные изменения проводимости можно связать с незначительными структурными изменениями пленки под действием прикладываемого напряжения.



а б в

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика серебряной пленки толщиной 75 Å на поверхности GaAs после напыления (а); ВАХ пленки серебра (75 Å) на пороге перколяции (б); ВАХ серебряной пленки после отжига в течении 1 ч при 200°C (красная кривая) и чистой подложки GaAs (синяя кривая) (в)

Далее пленка подвергалась глубокому отжигу в течение одного часа при 200°C. На рис. 2, в, представлена ВАХ серебряной пленки после отжига и чистой подложки из GaAs. В обоих случаях зависимость тока от напряжения была нелинейна, однако нелинейность носит иной характер по сравнению со структурами на пороге перколяции. При подаваемом напряжении больше 5 В зависимость становится сублинейной. При напряжениях, больше 30 В, наклон кривой становится близким к изначальному. Сопротивление серебряной пленки более чем в два раза меньше сопротивления чистой подложки и составило в зависимости от прикладываемого напряжения 4,385–4,75 ГОм для серебряной пленки и 11,5–11,7 ГОм для чистого GaAs.

В данной работе были получены следующие результаты: физическое осаждение паров Ag и Au на подложке из арсенида галлия приводит к образованию нерегулярных лабиринтных наноструктур, сменяющихся сплошными пленками с увеличением толщины, при этом Ag пленки преобразуются в островковые при термическом отжиге. Таким образом, продемонстрирована возможность настройки спектра дипольного плазмонного поглощения в пределах от 400 нм до более 1 мкм, а также создания области, где островковая металлическая пленка на поверхности выполняет функцию просветляющего покрытия. Образование пленок использованных материалов происходит по механизму Вольмера–Вебера. Кроме того, наблюдается связь между морфологией, оптическими и электрическими свойствами. Исследуемые пленки серебра толщиной 75 Å на пороге перколяции демонстрировали гистерезис проводимости. Для островковых пленок серебра на арсениде галлия наблюдался эффекты увеличения проводимости.

Литература

1. Schaadt D.M., Feng B., Yu E.T. Enhanced semiconductor optical absorption via surface plasmon excitation in metal nanoparticles // Appl. Phys. – 2005. – V. 86. – P. 063106-1–063106-3.
2. Atwater H.A., Polman A. Plasmonics for improved photovoltaic devices // Nature Materials. – 2010. – V. 9. – P. 205–213.
3. Hong L., Wang X.C., Zheng H.Y., He L.N. Design principles for plasmonic thin film GaAs solar cells with high absorption enhancement // J. Appl. Phys. – 2012. – V. 112. – P.054326-1–54326-5.
4. Климов В.В. Наноплазмоника. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2010. – 480 с.
5. Toropov N.A., Parfenov P.S., Vartanyan T.A. Aggregation of cyanine dye molecules in the near fields of plasmonic nanoparticles excited by pulsed laser irradiation // J. Phys. Chem. – 2014. – V. 118. – P. 18010–18014.

Гузилова Любовь Игоревна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, группа № В4270
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: luba-guzilova@yandex.ru

УДК 620.178.15

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ И ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ β-Ga_2O_3

Л.И. Гузилова
Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент В.Е. Бугров

В работе приведены результаты исследования механических свойств объемных кристаллов и эпитаксиальных слоев β-Ga_2O_3 методами микро- и наноиндентирования. Измерения производились с использованием четырехгранной пирамиды Виккерса (микроиндентирование) и трехгранной пирамиды Берковича (наноиндентирования). Усредненные значения микротвердости для объемного кристалла и эпитаксиальных слоев составили 8,9 и 12, 17 ГПа, соответственно. Значение модуля Юнга объемного кристалла и пленок составило 230 и 225, 300 ГПа.

Ключевые слова: оксид галлия, микроиндентирование, наноиндентирование.

Благодарности. Настоящее исследование поддержано Российским научным Фондом (Грант РНФ №14-29-00086).

Введение. Оксид галлия – новый перспективный широкозонный полупроводник, β-политип является наиболее распространенной его полиморфной модификацией. Термическая стабильность β-Ga_2O_3 позволяет получать его при помощи высокотемпературных процессов, таких как кристаллизация из расплава или газофазная эпитаксия.

В настоящий момент механические характеристики монокристаллов β-Ga_2O_3 изучены крайне мало. Систематических данных о механических свойствах оксида галлия пока не опубликовано. Однако есть сведения о микротвердости для плоскостей с ориентацией (101) и $(\bar{2}01)$, и о модуле Юнга в буклетах Tamura Corp. [1]. Безусловно, знания о механических свойствах важны, так как механические напряжения являются определяющими при формировании дефектной структуры кристаллов, контроль последних позволяет избежать двойникование кристаллов. Кроме того, механико-химические свойства являются существенными при разработке процессов технологической обработки кристаллов, например, при подборе абразивов.

Так как полупроводниковые приборы создаются при послойном нанесении тонких кристаллических слоев, для их контроля разработан метод, позволяющий проводить измерения при глубине индентирования несколько нанометров. При большей глубине индентирования проявляется влияние свойств подложки на пленку.

Цель работы – исследование механических характеристик, таких как модуль упругости и твердость в микро- и нанодиапазоне. В рамках работы выполнены:

– эксперименты по деформированию кристаллов и слоев путем микро- и наноиндентирования, модуля упругости кристаллов и пленок β-Ga_2O_3;
– сравнение механических характеристик β-Ga_2O_3 со значениями для других полупроводников, использующихся в промышленности.

Микроиндентирование монокристаллов β-Ga_2O_3. Монокристаллы β-Ga_2O_3 (рис. 1), используемые в работе, были выращены методом свободной кристаллизации [2]. Измерение микротвердости образцов проводилось по методу Виккерса при помощи микротвердомера ПМТ-3, индентором служила 4-гранная пирамида Виккерса.

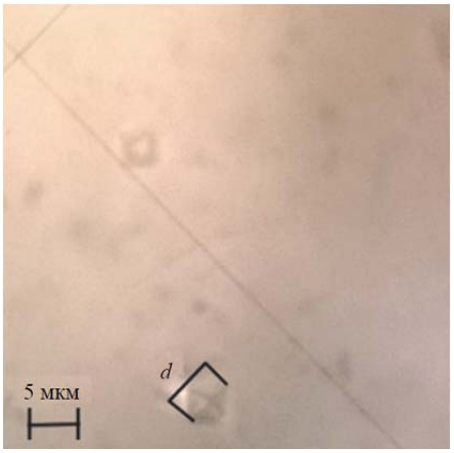


Рис. 1. Изображение отпечатка на поверхности (001) кристалла β-Ga_2O_3, оставленного индентором (алмазной пирамидкой) при нагрузке на нее 1 Н; *d* – диагональ отпечатка

Под микротвердостью материалов понимается значение твердости при испытаниях с нагрузкой не более 2Н (200 г) и глубиной индентирования не более 200 нм. Для измерения микротвердости в испытуемый образец под определенной нагрузкой вдавливается индентор. После поднятия индентора и измерения полученного отпечатка вычисляется микротвердость.

При использовании пирамиды Виккерса микротвердость H_V вычисляется по формуле, связывающей H_V с отношением приложенной к индентору нагрузки P к квадрату диагонали d полученного отпечатка:

$$H_V = \frac{1{,}854P}{d^2}.$$

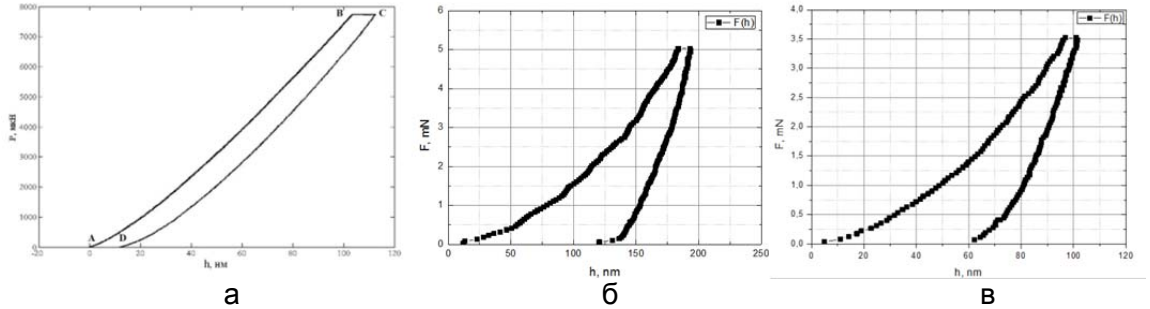
Полученные значения микротвердости по Виккерсу монокристаллов β-Ga_2O_3 для грани (100) при различных нагрузках показаны в табл. 1. Отметим, что эти значения несколько отличаются от данных, приведенных Tamura Corporation [1]: 9,7 ГПа (101), 12,5 ГПа ($\bar{2}01$), что, по-видимому, связано с анизотропией свойств в кристаллах β-Ga_2O_3. В табл. 1 показаны также сравнительные величины микротвердости β-Ga_2O_3 с известными данными для эпитаксиального слоя GaN толщиной 4,8 мкм, выращенного на Si грани поверхности (0001) подложки 6H-SiC [3], и эпитаксиального слоя GaP толщиной 7 мкм, выращенного на подложке GaP:S [4]. Видно, что β-Ga_2O_3 превосходит по микротвердости эпитаксиальные слои фосфида галлия, но уступает нитриду галлия.

Таблица 1. Значение величины микротвердости кристаллов β-Ga_2O_3, GaN, GaP в зависимости от нагрузки

Нагрузка, N / Значение микротвердости, GPa	0,2 N	0,3 N	0,5 N	0,7 N	0,8 N	1 N
(001) β-Ga_2O_3	–	8,3	9,1	9,4	8,5	9,1
(0001) GaN [4]	12,0	–	14,4	–	–	14,2
(111) GaP [5]	–	–	8,5	–	–	7,7

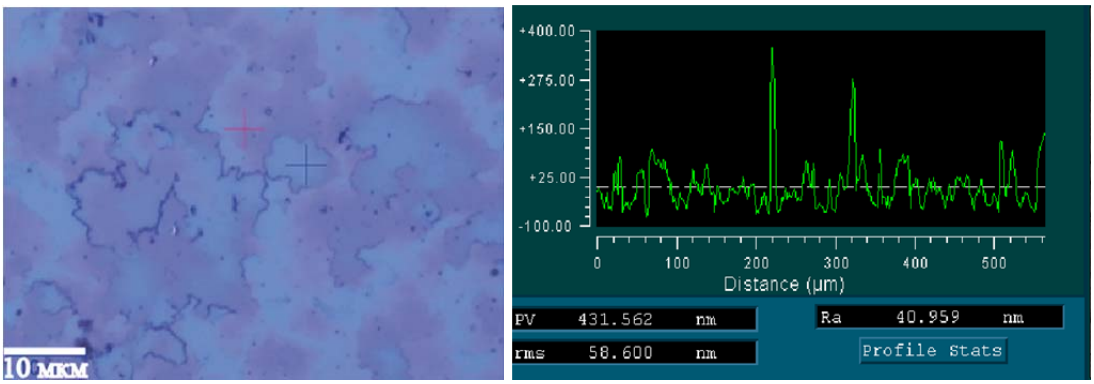
Наноиндентирование монокристаллов и пленок β-Ga_2O_3. Под наноиндентированием в общем случае понимается индентирование материала с глубиной проникновения индентора в образец, не превышающей 200 нм. Принцип действия устройств, осуществляющих наноиндентирование, заключается в следующем: к поверхности исследуемого материала прикладывается нагрузка, при этом регистрируются пьездатчиком деформации, происходящие на исследуемой поверхности, данные передаются на ПК, где в режиме реального времени строятся кривые нагружения (диаграммы P–h, рис. 2). При индентировании тонких пленок максимальная нагрузка на индентор не должна превышать значения, соответствующего глубине проникновения индентора в поверхность образца, равной 10% толщины пленки, так как при большей глубине проникновения подложка начинает оказывать влияние на получаемые характеристики материала, появляются ошибки измерения.

Анализ кривых нагружения, полученных при индентировании, позволяет получить данные о различных характеристиках материала. Наиболее простым в осуществлении является методика Оливера–Фарра [5]. Данный способ, в частности, позволяет извлечь данные о нанотвердости и модуле Юнга из P–h диаграммы (рис. 2). В работе использовались пленки β-Ga_2O_3, выращенные на m- и c-гранях сапфировых подложек. Пленки были получены методом хлоридной эпитаксии. Толщина слоев составляла около 1 мкм.



а б в

Рис. 2. P-h диаграмма нагружения: поверхность (100) объемного монокристалла β-Ga_2O_3 (AB – нагружение; BC – выдержка при *P*=const; CD – разгрузка) (а); β-Ga_2O_3/m-Al_2O_3 (б); β-Ga_2O_3/c-Al_2O_3 (в)



а б

Рис. 3. Поверхность эпитаксиального слоя β-Ga_2O_3/c-Al_2O_3: оптическая микроскопия (а); профиль поверхности (б)

Заключение. Полученные значения микротвердости и модуля упругости для поверхности (100) объемного β-Ga_2O_3 немного отличаются от данных для кристаллов, выращенных Tamura Corp., что объясняется наличием анизотропии в кристалле (табл. 2). Также измеренные значения для пленок β-Ga_2O_3 оказались больше (12 и 17 ГПа против 8,91), чем для объемного кристалла. Это можно объяснить, во-первых, тем, что сапфировая подложка оказывает некое влияние на твердость (твердость сапфира больше, чем β-Ga_2O_3), во-вторых, исследовались различные ориентации в кристалле и пленках, в-третьих, возможно, это связано с влиянием методики наноиндентирования.

Таблица 2. Данные о модуле Юнга и твердости для различных плоскостей кристаллов и пленок β-Ga_2O_3

Образец / Характеристика	Объем. кристалл (100) (эта работа)	Объем. кристалл (Tamura Corp.) [1]		Эпитаксиальные слои (эта работа)	
		(101)	$(\bar{2}01)$	β-Ga_2O_3/*m*-Al_2O_3 $(\bar{2}01)$	β-Ga_2O_3/*c*-Al_2O_3 (100)
H, ГПа	8,9	9,7	12,5	12	17
E, ГПа	234	230	230	225	300

Несмотря на то, что β-Ga_2O_3 имеет меньшую твердость чем GaN, β-Ga_2O_3 может стать хорошим конкурентом GaN, хотя бы той причине, что монокристаллический β-Ga_2O_3 можно выращивать из расплава, а GaN можно получить данным способом только при высоких давлениях, что является, несмотря на развитость технологии его получения, проблематичным.

Литература

1. Single-Crystal Gallium Oxide Substrates [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tamurass.co.jp/en/release/20131122, своб.
2. Маслов В.Н., Крымов В.М., Блашенков М.Н. и др. Выращивание кристаллов β-Ga_2O_3 из собственного расплава // Письма в журнал технической физики. – 2014. – Т. 40. – № 7. – С. 56–61.
3. Николаев В.И., Шпейзман В.В., Смирнов Б.И. Определение модуля упругости эпитаксиальных слоев GaN методом микроиндентирования // Физика твердого тела. – 2000. – Т. 42. – № 3. – С. 428–431.
4. Бринкевич Д.Н., Вабищевич Н.В., Вабищевич С.А. Физико-механические свойства эпитаксиальных слоев фосфида галлия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2010. – № 9. – С. 92–97.
5. Oliver W.C., Pharr G.M. An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation // Journal of Materials Research. – 1992. – V. 6. – № 7. – P. 1564–1583.

Денисултанов Алауди Хожбаудиевич
Год рождения: 1992
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа № V4202
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: alaudi.denisultanov@gmail.com

УДК 535.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИИ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОНОСЛОЯХ ГРАФЕНА

А.Х. Денисултанов
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент М.К. Ходзицкий

Мало- и неинвазивная диагностика и терапия социально-значимых заболеваний электромагнитным излучением инфракрасного и терагерцевого диапазона частот. Разработка физических принципов и систем оптических, быстрых и защищенных коммуникаций и дистанционного зондирования объектов.

Графен – это углеродистый материал с шестиугольной кристаллической решеткой и толщиной в один атом с необычными электронными и оптическими свойствами. Из-за особенностей физико-химической структуры графен является уникальным материалом [1].

В настоящий момент графен признан ключевым материалом для всего: начиная от сверхмалых компьютеров до высокоэффективных батарей и конденсаторов. Высокая мобильность электронов в графене побудила на создание большого количества разработок высокоскоростных электронных устройств на графене, таких как полевые транзисторы, диоды и транзисторы на *p-n* переходе [2].

Помимо вышеперечисленных свойств графен имеет еще одну уникальную особенность – частота его плазмонных колебаний находится в терагерцовой (ТГц) области частот, делая его пригодным материалом для детектирования и генерации ТГц излучения [1].

Как известно, ТГц излучением называется электромагнитное излучение с частотой, принадлежащей диапазону от $0{,}1\cdot10^{12}$ до $10\cdot10^{12}$ Гц [3]. Преимуществом этого типа излучения является тот факт, что вращательные и колебательные энергетические уровни молекул соответствуют энергиям ТГц излучения, поэтому с помощью ТГц излучения можно идентифицировать различного рода химические материалы и биологические объекты. Более того, для ТГц излучения прозрачны некоторые типы пластмасс, одежда и бумага, что позволяет детектировать спрятанные за ними объекты. По этим причинам ТГц излучение используется в спектроскопии, биомедицине, системах безопасности и индустрии.

Но до сих пор активное применение ТГц излучения весьма затруднительно, так как инженеры сталкиваются с большими трудностями в разработке и создании компактных, недорогостоящих и эффективных ТГц приемников и источников.

Помимо того, что графен является перспективно прорывным материалом в наноэлектронике, он также дает надежды в создании новых малоразмерных и многофункциональных ТГц устройств.

Цель работы – исследование генерации ТГц излучения на монослоях графена на подложках кварца и полиэтилентерефталата (ПЭТ) при оптической накачке.

Если в уравнении комплексной диэлектрической проницаемости $\hat{\varepsilon} = \varepsilon' + i\varepsilon''$ расписать мнимую часть, как $\varepsilon'' = \dfrac{\hat{\sigma}}{\omega\varepsilon_0 t}$, где $\hat{\sigma}$ – комплексная проводимость графена; ε_0 – диэлектрическая постоянная; t – толщина графена, и ω – циклическая частота, тогда уравнение комплексной диэлектрической проницаемости будет записано в виде:

$$\hat{\varepsilon} = \varepsilon' - \frac{\sigma''}{\omega\varepsilon_0 t} + i\frac{\sigma'}{\omega\varepsilon_0 t}. \qquad (1)$$

Исходя из уравнения (1) можно сделать вывод, что при изменении знака действительной части проводимости графена σ' на противоположный, мнимая часть диэлектрической проницаемости ε'' тоже изменит знак, и тогда вместо поглощения излучения, за которое отвечает мнимая часть диэлектрической проницаемости ε'', будет происходить его генерация.

В свою очередь, действительная часть проводимости графена σ' рассчитывается по следующим формулам [4]:

$$\mathrm{Re}\,\hat{\sigma}(\omega) = \mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{inter}}(\omega) + \mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{intra}}(\omega), \qquad (2)$$

$$\mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{inter}}(\omega) = \frac{e^2}{4\hbar}\left(1 - 2f\left(\frac{\hbar\omega}{2}\right)\right), \qquad (3)$$

$$\mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{intra}}(\omega) = \frac{e^2}{\pi\hbar}\frac{\tau E_F}{(1+\omega^2\tau^2)}, \qquad (4)$$

где $\mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{inter}}(\omega)$ и $\mathrm{Re}\,\hat{\sigma}_{\mathrm{intra}}(\omega)$ – действительные части межзонной и внутризонной проводимости графена; $f\left(\dfrac{\hbar\omega}{2}\right) = \dfrac{1}{\exp\left(\dfrac{\hbar\omega - E_F}{2k_B T}\right)+1}$ – функция Ферми; e – заряд электрона; k_B – постоянная Больцмана; T – температура; $\hbar$ – постоянная Диарака; τ – время релаксации; $E_F = \hbar u_F (N\pi)^{1/2}$ – энергия Ферми; $u_F \approx 10^6$ м/с – скорость Ферми; N – концентрация носителей заряда.

Зная время релаксации носителей τ в графене и энергию Ферми E_F без накачки, можно рассчитать дисперсию проводимости графена на подложках без накачки.

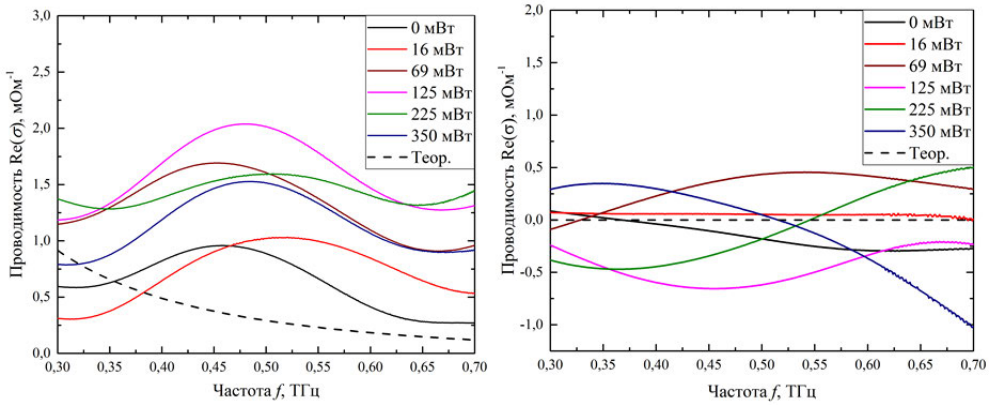
Для получения значения энергии Ферми E_F графена на подложках была использована рамановская спектроскопия (таблица). Время релаксации τ было рассчитано из работы [4] с учетом влияния подложки.

Таблица. Энергии Ферми и концентрация носителей графена

Подложка	Энергия Ферми E_F, мэВ	Время релаксации τ, пс
Кварц	189,3	21,16
Полиэтилентерефталат	195,3	10,89

В работе было проведено экспериментальное изучение генерации ТГц излучения на монослоях графена с помощью стандартного импульсного ТГц спектрометра, схема которого описана в [5]. В качестве источника оптической накачки использовался непрерывный лазер длиной волны 980 нм мощностью до 350 мВт. Луч падал под углом 45° к образцу. Диаметр пятна зондирующего излучения и накачки – 3 мм.

На рис. 1 представлены теоретически рассчитанные без накачки и экспериментально полученные дисперсии действительной части проводимости графена на подложке полиэтилена при различных значениях мощности накачки.



а б

Рисунок. Дисперсия проводимости графена на подложке полиэтилентерефталата (а) и кварца (б) при оптической накачке

На рисунке, а видно, что при увеличении мощности накачки до 125 мВт происходит увеличение проводимости графена, однако при накачке 225 и 350 мВт проводимость уменьшается. Теоретическая дисперсия проводимости графена без накачки соответствует экспериментальному значению с небольшим расхождением. Сдвиги по частоте связаны с тем, что с помощью температуры и магнитного поля можно изменять проводимость графена на определенных частотах [1].

При анализе уравнений (2) и (3) можно сделать вывод, что при непрерывной оптической накачке происходит значительное повышение параметра k_BT подложки полиэтилентерефталата, которая передает эту тепловую энергию графену. Также при накачке увеличивается количество свободных носителей и происходит увеличение E_F.

На рисунке, б представлены дисперсии действительной части проводимости графена на подложке кварца при различных значениях мощности накачки.

На рисунке, б теоретическое значение проводимости графена без накачки очень близко к нулю, однако, согласно работе [4], при увеличении показателя преломления подложки ($n_{\text{кварц}} = 2{,}14$, $n_{\text{ПЭТ}} = 1{,}74$ в ТГц диапазоне) проводимость графена стремится в отрицательную область значений, и даже без накачки может иметь отрицательное значение проводимости, что и было получено в эксперименте. Представленный экспериментальный результат повторялся неоднократно.

Так же, как и в случае с монослоем графена на ПЭТ, при слабых мощностях накачки 16 и 69 мВт наблюдается увеличение проводимости монослоя графена. Но при 125 мВт проводимость резко уменьшается, и вся дисперсионная кривая имеет отрицательное значение. При 225 мВт отрицательная проводимость от 0,3 до 0,55 ТГц, при 350 мВт отрицательная проводимость от 0,5 до 0,7 ТГц.

В настоящей работе было экспериментально показано, что монослой графена на подложке кварца способен генерировать ТГц излучение как в свободном состоянии, так и при непрерывной оптической накачке длиной волны 980 нм. На подложке полиэтилентерефталата не была получена генерация, что связано со свойствами и структурными особенностями самой подложки.

В дальнейшем будет проводиться исследование влияния температуры и магнитного поля на изменение проводимости графена. Также будет собрана pump-probe схема для экспериментального расчета времени релаксации носителей в графене, и для осуществления накачки графена импульсным излучением. Более того, будет проведено экспериментальное исследование генерации ТГц излучения графена на подложке кремния при накачке самой подложки. В будущем будет разработан коммерческий макет генератора ТГц излучения на основе графена.

Литература

1. Alwarappan S., Kumar A. Graphene-based Materials: Science and Technology. – USA (Boca Raton): CRC Press, 2013. – 202 p.
2. Dawlaty J.M. et al. Measurement of ultrafast carrier dynamics in epitaxial graphene // Applied Physics Letters. – 2008. – V. 92. – № 4. – P. 042116.
3. Zhang X.C., Xu J. Introduction to THz wave photonics. – USA (New York): Springer, 2010. – 239 p.
4. Svintsov D. et al. Carrier-carrier scattering and negative dynamic conductivity in pumped graphene // Optics express. – 2014. – V. 22. – № 17. – P. 19873–19886.
5. Bespalov V.G. et al. Methods of generating superbroadband terahertz pulses with femtosecond lasers // Journal of Optical Technology. – 2008. – V. 75. – № 10. – P. 636–642.

Егорова Елизавета Сергеевна
Год рождения: 1992
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, группа № Р4271
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: egorovaliza92@gmail.com

УДК 004.4'27

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВА ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Е.С. Егорова
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Меженин

С помощью систем, осуществляющих захват движений человека, можно реализовывать различные развлекательные игры, симуляторы с разной степенью реалистичности, медицинские программы. При использовании систем захвата движений у разработчиков и исследователей может возникнуть необходимость быстрой и точной оценки рабочего пространства.

Также оценка рабочего пространства может пригодиться и в системах виртуальной реальности. Например, при использовании шлема виртуальной реальности, человек не видит окружающего его пространства, а видит лишь виртуальную сцену, что может привести к травмам и несчастным случаям. В связи с этим виртуальную сцену необходимо ограничивать.

Цель работы заключалась в создании методики определения рабочего пространства для захвата движений с помощью системы Kinect 1.0 и Kinect 2.0. Методика используется для составления карт рабочего пространства, на основе которых генерируются виртуальные сцены, ограниченные в соответствии с имеющимся пространством.

Практическая ценность данной работы состоит в том, что полученные результаты могут найти применение в сфере информационных технологий в разработках и приложениях, использующих системы захвата движений.

Методика определения рабочего пространства. Для проведения исследования и создания методики были использованы следующие средства:

1. датчик Kinect for Windows 1.0 и Windows 2.0 для захвата движений;
2. Kinect2BVH – программа для считывания и записи в формате BVH скелетной информации с датчика Kinect 1.0;
3. MATLAB – для произведения расчетов и построения карт рабочего пространства;
4. Visual Studio 2013 – для написания программного кода.

Для проведения методики необходимо записать данные захвата с помощью программы Kinect2BVH в файл формата BVH. В каждом кадре фиксируется положение человека в пространстве и углы между суставами модели скелета, которые представляют собой древовидную структуру. При воспроизведении анимации в некоторых кадрах можно заметить резкие движения модели скелета, которые не были сделаны человеком при захвате движений. Эти резкие движения являются ошибочными. Для того чтобы выявить все эти ошибочные движения, нужно вычислить значения ускорения движения сгибания для каждого сустава [1].

Для определения качества распознавания скелетной информации в разных точках рабочего пространства используются следующие формулы, выведенные экспериментальным путем:

– для определения количества ошибок в кадре:

$$E_f = \sum_{i=1}^{n} ((\alpha_i'' > a_{\max}) + (\beta_i'' > a_{\max}) + (\gamma_i'' > a_{\max})),$$

где α_i, β_i, γ_i – эйлеровы углы i-го сустава в данном кадре; $a_{\max}$ – пороговое значение углового ускорения;

– для оценки области пространства с координатами x, z:

$$E_{x,z} = \ln \frac{\sum E_f}{F \cdot n \cdot 3} + c,$$

где F – количество кадров в точке с координатами x, z; n – количество суставов в модели человека; E_f – количество ошибок в кадре для координат пространства x, z; c – константа для получения положительных значений.

В результате обработки информации, полученной от датчика Kinect, и выполнения расчетов, получается матрица оценки областей пространства. По этой матрице строятся карты рабочего пространства. Для построения карт используется логарифмическая шкала. Расчеты и построение карт рабочего пространства производятся в программе MATLAB с использованием вышеописанных формул.

Оценка ограниченного пространства. Методика определения рабочего пространства позволяет оценить ограниченное какими-либо препятствиями место съемки [2]. Для этого нужно с помощью датчика Kinect 1.0 и программы Kinect2BVH произвести захват движений и выполнить необходимые вычисления в MATLAB. При захвате движений человеку необходимо равномерно пройтись по изучаемому пространству, стараясь побывать в каждой его точке. Для более точного результата, требуется длительный захват движений.

В проведенных экспериментах захват длился около 5 мин. Захват движений был произведен для двух разных людей по два раза. По описанной методике были построены две карты рабочего пространства одного и того же помещения на основе данных захвата движений двух человек (рис. 1). Результаты оказались схожими на уровне, достаточном для оценки рабочего пространства в прикладных целях.

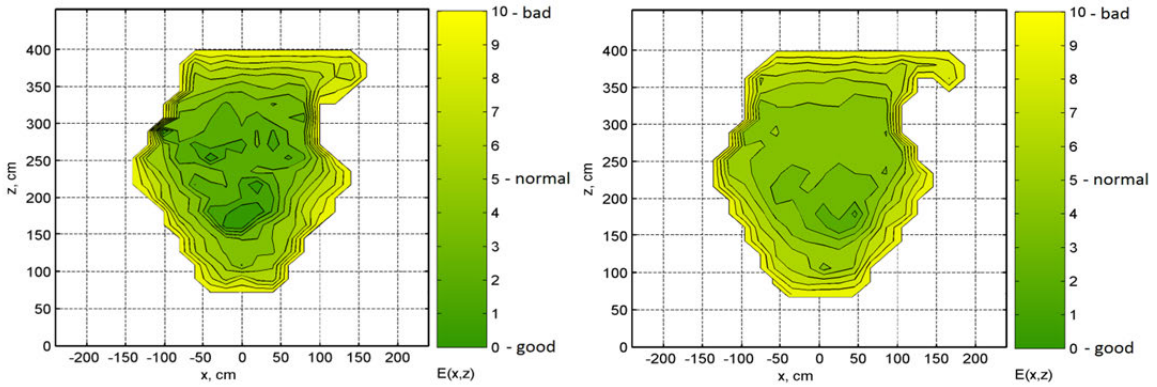


Рис. 1. Карты рабочего пространства, построенные по данным захвата движений двух человек

Определение предельных угловых ускорений. С помощью имеющейся методики можно распознать неточности захвата, измеряя угловое ускорение движения сгибания суставов и сравнивая его с пороговым значением. В вышеописанной методике в качестве порогового значения выступала константа $a_{\max}$, полученная эмпирическим путем. Но поскольку для разных суставов это пороговое значение может отличаться, для распознавания большего количества ошибок были произведены захваты активных и быстрых движений трех разных людей по 2–3 раза и проведены вычисления в MATLAB. В результате были выявлены пороговые значения ускорений для разных суставов, которые учитывались для оптимизации вычисления ошибок захвата [3].

Для определения количества ошибок в кадре была изменена формула в соответствии с имеющимися пороговыми значениями:

$$\mathrm{E}_f = \sum_{i=1}^{n}((\alpha_i'' > a_{\max_i}) + (\beta_i'' > b_{\max_i}) + (\gamma_i'' > c_{\max_i})),$$

где α_i, β_i, γ_i – эйлеровы углы i-го сустава в данном кадре; $a_{\max}$, $b_{\max}$, $c_{\max}$ – пороговые значения угловых ускорений i-го сустава по осям Ox, Oy, Oz.

По сравнению с прошлой методикой, добавление пороговых значений угловых ускорений для каждого сустава позволило выявить большее количество ошибок захвата.

Автоматизация методики для Kinect 2.0. Для дальнейшей работы было взято за основу приложение BodyBasics-D2D, находящееся в пакете Microsoft Kinect SDK 2.0. Автоматизация работы методики заключается в считывании данных с датчика Kinect 2.0 и последующей обработке полученных данных в каждом кадре. Обработанная информация сразу же выводится на экран в виде двух цветных матриц,

на первой из которых отображено количество захваченных кадров в определенной точке пространства, а на второй матрице отображается карта ошибок [4].

Считывание данных производится в приложении BodyBasics-D2D. В это приложение были добавлены методы, вычисляющие угловые ускорения движения суставов, и суммирующие ошибки и количество захваченных кадров для каждой точки пространства.

Использование методики оценки рабочего пространства. Поскольку во время использования различных инструментов для погружения человека в виртуальную реальность, таких как шлем виртуальной реальности Oculus Rift, человек не может видеть окружающее себя пространство, он может сталкиваться с различными объектами, что может привести к травмам и несчастным случаям. В связи с этим возникает задача ограничения виртуального пространства в соответствии с имеющимся рабочим пространством.

Для построения сцен виртуальной реальности используется вышеописанная методика. С помощью методики строится карта ошибок, и по этой карте генерируются объекты, которые ограничивают виртуальную сцену в соответствии с полученными данными.

В работе использован инструмент для создания игр Unity 3D (игровой движок) – средство, позволяющее работать и с системами захвата движений (Kinect, LeapMotion), и с аппаратными средствами погружения в виртуальную реальность (OculusRift).

Этапы создания виртуальной сцены:

1. установка требуемого программного обеспечения (Unity 3D, Microsoft Kinect SDK 2.0);
2. создание пустой виртуальной сцены и объекта, который будет генерироваться и ограничивать сцену в соответствии с картой ошибок;
3. захват движений с помощью Kinect 2.0, оценка рабочего пространства и запись полученных данных в виде матрицы ошибок;
4. считывание матрицы ошибок, записанной в отдельном текстовом файле, для дальнейшего использования при генерации объектов;
5. выполнение программного кода для генерации объектов, ограничивающих игровую сцену по заданной карте ошибок.

На рис. 2 изображена виртуальная сцена, ограниченная прямоугольными блоками по считанной матрице ошибок.

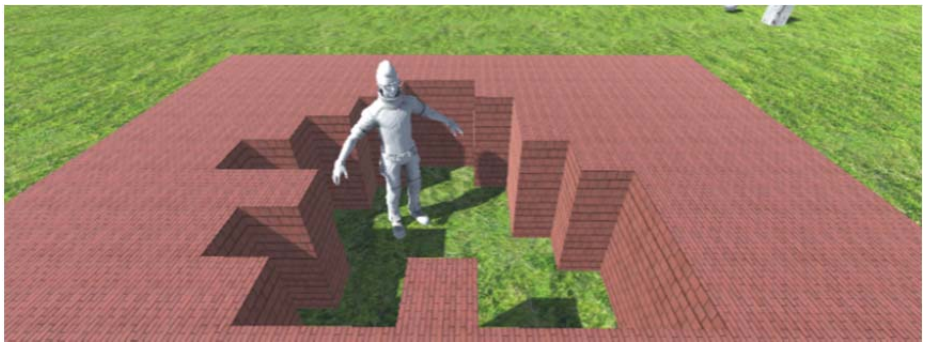


Рис. 2. Сцена, сгенерированная по карте ошибок

В результате было создано программное средство, генерирующее игровую сцену в Unity3D, ограниченную в соответствии с картой ошибок, которая получена после оценки рабочего пространства датчиком Kinect 2.0 [5].

Заключение. В результате выполнения данной работы была создана и опробована методика определения рабочего пространства для захвата движений с

помощью датчиков Kinect 1.0 и Kinect 2.0. Было разработано программно-аппаратное средство, которое использует вышеописанную методику для улучшения качества погружения пользователя в виртуальную реальность. Данное средство использует игровой движок Unity3D и систему захвата движений Kinect 2.0. Особенностью созданного средства является использование карт рабочего пространства, полученных с помощью проведения методики, для ограничения виртуальной сцены. Это помогает избавиться от сложностей, которые возникают при использовании различных средств и систем для погружения человека в виртуальную реальность.

В дальнейших исследованиях предполагается улучшить полученное программно-аппаратное средство путем реализации перемещения персонажа в виртуальном пространстве согласно перемещениям человека.

Литература

1. Егорова Е.С., Лавров А.В., Меженин А.В. Оценка точности захвата движений в рабочем пространстве захвата Kinect // Наука и образование в жизни современного общества: сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – 2015. – Ч. 12. – С. 31–33.
2. Егорова Е.С., Лавров А.В. Исследование качества распознавания в рабочем пространстве системы Kinect // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 1. – С. 153–156.
3. Egorova L., Lavrov A. Determination of workspace for motion capture using Kinect // 56th International Scientific Conference of Power and Electrical Engineering of Riga Technical University. – 2015. – P. 121–124.
4. Егорова Е.С., Лавров А.В. Методика определения рабочего пространств для захвата движений человека с помощью датчика Kinect // Сб. научных трудов молодых ученых и сотрудников кафедры ВТ. – 2015. – № 6. – С. 19–22.
5. Егорова Е.С., Лавров А.В. Использование захвата движений человеческих конечностей в системах виртуальной реальности // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 432–434.

Елистратов Василий Васильевич
Год рождения: 1975
Институт международного бизнеса и права,
кафедра интеллектуальной собственности и управления инновациями, группа № О4220
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: evv-vdv@yandex.ru

УДК 338.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

В.В. Елистратов
Научный руководитель – д.э.н., профессор Е.Л. Богданова

Научно-исследовательский проект выполнен в рамках прохождения преддипломной практики в Министерстве промышленности, инновационных и информационных технологий Рязанской области.

Работа посвящена разработке системы организации управления инновационной деятельностью Рязанской области и предложений по ее внедрению [1–5].

В процессе работы были решены следующие задачи:

1. проведен анализ состояния вопроса управления инновационной деятельностью организаций и предприятий Рязанской области по сравнению с региональными флагманами инновационного развития (Московской, Ленинградской, Калужской, Липецкой и другими областями);
2. определены основные факторов повышения эффективности инновационного развития региона с учетом особенностей научных и промышленных кластеров;
3. разработаны предложения по организации системы управления инновационной деятельностью Рязанской области с учетом особенностей научных и промышленных кластеров региона;
2. разработаны рекомендации и предложения по внедрению системы организации управления инновационной деятельностью Рязанской области.

Одновременно с этим исследован процесс управления инновационной деятельностью в Рязанской области.

Разработана система организации управления инновационной деятельностью Рязанской области с учетом особенностей научных и промышленных кластеров региона.

Разработаны предложения для включения в стратегию инновационного развития Рязанской области систему управления инновационной деятельностью, которые направлены на создание оптимальных и благоприятных условий для разработки в регионе инновационных технологий, товаров, работ и услуг.

Сформулированные в работе выводы являются фактологическими и обоснованными.

Результаты работы реализованы при организации патентно-лицензионной работы и управлении инновационной деятельностью предприятия, кроме того проведена серия занятий со специалистами предприятия по вопросам защиты прав на результаты интеллектуальной деятельности их коммерциализации и составления конкурсной документации на получение грантов регионального правительства на софинансирование научно-исследовательских работ.

Результаты работы использованы на практике, а предложения являются перспективными с практической точки зрения.

Литература

1. Гражданский кодекс Российской Федерации. Части первая, вторая, третья и четвертая. – Москва: Проспект, КноРус, 2011. – 544 с.
2. ГОСТ Р 15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 9 с.
3. ГОСТ Р 55386-2012. Интеллектуальная собственность. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2015. – 72 с.
4. Глущенко П.П. Конституционное право России: учебное пособие. – 2-е изд. Стандарт третьего поколения. – СПб.: Питер, 2012. – 320 с.
5. Судариков С.А. Интеллектуальная собственность. – М.: Изд-во деловой и учебной литературы, 2007. – 796 с.

Ермаков Олег Евгеньевич
Год рождения: 1993
Факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра нанофотоники и метаматериалов, группа № V4240
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника
и оптоинформатика
e-mail: o.yermakov@phoi.ifmo.ru

УДК 535.583, 538.958, 538.971, 539.124.4

ГИБРИДНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ ПЛАЗМОНЫ НА АНИЗОТРОПНОЙ МЕТАПОВЕРХНОСТИ

О.Е. Ермаков
Научный руководитель – к.ф.-м.н., н.с. А.А. Богданов

Работа выполнена при поддержке стипендии фонда «Династия».

Сегодня оптические технологии стали частью нашей жизни и невозможно переоценить их роль в современном обществе. Важность роли света была также подчеркнута ООН, которая провозгласила 2015 год «Международным годом Света». В последнее время наблюдается всплеск интереса к изучению метаповерхностей [1]. Это связано с тем, что обладая преимуществами объемных метаматериалов, метаповерхности проще в изготовлении, совместимы с планарной технологией производства, выступают объектами управления светом (линзами, антеннами, поляризационными преобразователями, поглотителями и т.д.) и могут быть эффективно внедрены в различные оптические устройства «на чипе» [2]. Эта научно-исследовательская работа направлена на изучение свойств поверхностных волн, локализированных на анизотропной метаповерхности, в рамках модели эффективного тензора проводимости. Такая задача не рассматривалась ранее, но можно провести аналогию с исследованными ранее Дьяконовскими поверхностными волнами, распространяющимися вдоль границы диэлектрика и одноосного кристалла [3]. Дьяконовские волны имеют смешанную TE-TM-поляризацию и высокую направленность распространения, но являются слабо локализированными, могут распространяться лишь в узком диапазоне углов относительно оптической оси одноосного кристалла и их тяжело детектировать из-за налагаемых на диэлектрические проницаемости условий существования. Поверхностные волны на анизотропной проводящей метаповерхности обладают такими особенностями, как гибридная TE-TM-поляризация и зависимость дисперсии от углов распространения, но в то же время являются более гибкими в управлении и контроле. Настоящая работа направлена на повышение потенциала оптических технологий и их применения с целью изучения новых электромагнитных явлений, а также их использования в оптико-электронных приборах, оптических и квантовых компьютерах.

В представленной работе проведено теоретическое исследование законов дисперсии, изочастотных контуров, распределений электромагнитных полей, спектров потерь и поляризационных свойств поверхностных волн, распространяющихся вдоль анизотропной некиральной метаповерхности. Анализ проводился в рамках приближения эффективной среды, позволяющего описывать оптические свойства метаповерхности диагональным двумерным тензором проводимости, дисперсия главных компонент которого учитывалась в рамках модели Друде–Лоренца.

Основные результаты научно-исследовательской работы могут быть сформулированы следующим образом.

1. Показано, что в зависимости от знаков компонент тензора проводимости могут наблюдаться три режима метаповерхности: емкостной, индуктивный и гиперболический.
2. Получено и проанализировано дисперсионное уравнение поверхностных волн на анизотропной проводящей метаповерхности (рис. 1):

$$\left(\frac{\kappa_1}{k_0}+\frac{\kappa_2}{k_0}-i\frac{4\pi}{c}\sigma_{yy}\right)\left(\frac{\varepsilon_1 k_0}{\kappa_1}+\frac{\varepsilon_2 k_0}{\kappa_2}+i\frac{4\pi}{c}\sigma_{zz}\right)=\frac{16\pi^2}{c^2}\sigma_{yz}\sigma_{zy}\,.$$

3. Установлено, что в гиперболическом режиме вдоль метаповерхности одновременно распространяются два типа поверхностных мод гибридной поляризации, представляющие собой суперпозицию двумерных TM- и TE-плазмонов – квази-TM- и квази-TE-плазмоны. Исследуемые поверхностные волны, подобно Дьяконовским поверхностным волнам [3], могут распространяться лишь в определенных направлениях, зависящих от компонент тензора проводимости (рис. 1).

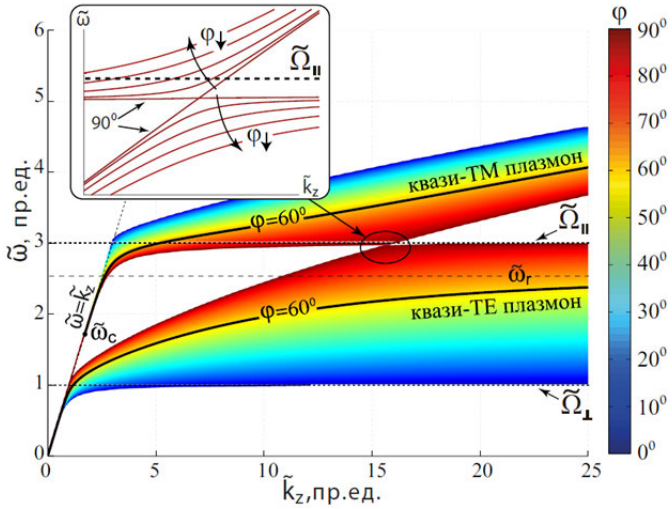


Рис. 1. Зависимость компоненты волнового вектора в плоскости $\tilde{k}_z$ от частоты $\tilde{\omega}$ для поверхностных волн на гиперболической метаповерхности для различных углов распространения φ. Две ветки графика соответствуют квази-TM и квази-TE поверхностным плазмонам. Вставка показывает структуру дисперсионных кривых для угла $\varphi = 90^o$

4. В рамках описания резонансного отклика моделью Друде–Лоренца, одновременное распространение обоих типов поверхностных волн на некоторой частоте возможно при достаточно широком диапазоне углов, который не зависит от дизайна метаповерхности:

$$\frac{\pi}{4}\le\varphi\le\frac{3\pi}{4}\,.$$

5. Анализ изочастотных контуров показал, что в зависимости от частоты и угла распространения их форма может представлять собой эллипс, гиперболу, арку, ромб или восьмерку. Наличие такого многообразия форм изочастотных контуров удалось подтвердить в численном эксперименте по возбуждению поверхностных волн точечным диполем, расположенным вблизи метаповерхности. Это приводит к таким различным электромагнитным явлениям и режимам, как анизотропный SNZ-режим (когда значения проводимости близки к нулю), режим одновременного распространения двух типов волн с крестообразным и дугообразным волновыми фронтами, режим возбуждения волны в 4 различных направлениях (4 квази-

плоских фронта), самоколлимация поверхностной волны (распространение волны только вдоль параллельной составляющей волнового вектора).

6. Для спектров потерь поверхностных волн удалось получить асимптотические формулы, которые хорошо согласуются с численным решением дисперсионных уравнений для всех трех режимов метаповерхности. Формулы с учетом наличия подложки были получены при помощи теории возмущений и хорошо сходятся с результатами численного моделирования.
7. Поляризация таких гибридных поверхностных волн может меняться от линейной до эллиптической (в частном случае, циркулярной), что приводит к необычному пространственному распределению плотностей импульса и момента импульса. Показано, что в отличие от чисто продольного спина плоских волн (а также фотонов) и чисто поперечного спина обычных поверхностных плазмонов [4], спиновый момент импульса гибридных плазмонов на анизотропной метаповерхности может плавно меняться от чисто поперечного к чисто продольному в зависимости от частоты и направления распространения (рис. 2). Анизотропия и перемешивание двух мод в гиперболическом режиме (вставка на рис. 1) приводят к резонансному поведению спинового момента импульса, в результате чего спин поверхностной волны становится практически чисто продольным, что является полной противоположностью спина обычного поверхностного плазмона [4].

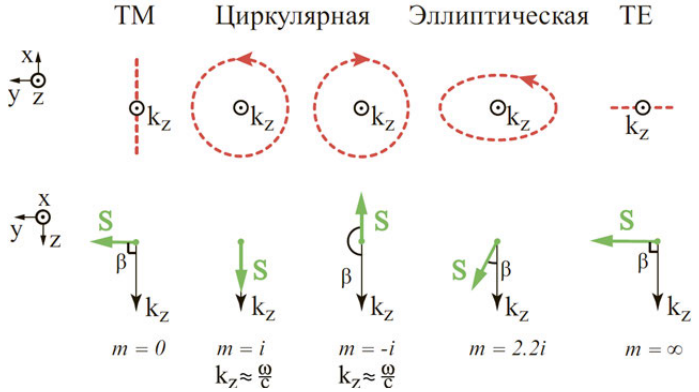


Рис. 2. Поляризация гиперболических плазмонов для различных параметров поляризации m с соответствующими углами β между направлением распространения плазмона и их спиновым моментом импульса. Красная стрелка показывает направление вращения вектора электрического поля

Исследованы новые возможности контроля и управления светом при помощи гиперболической метаповерхности, описываемой анизотропным тензором проводимости. Уникальные электромагнитные свойства гиперболических метаповерхностей делают их весьма перспективными для применения во многих областях, таких как резонансное зондирование и детектирование, суперлинзы и ближнепольная визуализация, усиленная спектроскопия комбинационного рассеяния света, оптические антенны, оптические сети «на чипе» и т.д. Принимая во внимание относительные простоту и дешевизну их изготовления, широкие функциональные возможности, а также плоскую геометрию, можно утверждать, что гиперболические метаповерхности могут быть основой многих оптических и оптико-электронных приборов, а также могут быть использованы в качестве компонент оптических и квантовых компьютеров. Такие метаповерхности позволяют осуществлять полный контроль над спином света в плоскости метаповерхности, что может расширить понимание явлений спин-орбитального взаимодействия и найти применение в нанофотонике, нанооптомеханике и спин-оптронике. Основные результаты научно-исследовательской работы были опубликованы [5].

Литература

1. Yu N., Capasso F. Optical metasurfaces and prospect of their applications including fiber optics // Journal of Lightwave Technology. – 2015. – V. 33. – № 12. – P. 2344–2358.
2. Glybovski S.B. et al. Metasurfaces: From microwaves to visible // Physics Reports. – 2016. – V. 634. – P. 1–72.
3. D'yakonov M.I. New type of electromagnetic wave propagating at the interface // Soviet Journal of Experimental and Theoretical Physics. – 1988. – V. 67. – № 4. – P. 714–716.
4. Bliokh K.Y., Bekshaev A.Y., Nori F. Extraordinary momentum and spin in evanescent waves [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nature.com/articles/ncomms4300, своб.
5. Yermakov O. et al. Hybrid waves localized at hyperbolic metasurfaces // Physical Review B. – 2015. – V. 91. – № 23. – P. 235423.

Зенченкова Ксения Сергеевна
Год рождения: 1993
Факультет технологического менеджмента и инноваций, кафедра управления государственными информационными системами, группа № U4255
Направление подготовки: 09.04.03 – Прикладная информатика
e-mail: rabota.ks@mail.ru

УДК 004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОРТАЛОВ ЭЛЕКТРОННОГО УЧАСТИЯ

К.С. Зенченкова
Научный руководитель – к.полит.н. А.В. Чугунов

Работа выполнена в рамках НИР № 615877 «Исследование и разработка финансовых, эколого-экономических и организационных методов и инструментов трансфера инновационных технологий в условиях устойчивого развития» и в сотрудничестве с проектом «Исследование социальной эффективности порталов электронного участия в России» (грант РФФИ 16-36-60035).

В последнее время активно развивается новый для России инструмент – электронное общественное участие (E-Participation). Появляются различные порталы электронного участия, с помощью которых люди могут выражать свое мнение, взаимодействовать с органами власти и тем самым принимать участие в жизни общества и решении проблем разного уровня. Российское государство все активнее расширяет свое присутствие в Интернете: создаются государственные электронные услуги и сервисы. При этом практически отсутствуют механизмы автоматического мониторинга деятельности порталов электронного участия. В настоящей работе были проанализированы подобные порталы и сделан вывод о том, что в настоящее время не хватает качественной визуализации данных, интерактивного представления динамики голосования и анализа активности и интересов пользователей. При предоставлении такой информации в автоматизированном режиме можно обеспечить доверие граждан к ресурсу (за счет повышения открытости ресурса). Проект «Система мониторинга порталов электронного участия» (СМПЭУ) направлен на решение этой проблемы.

СМПЭУ разрабатывается в рамках инициативного проекта кафедры УГИС и Центра технологий электронного правительства Университета ИТМО.

Объектом исследования являлось электронное участие, в том числе неотъемлемый инструмент этого явления – электронные петиции.

Предметом исследования являлся мониторинг порталов электронного участия.

Актуальность темы обусловлена тем, что на данный момент практически отсутствуют механизмы автоматического мониторинга эффективности порталов электронного участия. При этом активно создаются государственные электронные услуги и сервисы, порталы электронного участия, как общественные, так и инициированные органами власти.

Теоретическая значимость работы обусловлена тем, что порталы электронного участия в ходе своего функционирования создают значительный объем информации, который может быть использован для проведения социальных исследований и определения вектора развития системы электронного участия. Система может быть использована экспертами, аналитиками, научными работниками, преподавателями, работающими в сфере электронного правительства, государственного управления, журналистики, что обозначает практическую значимость выполняемой работы.

Целью работы являлось проектирование и создание комплекса программных компонентов, обеспечивающих специализированный сервис для исследователей, изучающих процессы электронного участия в Российской Федерации [1].

Выполняемая работа относится к проектно-аналитическому типу научных работ. В работе описана проектная часть, содержащая обоснование разработанных проектных решений, описаны пути и этапы внедрения предлагаемого проекта, а также результаты его внедрения.

Апробация результатов работы осуществлялась путем поэтапного представления результатов исследования на различных научно-практических конференциях.

В результате выполнения работы были проанализированы различные площадки электронного участия и выделены два основных типа порталов, подключаемых к СМПЭУ, а именно:

– порталы для подачи электронных петиций (например, «Российская общественная инициатива», «Change.org» и др.);
– порталы городских проблем (такие как: «Сердитый гражданин», «Наш Санкт-Петербург», «Красивый Петербург» и т.д.).

После определения того, какие порталы являются объектами мониторинга, были изучены способы получения информации для их мониторинга. Было выделено два способа сбора данных: с помощью использования API (интерфейса программирования приложений) и парсинга (использования синтаксического анализа исходного кода страниц сайта).

Создана общая архитектура системы (рис. 1).

Рис. 1. Архитектура системы мониторинга порталов электронного участия

Архитектура приложения содержит серверную и клиентскую часть. Сбор данных с сайтов электронного участия происходит одним из двух способов: с использованием API (в случае предоставления такой возможности разработчиками) или с помощью синтаксического анализа исходного кода страниц сайта. Для доступа к данным по истории электронного участия используется база данных (БД), в которую собираются данные с определенной периодичностью. Пользователю системы доступен web-интерфейс для просмотра данных и их фильтрации [2].

Следующим этапом являлось проектирование модулей сбора и обработки данных для вышеуказанных типов порталов. В случае отсутствия API у подключаемого портала структура модуля сбора и обработки данных выглядит следующим образом (рис. 2).

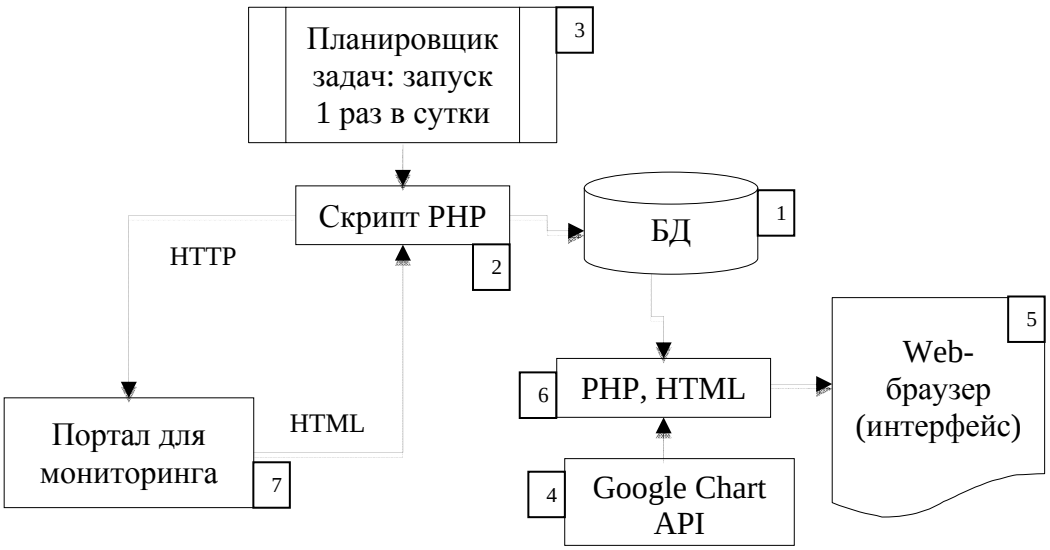


Рис. 2. Структура модуля сбора и обработки данных СМПЭУ для порталов, не имеющих API

Для осуществления сбора и обработки данных о подаваемых обращениях были использованы следующие технические элементы (отмечены цифрами на рис. 2):

1. база данных для хранения информации о поданных заявлениях;
2. php-скрипт для сбора данных, анализирующий сайт (другими словами, «парсер»);
3. планировщик задач, который запускает PHP-скрипт с определенной периодичностью;
4. средства для отображения графиков (API Google Chart);
5. программное обеспечение, установленное на стороне клиента: веб-браузер, который поддерживает JavaScript и CSS;
6. PHP-скрипты и HTML-разметка для отображения данных через web-server клиенту;
7. непосредственно портал, который подключается к СМПЭУ.

Неуказанные на схеме, но участвующие в процессе сбора данных элементы:

– сервер, характеристики которого определяются в зависимости от нагрузки;
– программное обеспечение, установленное и настроенное на сервере: PHP, MySQL;
– программное обеспечение, установленное и настроенное на сервере, на котором происходит сбор данных: web-server Apache;
– внешний IP-адрес, домен или поддомен.

Для подключения к СМПЭУ порталов «Российская общественная инициатива», «Красивый Петербург» и «Наш Санкт-Петербург» был произведен анализ каждого из них, затем реализован разбор структур данных сайтов. Структуры данных каждого из порталов различны, в связи с этим потребовалось спроектировать различные

структуры БД для порталов. Также был создан пользовательский интерфейс для удобного использования СМПЭУ.

В работе подробно рассмотрены основные понятия предметной области, описаны особенности функционирования зарубежных порталов электронных петиций, а также осуществлен сравнительный анализ порталов электронного участия на предмет визуализации данных. Особое внимание уделено описанию этапов создания системы: от проектирования общей архитектуры приложения до создания структур БД для порталов, подключенных к СМПЭУ в процессе работы. Подробно описаны технические средства, использованные при разработке системы, а также представлено обоснование выбранных технологических решений. Последняя глава работы посвящена практическому использованию системы. Описан пользовательский интерфейс системы, обозначена целевая аудитория СМПЭУ и подробно описаны возможные сценарии использования данных, полученных с помощью созданной системы.

Результаты работы представлены на сайтах:

– http://analytics.egov.ifmo.ru/ – информационный ресурс – точка входа в систему с представлением информационных материалов и публикаций с результатами исследований по теме проекта, а также сведений о возможностях СМПЭУ и описание процедуры регистрации для доступа к системе мониторинга;
– http://analytics.prior.nw.ru/ – сайт, обеспечивающий доступ для авторизованных пользователей после регистрации непосредственно к инструментарию мониторинга.

По результатам работы можно констатировать, что система, разработанная в Университете ИТМО (Центр технологий электронного правительства и кафедра УГИС), позволяет аккумулировать данные об электронных заявках граждан. Тем самым создан аналитический инструмент, позволяющий отследить, как по отдельной проблеме, так и по группе проблем ряд параметров, свидетельствующих о состоянии работы с обращениями граждан. Это позволяет использовать созданную систему для научных и аналитических исследований, а также для независимого мониторинга эффективности деятельности органов власти и структур.

Резюмируя, отметим, что созданная система мониторинга порталов электронного участия предназначена для сбора информации по динамике голосования на порталах электронного участия и применяется для дальнейшего анализа, фильтрации, навигации и отображения данных в целях мониторинга изменения интенсивности голосования по темам и категориям. На данный момент к СМПЭУ подключены порталы «Российская общественная инициатива», «Красивый Петербург» и «Наш Санкт-Петербург». В дальнейшем планируется расширение состава информационных ресурсов (порталов электронного участия), подключенных к СМПЭУ.

Литература

1. Чугунов А.В. Исследование «электронного участия» с использованием методов и технологий автоматизированного мониторинга веб-ресурсов // Научный сервис в сети Интернет: труды XVII Всероссийской научной конференции ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2015. – С. 311–320.
2. Зенченкова К.С., Голубцова Е.М. Архитектура системы мониторинга порталов электронного участия // Материалы Четвертой Международной научно-практической конференции «Социальный компьютинг: основы, технологии развития, социально-гуманитарные эффекты» (ISC–15): сб. статей и тезисов. – 2015. – С. 291–294.

Колесова Екатерина Петровна
Год рождения: 1993
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, группа № V4235
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: e.p.kolesova@gmail.com

УДК 535

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОИНДУЦИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В ГИБРИДНЫХ СТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

Е.П. Колесова
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.О. Орлова

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

Создание гибридных структур на основе наночастиц диоксида титана (TiO_2) и другого полупроводника с меньшей запрещенной зоной может повысить активность TiO_2 под светом видимого диапазона. В качестве такого полупроводника могут выступать квантовые точки (КТ), основные функции КТ в данных структурах сводятся к поглощению внешнего излучения и фотопереносу электрона на TiO_2 [1]. Таким образом, функциональность гибридных структур TiO_2/КТ напрямую связана с эффективностью фотопереноса электрона от КТ к TiO_2. Эффективность переноса электрона зависит от соотношения скорости фотопереноса электрона к сумме скоростей всех остальных каналов дезактивации возбужденного состояния в КТ, включая каналы, связанные с наличием дефектных состояний на поверхности КТ [2]. Молекулы стабилизатора на поверхности КТ могут оказывать существенное влияние на безызлучательные процессы, протекающие в КТ. Возможно фотоиндуцированное уменьшение каналов безызлучательной дезактивации возбужденного состояния КТ, сопровождающееся увеличением квантового выхода люминесценции КТ [3]. Данный подход может быть применен и в случае гибридных структур на основе наночастиц TiO_2 и квантовых точек для увеличения эффективности фотопереноса электрона от КТ к TiO_2.

Целью работы стало формирование гибридных структур на основе наночастиц диоксида титана и полупроводниковых КТ CdSe/ZnS, характеризующихся эффективным фотопереносом заряда.

Необходимо было решить следующие задачи:

1. исследовать зависимость морфологии гибридных структур TiO_2/КТ и их люминесцентных свойств от способа их формирования и молекул, используемых в качестве стабилизаторов поверхности КТ;
2. исследовать зависимость люминесцентных свойств структур от дозы внешнего облучения в области прозрачности наночастиц TiO_2 и эффективно поглощаемого КТ;
3. исследование зависимости эффективности фотоиндуцированного переноса электрона в гибридных структурах от их морфологии и люминесцентных свойств КТ в составе структур.

В работе использовались коллоидные растворы наночастиц TiO_2 с диаметром 2 нм и полупроводниковых КТ CdSe/ZnS с диаметром 5,5 нм. В качестве стабилизаторов поверхности КТ использовались молекулы триоктилфосфиноксида

(TOPO) и олеиновой кислоты (OA). Для формирования гибридных структур TiO_2/КТ выбрано два самых популярных метода для получения тонких пленок наночастиц: spin-coating и модифицированная технология Ленгмюра–Блоджетт (метод Л.–Б.).

Анализ люминесцентных свойств коллоидных растворов КТ показал, что замена стабилизатора поверхности КТ с TOPO на олеиновую кислоту приводит к трехкратному сокращению квантового выхода люминесценции КТ. Наблюдаемое тушение люминесценции согласуется с литературными данными и обусловлено появлением нового канала безызлучательной релаксации возбужденного состояния КТ, связанного с фотопереносом положительного заряда от КТ к молекуле олеиновой кислоты, сорбированной на поверхности КТ [4]. Анализ люминесцентных свойств коллоидных растворов КТ/TOPO и КТ/OA позволяет провести оценку констант скоростей релаксации возбужденного состояния КТ. Так, константа скорости излучательной дезактивации возбужденного состояния коллоидных растворов КТ составляет $k_r \approx 10^7$ с$^{-1}$. Предположив неизменность константы скорости излучательного перехода для КТ, можно рассчитать константы скоростей безызлучательных переходов (k_{nr}) для КТ/TOPO и КТ/OA, которые составляют $5 \cdot 10^7$ с$^{-1}$ и 10^8 с$^{-1}$ соответственно.

Анализ морфологии сформированных структур показал, что КТ в гибридных структурах проявляют тенденцию к агрегации (рис. 1).

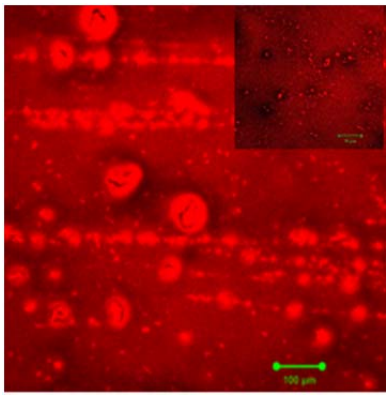


Рис. 1. Люминесцентное изображение гибридных структур TiO_2/КТ/TOPO, сформированных методом spin-coating. На вставке приведено люминесцентное изображение сухих слоев КТ/TOPO, при таких же параметрах регистрации

В ходе работы удалось сформировать два типа гибридных структур с относительно равномерным распределением КТ на поверхности образца: структуры на основе КТ/TOPO, сформированные методом Л.–Б., и структуры на основе КТ/OA, сформированные методом spin-coating. В структурах на основе КТ/OA, сформированных методом Л.–Б., распределение КТ носит неравномерный характер, причиной чего является взаимодействие молекул OA с водой.

При условии неизменности излучательной константы КТ (k_r), их квантовый выход люминесценции в образцах может быть оценен согласно:

$$\varphi = \frac{\varphi_r \tau}{\tau_r}, \qquad (1)$$

где φ и τ – квантовый выход и время затухания люминесценции КТ в образце; φ_r и τ_r – квантовый выход и время затухания люминесценции КТ референтного образца (растворов КТ/TOPO и КТ/OA).

Корректно оценить время затухания и квантовый выход люминесценции КТ в гибридных структурах с высокой степенью агрегированности КТ (структуры на основе КТ/TOPO, сформированные методом spin-coating) не удалось. Причиной этого

является наличие в люминесценции КТ долгоживущей компоненты с характерным временем порядка нескольких микросекунд. Средние времена затухания люминесценции КТ (<τ>) и квантовые выходы люминесценции КТ для остальных типов гибридных структур приведены в таблице.

Таблица. Характерные времена затухания люминесценции и квантовый выход люминесценции CdSe/ZnS КТ в гибридных структурах и сухих слоях КТ

Структуры	TiO_2/КТ/ТОРО (Ленгмюр–Блоджетт)	Сухие слои КТ/ТОРО	TiO_2/КТ/ОА (spin-coating)	Сухие слои КТ/ОА	TiO_2/КТ/ОА (Ленгмюр–Блоджетт)	Сухие слои КТ/ОА
<τ>, нс	5	19	1	4	2,8	2,2
φ, %	3	12	0,4	1,4	0,9	0,7

Для двух типов структур (TiO_2/КТ/ТОРО (Л.–Б.) и TiO_2/КТ/ОА (spin-coating)) наблюдается значительное тушение люминесценции КТ в гибридных структурах по сравнению с сухими слоями КТ (около 75%), причиной которого может быть именно перенос электрона от КТ к TiO_2. Предполагая, что именно этот процесс является основным каналом дезактивации возбужденного состояния КТ, можно оценить константу скорости фотопереноса электрона по формуле:

$$Q = 1 - \frac{k_r + k_{nr}}{k_r + k_{nr} + k_{ET}}. \qquad (2)$$

Оцененная таким образом константа скорости переноса электрона для гибридных структур TiO_2/КТ/ТОРО составляет $1{,}7 \cdot 10^8$ $с^{-1}$, а для TiO_2/КТ/ОА – $2{,}5 \cdot 10^8$ $с^{-1}$.

На следующем этапе работы проводилось облучение гибридных структур для увеличения эффективности переноса электрона в структурах. В качестве источника внешнего излучения был выбран аргоновый лазер с длиной волны излучения 458 нм. Излучение с такой длиной волны лежит вне спектральной области поглощения TiO_2 и эффективно поглощается исключительно КТ.

Облучение структур TiO_2/КТ/ТОРО, сформированных методом spin-coating, приводит к тушению люминесценции КТ и в сухих слоях, и в гибридных структурах, наличие диоксида титана увеличивает скорость этого процесса. Следует отметить, что данный тип гибридных структур характеризуется высокой степенью агрегированности КТ, и, следовательно, все процессы могут быть обусловлены взаимодействием между КТ в агрегатах.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности люминесценции КТ/ТОРО в сухих слоях и гибридных структурах, сформированных методом Л.–Б., от дозы внешнего облучения. В данных образцах можно выделить две области: область однородного распределения КТ и область с микроагрегатами КТ. Исходя из этого, в работе было проанализировано влияние внешнего облучения на квантовый выход люминесценции КТ в этих областях.

На участках гибридных структур без микроагрегатов КТ/ТОРО наблюдается многократное увеличение интенсивности люминесценции, которое обычно объясняется фотопассивацией дефектных состояний на поверхности квантовых точек (кривая 2). В микроагрегатах КТ/ТОРО при дозах излучения больше 7 Дж наблюдается тушение люминесценции КТ. При максимальных дозах экспозиции (рис. 2) квантовый выход люминесценции КТ в равномерных областях составляет 7%, в то время как в сухих слоях КТ – 28%. В процессе облучения степень тушения люминесценции КТ в гибридных структурах по отношению к КТ остается неизменной. Кроме того, скорость фотопассивации КТ/ТОРО в гибридных структурах

совпадает со скоростью фотопассивации КТ в сухих слоях. Эти факты свидетельствуют о том, что наблюдаемое тушение люминесценции КТ обусловлено в основном фотопереносом электрона и, следовательно, оценки константы скорости этого процесса (k_{ET}≈1,7·10^8 с$^{-1}$), выполненные согласно формуле (2) являются корректными. Фотоиндуцированное увеличение квантового выхода люминесценции КТ в данном типе структур сопровождается пропорциональным увеличением эффективности фотопереноса электрона к TiO_2.

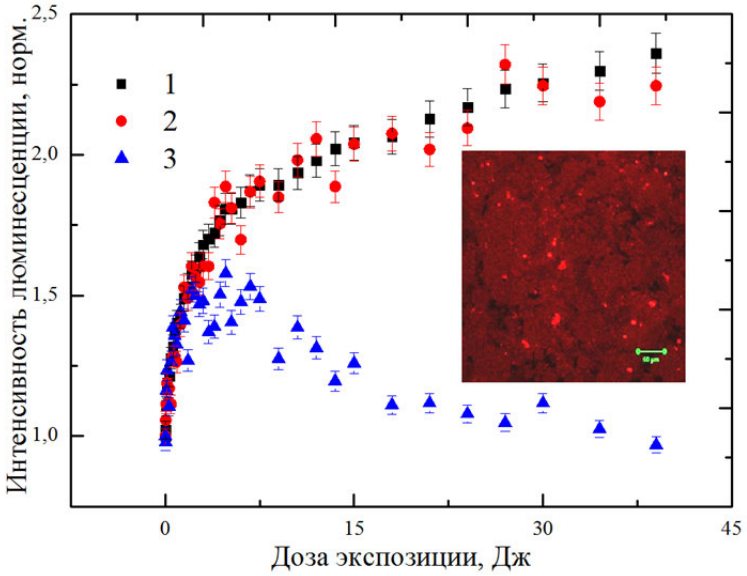


Рис. 2. Зависимости интенсивности люминесценции CdSe/ZnS КТ/ТОРО от дозы облучения: образец с КТ/ТОРО (1); гибридные структуры TiO_2/КТ/ТОРО, однородное распределение КТ (2); структуры TiO_2/КТ/ТОРО с микроагрегатами КТ (3)

В гибридных структурах TiO_2/КТ/ОА наблюдается значительно большая скорость увеличения квантового выхода люминесценции КТ по сравнению с сухими слоями КТ/ОА при тех же условиях облучения. Это однозначно свидетельствует о наличии взаимодействия между КТ и TiO_2. Однако скорость фотопассивации КТ/ОА в гибридных структурах выше по сравнению с сухими слоями КТ. Этот факт не позволяет оценить степень тушения люминесценции КТ в структурах с TiO_2, связанную с фотопереносом заряда.

На основании проведенного исследования фотоиндуцированных процессов в гибридных структурах можно сделать следующие выводы:

– морфология гибридных структур и типа стабилизатора поверхности КТ играют ключевую роль в эффективности фотопереноса заряда в структурах;
– фотоиндуцированное уменьшение числа безызлучательных каналов в КТ в структурах TiO_2/КТ/ТОРО с равномерным распределением КТ приводит к увеличению эффективности переноса электрона от КТ к TiO_2, являющегося доминирующим каналом тушения люминесценции КТ в структурах;
– в гибридных структурах на основе КТ/ОА константы скорости переноса положительного заряда на молекулу стабилизатора и переноса электрона на TiO_2 оказались одного порядка. Фотоперенос электрона в данных структурах не является доминирующим каналом дезактивации возбужденного состояния КТ.

В дальнейшей работе планируется: исследование природы обнаруженного долгоживущего состояния с применением химических сенсоров на активные формы кислорода; исследование зависимости фотодеградации КТ в различных структурах от вероятности образования агрегатов КТ; выявление физических механизмов взаимодействия КТ и TiO_2 в структурах на основе КТ/ОА.

Литература

1. Talgorn E. et al. Supercrystals of CdSe quantum dots with high charge mobility and efficient electron transfer to TiO2 // ACS nano. – 2010. – V. 4. – № 3. – P. 1723–1731.
2. Curutchet C. et al. Examining Forster energy transfer for semiconductor nanocrystalline quantum dot donors and acceptors // The Journal of Physical Chemistry C. – 2008. – V. 112. – № 35. – P. 13336–13341.
3. Kimura J. et al. Photoinduced fluorescence enhancement in CdSe/ZnS quantum dot submonolayers sandwiched between insulating layers: influence of dot proximity // The Journal of Physical Chemistry B. – 2004. – V. 108. – № 35. – P. 13258–13264.
4. Ning Z. et al. Role of surface ligands in optical properties of colloidal CdSe/CdS quantum dots // Physical Chemistry Chemical Physics. – 2011. – V. 13. – № 13. – P. 5848–5854.

Корсаков Иван Владимирович
Год рождения: 1992
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, группа № V4236
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: korsakovivan@yandex.ru

УДК 544.122.3; 538.911; 538.958

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ И НАВЕДЕННОЙ ХИРАЛЬНОСТИ В ОБРАЗЦАХ НАНОКРИСТАЛЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ МЕЖФАЗОВОГО ПЕРЕВОДА

И.В. Корсаков
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.Г. Маслов

Работа выполнена в рамках тем НИР: № 615893 «Разработка современных микро- и наноструктурированных материалов для задач фотоники и методов их исследования», «Физические основы создания и оптические свойства хиральных нано/био интерфейсов», «Оптические и электрические свойства гибридных наноматериалов на основе углеродных, полупроводниковых и металлических наноструктур».

Хиральные наноструктуры благодаря уникальным особенностям взаимодействия с другими хиральными объектами и поляризованным светом, представляют огромный интерес, и одним из важных вопросов в этой области является развитие методов получения хиральных нанокристаллов.

Нанокристаллы, получаемые при помощи существующих методов синтеза, например, в присутствии хиральных реагентов или путем постсинтетической замены лигандов, обладают слабой оптической активностью [1, 2]. Недавно был предложен способ получения хиральных нанокристаллов путем разделения рацемической смеси, образующейся вместе с ахиральными нанокристаллами в процессе стандартного коллоидного синтеза, при помощи техники энантиоселективного межфазового перевода [3]. Преимуществами данного способа являются большая оптическая активность и высокий квантовый выход люминесценции получаемых нанокристаллов.

Цель работы – изучение проявлений собственной и наведенной хиральности нанокристаллов, полученных в условиях энантиоселективного межфазового перевода, и их способности к молекулярному распознаванию биомолекул.

Для выполнения работы было необходимо выполнить ряд задач: отработать методику энантиоселективного межфазового перевода, получить энантиообогащенные образцы нанокристаллов, сформировать комплексы нанокристаллов с биомолекулами, оценить способность нанокристаллов к молекулярному распознаванию биомолекул.

Под хиральностью подразумевается неспособность объекта совмещаться в трехмерном пространстве со своим зеркальным отражением. Пара стереоизомеров, которые относятся друг к другу как объект и его зеркальное отражение, называются энантиомерами и обозначаются приставками *L*- и *D*- для лево- и правовращающих плоскость поляризации света энантиомеров [4]. Взаимодействие энантиомеров одного вещества с хиральными объектами может значительно отличаться, благодаря чему при взаимодействии хиральных нанокристаллов с биомолекулами становится возможным реализация механизма молекулярного распознавания, которое заключается в селективности взаимодействия нанокристалла и молекулы-мишени в зависимости от их структурной и энергетической комплементарности.

Основными методами исследования в работе являются спектроскопия поглощения и кругового дихроизма. Круговой дихроизм проявляется при взаимодействии хиральных объектов с линейно или циркулярно поляризованным светом в виде анизотропного поглощения и определяется как разница в оптической плотности левого и правого циркулярно поляризованного света, прошедшего через хиральный образец. Спектры кругового дихроизма представляют собой зависимость эллиптичности, которая связана с величиной кругового дихроизма, согласно формуле (1), от длины волны [5]. Для регистрации спектров использовался спектрометр кругового дихроизма Jasco J-1500.

$$\theta = 32{,}98 \cdot (D_L - D_R) = 32{,}98 \cdot \Delta D, \quad (1)$$

где θ – эллиптичность; D – оптическая активность.

Исследуемые образцы. В качестве нанокристаллов с наведенной хиральностью использовались нанотетраподы и квантовые точки сульфида кадмия CdS, стабилизированные *L*- и *D*-пеницилламином, экситонная полоса поглощения приходится на длину волны 365 нм и 328 нм соответственно. В качестве нанокристаллов с собственной хиральностью использовались квантовые точки селенида кадмия CdSe, стабилизированные ахиральной олеиновой кислотой, экситонная полоса поглощения соответствует 570 нм.

Методика эксперимента. Все эксперименты представляют собой различные вариации процедур, описание которых приводится далее.

Энантиоселективный или прямой межфазовый перевод выполняется путем добавки молекул солюбилизатора к рацемической смеси нанокристаллов, перемешивания и дальнейшего добавления дистиллированной воды. В результате смесь разделяется на две фазы, нанокристаллы одной энантиомерной формы переходят в водную фазу, присоединив молекулы гидрофильного солюбилизатора, а нанокристаллы противоположной энантиомерной формы остаются в органической фазе. После полного разделения водная фаза отделяется для дальнейшего анализа.

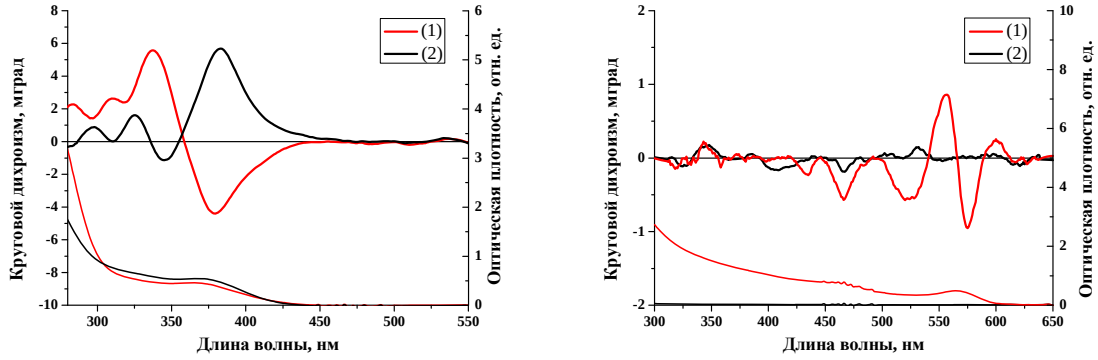
Обратный межфазовый перевод выполняется путем последовательного добавления к водному раствору нанокристаллов растворов додекантиола и ацетона и дальнейшего перемешивания. После разделения нанокристаллы, перешедшие в органическую фазу, извлекаются и перерастворяются в нужном растворителе для дальнейшего анализа.

Для изучения способности нанокристаллов к молекулярному распознаванию биомолекул использовался прямой межфазовый перевод из хлороформа в воду с L-формой биомолекул. После перевода и регистрации спектров кругового дихроизма и поглощения сравнивались выходы реакции образования комплексов нанокристаллов противоположной формы с биомолекулами, отношение которых в случае равенства объемов и концентраций сравниваемых растворов можно выразить в виде отношения оптических плотностей.

Результаты экспериментов. Спектры кругового дихроизма исходного раствора нанотетраподов (НТП) сульфида кадмия характеризуются интенсивными противоположными по знаку сигналами кругового дихроизма нанокристаллов, стабилизированных *D*- и *L*-пеницилламином.

После удаления хирального солюбилизатора при помощи обратного межфазового перевода сигнал кругового дихроизма растворов сохранился, но его интенсивность, нормированная на оптическую плотность, уменьшилась примерно в 1,5 раза, поскольку влияние хиральных лигандов на поверхности НТП больше не вносит вклад в значение сигнала кругового дихроизма. Хиральность сохраняется из-за искажений кристаллической решетки, возникающих в процессе взаимодействия нанокристалла с лигандом в процессе синтеза.

На рисунке, а приведены спектры НТП после межфазового перевода с *L*-цистеином. Сигнал кругового дихроизма, нормированный на оптическую плотность, немного увеличился. Оптическая плотность НТП противоположной конфигурации отличается, следовательно, выходы реакции комплексообразования противоположных энантиомеров также различаются. Сравнив выходы реакции комплексообразования, получим, что значение выхода реакции пары *L*-*L* в 1,24 раза больше, чем пары *D*-*L*, что говорит о том, что при взаимодействии НТП и молекул *L*-цистеина задействуется механизм молекулярного распознавания, причем образование гомохиральных комплексов является преимущественным.



а б

Рисунок. Спектры растворов нанотетраподов CdS, исходно стабилизированных (1) *D*- (красная кривая) и (2) *L*- (черная кривая) пеницилламином, в воде после межфазового перевода с *L*-цистеином (а); спектры ансамбля квантовых точек CdSe, энантиообогащенных (1) *d*- (красная кривая) и (2) *l*- (черная кривая) нанокристаллами, в воде после межфазового перевода с 0,16 М *L*-цистеина (б)

В случае квантовых точек CdS выход реакции комплексообразования для пары *D*-*L* в 1,24 раза больше, чем для пары *L*-*L*, что свидетельствует о молекулярном распознавании *L*-цистеина на поверхности квантовых точек, причем преимущественным оказывается образование гетерохиральных комплексов.

На первом этапе эксперимента с квантовыми точками CdSe для разделения энантиомеров из рацемической смеси производился энантиоселективный межфазовый перевод с использованием *L*- и *D*-цистеина. Спектры кругового дихроизма характеризуются зеркально-симметричными сигналами кругового дихроизма нанокристаллов противоположной конфигурации, спектрально соответствующими области поглощения нанокристаллов. Поскольку результаты экспериментов не позволяют определить действительную конфигурацию нанокристаллов, обозначения *d*- и *l*- будут относиться к право- и левовращающим нанокристаллам соответственно.

После удаления хирального солюбилизатора сигнал кругового дихроизма сохранился у обоих растворов, однако его интенсивность сильно уменьшилась. На спектрах кругового дихроизма для обоих растворов различимы только две наиболее интенсивные полосы, которые могут рассматриваться как проявления собственной хиральности квантовых точек. Таким образом, полученные данные позволяют утверждать, что в результате хирального межфазового перевода на первом этапе было выполнено частичное энантиообогащение растворов лево- и правовращающими квантовыми точками.

На последнем этапе изучалась способность квантовых точек CdSe к молекулярному распознаванию *L*-цистеина с концентрацией 0,16 М и 0,25 М, *L*-гистидина и *L*-аргинина. На рисунке, б представлены спектры квантовых точек CdSe после межфазового перевода с 0,16 М *L*-цистеина. На спектрах наблюдается увеличение сигнала кругового дихроизма в более чем 6 раз, вызванное присоединением хиральных молекул *L*-цистеина, и чрезвычайно высокая селективность взаимодействия нанокристаллов с молекулами цистеина. Выход реакции комплексообразования для пары *d*-*L* в 49 раз больше, чем для пары *l*-*L*, что свидетельствует о предпочтительности образования гетерохиральных комплексов. При повышении концентрации цистеина до 0,25 М селективность взаимодействия уменьшается, выходы реакции отличаются в 2,75 раза. Это может быть вызвано тем, что избыточная концентрация цистеина существенно увеличивает вероятность образования как гетеро-, так и гомохиральных комплексов, приводя к более низкой селективности их формирования.

В случае взаимодействия квантовых точек с *L*-гистидином значения выходов реакции отличаются в 2 раза, а в случае с *L*-аргинином – 1,92, причем в обоих случаях предпочтительным оказывается образование гомохиральных комплексов.

Значительная разница в эффективности распознавания нанокристаллами молекул *L*-цистеина и молекул *L*-гистидина и *L*-аргинина вызвана наличием у цистеина тиольной функциональной группы SH, которая образует самую сильную связь с поверхностью нанокристаллов и обеспечивает значительную разницу в энергиях связывания при формировании *l*-*L* и *d*-*L* комплексов.

Заключение. В работе показано, что после удаления хирального лиганда с поверхности нанокристаллов их хироптические свойства сохраняются благодаря наличию поверхностных дефектов, возникающих естественным образом в процессе коллоидного синтеза в случае нанокристаллов с собственной хиральностью и в результате взаимодействия нанокристаллов с молекулами хирального стабилизатора в процессе синтеза в случае нанокристаллов с наведенной хиральностью.

При помощи энантиоселективного межфазового перевода из рацемической смеси были получены и исследованы энантиообогащенные ансамбли нанокристаллов, обладающих высокой селективностью взаимодействия с хиральными биомолекулами.

В процессе выполнения работы была подтверждена способность нанокристаллов к молекулярному распознаванию биомолекул, причем в случае взаимодействия КТ

CdS и КТ CdSe с *L*-цистеином предпочительным оказывалось образование гетерохиральных комплексов, а при взаимодействии НТП CdS с *L*-цистеином и КТ CdSe с *L*-аргинином и *L*-гистидином – гомохиральных.

Литература

1. Moloney M.P. et al. Preparation of chiral quantum dots // Nature protocols. – 2015. – V. 10. – № 4. – P. 558–573.
2. Mukhina M.V., Maslov V.G., Korsakov I.V., Milton F.P.l, Loudon A., Baranov A.V., Fedorov A.V., Gun'ko Y.K. Optically active II-VI semiconductor nanocrystals via chiral phase transfer // MRS Proceedings. – Cambridge University Press. – 2015. – V. 1793. – P. 27–33.
3. Mukhina M.V. et al. Intrinsic chirality of CdSe/ZnS quantum dots and quantum rods // Nano letters. – 2015. – V. 15. – № 5. – P. 2844–2851.
4. Аветисов В.А., Гольданский В.И. Физические аспекты нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166. – № 8. – С. 873–891.
5. Barron L.D. Molecular light scattering and optical activity. – Cambridge University Press, 2004. – 440 p.

Курганова Екатерина Владимировна
Год рождения: 1993
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом,
группа № Т4209
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: katia280693@yandex.ru

УДК 664.6/.7/.8

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ

Е.В. Курганова
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.Л. Ишевский

Работа выполнена в рамках тем НИР № 615873 «Инновационные ресурсосберегающие технологии биоконверсии пищевого сырья, консервирования и хранения комбинированных пищевых систем» и № 714623 «Биологические технологии для рационального использования сельскохозяйственных ресурсов и сохранения здоровья человека».

С целью улучшения структуры питания населения страны, необходимо создание новых продуктов с направленным изменением химического состава, соответствующим потребностям организма человека. Физиологические и биологические свойства этих продуктов не могут быть в достаточной степени удовлетворены без использования в их рецептурах новых ингредиентов, являющихся носителями индивидуальных, специфических свойств, таких как функциональные ингредиенты.

Ориентация на здоровый образ жизни становится более популярной среди различных возрастных групп населения. Это, в свою очередь, увеличивает спрос на функциональные продукты питания, к которым относятся продукты здорового питания. Они предназначены для систематического употребления. Сохраняют и оказывают позитивное действие на отдельные функции организма за счет наличия в их составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

Значительное место в питании человека занимает хлеб и хлебные продукты. В связи с этим актуальным является разработка новых рецептур продукции, обогащенных пищевыми волокнами и минеральными веществами.

Цель работы – разработка технологии хлеба функционального назначения на основе пророщенного зерна для предприятий общественного питания; повышение функциональности хлебобулочного изделия при помощи замены основного сырья.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: проанализировать ассортимент хлеба функционального назначения; обосновать выбор сырья; разработать технологию: подобрать режимы и условия подготовки сырья; определить влияние пророщенного зерна на свойства теста и качество выпеченных изделий; установить предварительные сроки годности готового продукта.

По результатам маркетингового исследования рынка хлеба замечается, что в последние несколько лет доли ведущих игроков на рынке увеличиваются. Проанализировав ассортимент хлеба функционального назначения, представленный на рынке, можно сказать, что разрабатываемый хлеб из пророщенного зерна без муки на данный момент не представлен. Расширение ассортимента данного класса продуктов является актуальным.

В качестве основного вида сырья была выбрана мягкая белозерная пшеница высшего сорта. Она наиболее распространена в хлебопекарной промышленности. Главной особенностью для использования пшеницы в технологии хлеба является содержание и физиологические свойства клейковины, от которой зависит качество готового хлеба. Помимо белка в пшенице содержится много минеральных веществ, витаминов и пищевых волокон, в том числе – клетчатка.

Ценовая политика в отношение сырья для хлебопекарной промышленности по годам проанализирована с помощью мониторинга бизнес-газеты «Агро новости» [1]. Динамика цен на сырье в течение 5 лет представлена на рис. 1.

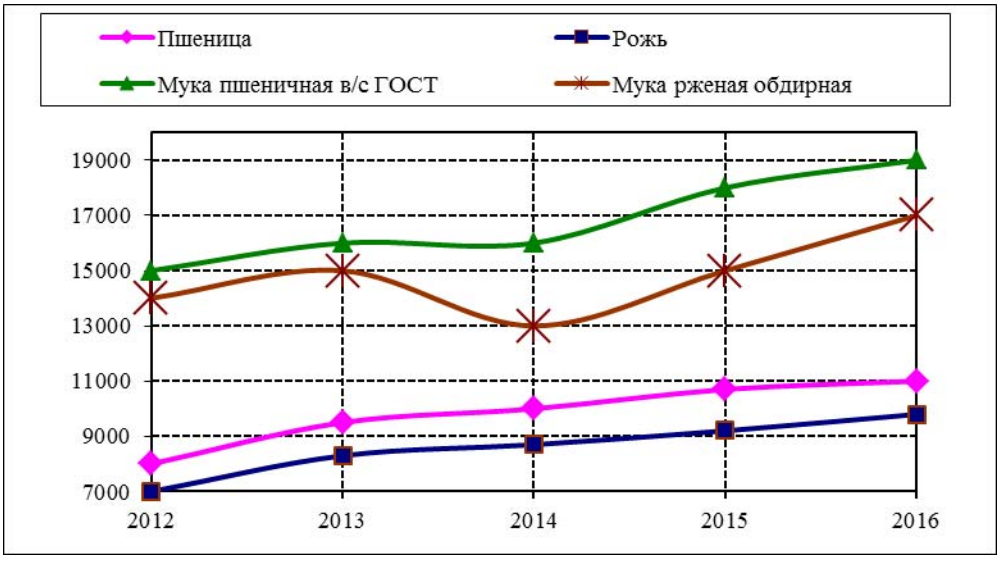


Рис. 1. Динамика цен на хлебопекарные зерновые культуры и муку в России, руб./т

По представленным данным в сравнении цен на муку и зерно можно сказать, что переработка цельного зерна в хлебопекарной промышленности является актуальной. Цена на пшеницу является стабильной и сравнительно невысокой.

С целью увеличения функциональности основного ингредиента – зерна ведется процесс проращивания. При прорастании в зерне происходит активация ферментов и запасные высокомолекулярные вещества, входящие в состав стенок клеток и эндосперма (в первую очередь – крахмал; белки, пектиновые вещества, жиры), расщепляются на более простые и растворимые соединения, необходимые для питания зародыша. Основной показатель значительных биохимических изменений в прорастающем зерне злаковых – повышение активности ферментов амилолитического и протеолитического комплексов.

Протеолитические ферменты – протеазы гидролизуют запасные белки с образованием полипептидов и аминокислот. Амилазы – крахмал (β-амилазой) до мальтозы и глюкозы; жиры (липазы) – до жирных кислот и глицерина. Образовавшиеся соединения легко усваиваются в организме человека.

Активирование процессов роста зародыша связано с синтезом витаминов и высвобождением минеральных ионов из органических комплексов. В прорастающем зерне злаков витаминов группы В больше в 6 раз, чем в сухом. Увеличивается клетчатка, азот и зола, что свидетельствует о процессах синтеза новых углеводов и белков, необходимых для развивающегося проростка. В проросшем зерне возрастает общее количество водорастворимых веществ, в том числе декстринов, восстанавливающих сахаров [2].

Была разработана технология формового хлеба из пророщенного зерна пшеницы и хлеба из пророщенного зерна пшеницы с добавлением чеснока и кураги ускоренными безопарными способами.

При подготовке зерна к производству хлеба используется такой технологический прием, как замачивание. Этот процесс характеризуется взаимодействием зерна с избыточным количеством воды и занимает большое количество времени. При производстве хлеба из проросшего зерна особое место занимает еще и стадия прорастания зерна.

С целью сокращения процесса замачивания зерна пшеницы было изучено влияние температуры воды на его продолжительность (рис. 2).

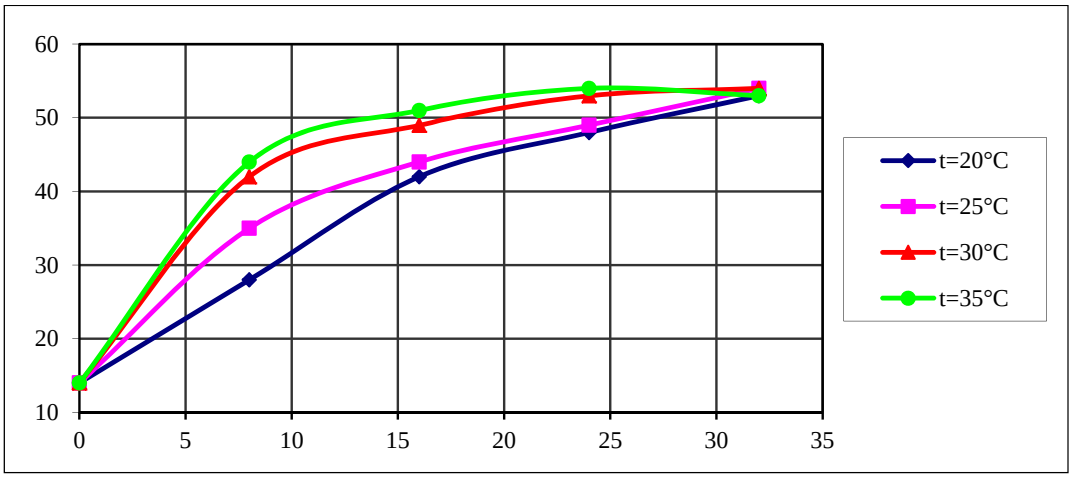


Рис. 2. Изменение влажности зерна в зависимости от температуры

В результате установлено, что оптимальной температурой для замачивания зерна является 30°С, так как именно при этой температуре за короткий срок (в течении 8 ч) нарастает необходимая влажность зерна 42%.

На этапе замачивания поддерживалась температура 30°С, а на этапе проращивания – 25°С, так как влажность зерна должна поддерживаться на уровне 42%. Процесс проращивания проводился при влажности воздуха 82% и толщине слоя 2 см в течении 12 ч до достижения длины ростка 1–2 мм.

После прорастания водную среду, в которой замачивалось зерно, отцеживают и сливают. Зерно подвергают измельчению. Затем хлеб производится по традиционной технологии (замес, разделка, расстойка и выпечка) [3].

При замесе в тестовую массу добавляются дрожжи сушеные, соль, вода и другие наполнители по рецептуре. Мука в технологическом процессе приготовления выпечного хлеба из пророщенного зерна не применяется.

Хранение готового хлеба производиться в холодильнике при t=4±2°С не более 3 суток.

По результатам экспериментальных проработок рецептуры хлебных изделий дается оценка качества полуфабриката и готового продукта (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Показатели теста

Наименование показателя	Тесто			
	Из пшеничной муки	Из проросшего зерна	Из пророщенного зерна	
			с чесноком	с курагой
Температура, °С	23	24	23,5	22
Кислотность, град.	4	3,8	3,5	4,2
Влажность, %	44	44	43	45

Таблица 2. Показатели хлеба

Наименование показателя	Хлеб			
	Из пшеничной муки	Из пророщенного зерна		
		без добавок	с чесноком	с курагой
Среднеобъемная температура, $t_{\overline{V}}$ °С	86	88	88	89
Кислотность, град.	3	2	2	4
Влажность, %	44	43,6	44	45
Удельный объем $V_{уд}$, м³/кг	3,21	2,00	2,10	1,92
Упек, %	16,1	8,83	6,04	6,50
Усушка, %	8,9	3,13	2,31	2,60
Структурно-механические показатели Нобщ, мм	3,985	3,328	3,350	3,480
a_w	0,920	0,925	0,924	0,930
ОМЧ, КОЕ/г	4×10^2	$2{,}3\times10^2$	$2{,}1\times10^2$	$2{,}5\times10^2$

Органолептическую оценку хлеба проводили согласно шкале балльной оценки качества изделий (рис. 3).

Как видно из полученных данных, наилучшими органолептическими показателями обладал образец № 2 с чесноком и № 3 с курагой, так как сухой чеснок и курага улучшают вкус и аромат готового хлеба из пророщенного зерна. Из профилограммы следует, что хлеб, на основе пророщенного зерна, лучше по аромату, вкусу и внешнему виду корочки, чем контрольный образец – хлеб из муки.

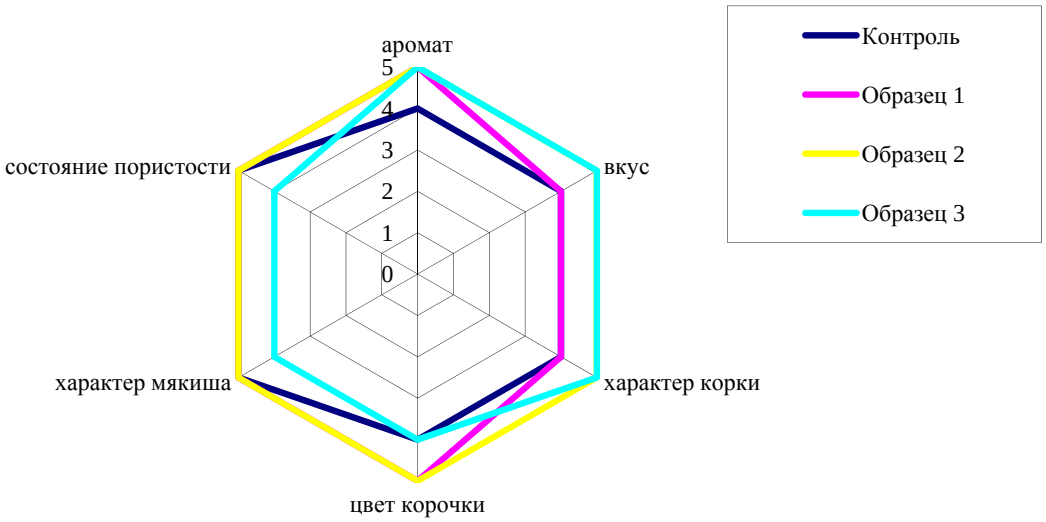


Рис. 3. Профилограмма органолептических показателей готового хлеба

С целью подтверждения функциональности хлеба из пророщенного зерна по ГОСТ Р 54059-2010, в котором указано, что одна порция продукта должна содержать в своем составе не менее 15% функциональных элементов от сточной физиологической потребности, необходим расчет покрытия потребности в минеральных веществах и витаминах в рационе питания населения при употреблении 100 г продукта (табл. 3).

Таблица 3. Покрытие потребности

Пищевые вещества	Минимальная суточная потребность веществ	Количество в 100 г хлеба из пророщенного зерна	Покрытие потребности, %
Клетчатка, г	20,0	21	105
Макроэлементы, мг			
Mg	300,0	82	27,33
Na	4000,0	553	13,83
Микроэлементы, мг			
Mn	5,0	0,845	16,9
Cu	2,0	0,204	10,05
Fe	15,0	3,45	23,0
Se	70	47,2	67,43
Витамины, мг			
Тиамин (B_1)	1,5	0,369	24,6
Рибофлавин (B_2)	2,0	0,400	20,0
Ниацин (PP)	15,0	4,498	29,93
Витамин Е	10,0	3,80	38
Витамин B_4 (Холин)	2	1,87	93,5

Литература

1. Бизнес-газеты «Агро новости» / Мониторинг цен по поясам и территориям бизнес-газеты АгроНовости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agro-bursa.ru/prices/, своб.

2. ГОСТ Р 52349-2005. Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. – Введен 01.07.2006. – М.: Стандартинформ, 2005. – 11 с.
3. Курганова Е.В., Ишевский А.Л. Разработка технологии функциональных продуктов на основе пророщенного зерна // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 3. – С. 113–122.

Ластовская Елена Александровна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: plastelinchik@mail.ru

УДК 681.784.8

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НЕИНВАЗИВНОГО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ

Е.А. Ластовская
Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. А.Н. Чертов

Актуальность и постановка задачи. Сахарный диабет – это группа метаболических (обменных) заболеваний, характеризующихся хронической гипергликемией, которая является результатом нарушения секреции инсулина, действия инсулина или обоих этих факторов. Хроническая гипергликемия при сахарном диабете сопровождается повреждением, дисфункцией и недостаточностью различных органов, особенно глаз, почек, нервов, сердца и кровеносных сосудов [1]. По данным Международной диабетической федерации к 2030 году сахарным диабетом будет страдать каждый 10-й житель планеты. Согласно Федеральной целевой программе «Сахарный диабет» (Москва, 2002 г.) рекомендуемая частота исследований уровня глюкозы у больных с сахарным диабетом 1-го типа (без осложнений) 3–4 раза в день. Стоит отметить, что современные доступные методы определения концентрации глюкозы в крови требуют образец крови, что сопряжено с неприятными ощущениями при проколе кожи [2].

Столь стремительный рост заболеваемости сахарным диабетом, а также необходимость постоянного контроля концентрации глюкозы в крови больных диабетом послужили причинами широких исследований методов оптической неинвазивной диагностики применительно к решению задачи безболезненного контроля уровня сахара. Эти же причины определяют несомненную актуальность работы по исследованию и разработке оптико-электронной системы для неинвазивного контроля глюкозы (ОЭС НКГ).

Исходя из объективной актуальности тематики, определена **цель работы** – исследование метода неинвазивного контроля уровня глюкозы в крови и разработка макета ОЭС НКГ.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:
- провести аналитический обзор существующих методов и средств неинвазивного контроля уровня сахара в крови;
- выявить особенности поставленной задачи исследований;
- выполнить габаритно-энергетический расчет;

– разработать методику проведения экспериментальных исследований;
– провести предварительные экспериментальные исследования;
– разработать макет ОЭС НКГ.

Научная новизна работы заключается в предложенном подходе к определению концентрации раствора глюкозы путем перекрестной проверки данных о спектральных характеристиках и концентрациях группы растворов.

Практическая значимость работы заключалась в том, что достигнутые в ходе работы результаты могут быть использованы для:
– разработки методики определения концентрации глюкозы крови (КГК) неинвазивным методом;
– исследования возможностей неинвазивного определения содержания различных веществ в крови человека;
– исследования влияния различных факторов (цвет кожи, состояние кожного покрова, температура тела и др.) на спектральные характеристики биологического объекта (фаланги пальца).

Результаты аналитического обзора. Для определения уровня техники и исследования существующих конструкций приборов были проведены информационно-патентные исследования и аналитический обзор.

Для решения задачи определения КГК все оптические методы неинвазивной диагностики можно разделить на группы по используемым характеристикам излучения. Определение КГК по интенсивности излучения осуществляется на основании спектральных характеристик крови и прилегающих тканей, полученных путем регистрации прошедшего через объект или отраженного от объекта излучения в разных диапазонах длин волн. Также есть данные об измерении КГК на основании спектральных характеристик собственного излучения. С другой стороны измерение уровня сахара может осуществляться на основании поляризованной составляющей излучения, полученной путем регистрации прошедшего или отраженного от объекта излучения в разных диапазонах длин волн.

Несмотря на то, что патентная литература полна результатами исследований по данной тематике, к сожалению, это не обеспечивает достаточной обоснованности эффективности описанных методик и устройств в силу того, что многие патенты опираются на недостаточно глубокие научно-исследовательские работы. При этом в научных статьях описаны исследования различных уровней: в качестве объектов исследований применяют как модели биологических объектов различной приближенности к реальному (водные растворы глюкозы, растворы глюкозы в органических соединениях, кровь), так и реальные биологические объекты (фаланга пальца, мочка уха, язык).

Приборы и системы, определяющие концентрацию глюкозы оптическим методом, в качестве входных данных используют спектральные характеристики биологического объекта, например фаланги пальца или мочки уха. При этом конструктивные решения зависят от того, какой именно объект исследуется, а принцип действия остается неизменным. Также стоит отметить необходимость калибровки системы. Были выявлены некоторые типичные особенности схемы построения устройства для неинвазивного измерения уровня глюкозы в крови. Обязательным элементом устройства является блок освещения, в качестве которого может быть один или набор узкополосных источников излучения или широкополосный источник излучения с фильтрами. При этом в качестве рабочего диапазона применяют источники излучения от видимой до инфракрасной области спектра. Также закономерным является наличие соответствующего приемника

излучения и блока обработки информации. Общими недостатками существующих разработок являются низкая точность измерений, сложность реализации конструкции [3].

Важно отметить, что при большом количестве работ в научной и патентной литературе по данной тематике, на рынке медицинских приборов не представлена ни одна разработка, основанная на оптическом методе.

Особенности объекта исследований. Проведенный анализ особенностей объекта исследования позволил выявить комплекс причин, вызывающих трудности в создании системы для неинвазивного контроля глюкозы, а также сформулировать положения, которые необходимо учитывать при разработке ОЭС НКГ.

Для исследований биологической ткани в проходящем излучении наиболее удачным представляется использование ближнего инфракрасного (БИК) излучения, поскольку оно достаточно глубоко проникает в ткань. При этом диапазоне БИК излучения (0,4–1,3 мкм) представлены, в основном, вторые и третьи гармоники вышеуказанных соединений (1688 нм, 1408 нм, 1126 нм, 939 нм), а также комбинированные колебания, представляющие собой сумму гармоник основных колебаний различных молекул. Однако поглощение глюкозы достаточно слабое ввиду ее низкой концентрации в крови, а изменения концентрации по абсолютной величине очень незначительно в пределах нормы (3,3–5,5 ммоль/л), что определяет высокие требования к чувствительности метода. Стоит отметить, что кроме глюкозы в БИК диапазоне представлены и такие соединения, как этанол, билирубин, гемоглобин, холестерол, креатин, электролиты и др. Очевидно, что этот факт значительно усложняет процесс выявления глюкозы и определения ее концентрации. Помимо многокомпонентности крови (рис. 1), мешающими факторами являются толщина и состояние кожного покрова, температура, пульсация кровотока [4].

Экспериментальные исследования простых объектов. Очевидно, что эффективность метода на простых образцах является необходимым, но не достаточным условием эффективности метода на сложном объекте. Так, целью данного этапа экспериментальных исследований являлось исследование спектральных характеристик водных растворов глюкозы с перспективой определения концентрации раствора по спектральной характеристике, а также исследование спектральных характеристик раствора глюкозы в альбумине человека.

Измерения спектральных характеристик проведены с помощью макета, который состоит из источника излучения (ИИ), компьютера и лабораторного оборудования фирмы Ocean Optics: волоконно-оптических кабелей, спектрометра NIRQuest, держателя для кювет и кювет.

Процесс экспериментальных исследований состоит из трех этапов.

На первом этапе приготавливаются необходимые объекты исследований – растворы глюкозы различных физиологических концентраций (3–15 ммоль/л) в воде и в альбумине человека.

На втором этапе реализуют измерения спектральных характеристик растворов. Подготовительным этапом измерений является запись спектра шумов спектрометра $I_d(\lambda)$, а также спектральных характеристик излучения ИИ $I_s(\lambda)$ и пропускания кюветы $I_{ic}(\lambda)$. Затем проводятся измерения пропускания образцов. Для оценки погрешности измерений спектральных характеристик реализовано многократное измерение пропускания каждого образца с получением величин $I_{ij}(\lambda)$.

Третьим этапом экспериментальных исследований являлась обработка полученных данных. Данные многократных измерений спектральных характеристик

растворов $I_{ij}(\lambda)$ усредняются по каждой длине волны исследуемого диапазона с получением значения $I_i(\lambda)$. Пропускание i-го раствора глюкозы рассчитывается согласно формуле (1), позволяющей учесть спектр излучения источника $I_s(\lambda)$ и пропускание кюветы $I_{ic}(\lambda)$ в исследуемом спектральном диапазоне.

$$T_i(\lambda) = \frac{(I_i(\lambda) - I_d(\lambda)) \cdot \max\left[\frac{(I_{ic}(\lambda) - I_d(\lambda))}{(I_s(\lambda) - I_d(\lambda))}\right]}{0{,}98 \cdot (I_{ic}(\lambda) - \mathrm{I_d}(\lambda))}. \quad (1)$$

Оптическая плотность i-го раствора $D_i(\lambda)$ определяется по формуле (2), где $d_0 = 1$мм, d=10 мм – геометрическая длина пути излучения в растворе (толщина кюветы)

$$D_i(\lambda) = \frac{\lg\frac{1}{T_i(\lambda)}}{d} \cdot d_0. \quad (2)$$

Также следует определить коэффициенты корреляции между рассчитанной оптической плотностью на каждой длине волны исследуемого диапазона и концентрацией образцов. Наличие корреляционной зависимости между оптической плотностью и концентрацией образца позволит говорить о том, что измеренные данные можно использовать для анализа как адекватно отражающие исследуемый параметр (концентрацию), а также ограничить спектральный диапазон исследования.

Известно, что функция оптической плотности от концентрации является линейной. На основании этого факта с помощью метода перекрестной проверки оценивается качество измеренных данных, и выявляются промахи и модель, обеспечивающая лучшую интерполяцию. Сравнение полученного после интерполяции значения с истинным используется для оценки погрешности определения концентрации образца. Оценка погрешности измерения величины пропускания образца реализуется согласно классической методике обработки многократных прямых измерений.

Для реализации этапов измерения и обработки результатов разработано соответствующее программное обеспечение (ПО).

При обработке измерений спектральных характеристик водных растворов получены следующие результаты:

– обнаружено значительное отклонение от должной зависимости рассчитанных концентраций некоторых растворов при построении модели по всем растворам, что является следствием ошибочных измерений, которые решено не учитывать как промахи;
– измерены значения концентраций растворов по их спектральным характеристикам;
– определена погрешность измерения концентрации: в спектральных диапазоне до 1650 нм не превышает 36%;
– определена относительная погрешность измерения спектральной характеристики раствора: в спектральных диапазоне до 1650 нм не превышает 8%.

Измерения спектральных характеристик растворов глюкозы в альбумине оказались не показательны, предположительно, по причине некачественных образцов.

Совокупный анализ всех полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

– спектральный диапазон исследования следует ограничить 850–1700 нм на основании данных о корреляционной зависимости оптических характеристик водного раствора глюкозы от концентрации;
– относительная погрешность измерения пропускания растворов не превышает 8%, а в среднем близка к 5,5% в исследуемом спектральном диапазоне;
– относительная погрешность определения концентрации раствора не превышает 36% в исследуемом спектральном диапазоне.

Основной причиной значительной погрешности определения предполагается недостаточная точность приготовления растворов.

Так можно сделать вывод о возможности определения концентрации раствора по его спектральным характеристикам. Однако для увеличения точности необходимо улучшить условия реализации экспериментальных исследований.

Разработка макета ОЭС НКГ. Для исследования биологического объекта был реализован макет в соответствии с функциональной схемой, представленной на рис. 1.

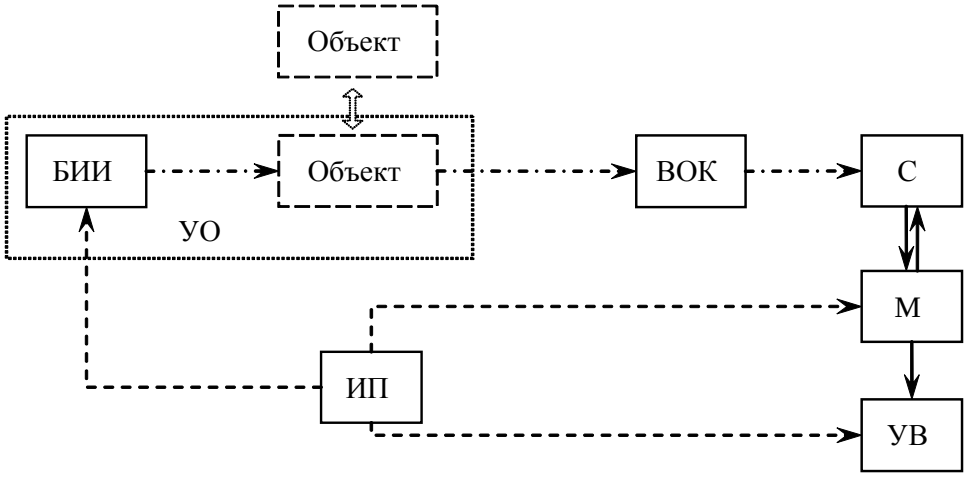


Рис. 1. Функциональная схема макета ОЭС НКГ

С помощью устройства ориентирования (УО) излучение от блока источников излучения (БИИ), работающего от источника питания (ИП), попадает на биологический объект – фалангу пальца, а затем часть излучения с помощью волоконно-оптического кабеля (ВОК) регистрируется спектрометром (С). Данные с чувствительного элемента спектрометра попадают в персональный компьютер, представленный микропроцессором (М) и устройством вывода (УВ). УО (рис. 2) разработано в виде диска с диодными ИИ, вращающегося в горизонтальной плоскости вокруг своей оси. Входной торец ВОК жестко зафиксирован с возможностью регулировать положение в зависимости от размера фаланги пальца.

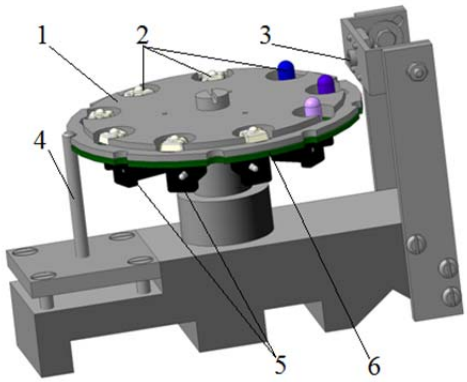


Рис. 2.1 Модель УО: 1 – диск; 2 – ИИ; 3 – деталь крепления ВОК; 4 – фиксирующий элемент; 5 – разъемы питания; 6 – электрическая плата

Разработанный макет удовлетворяет следующим, предъявленным к нему требованиям:

– наличие набора узкополосных источников излучения в различных диапазонах длин волн: 850–1700 нм (для исследования возможностей неинвазивной глюкометрии); 570–600 нм, 670–770 нм (для расширения функциональных возможностей макета);
– возможность поочередного включения источников излучения;

– возможность регулировки устройства ориентирования в зависимости от размера фаланги пальца;
– возможность фиксации источника излучения относительно ВОК;
– простота конструкции.

Заключение. В соответствии с поставленной целью и сформулированными задачами были достигнуты следующие результаты работы:
– выявлено, что в большинстве систем для неинвазивного измерения КГК оптическим методом в качестве объекта исследования используют мочку уха или фалангу пальца;
– выявлены основные недостатки существующих разработок: низкая точность измерений, сложность реализации конструкции;
– сформулированы особенности биологических объектов исследования, определяющие сложности в создании ОЭС НКГ: многокомпонентный состав крови, незначительные изменения КГК по абсолютной величине, а также низкая КГК относительно других веществ, влияние пигментации и состояния кожи;
– определены факторы, обуславливающие спектральный диапазон исследования биологического объекта: максимальное проникновение в биоткань излучения БИК диапазона, прозрачность глюкозы в видимом диапазоне, наличие вторых и третьих гармоник, входящих в состав глюкозы молекулярных соединений в БИК диапазоне;
– проведенный габаритно-энергетический расчет показал, что мощность выбранной для реализации макета для исследования спектральных характеристик растворов галогенной лампы Navigator 94 209 JC 12,1 Вт превышает минимальный необходимый поток излучения 5,5 Вт;
– разработана методика проведения экспериментальных исследований спектральных характеристик растворов глюкозы различных концентраций, включающая три этапа (подготовка образцов, измерения спектральных характеристик, обработка полученных данных), а также соответствующее ПО для измерения спектральных характеристик и обработки данных;
– проведенные экспериментальные исследования растворов глюкозы различных концентраций позволили определить концентрации водных растворов с относительной погрешностью до 32%, а также оценить относительную погрешность измерения спектральных характеристик растворов (до 6%);
– разработан макет ОЭС НКГ для исследования спектральных характеристик ногтевой фаланги пальца, в состав которого входит УО, содержащее блок девяти диодных источников излучения видимого и БИК диапазона излучения.

Таким образом, выполнены все поставленные задачи.

Литература

1. Дедова И.И., Шестаковой М.В. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. – 6-е изд. – М., 2013. – 120 с.
2. Govada A., Renumadhavi Ch., Ramesh K.B. Non-Invasive Blood Glucose Measurement // International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. – 2014. – V. 3. – № 1. – P. 5122–5125.
3. Zheng Y., Gindy N. Investigation of glucose non-invasive measurement based on NIR laser // Sensors & Transducers Journal. – 2006. – V. 72. – № 10. – P. 769–785.
4. Ramasahayam S., Haindavi S.K., Kavala B., Chowdhury S.R. Non invasive estimation of blood glucose using near infra red spectroscopy and double regression analysis // Seventh International Conference on Sensing Technology. – 2013. – P. 627–631.

Мазулина Вероника Васильевна
Год рождения: 1993
Факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, группа № Р4235
Направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника
e-mail: nikasummit@rambler.ru

УДК 681.586 + 681.515.8

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ФУНКЦИЕЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

В.В. Мазулина
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ю.В. Литвинов

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615864 «Разработка методов и технологий управления и обработки информации для сложных динамических систем».

Введение. Основными требованиями, предъявляемыми ко всем мобильным роботам, независимо от их сложности и функционального назначения, являются автономность, надежность навигационной системы и оптимальность алгоритмов управления. Популярность автономных систем обусловлена тем, что в отличие от управляемых вручную устройств, они способны быстрее реагировать на изменения окружающей среды, а также не требуют дополнительных человеческих ресурсов для одновременного управления несколькими объектами.

Данная работа посвящена разработке автономного мобильного робота, перед которым стоят следующие задачи: движение по заданной траектории, обнаружение препятствий и их объезд, возврат на первоначально заданный маршрут, построение карты местности и определение собственных координат на ней в режиме реального времени. Существует множество решений поставленных задач на плоскости. Проблемы возникают при переходе на пересеченную местность. В таком случае могут возникнуть ситуации, при которых робот идентифицирует наклонные поверхности, как препятствия. В настоящей работе предложен алгоритм движения робота, основанный на оценке характера плоскости движения ультразвуковым датчиком и гироскопом.

Общий алгоритм движения. Во время отработки заданной траектории робот постоянно сканирует окружающее пространство до тех пор, пока не зафиксирует препятствие и не объедет его. Эти процедуры выполняются в цикле до тех пор, пока не будет достигнута цель.

Идентификация статических препятствий, с которыми может столкнуться мобильная платформа, осуществляется при помощи стереозрения. Для этого на одной оси установлены две идентичные видеокамеры так, что их главные оптические оси параллельны друг другу и параллельны плоскости движения [1]. Расстояние до точек препятствия Z вычисляется по следующей формуле:

$$Z = \frac{fT}{d},$$

где f – фокальное расстояние фотоприемников; T – расстояние между центрами проекций камер (база); d – величина смещения проектируемой точки на изображениях левой и правой камер.

Так как система технического зрения обнаруживает только объекты, длина которых не превышает расстояния между камерами *T*, установим для подстраховки между видеокамерами ультразвуковой дальномер. Для увеличения видимой датчиками области, установим штангу с сенсорами перпендикулярно корпусу робота на вертикальную поворотную ось.

При движении робота датчики сканируют лежащую впереди местность. При обнаружении препятствия робот останавливается. Поворотная ось разворачивается сначала на 90° влево от центрального положения, потом на 90° вправо и затем возвращается в исходное положение. Во время поворота в массив данных заносятся угол поворота сервопривода с осью с датчиками и расстояния до точек препятствия. Затем из массива выбирается угол, при котором препятствие не было зафиксировано. Если такое значение обнаружено, то робот поворачивается на нужный угол, движется вперед и с помощью гироскопа и энкодера возвращается на заданную траекторию [2]. Если искомый угол не обнаружен, то с контроллера поступает сигнал «Двигаться назад» и сканирование повторяется.

Алгоритм движения по пересеченной местности. При переходе на пересеченную местность в алгоритме движения робота по плоскости необходимо дополнить элементную базу робота вторым ультразвуковым дальномером, направленным перпендикулярно плоскости движения робота так, как это показано на рис. 1. Датчик закреплен на штанге, расположенной в горизонтальной плоскости робота и вынесенной на некоторое расстояние перед мобильной платформой. Основная функция второго ультразвукового сенсора – идентификация препятствий типа «ступенька» или резких обрывов [3].

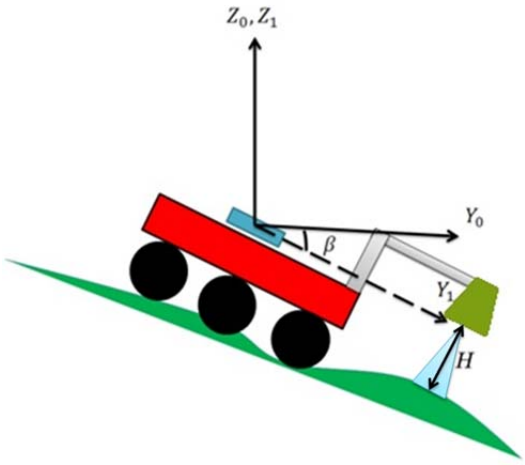


Рис. 1. Определение характера поверхности движения

Дальномер определяет расстояние до объектов, расположенных к сенсору под углом от 60° до 120°. Это соответствует максимально допустимому углу поверхности, которую может преодолеть робот без проскальзывания. Если угол наклона плоскости движения не попадает в указанный диапазон, то этот участок помечается как помеха. Для того чтобы не попасть на опасный участок, в дополнение к ультразвуковому датчику используется гироскоп. С него снимаются данные о скорости изменения угла наклона $\dot{\beta}$ мобильной платформы.

Во время движения контроллер постоянно принимает данные с дальномера и гироскопа. Будем считать, что робот беспрепятственно может преодолеть ступеньку, высота которой не превышает трети диаметра колеса *D*. Таким образом, если расстояние *H* больше *D*/3, робот остановится и перейдет к алгоритму объезда

препятствия. Если ультразвуковым датчиком будет зарегистрировано максимальное значение H, это значит что препятствий не обнаружено, и дальше находится глубокая яма, которую роботу не преодолеть и ее надо объехать. Если значение H лежит в допустимых пределах, то учитывается скорость изменения угла наклона поверхности. Если $\dot{\beta}$ превышает допустимое значение, то контроллер отправляет на драйвер двигателей команду изменить частоту вращения колес робота, чтобы не проскочить опасный участок.

Экспериментальное исследование. Для проведения эксперимента была разработана функциональная схема мобильного робота, представленная на рис. 2.

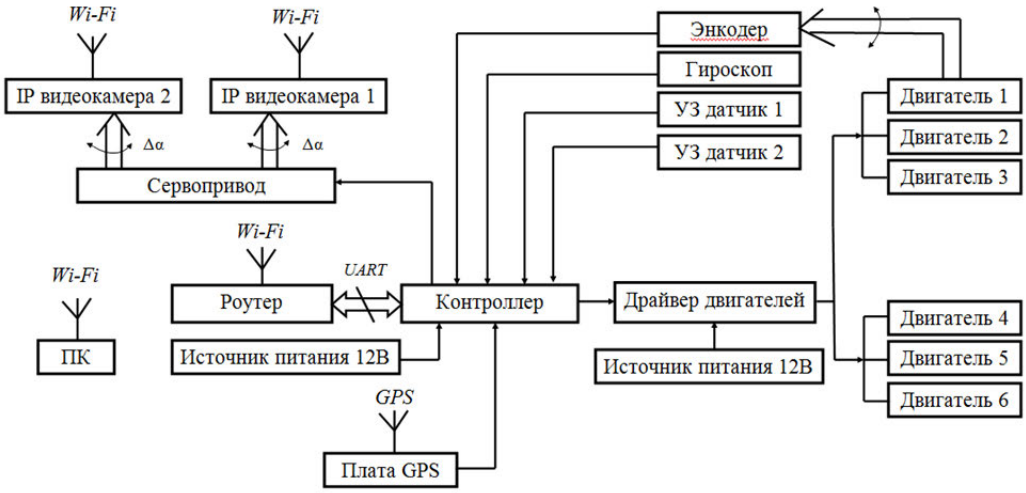


Рис. 2. Функциональная схема мобильного робота

Проследим, как будет изменяться график зависимости $H(t)$ при различной частоте испускаемых ультразвуковым датчиком импульсов. Графики при частотах 1 импульс в секунду и 5 импульсов в секунду, изображенные на рис. 3, а, б, не сильно отличаются друг от друга. При увеличении частоты до 10 импульсов в секунду появляется ошибка, которую можно увидеть на рис. 3, в. Усреднив этот скачек, как показано на рис. 3, г, было выяснено, что ультразвуковой датчик выдает критическое значение 3907 см не только, когда в поле его действия не попадают объекты, но и при чересчур близком расположении датчика и препятствия.

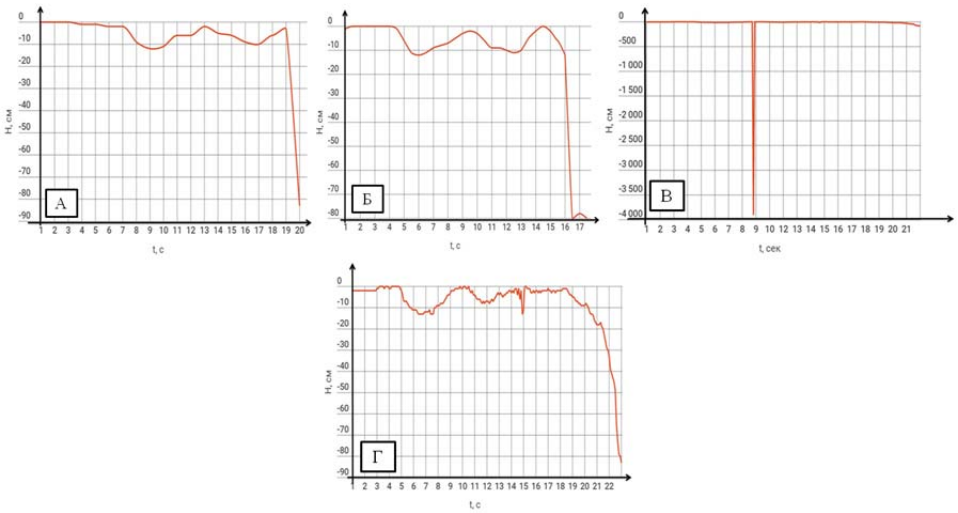


Рис. 3. Зависимость $H(t)$ при частоте испускания импульсов; 1 Гц (а); 5 Гц (б); 10 Гц (в); зависимость $H(t)$ с усредненной ошибкой при частоте испускания импульсов 10 Гц (г)

Чтобы избежать путаницы в системе управления необходимо скорректировать рассмотренный ранее алгоритм движения робота по пересеченной местности, введя в рассмотрение ситуацию, при которой критические данные свидетельствуют об ошибке датчика, полученной при большой частоте испускаемого дальномером сигнала.

Для того чтобы избежать остановки робота и перехода к объезду препятствия, необходимо провести следующее измерение расстояния и сравнить полученные результаты. Если значение H не изменилось, то робот остановится и приступит к алгоритму объезда опасного участка. Если же величина следующего измерения будет лежать в допустимых для робота пределах, то робот будет двигаться дальше по заданному маршруту.

Также необходимо изменять частоту испускаемого дальномером сигнала прямо пропорционально скорости движения робота. Это позволит снизить вычислительную нагрузку на контроллере при малых скоростях и обезопасить робота при больших.

Заключение. В результате был разработан алгоритм обнаружения и объезда мобильным колесным роботом препятствий на плоскости и его движения по пересеченной местности. В отличие от существующих аналогов в данном исследовании упор делался не на улучшении механической составляющей платформы и увеличении степени ее подвижности, а на расширение возможностей сенсорных систем. Это позволит роботу заранее принимать решение о ходе дальнейших действий. Также преимуществом подобного подхода является возможность закладывания в алгоритм решения ситуаций, при которых робот не может преодолеть определенный участок заданной траектории. Для выполнения эксперимента была разработана функциональная схема робота, выбрана его элементная база и построен прототип.

Система очувствления робота состоит из ультразвуковых датчиков, системы технического зрения, гироскопа, энкодера и GPS-модуля. Использование указанного набора датчиков позволяет добиться большой степени автономности. Интеллектуальность робота заключается в возможности определять характер своих действий в зависимости от изменений в окружающей среде.

Литература

1. Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Фролов С.Н., Салмыгин И.П., Бушуев А.Б. Использование веб-камеры для обнаружения препятствий на пути движения мобильного робота // Системы обработки информации. Информационные проблемы теории акустических, радиоэлектронных и телекоммуникационных систем. – 2013. – № 7(114). – С. 24–26.
2. Мазулина В.В., Мищенко Г.М. Идентификация и обход препятствия на пути следования мобильного робота с использованием технического зрения // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 2. – С. 170–173.
3. Евстигнеев М.И., Литвинов Ю.В., Мазулина В.В., Мищенко Г.М. Алгоритмы управления четырехколесным роботом при движении по пересеченной местности // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 9. – С. 738–741.

Михеев Максим Владимирович
Год рождения: 1989
Факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра световодной фотоники, группа № К4206
Направление подготовки: 210700.68 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: narkbt@gmail.ru

УДК 681.787+004.942

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОИСК ПУТЕЙ ПОДАВЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ УДАРОВ И ВИБРАЦИЙ НА ПОКАЗАНИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

М.В. Михеев
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.С. Алейник

Непрерывный прогресс в области волоконной и интегральной оптики на протяжении последних десятилетий, во многом стимулируемый нуждами телекоммуникационной промышленности, привел к обширному развитию волоконно-оптических датчиков и, в частности, значительному улучшению точностных характеристик волоконно-оптических гироскопов (ВОГ), применяемых в системах навигации и стабилизации. Эксплуатационные параметры ВОГ значительно шире классических инерциальных гироскопов за счет отсутствия подвижных частей, большего срока службы и нечувствительности к линейным ускорениям. Однако при наличии вибрационных и ударных воздействий, трясок и больших угловых ускорений, неминуемо возникающих в процессе эксплуатации, выходной сигнал прибора искажается, что может привести к ошибкам показаний системы, использующей ВОГ в качестве датчика угловой скорости [1–4].

Целью работы являлось исследование механизмов возникновения ошибок показаний ВОГ при ударных и вибрационных воздействиях, поиск методов, позволяющих повысить устойчивость и сохранить его точностные характеристики.

В ходе работы рассмотрена схема интерференционного волоконно-оптического гироскопа, представленная на рис. 1.

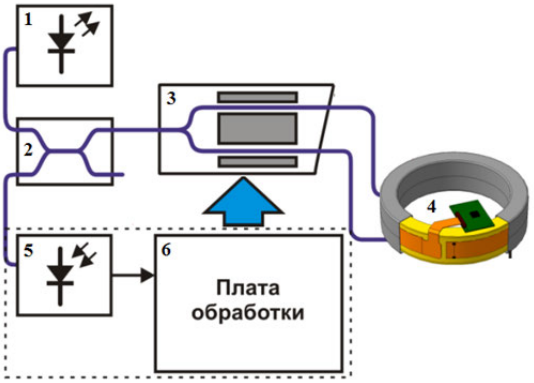


Рис. 1. Общая схема ВОГ

Оптическое излучение, испускаемое источником 1, разделяется на оптическом разветвителе 2 и проходит через многофункциональную интегрально-оптическую схему (МИОС) 3, где осуществляется поляризация, фазовая модуляция и разделение пучка на две составляющие, распространяющиеся навстречу друг другу в катушке из оптического волокна 4. Разность фаз двух встречно распространяющихся оптических

пучков зависит от угловой скорости вращения прибора, что объясняется эффектом Саньяка. В обратном направлении пучки проходят МИОС 3, где опять подвергаются дополнительной фазовой модуляции, и через разветвитель 2 попадают на фотоприемное устройство 5, расположенное на плате обработке 6. Сигнал с фотоприемного устройства демодулируется с целью формирования сигнала обратной связи, подаваемого на фазовый электрооптический (ЭО-) модулятор (МИОС), и сигнала о текущей угловой скорости вращения.

Для изучения реакции ВОГ на ударные воздействия, а также для упрощения процесса разработки была создана функциональная численная модель ВОГ в среде MATLAB/Simulink, блок-схема модели представлена на рис. 2. Модель состоит из источника сигнала, задающего измеряемое значение угловой скорости, функциональных узлов ВОГ и блока сравнения, оценивающего ошибку между входными данными и показаниями ВОГ.

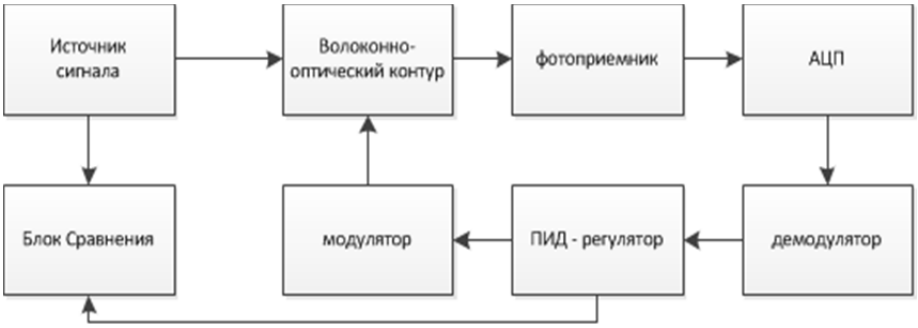


Рис. 2. Блок-схема функциональной модели ВОГ

В результате моделирования реакции ВОГ на различные воздействия было выявлено, что причиной возникновения ошибок показаний ВОГ в условиях динамических воздействий, является выход рабочей точки из линейного диапазона передаточной характеристики интерферометра и задержка в цепи регулирования. В дальнейшем были предложены модификации алгоритма работы системы регулирования, позволяющие увеличить скорость компенсации ошибок стабилизации рабочей точки интерферометра и обеспечить лучшую стабильность петли обратной связи при больших ускорениях. Модифицированная схема демодуляции и формирования сигнала обратной связи представлена на рис. 3.

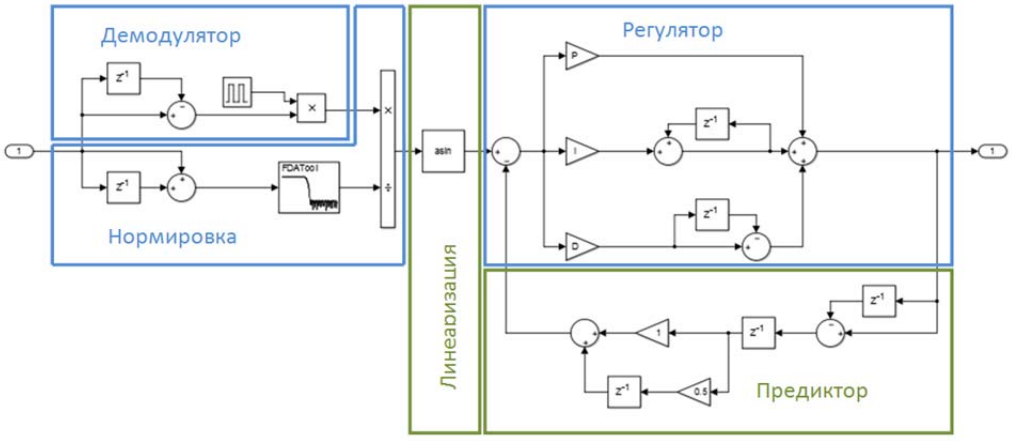


Рис. 3. Модифицированная блок-схема системы регулирования

Для расширения линейного диапазона передаточной характеристики интерферометра, его отклик после демодуляции линеаризуется в пределах рабочей полосы, что позволяет расширить диапазон угловых ускорений, в которых

обеспечивается стабильность работы ВОГ. Для уменьшения влияния задержек в системе регулирования, вызванных временем прохождения света через волоконно-оптический контур и особенностями цифровой обработки, в петле обратной связи был реализован предиктивный регулятор, который позволяет уменьшить время выхода на уставку без возникновения автоколебательных процессов в цепи регулирования.

Представленные модификации при численном моделировании показали следующие результаты (рис. 4 и 5).

Рис. 4. Численное моделирование зависимости ошибки показаний ВОГ от угловых ускорений

При моделировании реакции на воздействие с линейно возрастающим ускорением было выявлено, что использование линеаризации передаточной характеристики интерферометра вместе с предиктивным регулятором позволяет увеличить рабочий диапазон угловых ускорений более чем в полтора раза (с 160000 до 270000 град/с^2). При моделировании реакции на ударные воздействия было выявлено, что внесение модификаций в систему регулирование уменьшает ошибку определения угла по показаниям прибора.

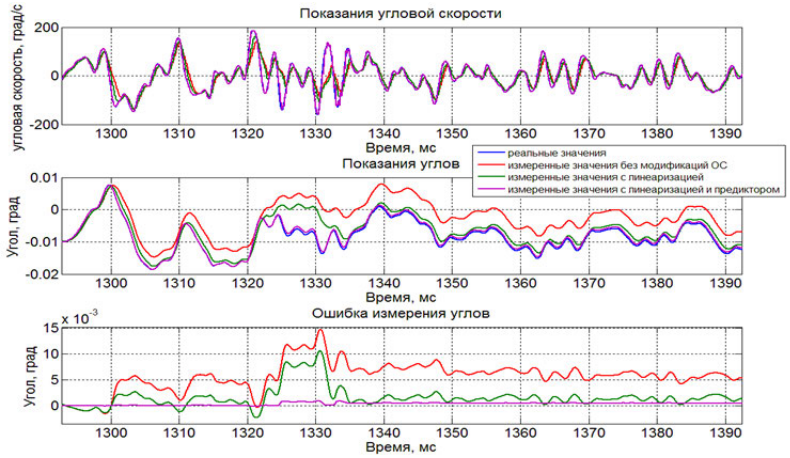


Рис. 5. Численное моделирование реакции ВОГ на ударное воздействие

Для определения эффективности полученных модификаций в реальном приборе, они были реализованы в специальном программном обеспечении (СПО) экспериментальной навигационной системы БИМ001 производства ОАО ЦНИИ «Концерн «Электроприбор» и испытаны при различных воздействиях.

При испытаниях было выявлено, что полученные модификации не вносят видимых искажений в показания ВОГ в штатном режиме, однако позволяют сохранить работоспособность прибора в условиях больших угловых ускорений и полигармонических воздействий (рис. 6).

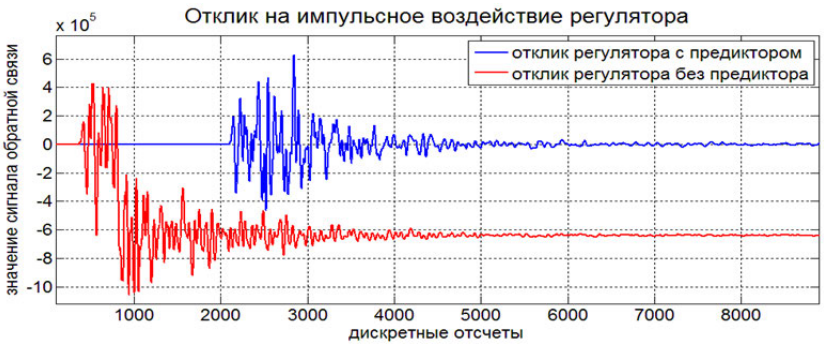


Рис. 6. Отклики ВОГ на ударное воздействие до и после внесения модификаций в систему регулирования

При испытаниях на вибростенде, при 5000 детерминированных линейных ускорениях с частотой следования 1 Гц, амплитудой 10*g* и продолжительностью 12 мс система формирования показаний курса давала ошибку, равную в пике 550 угл. мин на всех реализациях СПО (рис. 7). При анализе было выявлено, что ошибка возникает в результате передискретизации данных ВОГ с частоты 136612 Гц до частоты 100 Гц, необходимой системе навигации.

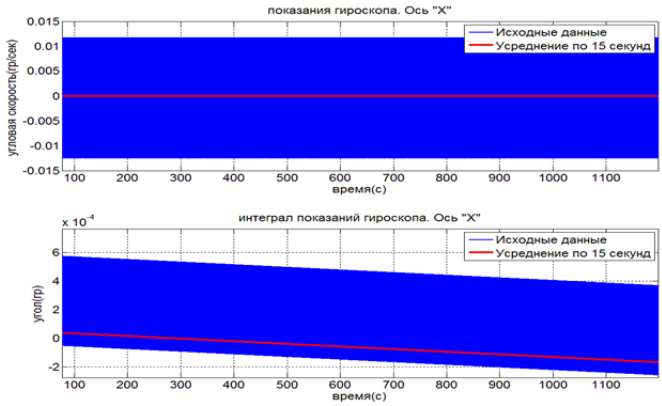


Рис. 7. Моделирование передискретизации показаний ВОГ на некратную частоту

Для компенсации данной ошибки была предложена схема передискретизации сигнала, позволяющая выравнивать скорости исходного и передискретизированного потока данных и избегать переотражений спектра при децимации. Блок-схема передискретизации представлена на рис. 8.

Рис. 8. Блок-схема передискретизации сигнала на некратную частоту

Интерполятор приводит частоту сигнала к кратной частоте передискретизации. Фильтр удаляет из сигнала составляющие, способные переотразиться в область полезного сигнала. Дециматор уменьшает частоту выходного потока до необходимой потребителю – 100 Гц.

Вывод. В результате проведенной работы было проведено исследование реакции ВОГ на динамические воздействия, в результате которого были найдены

причины возникновения ошибки выходных данных. Были проектированы программно-аппаратные модули СПО для ВОГ, позволяющие расширить рабочий диапазон угловых ускорений с 160000 до 270000 град/с^2 (в 1,7 раза) и увеличить максимальную частоту механических колебаний, при которой сохраняется устойчивая работа ВОГ с 13 до 50 кГц. Разработанные модули были протестированы в составе экспериментальной навигационной системы в сертифицированном испытательном центре ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор». В результате испытаний было подтверждено, что разработанные модули СПО не вносят погрешностей в показания ВОГ, но обеспечивают высокую устойчивость к динамическим воздействиям. Также была предложена система обработки выходного сигнала ВОГ, позволяющая обеспечить определение курса системой навигации прибора БИМ001 в условиях ударных и вибрационных воздействий.

Литература

1. Lefevre H.C. Fiber Optic Gyroscope. – London: Artech House, 1992. – 313 p.
2. Алейник А.С. Исследование и повышение точностных параметров волоконно-оптических гироскопов : дисс. канд. техн. наук: 05.11.01. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 137 с.
3. Hui Li, Liyang Cui, Zhili Lin, Chunxi Zhang. Analysis and Optimization of Dynamic Measurement Precision of Fiber Optic Gyroscope // Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – V. 2013.
4. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

Моисеева Анастасия Алексеевна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: nastiakor@gmail.com

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛЛИМАЦИОННЫХ УГЛОВ С ПИРАМИДАЛЬНЫМИ КОНТРОЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.А. Моисеева
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Коняхин

Работа поддержана грантом 074-U01 Правительства Российской Федерации.

Введение. В измерительной технике направление, связанное с определением угловых поворотов контролируемого объекта, является актуальным при создании космических систем ориентации и стыковки, систем определения деформаций нагруженных сооружений в энергетике (нефте- и газопроводов, фундаментов реакторов, плотин), промышленности и строительной индустрии.

Для решения задач, связанных с определением пространственного углового положения объектов, эффективны двух- и трехкоординатные углоизмерительные

системы. Перспективными являются угломеры автоколлимационного типа, так как в этом случае на контролируемом объекте размещается контрольный элемент (КЭ), который не требует подключения к сети электропитания и постоянного эксплуатационного обслуживания.

Автоколлиматоры (АК) широко представлены на рынке контрольно-измерительной техники. Серийные модели имеют достаточно высокую точность, однако рабочая дистанция не превышает 3–5 м, что затрудняет их использование при решении вышеуказанных метрологических задач.

Таким образом, проектирование двухкоординатного АК с контрольными элементами других конфигураций, в частности, с пирамидальными КЭ, исследование их метрологических свойств, совершенствование методов расчета параметров компонентов прибора являются актуальными задачами измерительной техники.

Структура оптико-электронной автоколлимационной системы. Оптико-электронная автоколлимационная система включает в себя АК, который установлен на неподвижном основании, и отражательный элемент, размещенный на контролируемом объекте.

Неподвижная система координат *XYZ* связана с самим АК, ось *OZ* совпадает с его оптической осью, проходящей через заднюю узловую точку объектива и центр анализатора приемного канала – ПЗС- или КМОП-матрицы. Плоскость *XOY* параллельна плоскости матрицы, а оси *OX* и *OY*, соответственно, параллельны ее строкам и столбцам.

Подвижная система координат $X_1Y_1Z_1$ связана с отражателем. При исходном положении объекта оси системы координат $X_1Y_1Z_1$ параллельны осям системы координат *XYZ*.

Угловое перемещение объекта в пространстве определяется тремя эквивалентными поворотами Θ_1, Θ_2 и Θ_3 вокруг осей OX_1, O_1Y_1, O_1Z_1 соответственно. Углы Θ_1 и Θ_2 – коллимационные, Θ_3 – угол скручивания.

При повороте объекта отраженные пучки отклоняются от первоначального направления, что вызывает изменение положения изображения на фотоприемной матрице приемного канала. Угловые координаты Θ_1, Θ_2 отражателя и, соответственно, скрепленного с ним объекта, определяются в результате микропроцессорной обработки видеокадров, полученных с матрицы.

Анализ действия отражателя. Серийные АК используют плоскую отражающую поверхность самого объекта или отражатель в виде плоского зеркала. При повороте зеркала на углы Θ_1 и Θ_2 относительно коллимационных осей отраженный пучок вернется в объектив автоколлиматора с отклонением пучка от оптической оси объектива автоколлиматора на полный угол $2\sqrt{\Theta_1^{\,2} + \Theta_2^{\,2}}$. Из-за чего происходит значительное смещение отраженного пучка в плоскости апертуры объектива при наличии одновременно углов поворота относительно двух коллимационных осей.

В данной работе рассмотрен отражатель в виде стеклянной четырехугольной пирамиды, позволяющий увеличить рабочую дистанцию (рис. 1). Каждая противолежащая пара граней такого отражателя эквивалентна призме БР-180, поэтому единый параллельный пучок лучей, падающих на преломляющую грань при отражении, разделяется на два пучка, отраженных соответствующей эквивалентной призмой БР-180.

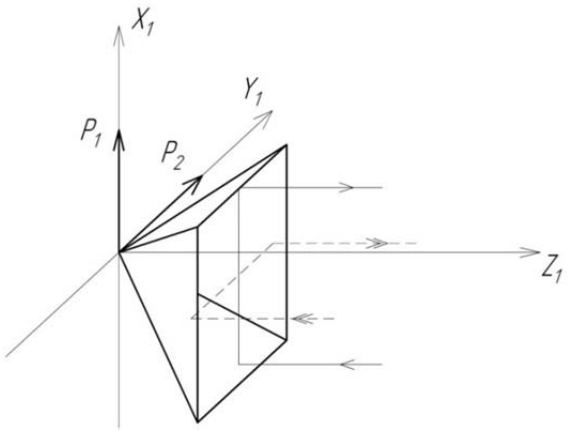


Рис. 1. Пирамидальный отражатель

При повороте пирамидального отражателя на углы Θ_1 и Θ_2, каждый отраженный пучок в плоскости апертуры объектива будет перемещаться только в плоскости, содержащей оптическую ось объектива и ребро одной из эквивалентных призм. В результате при двухкоординатных измерениях угол отклонения рабочих пучков от оптической оси также равен $2\Theta_1$ (или $2\Theta_2$). Следовательно, необходимый диаметр объектива для приема этих двух пучков в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем при приеме пучка, отраженного от плоского зеркала (при равных диапазонах измерения углов Θ_1 и Θ_2). Это позволяет соответственно в $\sqrt{2}$ раз увеличить рабочую дистанцию автоколлиматора простой заменой отражающего контрольного элемента и использования программного обеспечения, реализующего требуемый алгоритм обработки изображения.

Матрицы отражения четырехугольного пирамидального отражателя. Орт **B** отраженного пучка после поворота отражателя рассчитывается по формуле:

$$\mathbf{B} = \mathbf{M}_r \cdot \mathbf{M}_d \cdot \mathbf{M}_r^{-1} \mathbf{A}, \quad (1)$$

где **A** – орт падающего на отражатель пучка; $\mathbf{M}_d$ – матрица отражения, связанная с отражателем в системе координат $X_1Y_1Z_1$ [1]; $\mathbf{M}_r$ и $\mathbf{M}_r^{-1}$ – матрицы прямого и обратного операторов, определяющих, соответственно, прямой и обратный переходы между системами координат XYZ и $X_1Y_1Z_1$.

Были найдены матрицы действия выбранного отражателя, матрицы прямого и обратного операторов с помощью работ [2, 3]. При повороте объекта, с которым связан отражатель, на углы Θ_1, Θ_2, Θ_3 координаты ортов $\mathbf{B}_{1,2}$ двух отраженных пучков по осям OX, OY определяются из выражения (1):

$$B_{x1} = \cos(\Theta_1)\sin(2\Theta_2)\sin(\Theta_3)^2 + \cos(\Theta_2)\sin(\Theta_1)\sin(2\Theta_3); \quad (2)$$

$$B_{x2} = \cos(\Theta_1)\sin(2\Theta_2)\cos(\Theta_3)^2 - \cos(\Theta_2)\sin(\Theta_1)\sin(2\Theta_3); \quad (3)$$

$$B_{y1} = -\sin(2\Theta_1)\left[\cos(\Theta_2)^2\sin(\Theta_3)^2 + \cos(2\Theta_3)\right] - \sin(\Theta_2)\sin(2\Theta_3)\cos(2\Theta_1); \quad (4)$$

$$B_{y2} = -\sin(2\Theta_1)\left[\frac{\cos(\Theta_2)^2 - \sin(\Theta_2)^2\cos(2\Theta_3) - \cos(2\Theta_3)}{2}\right] + \quad (5)$$

$$+\sin(\Theta_2)\sin(2\Theta_3)\cos(2\Theta_1).$$

Алгоритмы измерения углов поворота объекта. Автоколлимационные изображения марки, сформированные двумя отраженными пучками в плоскости фотоприемной матрицы приемного канала автоколлиматора смещаются на величины x_1, y_1 и x_2, y_2, по осям OX и OY:

$$x_i = f\mathrm{tg}(\alpha_i),\ y_i = f\mathrm{tg}(\beta_i), \quad (6)$$

где f – фокусное расстояние объектива автоколлиматора; α_i и β_i – углы между проекциями ортов $\mathbf{B}_1$ и $\mathbf{B}_2$ в координатных плоскостях *YOZ*, *XOZ* и оптической осью объектива; i – индекс, обозначающий номер пучка 1 или 2. Углы α и β фактически являются долготой и широтой орта отраженного пучка в полярной системе координат (ось *OZ*, параллельная оптической оси – полярная). Координаты ортов отраженных пучков в системе координат *XYZ* связаны с долготой и широтой известными соотношениями:

$$[B_{xi}\ B_{yi}\ B_{zi}]^T = [\cos(\beta_i)\sin(\alpha_i)\ \sin(\beta_i)\ \cos(\beta_i)\cos(\alpha_i)]^T. \quad (7)$$

Алгоритм измерения углов можно описать следующим образом:

1. в результате цифровой обработки видеокадра с матричного анализатора определяются величины x_1, y_1 и x_2, y_2 смещений автоколлимационных изображений марки от центра матричного анализатора;
2. по выражению (6) вычисляются углы α_i и β_i между проекциями ортов отраженных пучков и оптической осью объектива;
3. решается система из двух пар нелинейных уравнений, которую определяют выражения (4)–(7). Определяются три составляющие Θ_1, Θ_2, Θ_3 угла поворота объекта.

Алгоритм был реализован в технологии Mathcad15 для диапазона задаваемых углов Θ_m=1º (при f=150 мм). Тестовые расчеты показали устойчивость и сходимость итерационного алгоритма при любых значениях углов из указанного диапазона за исключением варианта $\Theta_1=\Theta_2=0$, при котором «измеренная» величина Θ_3 также была нулевой независимо от исходной.

Формально из рассмотренного алгоритма следует возможность измерения угла скручивания Θ_3 наряду с коллимационными углами. Для практической проверки возможности трехкоординатных измерений была создана имитационная компьютерная модель приемного канала, использующего рассмотренный алгоритм. Ошибки dx_i и dy_i определения смещения изображений имитировались с помощью генератора значений нормальной случайной величины с нулевым математическим ожиданием и средним квадратическим значением, равным задаваемой погрешности измерения σ, выраженной в долях от линейного размера пиксела фотоприемной матрицы (рассматривался квадратный пиксел размером 12×12 мкм^2). Выходные параметры модели – оценки $\sigma\Theta_1$, $\sigma\Theta_2$, $\sigma\Theta_3$ среднеквадратического значения погрешности измерения угловых координат. Графики зависимости $\sigma\Theta_1$, $\sigma\Theta_2$, $\sigma\Theta_3$ от величины коллимационных углов (полагалось равенство $\Theta_1 = \Theta_2$) при неизменной величине Θ_3 = 15 угл. мин. для значения σ_1=0,05 и σ_1=0,1 (практически реализуемая точность при использовании алгоритма «взвешенного суммирования») приведены на рис. 2, а.

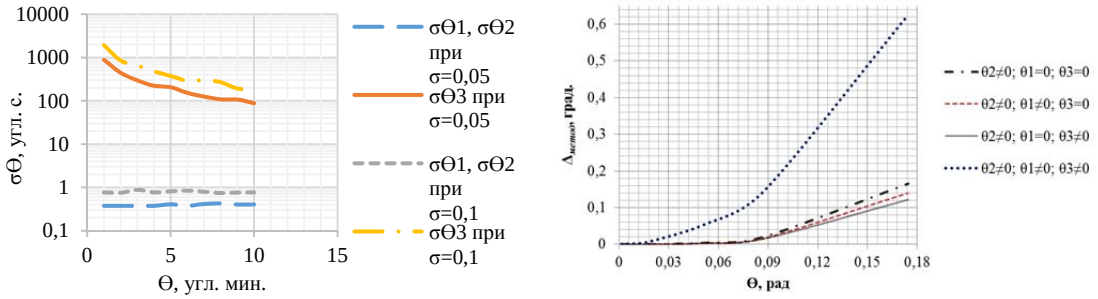
Моделирование показало, что погрешность измерения угла скручивания Θ_3 ($\sigma\Theta_3$ не менее единиц угловых минут) значительно превышает погрешность измерения коллимационных углов ($\sigma\Theta_1$, $\sigma\Theta_2$ порядка угловой секунды) и экспоненциально возрастает с уменьшением отношения Θ_3/Θ_1 (и (или) Θ_3/Θ_2) до десятков угловых минут. Указанное обстоятельство позволяет использовать рассматриваемый отражатель для измерения угла скручивания при решении узкого круга задач, например, при динамических измерениях в следящем режиме, когда в каждый момент времени отражатель повернут относительно коллимационных осей.

Использование рассмотренного алгоритма требует включения в состав АК микропроцессора. При малых измеряемых углах может использоваться приближенный алгоритм вида:

$$\Theta_2=x_2/(2f),\ \Theta_1=y_1/(2f). \quad (8)$$

В этом случае требуемый алгоритм обработки изображения может быть реализован простым электронным блоком обработки на основе логических микросхем среднего уровня интеграции (раздел 5.2 в [4]).

При использовании алгоритма (8) возникающая методическая погрешность $\Delta_{метод}$ определяется двумя факторами: диапазоном измеряемых коллимационных углов Θ_1, Θ_2 и наличием в повороте объекта составляющей, определяемой углом скручивания (рис. 2, б). В частности, для диапазона измерения Θ_{max}=15 угл. мин, типичному для серийных автоколлиматоров и при отсутствии угла скручивания $\Delta_{метод}$ имеет пренебрежимо малую величину 1,2 угл. с, допустимую при многих практических измерениях. Проектировщик угломерительной системы может выбирать алгоритм в зависимости от условий измерительной задачи [5].



а б

Рис. 2. Зависимости среднеквадратического значения погрешности измерения угловых координат $\sigma\Theta_1$, $\sigma\Theta_2$, $\sigma\Theta_3$ от величины коллимационных углов (а); зависимость величины методической погрешности измерения при упрощенном алгоритме от диапазона измерений (б)

Заключение. При использовании отражателя в виде четырехугольной стеклянной пирамиды с прямыми двугранными углами $\pi/2$ при вершине рабочая дистанция автоколлиматора может быть увеличена в $\sqrt{2}$ раз.

Найденный алгоритм измерения принципиально позволяет выполнять трехкоординатные угловые измерения, однако практически измерение угла скручивания выполняется только в случае наличия коллимационных углов поворота. При отсутствии поворотов на угол скручивания может использоваться упрощенный алгоритм измерения коллимационных углов.

Возникающая методическая погрешность измерения пренебрежимо мала при диапазонах измерения, типичных для серийных автоколлиматоров.

Использование в качестве отражателя стеклянных четырехугольных пирамид с двугранными углами при вершине π/s при s – четное и $s>2$ нецелесообразно по критерию энергетической эффективности.

В ходе работы были выбраны элементы структурной схемы разрабатываемого АК; проведен габаритно-энергетический расчет; разработана компьютерная модель измерительной системы; разработаны конструкция приемного блока АК и блок отражателя.

Литература

1. Vanderwerf D.F. Applied prismatic and reflective optics. – SPIE Press, 2010. – 310 p.
2. Korn G.A. and Korn T.M. Mathematical handbook for scientists and engineers: definitions, theorems, and formulas for reference and review. – General Publishing Company, 2000. – 1151 p.
3. Погарев Г.В., Киселев Н.Г. Оптические юстировочные задачи. Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1989. – 260 с.

4. Коняхин И.А., Панков Э.Д. Трехкоординатные оптические и оптико-электронные угломеры: Справочник. – М.: Недра, 1991. – 224 с.
5. Процко С.В., Хапалюк А.П. Отражатели в форме зеркально-симметричных углов // Изв. вузов. Приборостроение. – 1984. – Т. 27. – № 12. – С. 53–57.

Муста Оглы Наргуль Маматовна
Год рождения: 1992
Факультет пищевой биотехнологии и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, группа № Т4242
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: nargul_m@ mail.ru

УДК 137.146

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ АЛАНИНАМИНОТРАНСФЕРАЗНОЙ АКТИВНОСТИ В КАРТОФЕЛЕ

Н.М. Муста Оглы
Научный руководитель – к.х.н., доцент А.Н. Бландов

Для аминокислот и кетокислот одними из ключевых ферментов являются аминотрансферазы, которые играют важную роль в их метаболизме. Свое распространение они имеют как в тканях человека и животных, так и в тканях растений и микроорганизмов. Несмотря на то, что в растениях эти ферменты выполняют похожие биохимические функции, что и в организме человека, однако изучению подвергались все-таки меньше [1, 2].

При дальнейшем углубленном изучении активность этого фермента может представлять практический интерес для анализа пищевого сырья и контроле качества готовых продуктов, говорить о возможном влиянии химических добавок, в частности, консервантов и образующихся из них вторичных метаболитов на ферментативную активность пищевых систем. В связи с этим **целью работы** стало изучение активности фермента аланинаминотрансферазы (АЛТ) в картофеле. Картофель был выбран по причине того, что он не содержит окрашивающих веществ, которые могли бы стать помехой для определения активности фермента на приборе ФЭК.

Так как эти ферменты (АЛТ, АСТ) в основном внутриклеточные, их широко используют в медицине для диагностики заболеваний, связанных с цитолизом – гепатиты, инфаркты, и резкое повышение их уровня в крови свидетельствует о массивном цитолизе (разрушении клеток). Катализируют они реакции трансаминирования, в которых донором являются аминокислоты, а акцептором кетокислоты. Результатом подобных реакций в клетках является синтез необходимых аминокислот из кетокислот, которые, в свою очередь, являются метаболитами гликолиза и цикла Кребса, либо наоборот, аминокислоты преобразуются в кетокислоты посредством трансаминирования с дальнейшим их использованием на энергетические запросы клетки.

Определение активности аланинаминотрансферазы. Материалы исследования и реактивы. Заранее приготовленная субстратная смесь (в 100 мл фосфатного буфера с pH 7,4 растворяли 1,78 г DL-аланина (или 0,89 г α-аланина) и 29,2 мг α-кетоглутаровой кислоты (смесь хранится в морозильнике)); 2,4-

динитрофенилгидразин в 1 н HCl 0,02%-й раствор; 0,4 н раствор NaOH; объект исследования: картофель.

Приборы: фотоэлектрический колориметр ФЭК-Н-57 с зеленым светофильтром с λ=540 нм и кюветами с рабочим расстоянием 10 мм; термостат на 38°С.

Ход определения. Навеска картофеля массой 2 г растиралась в ступке с 10 мл воды, затем гомогенат фильтровали через бумажный фильтр и к 0,2 мл фильтрованного гомогената добавляли 0,5 мл приготовленной заранее субстратной смеси. После этого выдерживали в течение 30 мин при температуре 38ºС, затем добавляли 0,5 мл раствора ДНФГ, выдерживая 15 мин при комнатной температуре, затем приливали 5 мл 0,4 н NaOH. Определение оптической плотности раствора происходило относительно холостой пробы, которую получали, взяв вместо фильтрата гомогената 0,2 мл дистиллированной воды. Количество образованной пировиноградной кислоты (ПВК) говорит об активности фермента. ПВК определяется на ФЭК по цветной реакции с ДНФГ, образуется окрашенный 2,4-динитрофенилгидразон.

Активность АЛТ выражают в микромолях образовавшейся ПВК в минуту в расчете на 1 г растительного сырья. Количество образовавшейся ПВК рассчитывают по закону Бугера–Ламберта–Бэра:

$$C = \frac{D}{\varepsilon l} \text{ мкмоль},$$

где D – оптическая плотность; ε – коэффициент экстинкции (л/моль·см) ε=0,45; C – молярная концентрация (моль/л); l – толщина слоя раствора (см) l=1 см.

Коэффициент экстинкции ε определяется по ряду стандартных растворов, содержащих ДНФГ пировиноградной и α-кетоглутаровой кислоты. Скорость ферментативной реакции рассчитывают по формуле:

$$V = \frac{C}{mt} \cdot 25 \text{ мкмоль/г·мин},$$

где m – навеска сырья в г; t – время инкубации в мин, коэффициент 25 учитывает, что в реакцию берется 1/25 часть приготовленного фильтрата.

Численные значения опыта № 1 представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1. Численные данные опыта

№ разведения	[S], ммоль/л	1/[S], л/ммоль	D_1	D_2	$D_{средн}$	$V_{средн}$, мкмоль/мин	1/V, мин/мкмоль
1	1,429	0,7	0,165	0,150	0,1575	0,01167	85,71
2	0,714	1,4	0,140	0,150	0,145	0,01074	93,10
3	0,476	2,1	0,120	0,130	0,125	0,00926	108,00
4	0,357	2,8	0,125	0,100	0,1125	0,00833	120,00
5	0,286	3,5	0,120	0,085	0,1025	0,00759	131,71
6	0,238	4,2	0,085	0,100	0,0925	0,00685	145,95
7	0,204	4,9	0,080	0,090	0,085	0,00630	158,82
8	0,179	5,6	0,080	0,075	0,0775	0,00574	174,19

Рассчитаны кинетические параметры АДТ картофеля методом Лайнуивера–Берка: K_m=0,298 ммоль/л, V_{max}=0,0151 мкмоль/мин.

Для проверки предположения об ингибировании субстратом авторы провели опыт, взяв меньшее количество фермента (1,5 г картофеля в том же объеме воды) и увидели явное отклонение вверх при больших концентрациях субстрата, что подтверждает предположение о субстратном ингибировании.

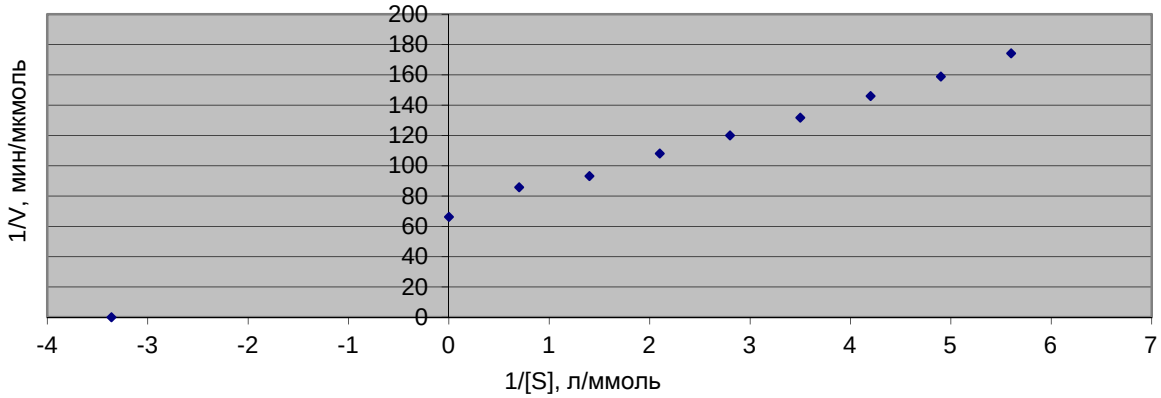


Рис. 1. График зависимости скорости реакции от концентрации субстрата для опыта № 1

Численные значения опыта № 2 представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2. Численные данные опыта

№ разведения	[S], ммоль/л	1/[S], л/ммоль	D_1	D_2	$D_{средн}$	$V_{средн}$, мкмоль/мин	1/V, мин/мкмоль
1	1,429	0,7	0,055	0,040	0,0475	0,00352	284,2
2	0,714	1,4	0,060	0,065	0,0625	0,00463	216,0
3	0,476	2,1	0,060	0,095	0,0775	0,00574	174,2
4	0,357	2,8	0,075	0,090	0,0825	0,00611	163,6
5	0,286	3,5	0,085	0,075	0,080	0,00593	168,8
6	0,238	4,2	0,070	0,075	0,0725	0,00537	186,2
7	0,204	4,9	0,065	0,070	0,0675	0,00500	200,0
8	0,179	5,6	0,060	0,065	0,0625	0,00463	216,0
9	0,159	6,3	0,055	0,060	0,0575	0,00426	234,8
10	0,143	7,0	0,055	0,055	0,055	0,00407	245,5

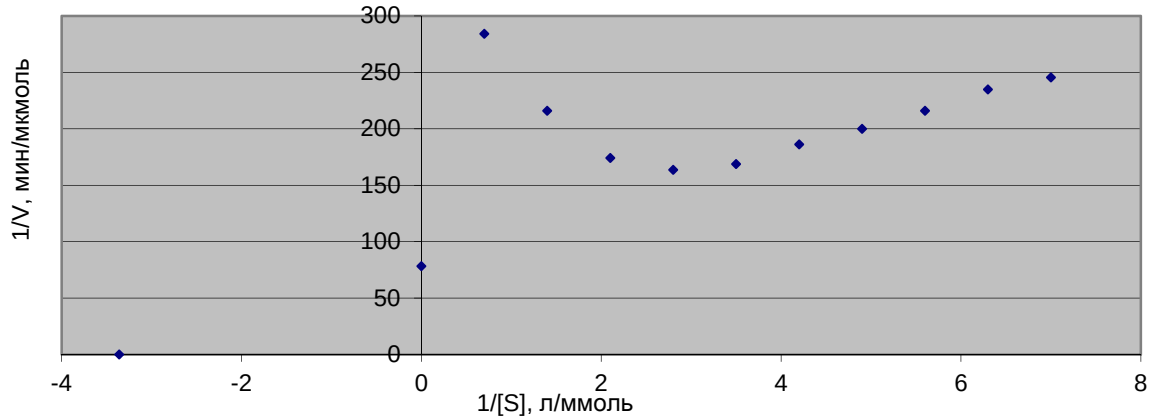


Рис. 2. График зависимости скорости реакции от концентрации субстрата для опыта № 2

Отсюда видно, что минимум на графике Лайнуивера–Берка соответствует четвертому разведению, т.е. $[S]_{min}$=0,357 ммоль/л. Это позволяет вычислить константу ингибирования субстратом по формуле $K_i=[S]^2_{min}/K_M$=0,428 ммоль/л. Константа Михаэлиса здесь определяется экстраполяцией линейной части графика в области малых концентраций субстрата до пересечения с осями, и она численно совпадает с определенной в опыте № 1. Однако V_{max}=0,0128 мкмоль/мин, что меньше, чем в опыте № 1, так как использовалась меньшая масса картофеля и соответственно меньшее количество фермента.

Определение активности аспартатаминотрансферазы

1. Материалы исследования и реактивы. Картофель. Смесь субстратов и реагентов, содержащая аспарагиновую и α-кетоглутаровую кислоту, восстановленный НАД и малатдегидрогеназу в буферном растворе с pH 7,8 (сухую смесь во флаконе набора для определения предварительно растворяют в 10 мл дистиллированной воды).
2. Приборы. ФЛК со светофильтром λ=340 нм и кюветами с рабочим расстоянием 5 мм. Прибор предварительно настраивают на 100% поглощения по кювете, содержащей дистиллированную воду.
3. Ход определения. В кювету с помощью мерной пипетки наливают 0,5 мл фильтрата гомогената картофеля, полученного так же, как и при определении активности АЛТ, 1,5 мл дистиллированной воды и 0,5 мл смеси субстратов и реагентов. После этого быстро перемешивают раствор тонкой стеклянной палочкой и сразу ставят в кюветное отделение фотоколориметра, записывают начальное значение оптической плотности и значение через 30 с. Исходя из разницы оптических плотностей $\Delta D=D_1-D_2$, находят активность АСТ в мкмоль/мин по формуле: $V=\Delta D/6{,}22/0{,}5$ мкмоль/мин.

Численные значения опыта представлены в табл. 3.

Таблица 3. Численные данные опыта

№ разведения	[*S*], ммоль/л	1/[*S*], л/ммоль	Δ*D*/мин	$V_{реакции}$, мкмоль/мин	1/*V*, мин/мкмоль
1	1,7	0,588	0,137	0,0441	22,7
2	0,85	1,176	0,089	0,0286	34,9
3	0,567	1,764	0,061	0,0196	50,98
4	0,425	2,352	0,054	0,0174	57,59
5	0,34	2,94	0,043	0,0138	72,33

Рассчитаны кинетические параметры АСТ картофеля методом Лайнуивера–Берка: K_m=1,89 ммоль/л, V_{max}=0,0918 мкмоль/мин.

В выбранном диапазоне концентраций субстрата субстратного ингибирования не наблюдается.

Определение активности каталазы в картофеле

1. Материалы исследования и реактивы. Картофель, 3% раствор перекиси водорода, 10% раствор серной кислоты, 0,1 н раствор перманганата калия.
2. Приборы. Конические колбы на 200 мл, мерные колбы на 100 мл, пипетки, градуированные на 5 и 20 мл, воронки, бюретки.
3. Ход определения. Растирают в ступке 1 г сырого картофеля с кварцевым песком, постепенно добавляя 2–3 мл воды и для уменьшения кислотности среды на кончике

шпателя добавляют карбонат кальция до прекращения выделения пузырьков углекислого газа. Растертую массу количественно переносят в мерную колбу на 100 мл и объем жидкости доводят до метки дистиллированной водой. Смесь оставляют на 30 мин, затем фильтруют через бумажный фильтр. В две конические колбы на 200 мл отбирают мерной пипеткой по 20 мл фильтрата гомогената и одну из них доводят до кипения (контрольная проба). В обе колбы добавляют по 3 мл соответствующего разведения 1% раствора перекиси водорода и оставляют на 30 мин (берется исходный 1% раствор, соответствующий концентрации 0,882 моль/л, и четыре разведения дистиллированной водой в 2, 3, 4 и 5 раз) и оставляют на 30 мин при комнатной температуре. Затем в каждую колбу приливают по 3 мл 10% серной кислоты для прекращения действия каталазы и оттитровывают остаточное количество пероксида водорода 0,1 н раствором перманганата калия до появления светло-розового окрашивания. Из разности между контрольным и опытным титром рассчитывают количество перманганата, эквивалентное количеству расщепленного с участием фермента пероксида водорода. 1 мл этого раствора соответствует 0,1 мэкв или 0,05 ммоль (50 мкмоль) перекиси водорода. Скорость реакции рассчитывается в мкмоль/мин делением на 30 мин.

Численные значения опыта представлены в табл. 4.

Таблица 4. Численные данные опыта

№ разведения	[*S*], ммоль/л	1/[*S*], л/ммоль	$V_{контр}$, мл	$V_{опыт}$, мл	*V*, мл	$V_{реакции}$, мкмоль/мин	1/*V*, мин/мкмоль
1	38,3	0,026	53,3	26,6	26,6	44,5	0,0225
2	19,2	0,052	27,8	10,0	17,8	29,7	0,0337
3	12,8	0,078	19,7	5,4	12,3	23,8	0,0460
4	9,58	0,104	14,6	4,1	10,5	18,5	0,0540
5	7,66	0,130	12,5	3,0	9,5	15,8	0,0632

Рассчитаны кинетические параметры каталазы картофеля методом Лайнуивера–Берка: K_m=0,0306 ммоль/л, V_{max}=76,9 мкмоль/мин.

В работе были рассчитаны кинетические параметры для всех трех ферментов методом Лайнуивера–Берка. Для АЛТ картофеля: K_m=0,298 ммоль/л, V_{max}=0,0151 мкмоль/мин. В ходе работы был установлен факт субстратного ингибирования фермента АЛТ картофеля при высоких концентрациях субстрата. Также было вычислено значение константы ингибирования при предположении образования неактивного двухсубстратного комплекса: K_i=0,428 ммоль/л.

Для АСТ картофеля: K_m=1,89 ммоль/л, V_{max}=0,0918 мкмоль/мин. Факт наличия субстратного ингибирования не обнаружен.

Для каталазы картофеля: K_m=30,6 ммоль/л, V_{max}=76,9 мкмоль/мин. Субстратного ингибирования также не было обнаружено.

Литература

1. Биохимия: учебник / Под ред. Северина Е.С. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – С. 564–601.
2. Строев Е.А., Макарова В.Г., Матвеева И.В. Практикум по биологической химии: Учебное пособие. – М.: Медицинское информационное агентство, 2012. – С. 250–261.

Овчаренко Антон Игоревич
Год рождения: 1993
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедры нанофотоники и метаматериалов, группа № V4240
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: antathome23@gmail.com

УДК 535.583, 535.541, 537.876.43

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛИЗМА ФУНКЦИИ ГРИНА ДЛЯ ОПИСАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ЛОКАЛИЗИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ НА ГИПЕРБОЛИЧЕСКИХ МЕТАПОВЕРХНОСТЯХ

А.И. Овчаренко
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент И.В. Иорш

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-32-00248 мол_а.

Одной из основных задач нанофотоники является эффективная локализация и управление электромагнитным изучением на субволновых масштабах. Ее значимость растет вместе с желанием разработать миниатюрные оптические интегральные схемы, оптические приборы в видимом диапазоне, приборы для получения разрешения с субволновым разрешением. Одним из способов достижения этой цели является использование поверхностных плазмон-поляритонов. Метаповерхности – искусственно созданные поверхности, обладающие уникальными электромагнитными свойствами, в последнее время привлекают все больший интерес в научном обществе. С их помощью удалось добиться большего контроля над дисперсией и поляризацией распространяющихся поверхностных волн [1]. Также в литературе были предложены варианты для направленного возбуждения плазмонов [2]. Однако они имеют ряд ограничений, такие как узкий рабочий частотный диапазон, одно выделенное направление на поверхности для распространения плазмонов, специфический дизайн и т.п. В работе продемонстрирован новый способ анизотропного возбуждения двумерных плазмонов в плоскости анизотропной метаповерхности, с помощью ближнепольной интерференции поля, рассеиваемого наноантенной. Этот процесс схож с эффектом Керкера [3] для рассеивающих сфер, а также с возбуждением поверхностных волн вращающимся диполем [4]. Для описания полей плазмонов используется широко применяемый формализм функции Грина [5] в приближении стационарной фазы, которое позволяет получить аналитические выражения для плазмонов в дальнем поле, т.е. сильно локализованных с волновым вектором много больше волнового вектора света в свободном пространстве.

Исследуемая метаповерхность имеет резонансное поведение. Возможная ее реализация – двумерный периодический массив вытянутых дисков из плазмонного материала. Метаповерхность описывается в приближении гомогенизации с помощью диагонального двумерного тензора поверхностной проводимости. На его главных диагоналях располагаются эффективные продольная и поперечная проводимости. Такие диски имеют два разных резонанса вдоль двух полуосей, что приводит к трем режимам метаповерхности. Первый – перед двумя резонансами по частоте – соответствует случаю емкостной метаповерхности с отрицательными значениями обоих проводимостей. Второй – после двух резонансов – индуктивной

метаповерхности, в котором обе проводимости имеют знак «+». Третий режим является промежуточным, с проводимостями вдоль разных осей разных знаков. Известно, что изочастотные контуры в обратном пространстве плазмонов на изотропной поверхности имеют форму окружности, т.е. плазмоны с равной интенсивностью распространяются по всем направлениям. Однако в случае гиперболической метаповерхности они имеют форму гиперболы, что приводит к тому, что некоторые направления становятся запрещенными, а некоторые – более предпочтительными.

Для исследования свойств поверхностных плазмонов и их диаграммы направленности была записана функция Грина отраженной волны, которая, посчитанная в полюсе коэффициента отражения, эквивалента функции Грина плазмона [5]. Имея полный тензор Грина, несложно получить все компоненты электрического и магнитного поля. В случае возбуждения точечным диполем, они имеют следующий вид:

$$\mathbf{E}_e(\mathbf{r}) = \frac{\omega^2}{c^2}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_e(\mathbf{r},\mathbf{r}_0)\cdot\mathbf{p},$$

$$\mathbf{H}_e(\mathbf{r}) = -i\frac{\omega}{c}\left[\nabla\times\vec{\vec{\mathbf{G}}}_e(\mathbf{r},\mathbf{r}_0)\right]\cdot\mathbf{p},$$

$$\mathbf{E}_m(\mathbf{r}) = i\frac{\omega}{c}\left[\nabla\times\vec{\vec{\mathbf{G}}}_m(\mathbf{r},\mathbf{r}_0)\right]\cdot\mathbf{m},$$

$$\mathbf{H}_m(\mathbf{r}) = \frac{\omega^2}{c^2}\vec{\vec{\mathbf{G}}}_m(\mathbf{r},\mathbf{r}_0)\cdot\mathbf{m},$$

где ω – угловая частота; c – скорость света в вакууме; $\mathbf{p}$ и $\mathbf{m}$ – эклектический и магнитный диполь, соответственно; $\mathbf{r}$ и $\mathbf{r}_0$ – радиус-вектора точки наблюдения и источника, соответственно, индекс e указывает на возбуждение электрическим диполем; m – магнитным. Далее речь идет только о $\vec{\vec{\mathbf{G}}}_e$ и индекс опускается. $\vec{\vec{\mathbf{G}}}_m$ получается из нее заменой коэффициента отражения для ТЕ-поляризованного света, на соответствующий для ТМ и наоборот. Компонента тензора Грина, соответствующая полю от перпендикулярно ориентированного диполя, имеет вид

$$G_{xx} = -\frac{4\pi c^2}{\omega^2\epsilon}\delta(x-x_0) + \frac{2\pi c^2}{\omega^2\epsilon}\frac{k_\rho^2}{\kappa}\left[e^{-\kappa|x-x_0|} + r_{pp}e^{-\kappa(x+x_0)}\right],$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость внешней среды, x – координата, перпендикулярная поверхности, x_0 – расстояние до источника возбуждения, k_ρ – волновой вектор плазмона, $\kappa = \sqrt{k_\rho^2 - (\omega/c)^2}$, r_{pp} – коэффициент отражения ТМ-поляризованного света при ТМ-поляризованной падающей волне. Поле такого плазмона не имеет угловой зависимости и имеет профиль цилиндрической волны. В случае диполя, ориентированного, например, вдоль z:

$$G_{zz} = \frac{2\pi}{\kappa}e^{-\kappa|x-x_0|}\left(\frac{-\kappa^2}{\varepsilon}\cos^2\phi + \sin^2\phi\right) + \frac{2\pi}{\kappa}e^{-\kappa(x+x_0)}\left(-r_{pp}\frac{-\kappa^2}{\varepsilon}\cos^2\phi + r_{ps}\frac{i\kappa}{\sqrt{\varepsilon}}\sin 2\phi + r_{ss}\sin^2\phi\right),$$

где r_{ss} – коэффициент отражения ТЕ-поляризованного света при ТЕ-поляризованной падающей волне; r_{ps} – коэффициент отражения ТЕ-поляризованного света при ТМ-поляризованной падающей волне. Такое поле имеет угловую зависимость $\cos^2\phi$. Для случая комбинации произвольно ориентированных диполей, в конечное выражение полей разные компоненты тензора Грина вносят вклад одновременно, что приводит к сложной несимметричной зависимости от угла ϕ.

Исследуемая система анизотропного возбуждения плазмонов представлена на рис. 1.

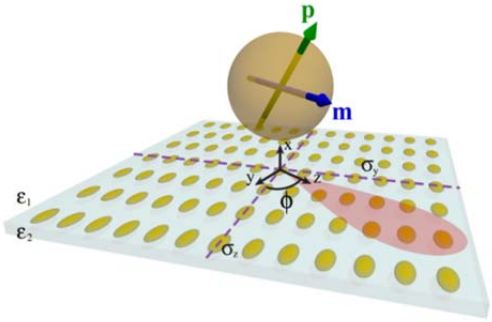


Рис. 1. Геометрия задачи. Сферой схематически изображена наноантенна, описываемая комбинацией электрического и магнитного диполя. Красная область – область распространения плазмона

Если возбуждение происходит одновременно произвольно ориентированным электрическим и магнитным диполями, то имеет место деструктивная и конструктивная интерференция, которая приводит к анизотропному возбуждению поверхностных плазмонов. Три основных режима анизотропной метаповерхности рассмотрены на рис. 2.

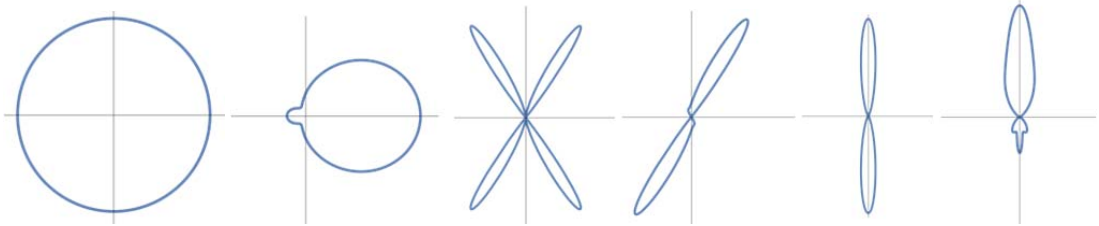


Рис. 2. Диаграммы направленности плазмонов в разных режимах метаповерхности при изотропном и анизотропном возбуждении

Рис. 2, а, в, д, представляют собой диаграмму направленности в случае диполя, ориентированного либо перпендикулярно, либо вдоль одной из оптических осей. Рис. 2, б, г, е, демонстрируют изменение контура диаграммы направленности при добавлении второго диполя и (или) второй компоненты диполя. Рис. 2, а, б, соответствуют случаю изотропной поверхности, рис. 2, в, г – гиперболической метаповерхности, рис. 2, д, е – метаповерхности, у которой проводимость в одном направлении близка к нулю.

В работе изучены поверхностные плазмоны на анизотропных метаповерхностях. В частности, исследованы профили полей плазмонов в различных режимах метаповерхности, в том числе в гиперболическом, в котором поддерживается распространение сильно локализированных слабозатухающих гибридных поверхностных поляритонов в определенном диапазоне углов. Также была показана возможность анизотропного и направленного возбуждения поверхностных плазмонов с помощью обобщенного эффекта Керкера в различных режимах метаповерхности. Эти результаты могут быть использованы в задачах возбуждения плазмонов вдоль ломаной траектории на наноразмерных оптических чипах. Учитывая относительную простоту изготовления метаповерхностей и темпы улучшения технологий, есть основания считать, что анизотропные метаповерхности станут базисом оптических приборов будущего. В качестве направления дальнейшей работы стоит выделить изучение спин-орбитальных свойств поверхностных плазмонов, как еще одной их

неотъемной характеристики, имеющей как фундаментальный интерес, так и прикладной – как еще один способ передачи информации.

Литература

1. Kildishev A.V, Boltasseva A., Shalaev V.M. Planar Photonics with Metasurfaces // Science. – 2013. – V. 339. – № 6125.
2. Liu Y. et al. Compact Magnetic Antennas for Directional Excitation of Surface Plasmons // Nano Lett. American Chemical Society. – 2012. – V. 12. – № 9. – P. 4853–4858.
3. Kerker M., Wang D.-S., Giles C.L. Electromagnetic scattering by magnetic spheres // J. Opt. Soc. Am. – 1983. – V. 73. – № 6. – P. 765.
4. Mueller J.P.B., Capasso F. Asymmetric surface plasmon polariton emission by a dipole emitter near a metal surface // Phys. Rev. B. – 2013. – V. 88. – № 12. – P. 121410.
5. Novotny L., Hecht B. Principles of nano-optics. – 2nd Edition. – Cambridge University Press, 2012. – 584 p.

Осипова Мария Олеговна
Год рождения: 1993
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, группа № V4200
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: osipovamo@ya.ru

УДК 535.14 535.015

ВЛИЯНИЕ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ НА ГЕНЕРАЦИЮ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ ZnTe, ZnSe И GaP

М.О. Осипова
Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.Г. Беспалов

Работа выполнена в рамках темы НИР № 3.1675.2014/К.

Развитие лазерных технологий привело к появлению мощных лазерных систем с возможностью генерации сверхкоротких импульсов электромагнитного излучения. При использовании мощных источников лазерного излучения со сверхкороткими импульсами важно учитывать отклик электрооптических полупроводниковых кристаллов, используемых в системах детектирования терагерцовых (ТГц) импульсов, так как это может повлиять на полученные результаты. При прохождении лазерного излучения сквозь электрооптический кристалл наблюдается сильное падение его амплитуды, причем этот процесс носит нелинейный характер. Было показано [1], что одним из основных эффектов, влияющих на изменение амплитуды проходящего сигнала, является двухфотонное поглощение. Двухфотонное поглощение сокращает время сверхбыстрого отклика полупроводниковых материалов, способствует снижению интенсивности прошедшего через кристалл сигнала. Фотоиндуцированные

носители заряда экранируют значительную часть сгенерированного ТГц излучения в кристалле, тем самым ограничивая эффективность преобразования.

Целью работы являлось исследование двухфотонного поглощения в электрооптических полупроводниковых кристаллах ZnTe, ZnSe и GaP, используемых для генерации и детектирования ТГц излучения.

В настоящее время широко используется метод импульсной терагерцовой спектроскопии [2]. Принцип работы систем ТГц спектроскопии с разрешением во времени основан на когерентном детектировании ТГц импульсов с помощью фемтосекундных лазерных импульсов. Эта техника позволяет независимо друг от друга измерять фазу и амплитуду ТГц поля и, соответственно, после Фурье преобразования получать спектры. Характеристики исследуемого вещества определяются с помощью анализа и сравнения временной формы электрического поля и спектра ТГц импульса, который прошел испытываемый образец, и временной формы и спектра исходного, неизмененного импульса.

В ходе работы был разработан метод определения границ спектра ТГц излучения для систем ТГц спектроскопии с разрешением во времени. Для реализации данного метода необходимо варьировать мощность лазерного излучения (мощность накачки), используемого для генерации ТГц импульса, от минимально возможного значения до максимального. Из результатов применения данного метода к системам с электрооптическим детектированием стало ясно, что для некоторых частотных диапазонов при небольшой мощности падающего на кристалл излучения, отклик электрооптических кристаллов имеет нелинейный характер. Но при использовании мощных источников излучения наблюдается переход к нелинейной динамики, а также при этих условиях в широкозонных кристаллах наблюдаются различные нелинейные процессы, увеличивается вероятность двухфотонного поглощения.

Для оценки процессов двухфотонного поглощения было произведено моделирование двухфотонного поглощения квазистационарного излучения (непрерывного) (1) и сверхкоротких световых импульсов (2) в полупроводниковых кристаллах [3] ZnTe и ZnSe:

$$U_{\mathrm{I}} = \frac{2^{17/2}\pi\, e^4 m_r^{1/2} E_g^2}{3c^2\hbar^7\omega^5\varepsilon_\infty\tau}\left|M\right|^2 (2\hbar\omega - E_g)^{3/2}\Theta^2, \tag{1}$$

$$U_{\mathrm{II}} = \frac{\Theta^2}{\tau}\frac{32\sqrt{10}e^4 m_r^{3/2}\omega}{c^2\pi^{1/4}\hbar^3\varepsilon_\infty}\frac{Q\left|M\right|^4}{(E_g' - \hbar\omega)^2}(2\hbar\omega - E_g)^{1/2}\times \left\{\exp\left(-\frac{11}{8}\gamma\tau\right) + \exp\left(-\frac{1+3\sqrt{14}}{3\sqrt{2\pi}}\gamma\tau\right)\right\}, \tag{2}$$

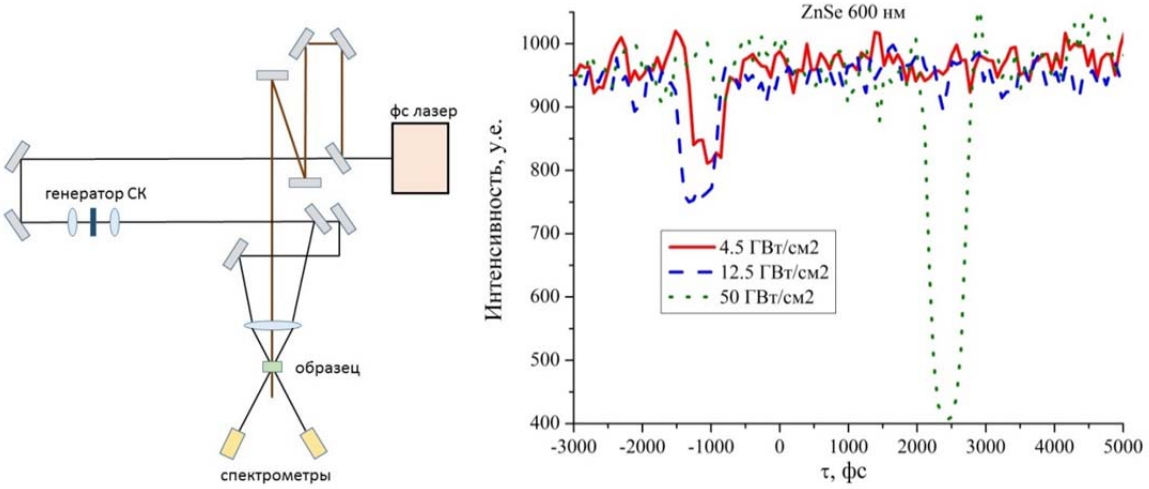
где e – заряд электрона; m_r – приведенная масса электрона и дырки; ε_∞ – высокочастотная диэлектрическая проницаемость; ω – частота света; E_g – ширина запрещенной зоны; Θ – энергия в импульсе падающего света, приходящаяся на единицу площади пучка; $M = \mathbf{e}_{\mathbf{к}} \cdot \mathbf{z}_{vc}$, $\mathbf{e}_{\mathbf{к}}$ – единичный вектор поляризации световой волны; $\mathbf{z}_{vc}$ – матричный элемент оператора координаты, остальные обозначения приведены в [3].

Дело в том, что для длительности лазерного импульса меньше 100 фс, т.е. меньше времени релаксации импульса свободных носителей заряда, представления «золотого правила квантовой механики» для случая процессов высоких порядков, используемых для расчета вероятности переходов за единицу времени (1), перестают правильно описывать поведение системы, и необходимо использовать другую теорию.

В связи с этим была рассмотрена теория нелинейного поглощения фемтосекундных (ФС) импульсов (2) в условиях многофотонных резонансов [4].

Для расчета и сравнения числа электронно-дырочных фотоиндуцированных пар в кристаллах ZnSe, ZnTe использовались следующие параметры лазерного излучения: $\Theta \approx 1$ мДж/см^2 – энергия, переносимая одним импульсом через единицу площади, $\omega = 2{,}4 \times 10^{15}$ с$^{-1}$ – частота ФС излучения. В результате сравнения полученных данных было выявлено, что для нестационарного режима с уменьшением длительности импульсов происходит (при фиксированной энергии в импульсе) значительно более быстрое увеличение поглощенной энергии и концентрации неравновесных электронно-дырочных пар, чем для «традиционного» квазистационарного случая. Учет нестационарного характера двухфотонного поглощения фемтосекундных лазерных импульсов (2) позволяет более точно описывать кинетику фотоиндуцированных процессов в кристаллах. Исходя из этого, в работе для моделирования поглощения в режиме спектроскопии накачка-зондирование будет использована именно эта теория.

Далее в работе была произведена подготовка образцов – шлифовка и полировка, и проведен эксперимент на установке ФС спектроскопии накачка-зондирование (рисунок, а) для получения зависимостей поглощения излучения, падающего на кристаллы ZnTe, ZnSe и GaP, от времени задержки между импульсами. Используя импульсы ФС спектрального суперконтинуума [5], и варьируя время задержки относительно импульса накачки, в методе спектроскопии накачка-зондирование получаем динамику поглощения исследуемого образца в возбужденном состоянии и его релаксационные характеристики. Полученные зависимости позволяют определить характеристики релаксации, природу взаимодействия и дисперсию показателя преломления.



а б

Рисунок. Схема установки фемтосекундной спектроскопии накачка-зондирование (а); зависимость пропускания ZnSe от времени задержки между импульсами при изменении мощности накачки (б)

Варьируя длину волны пробного импульса в диапазоне 350–1000 нм и плотность мощности накачки в диапазоне 4–50 ГВт/см^2, наблюдались полосы поглощения, их сдвиг и уширение (рисунок, б). На различных частотах у каждого вещества вклад в процесс поглощения носит различные эффекты, но основным эффектом является двухфотонное поглощение.

Далее производилось моделирование зависимости энергии, поглощенной из зондирующего импульса в единице объема кристалла, от времени задержки между

импульсами с помощью теории нелинейного поглощения ФС световых импульсов в режиме спектроскопии накачка-зондирование [5].

$$J_{2,p-p}^{(3)} = \Delta_3^{1/2} \frac{\omega_2 \alpha^{(3)} \mu^{3/2} e^4}{\hbar^{9/2} c^2 \varepsilon_\infty \sqrt{\sigma_1 + \sigma_2}} W_1 W_2 \left| x_{02} x_{21} \right|^2 \sum_{i,j} \Omega_{il} S_{ji} \,, \qquad (3)$$

где ω_1, ω_2 – частота импульса накачки и зондирования соответственно; σ_1, σ_2 – квадрат длительности импульсов, остальные обозначения приведены в [5].

Затем автором была произведена оценка количества поглощенной энергии ΔJ за время задержки между импульсами при разных длинах волн зондирующего импульса и мощностях накачки для экспериментальных и полученных в ходе моделирования данных.

Полученные зависимости имеют схожую динамику, что является подтверждением того, что основным вкладом в нелинейный отклик полупроводниковых кристаллов является двухфотонное поглощение. Теория нелинейного поглощения ФС световых импульсов хорошо согласовывается с экспериментом.

Минимально влияние двухфотонного поглощения (по сравнению изменений показателя преломления) наблюдается в кристалле ZnTe. При мощности накачки на уровне 10 мВт влиянием двухфотонного поглощения можно пренебречь – это видно как из экспериментальных зависимостей, так и из проведенных расчетов.

В заключение в работе было проведено моделирование двухфотонного поглощения квазистационарного излучения и сверхкоротких световых импульсов в широкозонных полупроводниках и показано, что для нестационарного режима с уменьшением продолжительности импульсов происходит значительно более быстрое увеличение поглощенной энергии и концентрации неравновесных электронно-дырочных пар.

Выполнена подготовка образцов и проведены эксперименты по получению зависимостей поглощения излучения, падающего на кристаллы ZnTe, ZnSe и GaP, на установке ФС спектроскопии накачка-зондирование.

Проведено моделирование зависимостей энергии, поглощенной из зондирующего импульса в единице объема кристаллов ZnTe и ZnSe, от времени задержки с помощью квантово-механической теории возмущений.

Сравнение и анализ данных, полученных в ходе эксперимента и моделирования, показало, что нелинейный отклик полупроводниковых кристаллов вызван в основном двухфотонным поглощением.

Учет двухфотонного поглощения при использовании полупроводниковых материалов в качестве оптоэлектронных компонент в терагерцовом частотном диапазоне позволит улучшить производительность таких систем.

Литература

1. Гайворонский В.Я., Назаров М.М., Сапожников Д.А., Шепелявый Е.В., Шкельнюк С.А., Шкуринов А.П., Шуваев А.В. Конкуренция линейных и нелинейных процессов при генерации импульсного терагерцового излучения в кристалле ZnTe // Квантовая электроника. – 2005. – Т. 35. –№ 5. – С. 407–414.
2. Kozlov S.A., Samartsev V.V. Fundamentals of femtosecond optics. – Elsevie, 2013. – 272 p.
3. Осипова М.О., Перлин Е.Ю. Двухфотонное поглощение квазистационарного излучения и сверхкоротких световых импульсов в широкозонных полупроводниках // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83. – № 6. – С. 3–6.

4. Перлин Е.Ю., Елисеев К.А., Идрисов Э.Г., Халилов Я.Т. Нелинейное поглощение фемтосекундных световых импульсов в условиях многофотонных резонансов в твердых телах // Опт. и спектр. – 2012. – Т. 112. – № 6. – С. 920–927.
5. Идрисов Э.Г., Перлин Е.Ю. Нелинейное поглощение световых импульсов при двухфотонном резонансе в объемных кристаллах и наноструктурах в режиме фемтосекундной «pump-probe» спектроскопии // Опт. и спектр. – 2013. – Т. 115. – № 3. – С. 497–507.

Попцова Наталья Александровна
Год рождения: 1993
Факультет программной инженерии и компьютерных технологий, кафедра вычислительной техники, группа № Р4200
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: popcovanatalia@yandex.ru

УДК 004.75

МОДЕЛЬ УДАЛЕННОГО РЕЗЕРВИРОВАННОГО ДОСТУПА В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Н.А. Попцова
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.А. Богатырев

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615869 «Методы проектирования ключевых систем информационной инфраструктуры».

Эффективность компьютерных сетей и распределенных вычислительных систем [1–3] в значительной мере определяет их надежность и отказоустойчивость. Вопросы надежности и отказоустойчивости важны при проектировании сетей передачи, используемых в распределенных вычислительных системах из-за сложности системы [4, 5].

Для повышения надежности и своевременности обслуживания запросов в инфокоммуникационных системах может применяться резервированное выполнение копий запросов на разных узлах системы. Принципы организации систем с резервированным выполнением запросов в разных узлах (ресурсах) системы и аналитические модели таких систем, в том числе систем с уничтожением неактуальных запросов предложены в работах [1, 3].

Развитие методов повышения надежности и своевременности на основе резервированного обслуживания запросов к решению задач обеспечения эффективности передач при многопутевой маршрутизации при исследовании на основе аналитических моделей рассматривалось в работах [5].

В настоящей работе рассматриваются модели сети, по которой отправляются запросы на обработку на сервер и в кластер серверов с возможностью отправления запросов по одному или нескольким путям.

Актуальность темы заключалась в том, что в настоящее время одной из основных проблем построения вычислительных сетей остается задача своевременной и безошибочной доставки пакетов. Актуальность обусловлена тем, что рост сложности систем в значительной мере превышает рост надежности элементов.

Существующие методы маршрутизации не предполагают многопутевую резервированную передачу.

Анализ литературы показал отсутствие решений по построению имитационных моделей многопутевой резервированной передачи, что ограничивает возможности исследования и проектирования рассматриваемых сетей, так как описанные аналитические модели, как и всякие аналитические модели, функционально ограничены.

Целью работы являлось создание средств поддержки проектирования высоконадежных инфокоммуникационных систем и на их основе проведения имитационного моделирования, предназначенных для исследования эффективности и выбора вариантов проектных решений по построению сетей с резервированной передачей данных.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:
- определение системы показателей качества передачи данных;
- формирование вариантов проектных решений резервированной передачи;
- выбор инструментального средства для построения имитационной модели;
- построение имитационной модели, позволяющей определить вероятность безошибочной доставки пакета в зависимости от кратности резервирования передач пакетов;
- проведение исследований на основе имитационных моделей вариантов резервированной передачи;
- определение области эффективности резервированной передачи.

Практическая значимость работы заключалась в создании средств поддержки проектирования инфокоммуникационных систем и сетей на основе имитационного моделирования, предоставляющих возможности выбора наилучших проектных решений по организации передачи данных с целью повышения вероятности своевременной и безошибочной доставки пакетов.

В среде имитационного моделирования AnyLogic 7 разработаны модели распределенной вычислительной системы, в которой поддерживается резервированная передача пакетов по нескольким путям на сервер и кластер серверов соответственно, а также спроектирован графический пользовательский интерфейс для быстрого и удобного запуска моделирования многопутевой резервированной передачи в распределенных вычислительных системах с различными характеристиками.

Проведены эксперименты в построенных имитационных моделях систем с резервированной передачей запросов на сервер и на кластер серверов по нескольким путям, которые учитывают влияние:
- вероятности потери запросов в каналах связи;
- вероятности возникновения битовых ошибок;
- верхней границы на время пребывания запроса в системе.

На рисунке представлены результаты экспериментальных исследований модели системы с резервированной передачей запросов на сервер и на кластер серверов при следующих исходных данных:
- вероятность потери пакетов в канале связи: 0,001;
- размеры пакетов варьируются от 1024 до 4096 бит;
- скорость каналов связи: 10 Мбит/с;
- среднее время пребывания запроса в системе без резервирования передач пакетов: 2,4 с;
- верхняя граница на время пребывания запроса в системе: 2,5 с;
- рассматриваются каналы с вероятностью битовой ошибки $b=10^{-4}$ и 10^{-5}, при этом вероятность безошибочной передачи пакета из N бит через h узлов определяется как $(1-b)^{Nh}$;
- кратность резервирования передач варьируется от 1 до 6.

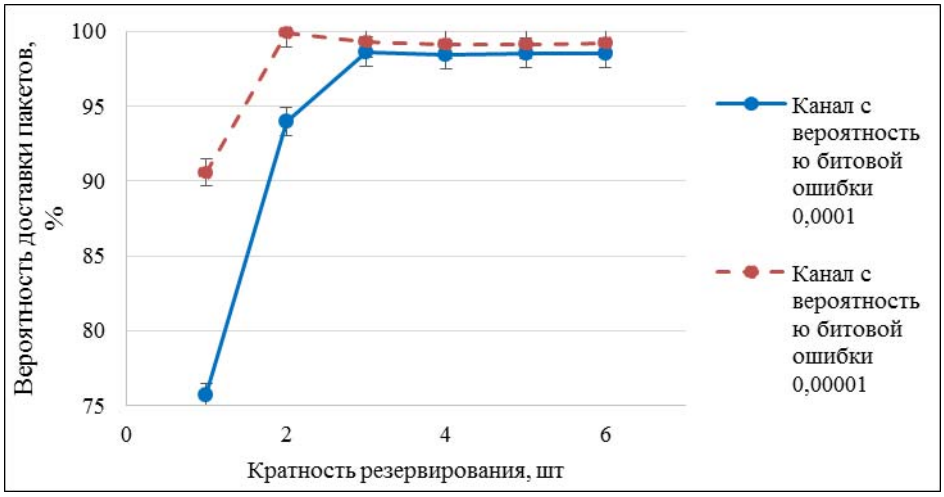


Рисунок. График зависимости вероятности своевременной и безошибочной доставки и обработки пакетов от кратности резервирования передач при наличии таймаутов, потерь и битовых ошибок в модели с кластером серверов

Как видно на рисунке, при увеличении кратности резервирования передач пакетов возрастает вероятность своевременной и безошибочной доставки и обработки пакетов. Однако наблюдается спад эффективности резервирования передачи запросов при кратности более двух для более надежного канала и при кратности более трех при менее надежном канале.

Выявлено, что целесообразно применение многопутевой резервированной передачи пакетов в распределенных вычислительных системах с невысокой нагрузкой в сетях передачи данных и на серверах.

Разработаны средства поддержки проектирования высоконадежных инфокоммуникационных систем на основе имитационного моделирования, предназначенные для исследования эффективности и выбора вариантов проектных решений по построению сетей с резервированной передачей данных при этом:

1. построены имитационные модели систем с резервированной передачей запросов на сервер и на кластер серверов по нескольким путям, которые учитывают влияние:
   – вероятности потери запросов в каналах связи;
   – вероятности возникновения битовых ошибок;
   – верхней границы на время допустимого пребывания запроса в системе;
2. проведено исследование эффективности проектных решений по построению сетей с резервированной передачей данных;
3. показано существование области целесообразности применения многопутевой резервированной передачи пакетов;
4. показано, что в распределенных вычислительных системах с невысокой нагрузкой применение многопутевой резервированной передачи пакетов увеличивает вероятности безошибочной и своевременной передачи.

Литература

1. Богатырев В.А., Богатырев А.В. Оптимизация резервированного распределения запросов в кластерных системах реального времен // Информационные технологии – 2015. – Т. 21. – № 7. – С. 495–502.
2. Bogatyrev V.A., Bogatyrev A.V. Functional Reliability of a Real-Time Redundant Computational Process in Cluster Architecture Systems // Automatic Control and Computer Sciences. – 2015. – V. 49. – № 1. – P. 46–56.

3. Богатырев В.А., Сластихин И.А. Эффективность резервированной передачи данных через агрегированные каналы // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59. – № 5. – С. 370–376.
4. Пуха Г.П., Попов П.В., Драчев Р.В., Попцова Н.А. Построение системы интеллектуальной поддержки принятия решений по организации услуг мобильной связи // Изв. вузов. Приборостроение – 2014. – Т. 57. – № 9. – С. 70–75.
5. Богатырев В.А., Паршутина С.А. Модели многопутевой отказоустойчивой маршрутизации при распределении запросов через сеть // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 12. – С. 23–28.

Резник Иван Алексеевич
Год рождения: 1993.
Факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, группа № V4236
Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника и оптоинформатика
e-mail: ivanreznik1993@mail.ru

УДК 535.243

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

И.А. Резник
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.О. Орлова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 713561 «Оптические и электрические свойства гибридных наноматериалов на основе углеродных, полупроводниковых и металлических наноструктур» и № 615893 «Разработка современных микро- и наноструктурированных материалов для задач фотоники и методов их исследований».

Интерес к разработке и исследованию наноструктурированных материалов и систем на их основе вызван наличием у них уникальных оптических, электрических, химических и механических свойств по сравнению с объемными материалами [1]. Так, наноструктурированный углерод, в частности графен, обладает высокой прочностью и термопроводимостью, а также высокой мобильностью носителей заряда [2]. Но при этом для графена характерна низкая поглощательная способность [2]. Полупроводниковые квантовые точки (КТ) – другой тип наноструктур, обладают высоким квантовым выходом люминесценции и эффективно поглощают излучение в ближнем ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах [3]. Данные качества КТ позволяют им выступать эффективными приемниками падающего излучения, а также отличными донорами энергии для соседних наночастиц, молекул и объемных материалов.

Очевидно, что совмещение уникальных механических и электрических свойств графена с возможностью контролируемо менять спектральный диапазон, в котором структура эффективно поглощает свет, используя уникальные оптические свойства полупроводниковых КТ, делают данные гибридные структуры перспективными в электронике, фотовольтаике и сенсорике [4]. При этом в большинстве работ, посвященных тематике гибридных структур КТ/графен, основное внимание уделяется

функциональности гибридных структур, и исследуются только оптические или электрические свойства систем.

Целью работы являлось формирование гибридных структур на основе графена и коллоидных полупроводниковых КТ с контролируемыми оптическими и фотоэлектрическими параметрами.

В работе были решены следующие задачи:

– сформированы гибридные структуры КТ/графен на основе КТ с различной органической оболочкой (молекулами стабилизатора поверхности);
– исследована зависимость фотоэлектрических свойств гибридных структур от типа органической оболочки КТ;
– исследовано влияние люминесцентных свойств КТ в составе структур, а именно кинетики люминесценции и квантового выхода люминесценции, на фотоэлектрические свойства структур.

В работе были использованы полупроводниковые квантовые точки CdSe/ZnS, с диаметром ядра 5,5 нм, и максимумом люминесценции на длине волны 630 нм. Также использовались многослойные углеродные наноленты производства «Nacional de Grafite». Для проведения экспериментов были подготовлены три вида КТ стабилизированных триоктилфосфином (TOPO), олеиновой кислотой (OA) и тиогликолевой кислотой (TGA). Гибридные структуры КТ/графен формировались послойным нанесением графена и квантовых точек модифицированным методом Ленгмюра–Блоджетт, на диэлектрические подложки с напыленными на них металлическими контактами [5]. Для регистрации оптических свойств квантовых точек были использованы спектрофотометр и спектрофлуориметр Cary Eclipse и UV Probe 360, люминесцентный микроскоп MicroTime100 и конфокальный микроскоп LSM-710. Напыление металлических контактов производилось на установке Quorum Q150T.

Измерение электрических свойств образцов проводилось на пикоамперметре Keithley 6487. Стандартное программное обеспечение пикоамперметра не позволяет производить измерение электрических свойств образцов синхронизированно с внешним фотооблучением. Исходя из этого, в работе был создан программно-аппаратный комплекс, позволяющий обеспечить синхронность измерений проводимости и фотооблучения образца, и при этом удовлетворяющий таким параметрам как – высокая синхронность измерений и отсутствие наложения пауз между измерениями пикоамперметром и сменой состояния источника излучения. А также поддержка нескольких режимов измерений и управление всеми событиями одним микроконтроллером.

Анализ спектров люминесценции и поглощения трех типов квантовых точек показал, что смена молекул стабилизатора на поверхности КТ не привела к каким-либо значительным изменениям. Времена затухания люминесценции образцов, приведенные в табл. 1, отчетливо демонстрируют уменьшение среднего времени затухания люминесценции КТ при переходе от коллоидного раствора к сухим слоям на диэлектрической подложке, что вызвано взаимодействием между квантовыми точками в сухих слоях. Также видно уменьшение среднего времени затухания люминесценции КТ в составе гибридных структур по сравнению с сухими слоями, что говорит о взаимодействии между квантовыми точками и графеном.

Таблица 1. Люминесцентные свойства КТ в образцах

	КТ/TOPO	КТ/OA
$\langle\tau\rangle_{(\text{раствор})}^{1}$, нс	18,5	7,8
$\langle\tau\rangle_{(\text{подложка})}^{1}$, нс	10,1	3,7
$\langle\tau\rangle_{G}^{1}$, нс	8,1	3,3

На основании средних времен затухания люминесценции образцов была оценена эффективность тушения люминесценции КТ при переходе от раствора к сухим слоям и к гибридным структурам:

$$Q_{st} = 1 - \frac{<\tau_A>}{<\tau_0>}. \quad (1)$$

Эффективность тушения люминесценции КТ в гибридных структурах КТ/ТОРО оказалась существенно выше, чем с КТ/ОА (19,5 и 12% соответственно).

Время затухания люминесценции КТ зависит от соотношения констант скоростей излучательного и безызлучательных переходов КТ (2). При этом, учитывая неизменность излучательной константы (для CdSe/ZnS k_r~$5\cdot10^7$ $с^{-1}$), можно оценить скорости тушения люминесценции КТ в сухих слоях и в структурах КТ/графен.

$$<\tau>= \frac{1}{k_r + k_{nr} + k_{nr}^{qi} + k_{nr}^{G}}, \quad (2)$$

где k_r и k_{nr} – константы скорости излучательного и безызлучательного перехода, а $k_{nr}{}^{qi}$ и $k_{nr}{}^{G}$ – константа скорости тушения люминесценции КТ в сухих слоях и на графене.

Оценка константы скорости тушения люминесценции КТ в структурах с графеном показала, что скорость данного процесса мало зависит от типа стабилизатора и для КТ/ТОРО и КТ/ОА составляет $2{,}4\cdot10^7$ $с^{-1}$ и $3\cdot10^7$ $с^{-1}$, соответственно. Анализ зависимости проводимости гибридных структур КТ/Графен от внешнего облучения светом с длиной волны 405 нм, показал, что для гибридных структур с КТ/ТОРО амплитуда фототока почти в два раз выше, чем для гибридных структур с КТ/ОА (2% и 1,2% соответственно). Это хорошо согласуется с эффективностью тушения люминесценции КТ в структурах (19,5% и 12% соответственно), и свидетельствует о том, что именно КТ отвечают в этих системах за появление фототока.

На следующем этапе исследовалось влияние фотоиндуцированных процессов в КТ на фотоэлектрические свойства гибридных структур КТ/Графен. Для этого структуры облучались ртутной линией 365 нм. Данные, приведенные в табл. 2, показывают, что увеличение дозы облучения образцов до 30 Дж приводит к увеличению времени затухания люминесценции КТ, что соответствует уменьшению безызлучательных каналов в КТ за счет фотопассивации их поверхности, т.е. уменьшения числа поверхностных дефектов. Уменьшение безызлучательных каналов в КТ также приводит к увеличению эффективности фотопереноса дырки от КТ к графену. Дальнейшее увеличение дозы облучения приводит к уменьшению времени затухания люминесценции КТ, что свидетельствует о фотодеградации КТ.

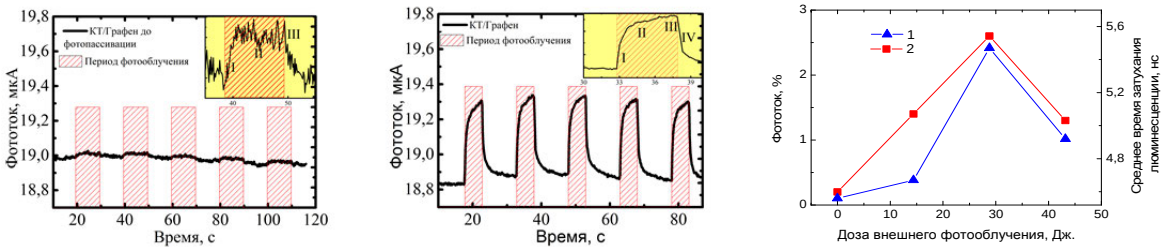
Таблица 2. Фотофизические свойства КТ в зависимости от дозы фотооблучения

Доза облучения, Дж	<τ>, нс	Константа скорости безызлучательной релаксации, k_{nr}, $с^{-1}$	Эффективность фотопереноса заряда, Q_{ET}, %
0	4,56	$2{,}73\cdot10^8$	14,2
14,4	4,67	$2{,}22\cdot10^8$	16,5
28,8	5,47	$2{,}18\cdot10^8$	16,7
43,2	4,92	$2{,}48\cdot10^8$	15,2

*Q_{ET} рассчитан по (3).

$$Q_{ET} = \frac{k_{nr}^{G}}{k_r + k_{nr} + k_{nr}^{G}}. \quad (3)$$

Исследование фотоэлектрических свойств образцов показало, что фотопассивация поверхности КТ приводит к заметному изменению фотопроводимости образцов (рисунок, а, б).



а б в

Рисунок. Зависимость фотопроводимости гибридной структуры КТ/графен при внешнем облучении светом с длиной волны 405 нм (период фотооблучения показан как заштрихованная область): до начала фотооблучения образцов ртутной лампой (а); после двух часов фотооблучения (б). Зависимость среднего времени затухания люминесценции (1) и фотоотклика (2) образца с гибридными структурами КТ/ОА/графен от дозы облучения (в)

Сопоставление зависимостей люминесцентных и фотоэлектрических свойств гибридных структур, приведенное на рисунке, в, отчетливо демонстрирует их симбатное изменение под действием внешнего излучения.

Полученные зависимости наглядно демонстрируют возможность управлять электрическими параметрами гибридной структуры КТ/графен, меняя люминесцентные свойства КТ в составе структур.

Выводы. Проведенное исследование зависимостей люминесцентных и фотоэлектрических свойств гибридных структур КТ/графен от способа формирования структур, состава органической оболочки КТ, условий термической обработки и дозы внешнего облучения позволяют сделать следующие выводы.

– Установлено, что люминесцентные и фотоэлектрические свойства гибридных структур КТ/графен зависят от типа органической оболочки квантовых точек.
– Установлено, что фотоиндуцированное изменение числа безызлучательных каналов дезактивации возбужденного состояния в квантовых точках приводит к симбатному изменению квантового выхода люминесценции КТ и амплитуды фототока в гибридных структурах.

Литература

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2005. – 192 с.
2. Neto A.H.C. et al. The electronic properties of graphene // Reviews of modern physics. – 2009. – V. 81. – № 1. – P. 109.
3. Hines M.A., Guyot-Sionnest P. Synthesis and characterization of strongly luminescing ZnS-capped CdSe nanocrystals // The Journal of Physical Chemistry. – 1996. – V. 100. – № 2. – P. 468–471.
4. Konstantatos G. et al. Hybrid graphene-quantum dot phototransistors with ultrahigh gain // Nature nanotechnology. – 2012. – V. 7. – № 6. – P. 363–368.
5. Blodgett K.B. Films built by depositing successive monomolecular layers on a solid surface // Journal of the American Chemical Society. – 1935. – V. 57. – № 6. – P. 1007–1022.

Рожкова Наталья Александровна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, группа № В4270
Направление подготовки: 16.04.01 –Техническая физика
e-mail: natashatgu@yandex.ru

УДК 577.1

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЖИВЫХ СИСТЕМ К НАНОЧАСТИЦАМ СЕРЕБРА

Н.А. Рожкова
Научный руководитель – к.б.н. Е.Ю. Ильичева

Нанотехнологии в последнее время занимают все большее место в повседневной жизни. Наночастицы серебра (НЧС) – перспективные наноматериалы, обладающие уникальными свойствами. НЧС широко применяются в наномедицине в качестве антибактериальных, противовоспалительных препаратов [1]. НЧС используются в лечении и диагностике опухолевых заболеваний, адресной доставке лекарственных средств и контроле их высвобождения [2, 3].

Также серебро, абиогенный микроэлемент, может вмешиваться в систему метаболизма меди, которая является незаменимым микроэлементом и обязательным компонентом всех клеток. При этом молекулярные механизмы действия НЧС на живые системы остаются непонятыми, отдаленные последствия их широкого применения непредсказуемы, подходы для нейтрализации побочных эффектов, вызванных применением НЧС, неразработанными.

Применение НЧС растет, но отсутствуют данные об их влиянии на высших эукариотов, в том числе человека. В настоящее время эмпирический подход в создании и применении НЧС является основным. Важно проводить оценку их токсичности и потенциальной способности включаться в метаболизм организмов разных филогенетических групп. Исследования такого рода являются необходимым шагом для научно обоснованного применения НЧС.

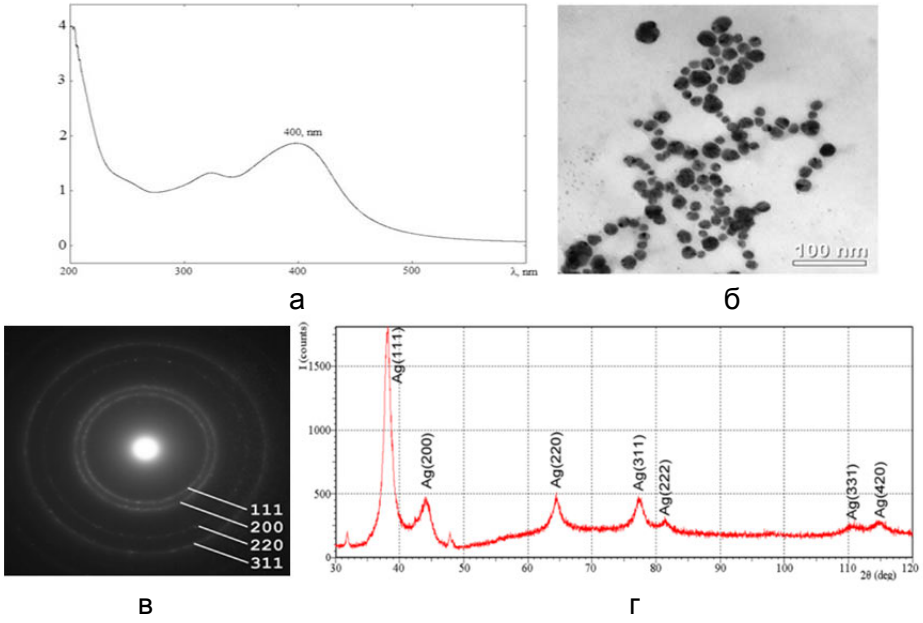
Цель работы заключалась в определении биологической активности и оценке чувствительности живых систем к наночастицам серебра.

Синтез и физико-химические свойства НЧС. НЧС были синтезированы путем восстановления элементарного серебра из раствора нитрата серебра. В водный раствор NaOH добавляли β-циклодекстрин, флавоноид растительного происхождения и интенсивно перемешивали все до гомогенного состояния. Далее проводили тщательное перемешивание полученного раствора с добавлением в него раствора нитрата серебра. В ходе реакции восстановления восстановленное серебро кристаллизуется и переходит в состояние наночастиц. Было проведено несколько пробных синтезов НЧС, в результате которых выбрали образец, наиболее подходящий для биологических испытаний по концентрации, стабильности, однородности, размеру НЧС и отсутствию абсолютной нейтральности.

Образцы НЧС были охарактеризованы спектрофотометрическими, электронно-микроскопическими и дифракционными методами. Изучение НЧС UV/vis абсорбционной спектроскопией в области 200–500 нм (рис. 1, а) показало, что образцы НЧС имеют максимум поглощения 400 нм, что соответствует структуре кристаллического серебра. Методы атомно-силовой микроскопии (АСМ)

и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) продемонстрировали, что частицы имеют сферическую форму с радиусом порядка 20 нм (рис. 1, б). Химический анализ НЧС был выполнен, используя дисперсионную рентгеновскую спектроскопию (рис. 1, в). Структура НЧС была определена на основе дифракции электронов в выбранной области на относительно больших группах частиц (рис. 1, г).

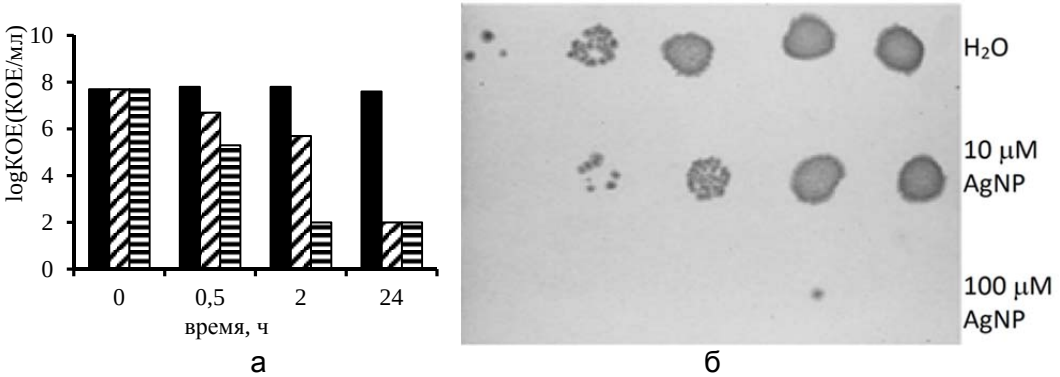
Изучение антибактериальных свойств НЧС. Антибактериальные свойства и биологическая активность НЧС была оценена по влиянию на колониеобразующую активность клеток кишечной палочки *E. coli* штамма BL21 (DE3). Бактерии инкубировали с 10 мкМ или 100 мкМ НЧС. Через различные интервалы времени НЧС отмывали и клетки рассевали на агарозный газон в последовательных 10-кратных разведениях. Через сутки определяли количество и размер выросших колоний. Результаты выражали в logКОЕ/мл.



а б в г

Рис. 1. Физико-химические свойства СНЧ: спектр поглощения UV/vis(а); микрофотография НЧС в ПЭМ (б); электронная дифракция на НЧС в отобранной области (в); рентгеновская дифрактометрия (г)

При инкубации бактерий с 100 мкМ НЧС уже через полчаса снижалась колониеобразующая активность бактерий на 2–3 порядка. В концентрации 10 мкМ НЧС действуют медленнее и через сутки снижают выживаемость бактерий на 6 порядков, как при 2 ч инкубации в 100 мкМ НЧС (рис. 2).



а б

Рис. 2. Действие НЧС на колониеобразующую активность *E. coli*.

В результате экспериментов было показано, что синтезированные НЧС действовали бактериостатически и обладали антибактериальной активностью к клеткам штамма *E. coli* в прямой зависимости от времени инкубации клеток в среде НЧС и от концентрации НЧС.

Столбики: черный – вода, косая штриховка – 10 мкМ НЧС, горизонтальная штриховка – 100 мкМ НЧС. По оси ординат: концентрация клеток, способных формировать колонии

Изучение способности серебра интегрироваться в метаболизм меди млекопитающих. Была определена биологическая активность, а именно способность серебра в составе НЧС включаться в метаболизм меди млекопитающих. Эксперимент проводился на группе мышей (n=24), которым ежедневно внутрибрюшинно вводили НЧС в Na/K/Pi буфере, с pH=7,4 (PBS), физиологической ионной силы (20 мкг·1 $г^{-1}$ массы тела) через 24 ч в течение 3 дней. В исследовании использовали три экспериментальных группы мышей: по 8 мышей с введением НЧС один раз, два и три раза. У экспериментальной группы были собраны образцы крови и печени. Мыши того же самого возраста (n=8), которым введение НЧС не проводилось, использовались в качестве контрольной группы.

Было установлено, что у мышей, получивших три внутрибрюшинные инъекции НЧС (Ag-мыши), концентрация меди в сыворотке крови снижалась примерно в 2 раза, а в сыворотке появлялось атомное серебро.

В печени Ag-мышей наблюдали избирательное накопление ионов серебра (25% от суммарной дозы). Очевидно, что серебро НЧС, как и ионы серебра, избирательно накапливаются в печени [4].

Так как у мышей и крыс включение ионов серебра в метаболизм меди проявляется в снижении активности церулоплазмина (ЦП) [4], основным критерием оценки интеграции серебра НЧС служил уровень оксидазной активности в сыворотке крови мышей опытных групп. Для определения оксидазной активности 1 мкл сыворотки крови мыши фракционировали в 8% ПААГ в нативных условиях; гель окрашивали орто-дианизидином.

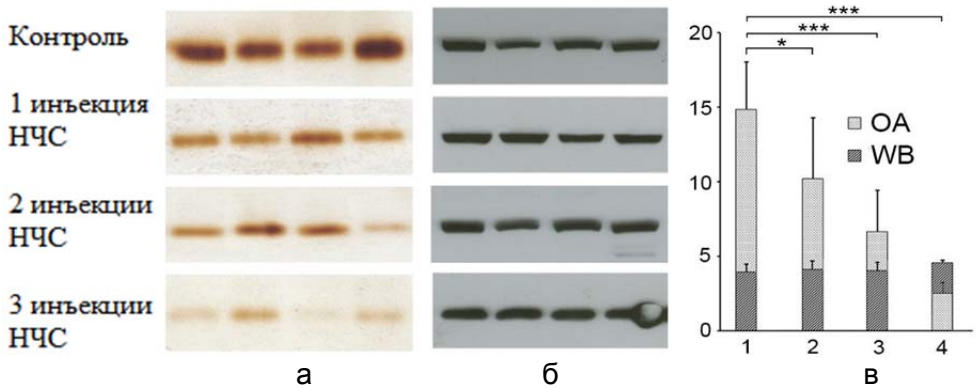


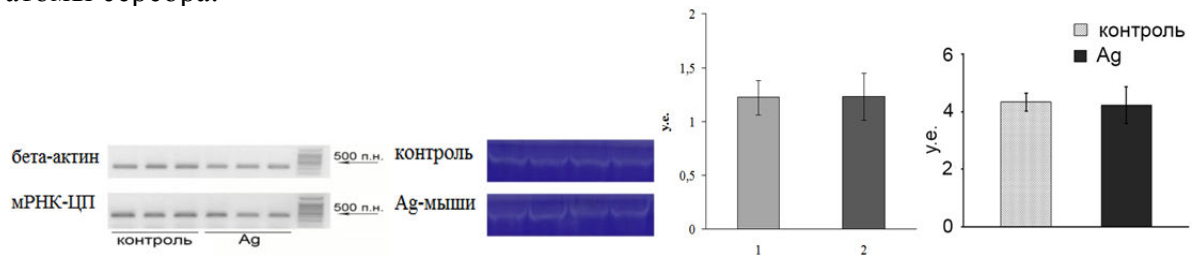
Рис. 3. Оксидазная активность (а) и иммуноблотинг (б) с антителами к ЦП крысы образцов сыворотки крови мышей, получавших НЧС; содержание оксидазного (ОА, светлые столбики) и иммунореактивного (WB, темные столбики) ЦП в сыворотке крови контрольных и экспериментальных мышей (в). По оси абсцисс – группы мышей: 1 – контроль, 2–4 – Ag-мыши получавшие 1, 2 и 3 инъекции НЧС; по оси ординат – относительные единицы

У мышей, обработанных НЧС, уже через сутки снижалась оксидазная активность сыворотки крови. С увеличением количества введений НЧС оксидазная активность сыворотки крови прогрессивно снижалась. В то же время концентрация

иммунореактивного белка ЦП в сыворотке крови не менялась (рис. 3, а). Это показывает, что серебро из НЧС транспортируется в печень, включается в метаболизм меди, входит в состав секретируемого ЦП и подавляет его ферментативную активность.

Цифровая обработка гелей показала, что оксидазная активность сыворотки крови, которая соответствует ферментативной активности ЦП, у Ag-мышей падает почти в 10 раз. Синтез ЦП в печени и его секреция в кровоток не меняются (рис. 3, б).

ОТ-ПЦР анализ экспрессии гена ЦП в печени экспериментальных животных показал, что у мышей, получивших максимальную дозу НЧС, уровень экспрессии гена не меняется (рис. 4, а). Активность основного внутриклеточного купроэнзима супероксиддисмутазы Cu(II)/Zn(II)-СОД1, главного звена в системе антиоксидантной защиты, не меняется (рис. 4, б). Это можно объяснить тем, что активный центр СОД1 включает только остатки гистидина, который координирует атомы серебра.



а б в

Рис. 4. Экспрессия гена ЦП в печени контрольных мышей и мышей, получавших НЧС (а). Относительный уровень содержания мРНК-ЦП у контрольных мышей (1) и Ag-мышей (2) (б); цитозольная СОД1 активность у мышей, получавших инъекции НЧС. По оси ординат: активность СОД1, относительные единицы (в)

Следует отметить, что у лабораторных животных во время экспериментов не наблюдалось токсических эффектов из-за использования НЧС, таких как потеря веса, проблемы с пищеварением и поведенческие изменения.

По проделанной работе можно сделать следующие выводы:

1. новые НЧС снижают колониеобразующую активность бактерии *E. coli* в прямой зависимости от времени инкубации клеток в среде НЧС и от концентрации НЧС;
2. атомы серебра, входящие в состав НЧС, транспортируются в печень переносчиками ТСМ и включаются в метаболизм меди;
3. у млекопитающих интерференция серебра, входящего в состав НЧС, с метаболизмом меди приводит к снижению оксидазной активности (статуса меди) в сыворотке крови;
4. НЧС не вмешивались в антиоксидантную систему клетки и не приводили к изменениям в гене.

Литература

1. Franci G. и др. Silver nanoparticles as potential antibacterial agents //Molecules. – 2015. – V. 20. – № 5. – P. 8856–8874.
2. Couvreur P., Vauthier C. Nanotechnology: intelligent design to treat complex disease // Pharmaceutical research. – 2006. – V. 23. – № 7. – P. 1417–1450.
3. Moghimi S.M., Hunter A.C., Murray J.C. Long-circulating and target-specific nanoparticles: theory to practice // Pharmacological reviews. – 2001. – V. 53. – № 2. – P. 283–318.
4. Ilyechova E. и др. Experimental switching of copper status in laboratory rodents // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2011. – V. 25. – № 1. – P. 27–35.

Рожков Михаил Александрович
Год рождения: 1991
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, группа № В4270
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: misha15101991@mail.ru;
marozhkov@corp.ifmo.ru

УДК 51-72

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАФЕНОВЫХ СТРУКТУР С ДЕФЕКТАМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

М.А. Рожков
Научный руководитель – д.ф.-м.н. А.Е. Романов

Углерод – 6-й химический элемент периодической таблицы Менделеева. Важной особенностью углерода является большое количество аллотропных модификаций. На данный момент известно множество аллотропных кристаллических и аморфных модификаций, таких как: алмаз; графит; графен; фуллерен; и т.д. Все углеродные аллотропы обладают необычными характеристиками, и среди них особенно выделяется графен.

Графен – это двумерный кристалл с гексагональной решеткой, состоящий из атомов углерода. В настоящее время он является очень востребованным материалом для исследований и различных практических приложений благодаря своим уникальным свойствам: высокой прочности, необычной электропроводности и высокой теплопроводности.

К одному из способов управления характеристиками графена относится модифицирование его кристаллической решетки различными дефектами. Это могут быть, как точечные дефекты (атомы внедрения и замещения), так и кольца, в виде углеродных пентагонов, гептагонов, и т.п. В связи с этим особую важность представляет собой изучение дефектов кристаллического строения и исследование их влияния на свойства графена.

Цель работы – моделирование границ зерен и кристаллитов в графене и построение графеноподобных кристаллов с помощью структурных единиц, содержащих квадраты, пентагоны, гептагоны и октагоны, методом молекулярной динамики (МД). Последнее является новейшим направлением в моделировании 2D-кристаллов.

Границы зерен и межкристаллитные границы в графене. При стыке кристаллических зерен в материале, в том числе и двумерном, образуются границы зерен. Вид границы зависит от взаимной ориентации зерен. Кроме того, в графене существуют границы, инициированные особенностями подложки, и они могут быть не связанными с разориентацией областей кристалла [1].

Новый подход для анализа границ из пентагонов и гептагонов использован в теоретической работе [2]. Были выявлены структурные единицы, из которых состоят симметричные границы зерен. Показано, что энергия границы в графене зависит не только от угла разориентации, но и от компоновки этих структурных единиц в периоде границы. Границы, полученные из одного типа элементов, обладают локально минимальными энергиями и называются предпочтительными границами.

Поскольку в идеальном графене углеродное кольцо – это гексагон, то квадраты, пентагоны, гептагоны, октагоны и т.п. – это дефектные углеродные кольца. Они могут быть проанализированы с помощью дисклинационного подхода.

Дисклинация – это линейный дефект поворотного типа в 3D-кристалле. Процедура задания клиновой дисклинации в 2D-кристалле, заключается в следующем: делается разрез от края листа до выбранной точки; к берегам разреза прикладываются силы, которые их раздвигают на некоторый угол; после чего вставляется клин материала, далее берега разреза склеиваются и силы снимаются. Угол, на который сдвигаются берега разреза при образовании дисклинации – это вектор Франка ω, который характеризует мощность дисклинации.

Структурные элементы границ зерен и границ кристаллитов и их дисклинационные модели. Моделирование и эксперименты по исследованию границ в графене, позволяют определить элементарные структурные блоки – единицы, из которых состоят или могут состоять границы (рис. 1, а–е).

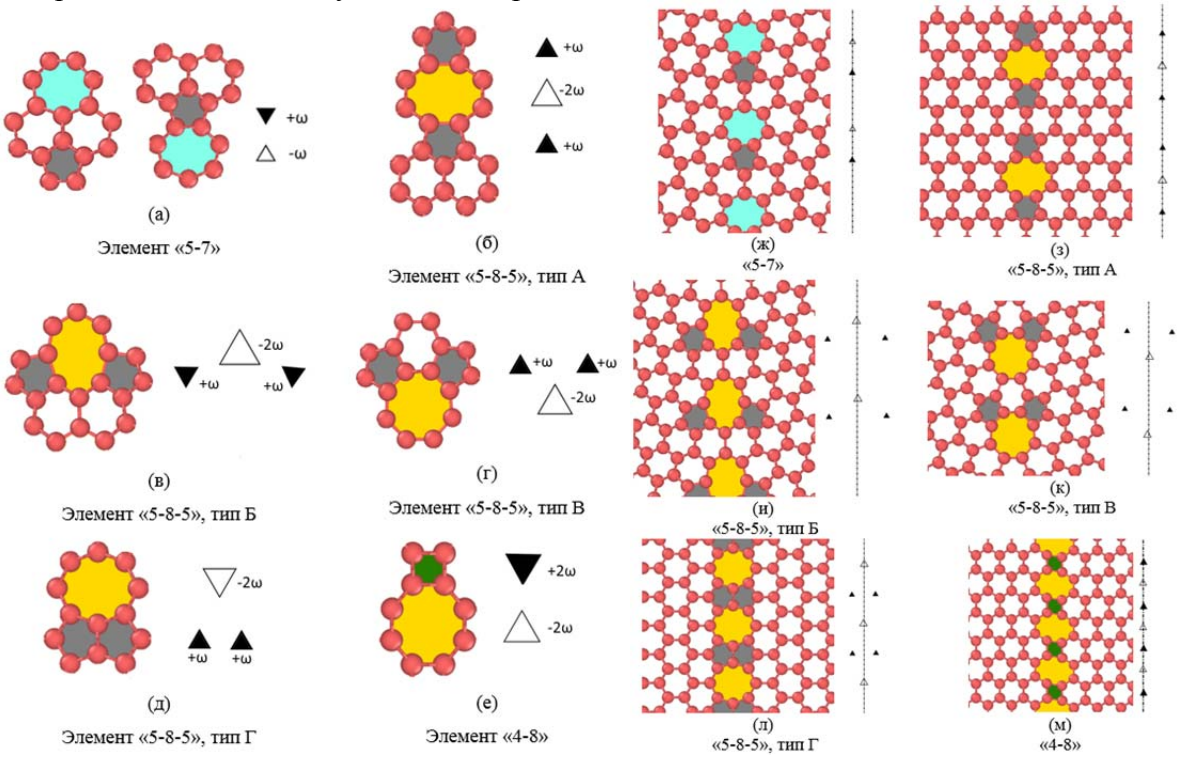


Рис. 1. Структурные элементы границ, границы и образуемые ими дисклинационные ансамбли

Из рисунка видно, что структурные элементы образуют дисклинационные диполи (рис. 1, а, е) или мультиполи (рис. 1, б–д). Очевидно, что суммарная мощность для каждой из полученных конфигураций равна нулю. Важно отметить, что энергия одиночной дисклинации в цилиндре имеет квадратичную зависимость от размеров тела $\sim R^2$. Однако самоэкранированные дисклинационные конфигурации, такие как диполи, а в особенности, квадруполи, обладают не столь сильной зависимостью собственной энергии от размеров тела или вообще не имеют такой зависимости. Исходя из этого, следует ожидать, что в кристалле дисклинации существуют в виде диполей и мультиполей.

В молекулярной динамике все движения атомов описываются законами классической механики, а межатомное взаимодействие задано специально подобранным потенциалом. В работе использовался потенциал AIREBO [3], который хорошо подходит для моделирования углеродных материалов. Затем происходит создание программного кода внутри среды для моделирования LAMMPS. После

моделирования получен набор координат атомов, который визуализируется с помощью программы OVITO.

Симметричные границы зерен и кристаллитов в графене на основании элементов «5-7», «4-8» и «5-8-5». Методом молекулярной динамики были построены границы разориентации зерен и границы кристаллитов в графене (рис. 1, ж–м). Полученные границы состоят из плотно прилегающих друг к другу структурных элементов, показанных на рис. 1. Путем поворота листов, можно собрать только границы типа «5-7» и «4-8». В литературе границы типа «4-8», пока только наблюдались в экспериментальной работе с кристаллом нитрида бора.

Остальные границы требуют ручной расстановки атомов, и присоединения листов графена к ним. Это может быть вызвано тем, что данные границы невозможно создать обычным способом, и для образования данных границ нужны неравновесные условия зарождения или располагать графен на подложках с определенной морфологией.

Одним из главных критериев зарождения границы, является ее энергия, которую можно определить при МД-моделировании. В табл. 1 указаны углы разориентации и энергии границ, полученных в работе. Как можно увидеть, границы, не вносящие разориентацию, имеют наименьшую энергию.

Таблица 1. Сравнение энергий границ в графене

Тип	Энергия, эВ/нм	Угол разориентации θ
«5-7»	2,98	21,8°
«5-8-5», тип А	1,57	0°
«5-8-5», тип Б	5,09	13,7°
«5-8-5», тип В	4,31	19,1°
«5-8-5», тип Г	0,49	0°
«4-8»	0,25	0°

Граница, составленная с помощью элемента «5-8-5», типа Г (рис. 1, л), повторяет границу, полученную экспериментально [1]. Границы из элементов «5-8-5» типа А и Г, не дают разориентации кристаллитов и имеют значительно меньшую энергию, по сравнению с остальными границами. Полученное значение энергии для границы типа «5-7» совпадает с данными других работ, что может служить показателем достоверности полученных результатов.

Графеноподобные структуры. Дисклинационные решетки. На основе структурных элементов (рис. 1) были сконструированы псевдографеновые материалы (рис. 2) и рассчитаны их энергии, отнесенные к 1 атому и единице площади (табл. 2). Из всех смоделированных в работе псевдографеновых кристаллов к настоящему времени в литературе упоминался только фаграфен, состоящий из элементов «5-7» [4].

Проанализировав данные из табл. 2, можно заметить, что наименьшей энергией, приходящейся на атом, обладает идеальный графен, а наименьшей энергией по отношению к площади – структура «5-8-5», типа А. Это может быть вызвано скорее всего тем, что полученная стуктура имеет меньшее количество атомов на единицу площади, чем другие структуры.

Полученные в результате моделирования углеродные кристаллы могут быть рассмотрены не только как собранные из структурных элементов (рис. 1), но и как

состоящие целиком из границ зерен. Например, структура «5-7» (рис. 2, а) представляется чередующимися и повернутыми на 180° границами типа «5-7» (рис. 1, ж). То же самое можно наблюдать в других псевдографеновых структурах. Антипараллельность соседних границ позволяет избежать разворота кристалла, как целого.

Среди исследованных авторами углеродных 2D-кристаллов (рис. 2) два материала не имеют гексагонов (тип «4-8» и «5-8-5», тип Г). Причем энергия на атом у псевдографеновой структуры типа «4-8» сильно отличается от других построенных материалов и имеет значительно большее значение, чем у идеального графена (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение энергий, полученных графеноподобных материалов

Тип	Энергия, эВ/атом	Разница энергий, эВ/атом	Энергия, эВ/Å^2	Разница энергий, эВ/Å^2
идеальный графен	–7,426	0	–3,234	0
«5-7»	–7,137	0,289	–3,318	–0,084
«5-8-5», тип А	–7,094	0,414	–3,692	–0,458
«5-8-5», тип Б	–7,01	0,416	–2,962	0,272
«5-8-5», тип В	–7,038	0,388	–2,828	0,406
«5-8-5», тип Г	–6,935	0,491	–2,608	0,626
«4-8»	–6,447	0,979	–2,49	0,744

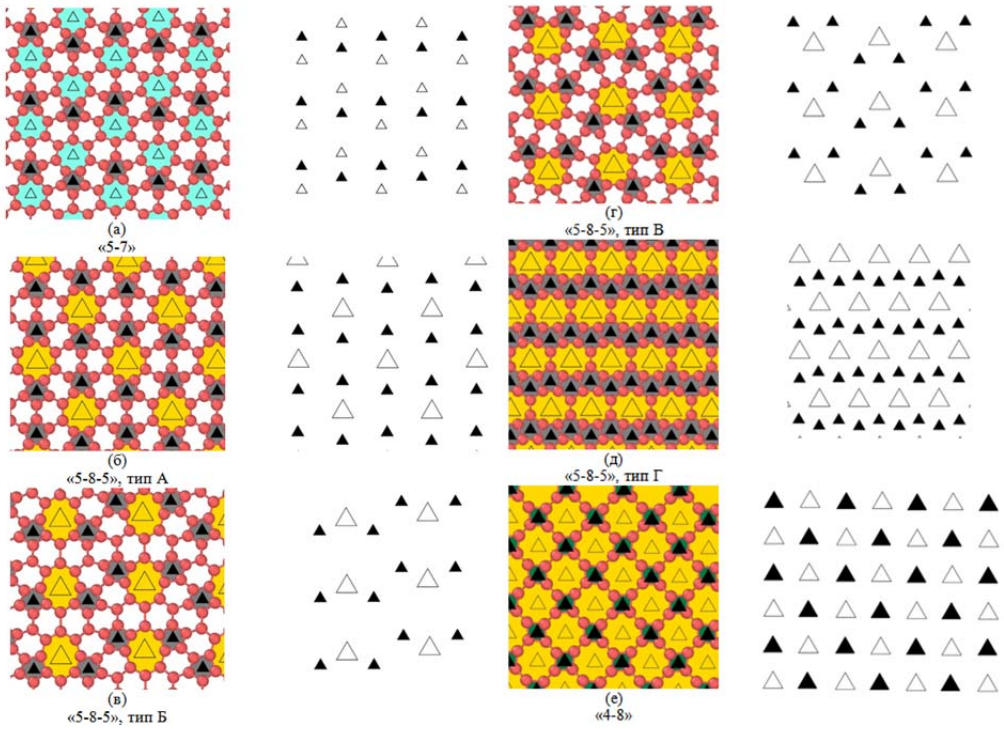


Рис. 2. Дисклинационные модели графеноподобных кристаллов, полученных МД-моделированием

Каждая из смоделированных графеновых структур может быть представлена эквивалентной дисклинационной решеткой (рис. 2). В итоге получаем полностью скомпенсированную дисклинационную структуру.

Энергии дисклинационных решеток могут быть также найдены в рамках континуального подхода механики сплошной среды. Эта проблема является предметом наших будущих работ.

Полученные в работе результаты позволяют сформулировать следующие общие выводы:

– существуют границы с нулевым углом разориентировки между кристаллитами;
– исследованные в работе границы, не содержащие гексагоны, имеют наименьшие погонные энергии;
– два псевдографеновых материала обладают малой энергией образования на единицу площади – это «фаграфен» и материал, построенный на основе структурного элемента из октагона и двух пентагонов, расположенных друг напротив друга.

В дальнейших исследованиях планируется изучить механические и электронные свойства графена с различными границами и псевдографеновых структур, применив для этого различные теоретические и вычислительные подходы.

Литература

1. Lahiri J. и др. An extended defect in graphene as a metallic wire // Nature nanotechnology. – 2010. – V. 5. – № 5. – P. 326–329.
2. Romanov A.E. и др. Non-equilibrium grain boundaries with excess energy in graphene // Carbon. – 2015. – V. 81. – P. 223–231.
3. Stuart S.J., Tutein A.B., Harrison J.A. A reactive potential for hydrocarbons with intermolecular interactions // The Journal of chemical physics. – 2000. – V. 112. – № 14. – P. 6472–6486.
4. Wang Z. и др. Phagraphene: A Low-Energy Graphene Allotrope Composed of 5–6–7 Carbon Rings with Distorted Dirac Cones // NanoLetters. – 2015. – V. 15. – P. 6182–6186.

Рукина Ольга Алексеевна
Год рождения: 1982
Институт международного бизнеса и права,
кафедра интеллектуальной собственности и управления инновациями, группа № О4221
Направление подготовки: 27.04.05 – Инноватика
e-mail: olenka-466@mail.ru

УДК 346.7

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НОРМАТИВНОЙ И ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ СТИМУЛИРОВАНИЯ АВТОРОВ ПАТЕНТОВ НА ИЗОБРЕТЕНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ЕЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ

О.А. Рукина
Научный руководитель – к.э.н., доцент С.В. Мурашова

Работа выполнена в рамках прохождения преддипломной практики в Управлении интеллектуальной собственности, военно-технического сотрудничества и экспертизы поставок вооружения и военной техники Министерства обороны Российской Федерации.

Работа посвящена актуальной теме, такой как разработка механизмов повышения эффективности выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) за счет совершенствования методов и способов мотивации изобретателей [1–5].

В процессе раскрытии темы были решены следующие задачи.

1. Проанализирована деятельность научно-исследовательских организаций (НИО) и выявлены функциональные особенности НИО как специфического объекта управления.
2. Определена особенность мотивации научно-производственной деятельности и исследована роль и зависимость эффективности НИОКР от выполнения работ изобретателями.
3. Использован мотивационный подход повышения эффективности управления при формировании типовых моделей мотивации труда изобретателей.
4. Подготовлены предложения по совершенствованию нормативной и законодательной базы стимулирования авторов патентов на изобретение в научно-исследовательской организации на основе сформированного мотивационного подхода в изобретательской деятельности.

Одновременно с этим выявлены особенности НИО как многопараметрической иерархической системы, характеризующейся ее основными элементами: интеллектуальным капиталом, ресурсной базой и коммуникативными связями.

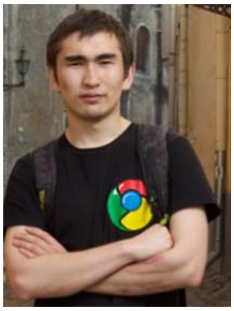
Разработан механизм формирования мотивационного пакета, позволяющий выявить оптимальный набор мотивационных предложений, обеспечивающих выполнение НИОКР при условии повышения эффективности использования интеллектуального капитала изобретателей.

Установлено, что в каждом конкретном случае между работодателем и изобретателем на основании действующей нормативной и законодательной базы должен заключаться договор, устанавливающий размер, условия и порядок выплаты вознаграждения.

Сформулированные в работе выводы являются фактологическими и обоснованными. Результаты могут быть использованы на практике, а предложения являются перспективными с практической точки зрения.

Литература

1. Федеральный закон «О науке и государственной научно-технической политике» от 23.08.1996 № 127-ФЗ (действующая редакция, 2016).
2. Основы политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу (утв. Президентом РФ 30 марта 2002 г. № Пр-576).
3. Федорова Е.В. Совершенствование методических подходов оценки инновационной деятельности (на примере регионов Российской Федерации): дисс. канд. экон. наук: 08.00.05. – СПб., 2013. – 160 с.
4. Вилкова Н.Н. Механизмы управления научно-исследовательской организацией: теоретические положения и реализация. – М.: ИНИОН РАН, 2005. – 232 с.
5. Ильенкова С.Д., Кузнецов В.И. Основы менеджмента. Учебное пособие. – М.: МЭСИ, 2004. – 112 с.



Цымжитов Гончик Баирович
Год рождения: 1992
Факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра программных систем, группа № К4220
Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: gonchik.tsymzhitov@gmail.com

УДК 004.056.53

АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМЫ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ

Г.Б. Цымжитов
Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.Е. Войтюк

В настоящее время проблема информационной безопасности в корпоративных информационных системах (ИС) очень остро стоит перед компаниями любого уровня. В последнее время стали частым явлением заказные атаки на информационные ресурсы компаний, утечка критически важной корпоративной информации, рост объемов паразитного трафика, вымогательство и шантаж. В этой связи исследования в области обеспечения безопасности корпоративных ИС все еще остаются актуальными, несмотря на большое количество уже проведенных работ. Результатами исследований в данной области становятся различные подходы к организации безопасности корпоративных ИС [1] или новые методы/алгоритмы, позволяющие исправлять уязвимости в безопасности [2]. Однако до настоящего времени не создано полностью безопасной корпоративной ИС, так как самым слабым звеном в информационной безопасности является пользователь, и это подтверждают слова Брюса Шнайера о том, что безопасность является сильной лишь тогда, когда существует слабое звено и этим слабым звеном является пользователь.

На рис. 1 представлено распределение интернет-трафика на защищаемый неиндексируемый корпоративный ресурс, использующий UserAgent 2013, 2014 и 2015 годы.

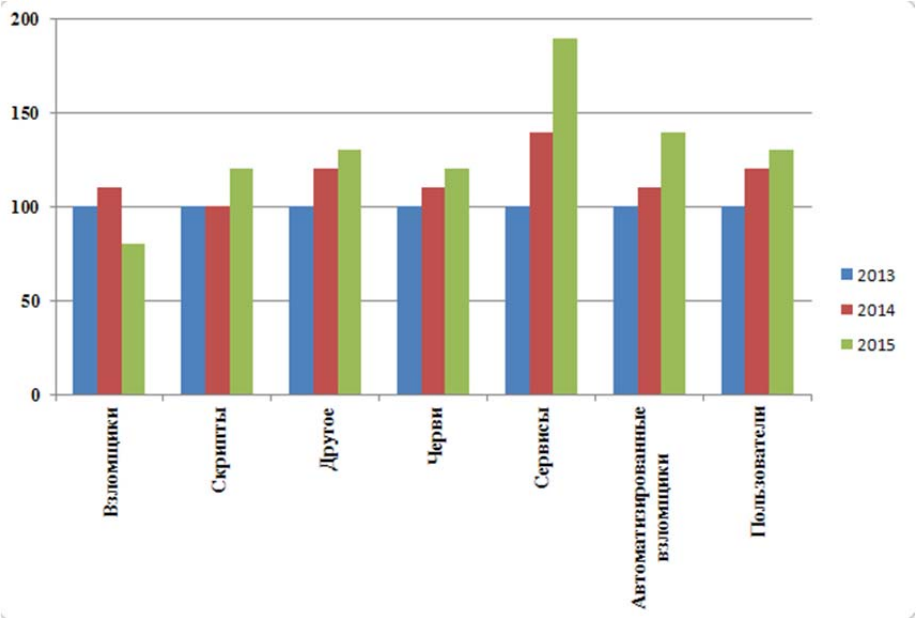


Рис. 1. Распределение интернет-трафика в корпоративной инфраструктуре

Рис. 1 показывает актуальность темы исследования в связи с тем, что с каждым годом увеличивается количество пользователей корпоративного ресурса и количество сервисов, предоставляемых этим ресурсом, если считать 2013 год – годом начала расчета. При этом уменьшается количество вредоносных скриптов, которые создаются менее квалифицированными злоумышленниками или учебными попытками исследования безопасности сетевого ресурса. Однако резко возрастает количество автоматизированных атак и не снижается количество целенаправленных атак. Эти данные позволяют сделать вывод, что количество высококвалифицированных злоумышленников возрастает.

Чтобы уменьшить количество несанкционированных обращений в ИС внедряют метод двухфакторной аутентификации.

Двухфакторная аутентификация требует от пользователя два типа паролей для доступа к корпоративной системе.

Обычно в корпоративных системах первым типом аутентификации является текстовый пароль.

Вторым типом аутентификации является одноразовый пароль (One Time Password, OTP), который отправляется пользователю или синхронизируется в зависимости от алгоритма, метода аутентификации.

Преимущества двухфакторной аутентификации очевидны:

1. повышение надежности аутентификации, которая также позволяет бороться с атаками «человек посередине» (Man in the middle, MitM) [3, 4] и подбором паролей;
2. повышение вероятности того, что действие было выполнено действительно пользователем, предъявившим идентификатор, т.е. обеспечение действительности действий от имени пользователя;
3. упрощение работы с информационной системой пользователям, так как не требуется запоминать множество паролей, не требуется производить периодическое изменение паролей и т.д.

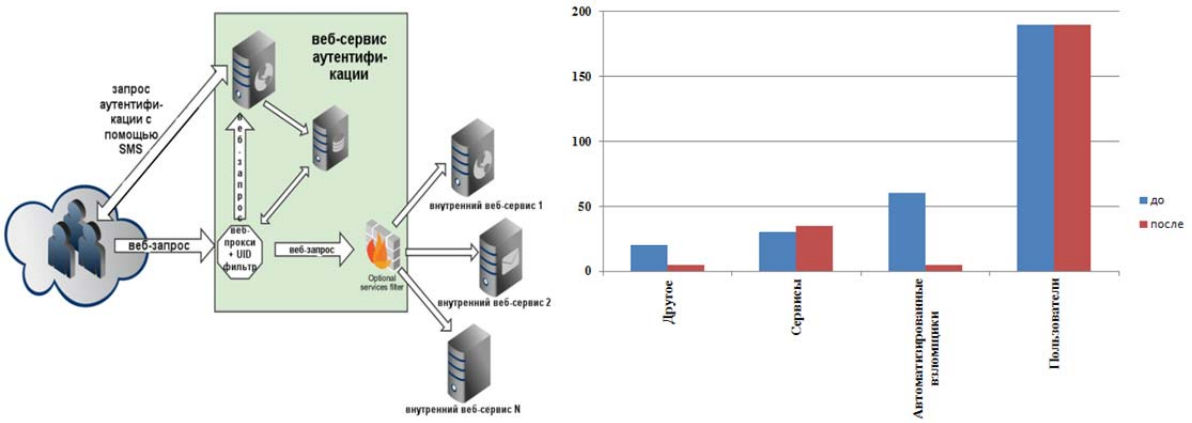
Но наряду с преимуществами существует также и ряд недостатков:

1. более дорогостоящее решение, зачастую зависящее от архитектуры системы;
2. токены, карточки и другие средства 2х-факторной аутентификации могут быть утеряны, оставлены дома (или в других местах) или повреждены. Без помощи системного администратора работа таких пользователей останавливается;
3. не все приложения поддерживают 2х-факторную аутентификацию, т.е. полный отказ от паролей невозможен.

Благодаря внедрению ESSO-систем (Enterprise Single Sign-On), которые являются фактически прослойкой между двухфакторной аутентификацией и различными приложениями 2 и 3 недостатки становятся несущественными.

В работе представлен подход к организации архитектуры корпоративной ИС, поддерживающей многофакторную авторизацию без привлечения дополнительных затрат на установку и обслуживание ESSO-систем. Под многофакторной аутентификацией подразумевается, что система позволяет увеличить количество этапов, за счет вариации существующих методов доставки одноразовых паролей. Основным требованием к архитектуре является модульность и многоступенчатая система фильтрации, поскольку злоумышленник может нанести вред компании, не только получив аутентификационные данные, но и создав очередь в стеке отправки одноразовых паролей для потенциальных пользователей системы, увеличив тем самым расходы на отправку, например, при SMS-аутентификации.

Результат предложенной архитектуры представлен на рис. 2, а, данное решение является аккумуляцией практик по реализации двухфакторных систем. Результат аппробирован на рабочей системе.



а б

Рис. 2. Архитектура многофакторной аутентификации с элементами верификации (а); веб-трафик до и после применения системы (б)

Предлагаемая архитектура системы защиты от подбора пароля для двухфакторной аутентификации соответствуют предъявляемым требованиям к системам многофакторной аутентификации. Модульность архитектуры способствует удобству внедрения и управления этой системой, также позволяет обезопасить сразу все корпоративные веб-сервисы, т.е. инфраструктуру предприятия [5, 6].

На рис. 2, б легко увидеть улучшение защиты от целенаправленных атак (злоумышленников) при внедрении данной архитектуры.

Из графика (рис. 2, б) видно, что процент отражения негативного трафика увеличивается при его точечном разборе. Так, после внедрения предложенной архитектуры количество автоматизированных взломщиков уменьшилось на 86%.

Дальнейшим улучшением предложенной архитектуры может являться применение алгоритмов машинного обучения, что сможет повысить процент отраженного негативного трафика при атаке на корпоративную ИС.

Литература

1. Pramanik S. Security Architecture Approaches // The Journal of Defense Software Engineering. – 2013. – V. 26(6). – P. 12–17.
2. Bürger J., Jürjens J., Wenzel S. Restoring security of evolving software models using graph transformation international // Journal on Software Tools for Technology Transfer. – 2015. – V. 17(3). – P. 267–289.
3. Nam S.Y., Djuraev S., Collaborative approach to mitigating ARP poisoning-based Man-in-the-Middle attacks // Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. – 2013. – V. 57(18). – P. 3866–3884.
4. Ornaghi A., Valleri M. Man in the middle attacks Demos [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.blackhat.com/presentations/bh-usa-03/bh-us-03-ornaghi-valleri.pdf, своб.
5. Войтюк Т.Е., Зудилова Т.В., Цымжитов Г.Б. Защита от подбора паролей при двухфакторной аутентификации // Программные системы и вычислительные методы. – 2016. – № 2(15). – С. 12–20.
6. Цымжитов Г.Б. Мультифакторная фильтрация доступа корпоративных веб-сервисов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 8-1(19-1). – С. 381–385.

Шаврыгина Маргарита Анатольевна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: shavrygina_marga@mail.ru

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ С ПОМОЩЬЮ РЕПЕРНЫХ МЕТОК

М.А. Шаврыгина
Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. А.Н. Тимофеев

В работе рассмотрено исследование погрешностей и разработка оптико-электронной системы контроля линейных смещений железнодорожного пути в продольном профиле и в плане относительно реперных меток, установленных на опорах контактной сети.
Ключевые слова: оптико-электронная система, железная дорога, контроль положения, реперные метки, погрешности.

Железнодорожный транспорт в России – одна из крупнейших железнодорожных сетей в мире. Общая протяженность железнодорожных путей составляет 121 тыс. км, причем из них более 10 тыс. км обслуживают высокоскоростные поезда [1–5].

Для того чтобы содержать и обеспечивать производительность железнодорожного транспорта необходимо гарантировать высококачественность и безопасность пути, поэтому создание систем контроля положения железнодорожного пути является актуальным.

В связи с этим была разработана оптико-электронная система контроля положения железнодорожного (ОЭСКПЖД) пути с помощью реперных меток с диапазоном смещения 280–360 мм в промежутке 2000–7000 мм.

В соответствии с результатами ранее проделанной работы, предлагается структурная схема устройства ОЭСКПЖД (рис. 1). В состав предложенной схемы входят базовый блок (ББ), блок обработки (БО) и метки реперные (МР1–МР40).

ББ содержит модуль управления (МУ), индикаторный модуль (ИМ), индикатор опор (ИО), уровень (У), модули фотоприемные (МФ1, 2).

БО состоит из портативного компьютера (ПК) и преобразователя напряжения (ПН), поступающего от источника питания путевой машины. БО имеет выход в центральный блок обработки (ЦБО).

МР включает в себя светодиод (СД), блок питания светодиода (БПСД) и контрольный элемент положения опоры (КЭПО).

В данной системе в качестве электронного уровня используется электронный датчик наклона NG2U производства фирмы «Seika Mikrosystemtechnik GmbH».

На основании выбранной структурной схемы первоочередной задачей стоял выбор матричного приемника оптического излучения (ПОИ), источника оптического излучения (ИОИ), объектива.

В данной системе использовалась цветная мегапиксельная телевизионная камера высокого разрешения VEC-545. Фоточувствительным элементом этой камеры является КМОП-матрица OV5620 производства фирмы OmniVision.

Элементы выбранного ПОИ имеют незначительно отличающуюся спектральную характеристику чувствительности в области длин волн инфракрасного излучения. В

связи с этим требуется ИОИ, работающий в этом диапазоне. Таковым источником является инфракрасный полупроводниковый излучающий диод SFH 485 P, излучающий на длине волны 880 нм.

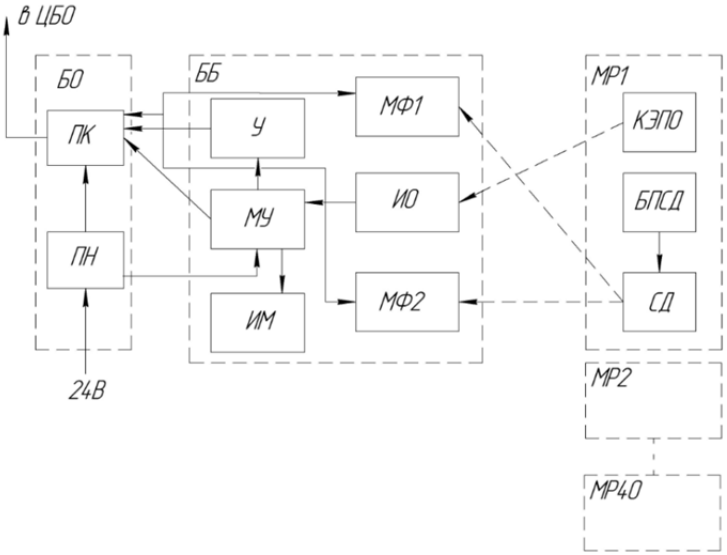


Рис. 1. Структурная схема ОЭСКПЖД

Также был проведен габаритно-энергетический расчет всей системы, на основе которого был выбран объектив «Индустар-65» с фокусным расстоянием f'=29 и относительным отверстием 1:2,8.

На основании выбора основных параметров и габаритно-энергетического расчета была построена оптическая схема системы, которая приведена на рис. 2.

Чтобы рационально использовать поля анализа МПОИ 1,2, их необходимо сместить с оптической оси. Основываясь на необходимость контроля возможных смещений пути в соответствии с техническим заданием (по вертикали (+300, –60)), из основ геометрической оптики в верхнем канале это смещение будет равно 4,21 мм выше оптической оси, в то время как в нижнем канале – на 0,29 мм ниже оптической оси.

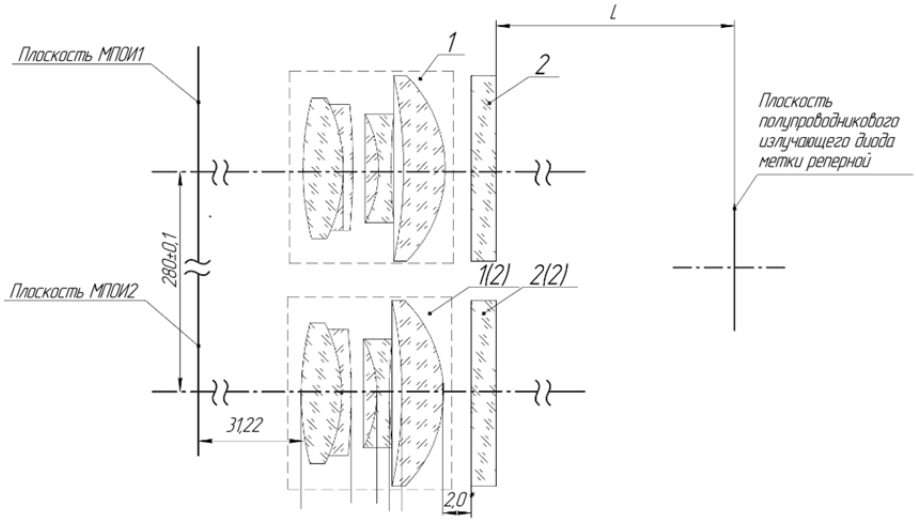


Рис. 2. Схема оптическая принципиальная

Далее была разработана конструкция фотоприемного модуля, особенность которой заключается в возможности регулировки угла наклона модуля в вертикальной плоскости.

С целью исследования характеристик данной системы был проведен анализ погрешностей ее работы.

Погрешности, возникающие в процессе работы системы, можно разделить на погрешности приборные или инструментальные и эксплуатационные.

К приборным или инструментальным относятся погрешности:
- обусловленные неточностью задания заднего рабочего отрезка;
- обусловленные неточностью определения базы;
- уровня;
- от наличия влияния защитных стекол;
- обусловленные внутренними шумами фотоприемной камеры.

Первые четыре погрешности относятся к систематическим и, в дальнейшем, после проведения операции калибровки, их можно минимизировать.

Что касается эксплуатационных погрешностей, то они включают:
- погрешность от изменения яркости ИОИ из-за влияния температуры;
- погрешность от изменения тока питания ИОИ из-за температуры;
- погрешность регистрации вследствие изменения фоновой ситуации;
- погрешность, вызванную температурным градиентом воздушного тракта;
- погрешность из-за запыленности в области снятия показаний;
- погрешность, вызванную влиянием температуры на положение матрицы;
- погрешность изменения фокусного расстояния (заднего рабочего отрезка объектива) из-за изменения температуры;
- погрешность изменения размера базы между камерами из-за влияния температуры;
- динамическую погрешность измерений (недостаточная частота смены кадров для высоких скоростей движения);
- погрешность, вызванную наличием вибрации.

Рассчитанные значения некоторых погрешностей представлены в таблице.

Таблица. Рассчитанные значения анализируемых погрешностей

Название погрешности	Значение по вертикали ΔY, мм	Значение по горизонтали ΔZ, мм
Погрешность контроля координат, обусловленная внутренними шумами фотоприемной камеры, δp	0,0015	0,2167
Погрешность контроля координат, обусловленная неточностью задания заднего отрезка, $\delta a'$	0,7	12,7
Погрешность контроля координат, обусловленная неточностью определения базы, δB	0,3	6
Погрешность контроля координат от уровня, $\delta\beta_B$	0,14	0,0072
Погрешность контроля координат от наличия влияния защитных стекол, δd	0,76	7,2
Погрешность контроля координат от изменения яркости δL источника из-за влияния температуры	0,002	0,6
Погрешность контроля координат от изменения тока питания δI источника из-за влияния температуры	0,002	0,27
Погрешность контроля координат, вызванная температурным градиентом воздушного тракта, $\mathrm{grad}T$	0,25	0,001
Погрешность контроля координат из-за запыленности в области снятия показаний, δk	0,007	1
Погрешность контроля координат от изменения фокусного расстояния (заднего рабочего отрезка объектива) из-за изменения температуры, δl	0,004	2,18

Название погрешности	Значение по вертикали ΔY, мм	Значение по горизонтали ΔZ, мм
Погрешность контроля координат от изменения размера базы между камерами из-за влияния температуры, δB_T	0,016	0,0045

Для перечисленных погрешностей было рассчитано суммарное значение, которое для величины смещения РМ по вертикали составляет 1,1 мм, а по горизонтали 29,1 мм.

Суммарная погрешность измерений не удовлетворяет требованиям правильной работы системы, поэтому предложен усовершенствованный алгоритм вычисления координат и методика калибровки камер, которые позволили минимизировать суммарную погрешность измерений: по вертикали до 0,1 мм, по горизонтали – до 2,5 мм.

Выводы. По результатам работы в качестве объекта исследования, выбрана оптико-электронная система контроля положения железнодорожного пути с помощью активных реперных меток.

Предложена и разработана структурная схема устройства ОЭСКПЖД, состоящая из трех основных блоков: блока обработки, базового блока и активных реперных меток, расположенных на опорах контактной сети.

Разработана ОЭСКПЖД пути с помощью активных реперных меток, в которой в качестве объектива был выбран объектив «Индустар-65» (f'=30 мм и D/f'=1/2,8), а матричным приемником оптического излучения – КМОП-матрица OV5620 производства фирмы OmniVision.

Разработан сборочный чертеж фотоприемного модуля.

Предварительный расчет погрешностей показал, что суммарная погрешность измерений для величины смещения МР по вертикали составляет 1,1 мм, а по горизонтали – 29,1 мм.

Использование усовершенствованного алгоритма обработки информации, а также методики калибровки камер с помощью тест-объекта в виде шахматной доски, позволило минимизировать суммарную погрешность по вертикали до 0,1 мм, по горизонтали – до 2,5 мм.

Последующие исследования следует продолжать в дальнейшей оптимизации параметров системы и разработке алгоритмов обработки перемещающегося изображения на матрице.

Литература

1. Коротаев В.В., Краснящих А.В. Телевизионные измерительные системы. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 108 с.
2. Алеев А.М., Араканцев К.Г, Тимофеев А.Н. Ершова К.Б., Петуховский В.В., Петуховский С.В., Холин А.Е. Оптико-электронная система контроля положения железнодорожного пути относительно реперных меток // Изв. вузов. Приборостроение. – 2008. – Т. 51. – № 9. – С. 18–22.
3. Pantyushin A.V., Serikova M.G., Timofeev A.N. Optoelectronic system for monitoring displacements, based on LED fiducial marks // Journal of Optical Technology. – 2009. – V. 76. – № 8. – P. 507–510.
4. Коротаев В.В., Пантюшин А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные системы контроля положения реперных меток // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 11. – С. 34–37.
5. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Андреев А.Л. Источники и приемники излучения. - СПб.: Политехника, 1991. – 240 с.

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА УНИВЕРСИТЕТА (ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ) НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ

Адамчик Марина Николаевна
Год рождения: 1994
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, группа № Р4212
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: mnadamchik@gmail.com

УДК 004.82, 004.832

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОИСКА РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

М.Н. Адамчик
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Бессмертный

В настоящее время интеллектуальные системы широко применяются в различных сферах деятельности человека. Одной из основных проблем в области интеллектуального поиска решений являются высокие временные затраты на поиск. Задача ускорения поиска решений является актуальной в настоящее время. Проводятся исследования возможности оптимизации поиска решений (например, с помощью генетических алгоритмов, прецедентного подхода). В исследованиях в области организации поиска решений широко освещается вопрос выбора наиболее подходящего метода поиска в зависимости от решаемой задачи. Однако недостаточное внимание уделяется вопросу оптимизации поиска решений в широких предметных областях. В системах, работающих с базами знаний большого объема, анализ имеющихся сведений и получение новых знаний может потребовать высокие затраты времени и ресурсов.

Для решения проблемы временной сложности поиска решений в базах знаний широких предметных областей необходимо разработать подход к организации поиска, позволяющий более эффективно использовать имеющиеся в базе знания при решении задач. Предметной областью, временные затраты на поиск решений в которой высоки, является, например, область химического неорганического синтеза. В настоящее время известно более 100 химических элементов. Из-за многообразия соединений и взаимодействий между ними задачи поиска решений в этой области имеют высокую комбинаторную сложность. **Целью работы** являлось сокращение времени поиска решений в области химического неорганического синтеза.

Одной из первых задач при разработке интеллектуальной системы является выбор используемых знаний предметной области и способа их представления. Правильная формализация знаний позволит избежать сложностей при дальнейшей разработке системы интеллектуального поиска решений.

В области неорганического синтеза присутствуют как декларативные, так и процедурные знания. К процедурным знаниям относятся правила протекания химических реакций и правила составления химических формул и уравнений. К декларативным знаниям, релевантным для разрабатываемой системы поиска, относятся факторы, влияющие на возможность синтеза. Из всего многообразия свойств атомов и соединений в ходе работы были выявлены те свойства, которые в наибольшей степени влияют на неорганический синтез.

Существует несколько видов моделей представления знаний [1]:

- логические модели;
- продукционные модели;
- модели семантических сетей;
- фреймовые модели.

Критериями выбора модели представления знаний в данной работе являлись: возможность представления знаний выбранной предметной области, простота реализации поиска по базе знаний и получения новых знаний, а также меньшее количество исходных знаний, которые необходимо хранить в базе.

В результате аналитического обзора моделей представления знаний было установлено, что знания в области неорганического синтеза могут быть представлены с помощью любой из перечисленных моделей. При этом логические модели позволяют наиболее просто представить релевантные знания предметной области. Также они позволяют использовать механизм логического вывода для получения новых знаний из исходных аксиом. Таким образом, в логических моделях нет необходимости хранить все знания предметной области.

В настоящей работе декларативные знания предметной области, а также правила протекания химических реакций представлены в онтологии. Онтология является иерархической структурой, в которой представлены все объекты предметной области, связи между ними, а также правила и ограничения, принятые в предметной области. В настоящее время редакторы онтологий позволяют создавать онтологии, относящиеся к логическим моделям.

С помощью редактора онтологий Protégé 5.0 была создана онтология области неорганического синтеза. Онтология состоит из пяти основных классов: атомы, соединения, свойства соединений, типы реакций и условия протекания реакций. При этом в онтологии содержится информация только о простых соединениях – знания о сложных соединениях могут быть получены из сведений о простых соединениях и правилах протекания реакций.

Следующим шагом при разработке интеллектуальной системы поиска является выбор стратегии и метода поиска.

Поиск решений является поиском в пространстве состояний. Пространство состояний может быть представлено в виде графа или дерева решений, в котором узлами являются состояния системы, а ребрами – переходы между ними. Сведения о неорганическом синтезе могут быть представлены в виде дерева решений. При этом узлами дерева будут являться химические соединения.

Существует два класса методов поиска по дереву решений [2, 3]:

– неинформированный поиск (поиск перебором), при котором осуществляется последовательный просмотр всех узлов;
– информированный поиск (эвристические методы), при котором выбор пути по дереву решений основывается на функции оценки, учитывающей информацию о решаемой задаче.

Сведения онтологии о свойствах соединений и правилах протекания реакций могут быть представлены в нотации логического программирования. Например, формула

$$\mathbf{O_2} \wedge (\text{простое_вещество} \wedge \neg(\text{инертный_газ} \vee \mathbf{Au})) \rightarrow \text{оксид} \qquad (1)$$

показывает представление правила получения оксида.

Таким образом, поиск решений в области неорганического синтеза возможен с помощью логического поиска на основе исчисления предикатов.

Основными критериями оценки алгоритмов поиска решений являются [2]: полнота, оптимальность, временная сложность (затраты времени), пространственная сложность (затраты памяти).

В данной работе выбор метода поиска решений основывался на критериях полноты и меньших временных затратах.

Было установлено, что поиск на основе логики позволяет наиболее эффективно решать задачи поиска в области неорганического синтеза. Неинформированный поиск требует высоких временных затрат из-за большого количества ветвей дерева решений

– число возможных комбинаций даже при использовании только простых веществ в качестве реагентов реакции уже достигает 7000. Методы эвристического поиска позволяют решать задачи поиска в области неорганического синтеза только при известной химической формуле продукта реакции. В противном случае выбор меры приближения к искомому решению не является возможным – эвристическая функция на основе химических формул не может быть использована, поскольку неизвестна формула искомого соединения, а функция на основе свойств соединений не является эффективной, поскольку свойства веществ полностью изменяются при каждой реакции.

Существует две стратегии поиска в пространстве состояний [4]:

– поиск на основе данных (прямой логический вывод);
– поиск от цели (обратный логический вывод).

Обе стратегии могут быть применены в области неорганического синтеза.

Существуют инструменты логического вывода для работы с онтологиями. Их использование при работе с созданной в работе онтологией позволяет получить сведения о не заданных явно свойствах соединений. Но использование этих инструментов для получения формул соединений затруднено.

Программа поиска решений была реализована на языке логического программирования SWI-Prolog. Для извлечения сведений из онтологии использовались модули для работы с RDF-данными: semweb/rdf_db и semweb/rdfs. Разработанная система позволяет решать следующие задачи предметной области:

– поиск веществ, обладающих заданными свойствами;
– поиск исходных простых веществ для получения заданного вещества;
– поиск исходных простых веществ для получения сложного вещества с заданными свойствами;
– поиск продуктов реакций;
– поиск неисследованных реакций для вещества или класса веществ;
– проверка существования заданной пользователем химической реакции.

При осуществлении программного поиска информация об атомах и простых соединениях, а также о правилах протекания реакций берется из онтологии. На рис. 1 показан пример поиска решения для одной из задач неорганического синтеза. Указанные на рисунке предикаты rdf и rdfs_individual_of проверяют файл онтологии .rdf на наличие заданного или частично заданного триплета субъект–предикат–объект и отношения класс–экземпляр соответственно.

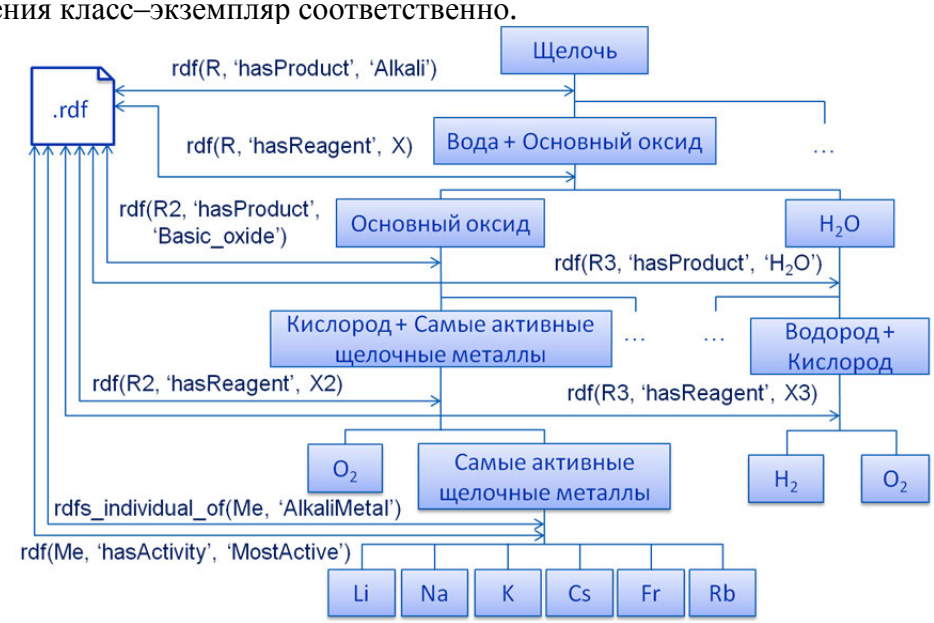


Рис. 1. Поиск реагентов для получения щелочи

Экспериментальное исследование проводилось для каждой из перечисленных задач предметной области. В ходе исследования измерялись временные затраты на поиск решений. Поиск осуществлялся с помощью разработанной системы поиска по онтологии, а также перебором. Измерения проводились для разного количества используемых химических элементов, а также для разной сложности соединений и реакций. Для измерения времени на поиск решения использовалось средство сбора статистики в SWI-Prolog (statistics/2). Программный поиск не осуществлялся дольше, чем 500 000 мс.

На рис. 2 показаны средние результаты измерений временных затрат для задачи поиска реагентов по свойствам продукта реакции. Из графика на рисунке видно, что время поиска с использованием онтологии уже на уровне бинарных соединений меньше времени поиска перебором на два порядка. А на самом высоком уровне сложности реакций разница составляет три порядка.

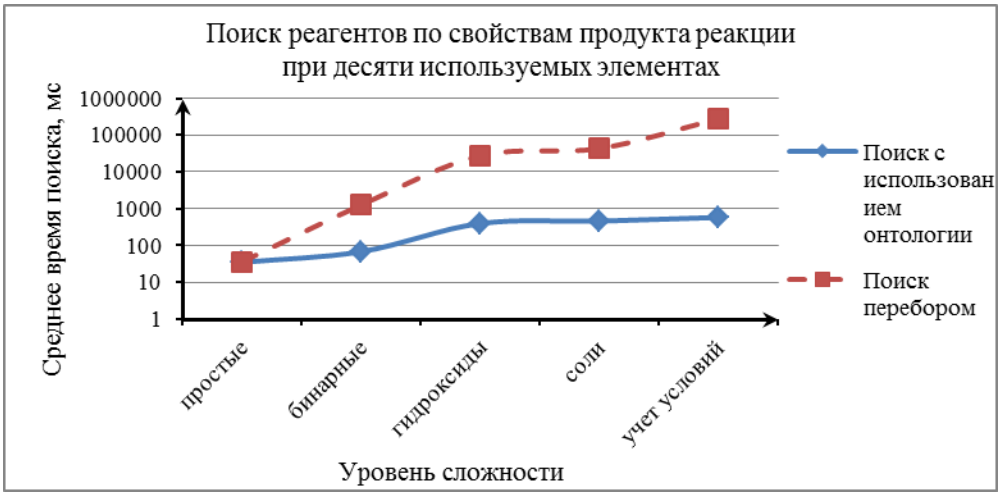


Рис. 2. График зависимости времени поиска от уровня сложности соединения

В данной работе были обоснованы лучшие способы представления знаний (логическая модель) и поиска решений (поиск на основе логики) в области неорганического синтеза. Был предложен подход к организации поиска решений. В основу подхода положено использование поиска решений на основе исчисления предикатов и использование данных онтологии предметной области в формате RDF для обеспечения лучшей навигации в пространстве состояний. Была разработана онтология предметной области неорганического синтеза и система поиска по ней. Экспериментальное исследование показало, что предложенный подход позволяет сократить время на поиск решений в среднем на два порядка по сравнению с поиском перебором. Предложенный подход к организации поиска решений может быть использован при разработке систем поиска в других предметных областях. Разработанная система представляет практическую ценность для исследователей в области неорганического синтеза. Также она может послужить основной для создания более полной системы поиска решений в области неорганической химии.

Литература

1. Уэно Х., Исидзука М. Представление и использование знаний. Том 2: Пер. с япон. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
2. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. – 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.
3. Нильсон Н. Искусственный интеллект. Методы поиска решений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 272 с.

4. Люгер Дж.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем: Пер. с англ. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.

Владимиров Руслан Валерьевич
Год рождения: 1993
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, группа № Р4245
Направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: tak69@yandex.ru

УДК 681.5.01: 681.537

МОДЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНЫХ АКТИВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ С НЕЧЕТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Р.В. Владимиров
Научный руководитель – к.т.н., доцент П.А. Борисов

На сегодняшний день актуальным стандартом, регламентирующим показатели энергопотребления является ГОСТ Р 32144-2013 [1]. По причине быстрого увеличения доли нелинейных потребителей электроэнергии все более значительной становится задача стабильной работы электрооборудования, питаемого от сети 220/380 В (50 Гц). Например, высшие гармонические составляющие в токах нелинейных электропотребителей вызывают ряд негативных последствий, к которым можно отнести следующие: перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельных линий, несинусоидальность питающего напряжения, снижение коэффициента мощности электроустановок зданий и др. Решением проблемы нормализации и стабилизации напряжения являются управляемые индуктивно-емкостные устройства различных типов: нерегулируемые индуктивные (реакторы) и емкостные (батареи статических конденсаторов), дискретно регулируемые индуктивно-емкостные (группы реакторов и (или) батарей конденсаторов), плавно регулируемые индуктивно-емкостные (электромашинные, полупроводниковые, магнитно-полупроводниковые и пр.).

В данной работе рассмотрен анализ показателей качества энергопотребления трехфазных активных преобразователей с системой управления с нечеткими регуляторами на основе модельного исследования в условиях синусоидальных и несинусоидальных фазных напряжений.

В основе работы – трехфазная мостовая схема выпрямления (рис. 1), реализованная в программном пакете MATLAB/Simulink [2].

В данной системе нечеткие регуляторы используются в контуре стабилизации напряжения в звене постоянного тока (ЗПТ).

В качестве нагрузки был выбран электродвигатель ПБВ-100М. Изначально он представлен в виде активно-индуктивной нагрузки.

Первой моделью была система с пропорционально-интегральным (ПИ)-регулятором, настроенным по методу Циглера–Николса. Учитывая изначально заданные условия токоограничения в два номинальных значения, были сняты характеристики модели.

Далее был реализован регулятор на основе fuzzy-логики по средствам графического интерфейса для работы с fuzzy-логикой пакета MATLAB.

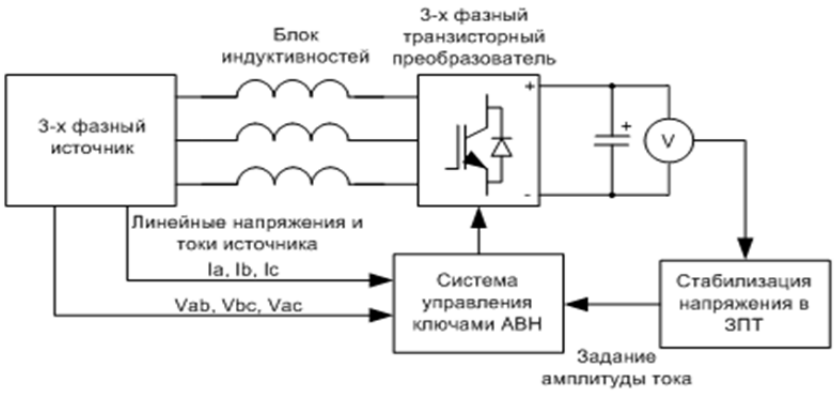


Рис. 1. Трехфазный активный выпрямитель напряжения (АВН) с системой управления

За основу взят алгоритм Мамдани (Mamdani) [3]: формирование базы правил – фаззификация – регулировка и настройка функций принадлежности для всех данных – дефаззификация.

Связь между входом и выходом осуществлялся через базу правил функций принадлежности (таблица).

Таблица. База правил fuzzy-логики

e(t), de(t)	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	Z
NM	PB	PB	PM	PM	PS	NM	NB
NS	PB	PM	PS	PS	NS	PS	PM
Z	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PS	PB	PM	PS	NS	NS	NM	NB
PM	PM	Z	NS	NM	NM	NB	NB
PB	Z	NS	NM	NB	NB	NB	NB

Каждой переменной соответствует собственная функция принадлежности. Для текущей задачи используются пять функций треугольного вида и две (граничные) функции в виде части криволинейной трапеции.

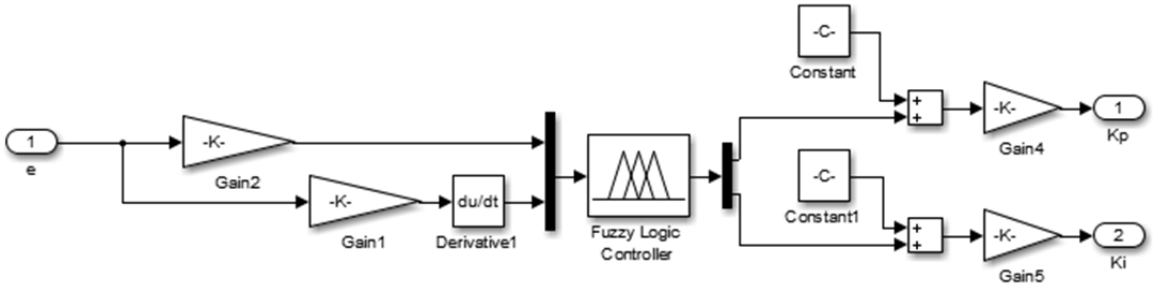


Рис. 2. Модель ПИ fuzzy-регулятора в пакете MATLAB/Simulink

В итоге был получен вид модели fuzzy-регулятора на рис. 2, где на вход подается сигнал ошибки задания (*E*) и изменения ошибки (*dE*), а на выход коэффициенты: пропорциональный (*Kp*) и интегральный (*Ki*).

Приведение выходных данных выполнено с помощью блоков Constant, Constant1 и Gain4, Gain5 по следующим алгоритмам:

$$Kp = k_p \gamma (K_{p_{\max}} - K_{p_{\min}}) + K_{p_{\min}},$$

$$Ki = k_i \gamma (K_{i_{\max}} - K_{i_{\min}}) + K_{i_{\min}} .$$

Изначально на схеме АВН с обычным регулятором определяются некоторые границы для значений *Kp* и *Ki*, соответственно $\left[K_{p_{\max}} K_{p_{\min}}\right]$ и $\left[K_{i_{\max}} K_{i_{\min}}\right]$, относительно параметров переходного процесса.

В итоге, на основе данных, полученных на модели с fuzzy-регулятором, был реализован регулятор на основе нейронной сети (НС) (рис. 3).

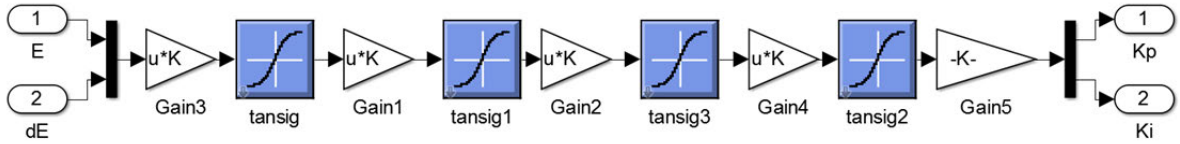


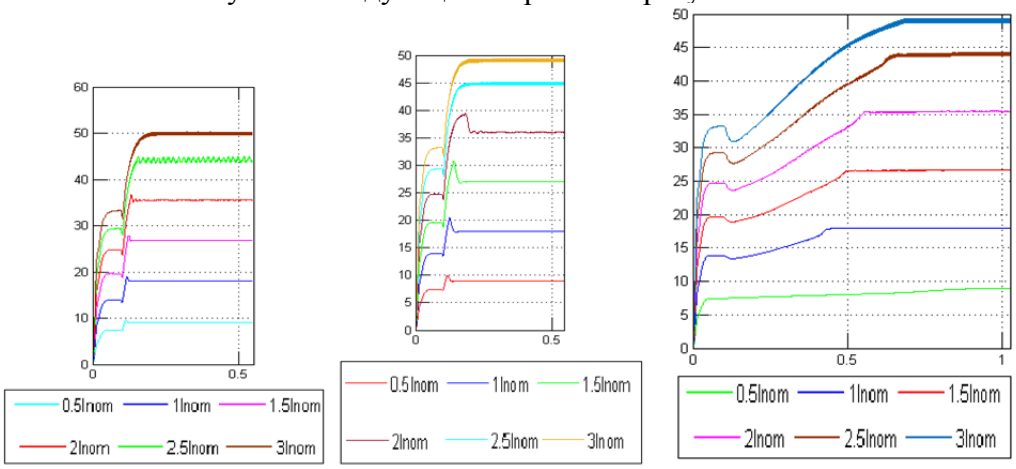
Рис. 3. Модель нейронной сети в MATLAB

На основе соображений об обучении и обобщающей способности была выбрана следующая структура НС: два входа *E* и *dE*, три скрытых слоя, каждый из 4 нейронов, и два выхода – коэффициенты *Kp* и *Ki* [4, 5].

Обучение происходило по методу обратного распространения ошибки, а также использовались методы оптимизации процесса обучения. Например, заставить шаг обучения изменяться относительно того, сколько итераций уже пройдено и др.

Так же, как и в случае с fuzzy-регулятором, понадобились манипуляции, сходные с процессами фаззификации и дефаззификации [5, 6], но зависимые уже от данных обучения.

В итоге были получены следующие на рис. 4–7 результаты.



а б в

Рис. 4. Выходные характеристики напряжения АВН: с обычным ПИ-регулятором (а); с fuzzy-регулятором (б); с регулятором на основе НС (в)

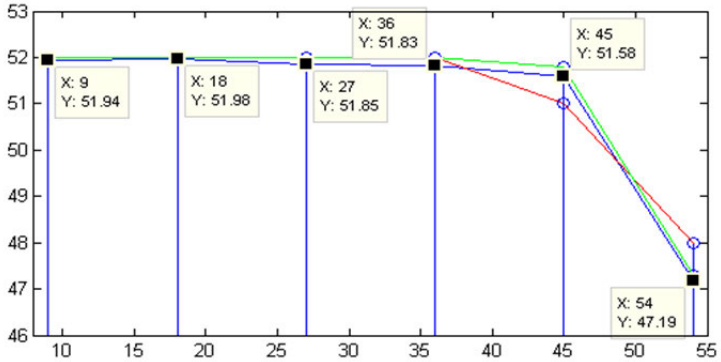
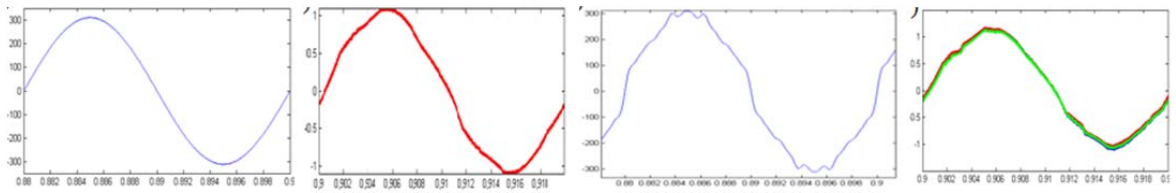
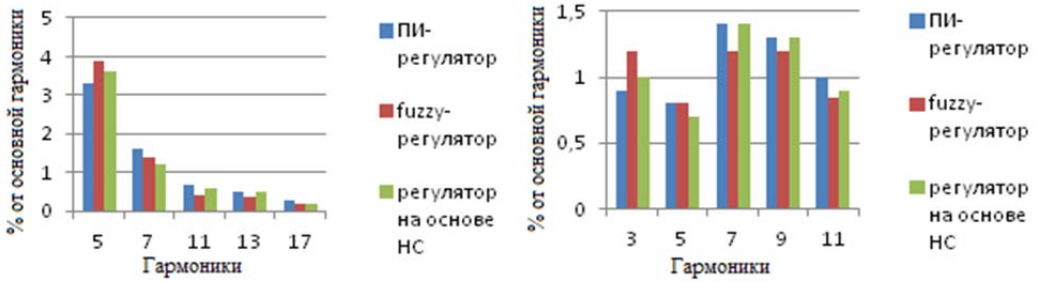


Рис. 5. Вольт-амперная характеристика модели АВН: красным – с обычным ПИ-регулятором; зеленым – с fuzzy-регулятором; синим – с регулятором на основе НС



а б в г

Рис. 6. Форма питающего напряжения и форма сигнала тока модели АВН, соответственно, при синусоидальном питании (а, б) и при несинусоидальном питании (в, г)



а б

Рис. 7. Диаграммы гармонического состава тока модели АВН, соответственно, при синусоидальном питании (а) и при несинусоидальном питании (б), гармоники выше граничной не показаны в виду малого значения

По результатам моделирования (рис. 4–7) можно заметить, что все регуляторы справились с поставленными условиями и задачами.

Ниже приведены результаты исследований (рис. 8), при условии, что активно-индуктивная нагрузка заменяется на модель двигателя постоянного тока (ДПТ) с синусоидальным характером задания скорости.

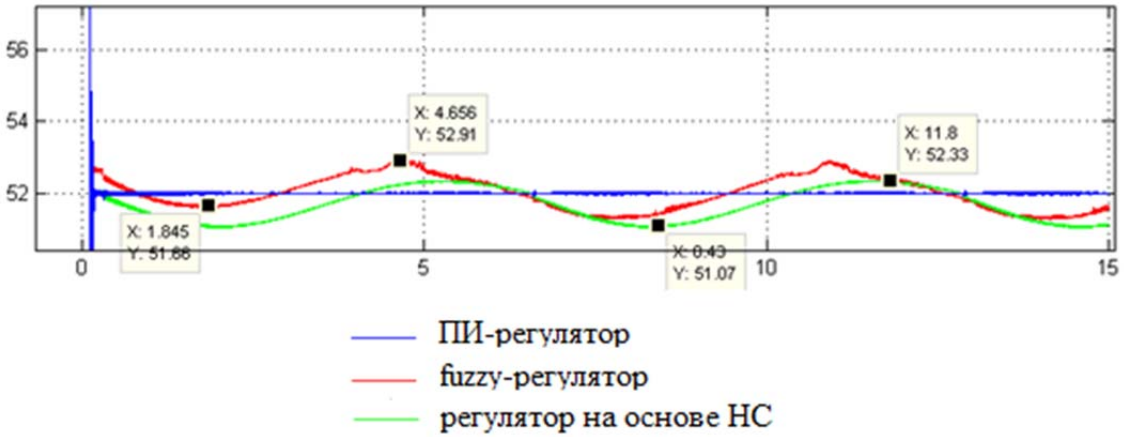


Рис. 8. Выходные характеристики моделей АВН-ШИП-ДПТ с различными регуляторами: красным – регулятор на основе fuzzy-логики; зеленым – регулятор на основе нейронной сети; синим – стандартный регулятор

Если регулятор на основе fuzzy-логики не подвергался корректировке, то с регулятором на основе нейронной сети пришлось провести переобучение на две отдельные нейронные сети, для каждого коэффициента регулятора отдельно, но все на тех же данных, полученных на модели с активно-индуктивной нагрузкой. Результаты регулятора на основе НС и регулятора на основе fuzzy-логики укладываются в 5% диапазон ошибки от значения задающего воздействия.

Вывод. Выполнен синтез систем управления АВН на основе замкнутой подчиненной двухконтурной системы управления с ПИ-регулятором напряжения в

ЗПТ и релейным регулятором тока; с fuzzy-регулятором напряжения в ЗПТ и регулятором напряжения в ЗПТ на основе нейронной сети. В системах со статической нагрузкой АВН с регуляторами на основе нечеткой логики или на нейронной сети получены близкие значения показателей качества энергопотребления как при синусоидальном питании, так и при несинусоидальном. Также регуляторы показали работоспособность и на модели с двигателем при синусоидальном изменении скорости.

В последующем предстоит рассмотреть работу систем при несимметрии фазных напряжений, более подробно описать связь параметров выходного напряжения и критериев настройки регуляторов, а также рассмотреть задачу при условии недостатка информации о системе.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введен 01.07.2014. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
2. Борисов П.А., Поляков Н.А., Томасов В.С. Энергетическая совместимость полупроводниковых преобразователей систем электропривода с питающей сетью. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2012. – 112 с.
3. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php, своб.
4. Званцев И. Нейронные сети: основные модели. Учебное пособие. – Воронеж: ВГУ, 1999. – 75 с.
5. Нечеткая логика, нейронные сети и генетические алгоритмы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_7.aspx, своб.
6. Farouk N., Bingqi T. Application of self-tuning fuzzy PID controller on the AVR system // International Conference on Mechatronics and Automation. – 2012. – V. 48. – P. 139–148.

Гирич Марина Андреевна
Год рождения: 1993
Факультет технологического менеджмента и инноваций, кафедра маркетинга и коммуникаций, группа № U4267c
Направление подготовки: 27.04.07 – Наукоемкие технологии и экономика инноваций
e-mail: ma.girich@mail.ru

УДК 339.138

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ МЕТОДИКИ ВЫРАБОТКИ БРЕНДИНГОВЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КРАУДСОРСИНГА

М.А. Гирич
Научный руководитель – к.э.н. А.А. Фенькин

Роль обычного потребителя в отношениях с компанией начала меняться несколько десятилетий назад. Уже сейчас потребитель желает приобретать не просто «товар для всех», а «индивидуальный товар».

В связи с этим сегодня в рамках современного подхода к ведению бизнеса все больше оправдывает себя теория «маркетинга взаимоотношений», когда происходит совместная работа покупателя и продавца, благо создается вместе с покупателем, а не для него. Покупатель, озвучивая свои потребности, может непосредственно влиять на будущий товар, в том числе и с помощью инструментов краудсорсинга [1–5].

Нельзя недооценивать вклад развития отношений между потребителем и компанией в брендинге, так как именно в сознании потребителя торговая марка приобретает статус бренда и именно потребитель коммуницирует с огромным числом брендов ежедневно.

Таким образом, можно говорить, что актуальность темы настоящей работы с одной стороны обусловлена ростом влияния потребителя на деятельность компании, а с другой стороны – недостаточной теоретической и практической проработкой инструментов краудсорсинга в брендинге.

Целью работы являлась разработка методики применения инструментов краудсорсинга в процессе выработки брендинговых решений. Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

– изучить теоретические аспекты формирования знаний в современных компаниях;
– проанализировать существующие области применения краудсорсинга;
– разработать метод оценки целесообразности применения краудсорсинга в брендинге;
– разработать предложения по развитию существующих методов выработки брендинговых решений посредством инструментов краудсорсинга;
– апробировать предложения по применению инструментов краудсорсинга на компаниях с несколькими направлениями деятельности.

Научная новизна:

1. разработка подхода к классификации сущности краудсорсинга;
2. составление классификации краудсорсинга (в сфере решения бизнес-задач) по областям реализации. Данная классификация прикладывается и к процессу выработки брендинговых решений для дальнейшего использования;
3. предложенный алгоритм последовательности действий для применения краудсорсинга на этапах брендинга. Разработанный алгоритм включает в себя метод оценки целесообразности применения инструментов краудсорсинга (также включается апробация данного алгоритма на проектах компаний).

В ходе работы проанализированы знания и интеллектуальный капитал компаний, его отличия от материального капитала и специфика создания и управления им, исследованы особенности осуществления моделей открытых и закрытых инноваций в деятельности компаний, рассмотрен краудсорсинг как частный случай модели открытых инноваций, а также сформирована классификация краудсорсинга в зависимости от подхода рассмотрения его сущности. Также проведен анализ существующих этапов выработки брендинговых решений, и рассмотрены особенности применения краудсорсинговых инструментов в брендинге. Автором сформирована система показателей и алгоритм для применения краудсорсинга (рис. 1).

Детально рассмотрено обоснование целесообразности применения краудсорсинга.

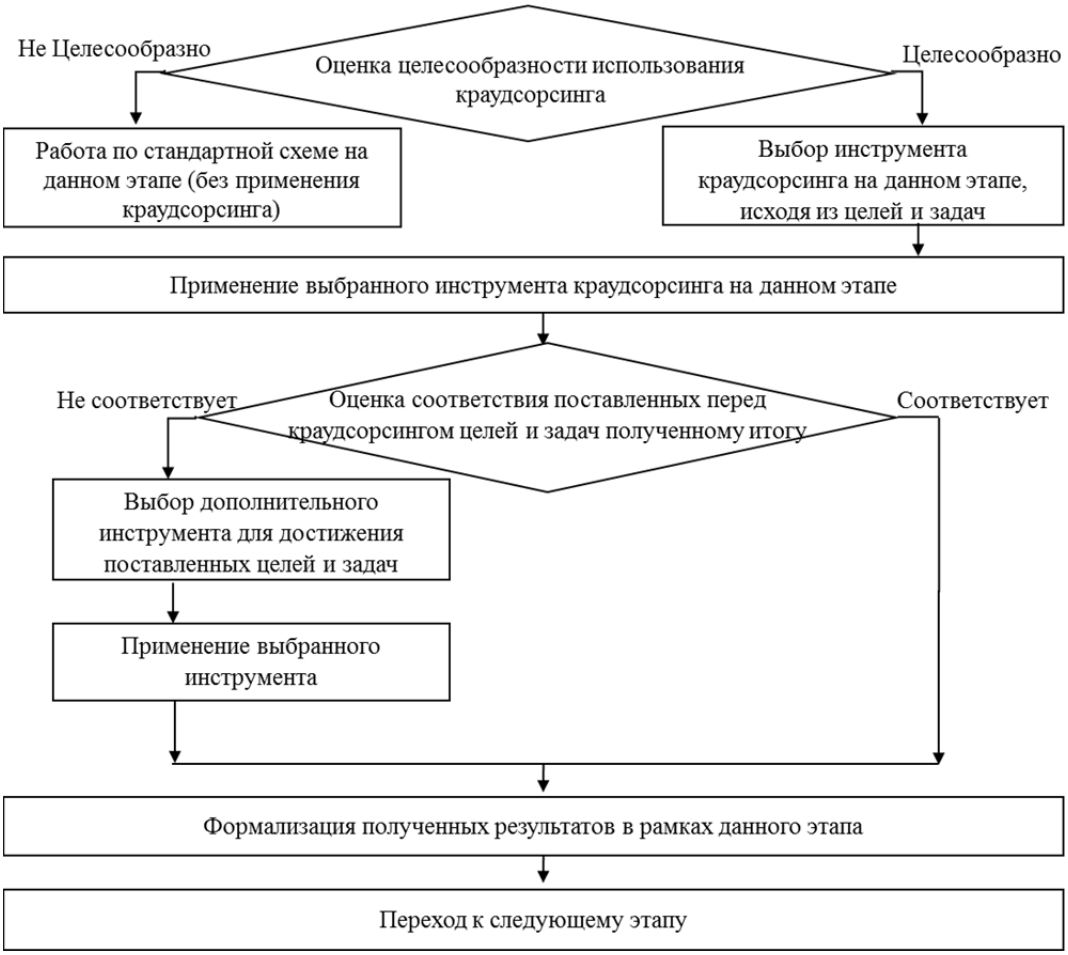


Рис. 1. Алгоритм применения инструментов краудсорсинга на каждом этапе выработки брендинговых решений

Предложено проводить оценку таких факторов как рынок и целевая аудитория с двух сторон – оценки степени влияния на компанию и соответствия заданным параметрам (рис. 2).

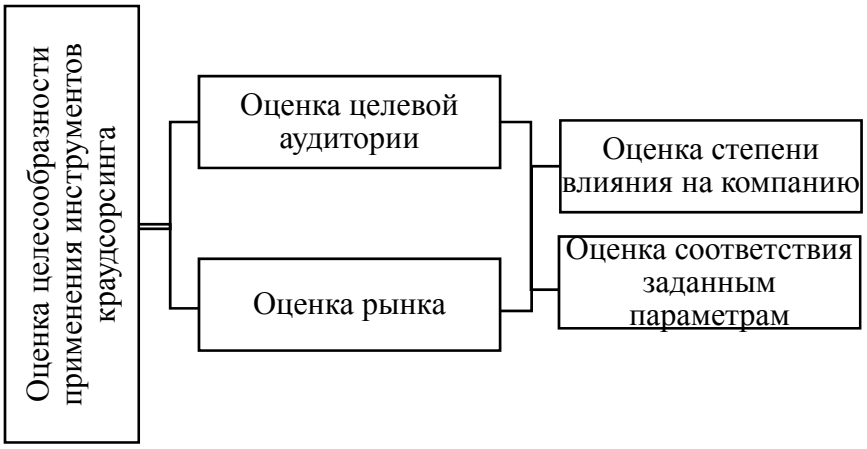


Рис. 2. Структура оценки целесообразности введения инструментов краудсорсинга

После проведения всех аналитических расчетов получаем четыре обобщенных показателя (P1, P2, P3, P4), по которым можем сделать обобщенный аналитический вывод о целесообразности применения краудсорсинга на том или ином этапе выработки брендинговых решений (таблица).

Таблица. Общий вывод по целесообразности применения краудсорсинга

Оценка целесообразности применения краудсорсинга в брендинге			
Степень влияния фактора на компанию		Соответствие заданным параметрам	
Целевая аудитория	Рынок	Целевая аудитория	Рынок
Р1	Р2	Р3	Р4
Аналитический вывод			
Вывод о степени влияние фактора на компанию	Вывод о степени влияние фактора на компанию	Вывод о соответствии параметрам	Вывод о соответствии параметрам
Общий вывод			
Вывод о целесообразности применения краудсорсинга			

Далее проведена апробация инструментов краудсорсинга в компаниях различных сфер деятельности, в том числе проанализирована оценка целесообразности применения краудсорсинга в том или ином случае.

В соответствии с поставленной целью и задачами работы, получены следующие основные выводы и результаты.

1. Рассмотрение теоретических основ формирования знаний в компании, в том числе и за счет взаимодействия с потребителем, повлекло за собой необходимость более глубокого изучения специфики краудсорсинга и его особенностей применения в брендинге.
2. Классифицирована сущность краудсорсинга по направлениям использования, выделена актуальная сущность краудсорсинга для данной работы.
3. На основе анализа существующих методов приложения краудсорсинга в различных сферах сформирована классификация бизнес-краудсорсинга, в которой выделены области реализации по выполняемым задачам. Это позволило в дальнейшей работе также структурировать поэтапную выработку брендинговых решений по выделенным областям реализации краудсорсинга.
4. Предложен алгоритм последовательности действий для применения краудсорсинга на этапах брендинга. Разработанный алгоритм включает в себя метод оценки целесообразности применения инструментов краудсорсинга при выработке брендинговых решений, позволяющий обеспечить информационную базу для принятия управленческих решений по введению инструментов взаимодействия с потребителем в ходе брендинговых работ. Метод детализирован и подробно описан в работе.
5. Рассмотрена возможность дополнения стандартной схемы выработки брендинговых решений инструментами краудсорсинга на каждом этапе работ, что позволяет вовлекать потребителя в процесс создания бренда, наращивать эффективность коммуникаций потребителя с брендом, тем самым повышая узнаваемость бренда и лояльности потребителей.
6. Методика применения инструментов краудсорсинга апробирована на компаниях различных сфер деятельности, что позволяет говорить о практической применяемости разработанной модели.

Литература

1. Аакер Д. Создание сильных брендов. – М.: Изд. дом Гребенникова, 2008. – 440 с.
2. Гвоздецкая И.В. Стратегическое развитие брендов компании // Бренд-менеджмент. – 2012. – № 3. – С. 172–180.

3. Панкрухин А.П. Краудсорсинг – соблазнительный маркетинговый агрессор: принципы, содержание, технологии // Практический маркетинг. – 2011. – № 1. – С. 3–10.
4. Хау Дж. Краудсорсинг: Коллективный разум как инструмент развития бизнеса: Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишер, 2014. – 288 с.
5. Чесбро Г. Открытые инновации. – М.: Поколение, 2007. – 336 с.

Горшечникова Елена Александровна
Год рождения: 1994
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, группа № Р4203
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: stackframe01@gmail.com

УДК 004.272.4

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВСТРАИВАЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ МУЛЬТИПРОЦЕССНОЙ МОДЕЛИ

Е.А. Горшечникова
Научный руководитель – к.т.н., доцент П.В. Кустарев

Раньше встраиваемые системы взаимодействовали с физической средой, получая сильно ограниченный объем информации и имея ограниченные возможности воздействия на физический объект посредством актуаторов. Однако сегодня они значительно сильнее интегрированы с реальным миром, снимают и обрабатывают данные с огромного количества датчиков одновременно. А так как окружающий мир является многозадачным, то возникает предложение повысить эффективность обработки больших объемов потоков данных, параллельных в реальном времени, за счет параллелизма обработки [1–5].

Физический вычислительный параллелизм может рассматриваться как способ организации системы, при котором происходит единовременное исполнение нескольких задач – многозадачность, поддерживаемая аппаратно. Многозадачность допускает, но не подразумевает обязательного взаимодействия и синхронизации задач. Чтобы подчеркнуть, что такая организация доведена до уровня аппаратно-программной архитектуры без эмуляции (виртуализации) параллельных процессов и механизмов их взаимодействия, будем называть такие системы мультипроцессными. Подобная организация дает возможность повысить степень гранулярности и автономности вычислительных процессов. И тем самым увеличить производительность системы за счет параллельного исполнения задач на аппаратном уровне и отсутствия ресурсных и временных затрат на поддержку механизма виртуализации.

В работе были исследованы подходы к проектированию мультипроцессных систем. Было решено разделить их на две основные категории, отличающиеся способом реализации параллельных вычислений (они характеризуются степенью гранулярности задачи): программно-интенсивный и аппаратно-интенсивный подходы.

Программно-интенсивные системы предоставляют большие возможности программной реконфигурации системы, обеспечивая гибкость и масштабируемость. Однако используемая виртуализация ресурсов подразумевает постоянное

переключение контекста между процессами. Это приводит к тому, что при большом количестве процессов производительность системы не только не увеличивается за счет архитектуры, но и может снижаться за счет нехватки ресурсов.

Аппаратно-интенсивный подход предполагает, что части системы, позволяющие процессам выполняться одновременно и независимо друг от друга, выносятся в автономные аппаратные блоки (в идеальной системе количество таких блоков равно количеству процессов в ней). Вычислительные задачи в такой системе являются крупногранулярными, что позволяет создать систему с максимально ресурсно и темпорально независимыми друг от друга процессами и добиться ее высокой надежности, несмотря на меньшую гибкость, чем у программно-интенсивных систем.

Для того чтобы зафиксировать архитектуру мультипроцессной системы, необходимо использовать модель соответствующего типа. В качестве базовых мультипроцессных моделей были рассмотрены модели акторов, модель CSP, сети процессов Кана и сети Петри, и отмечены основные особенности их реализации. Так как взаимодействие процессов сведено к минимуму, то использование модели акторов не является релевантным из-за высокой сложности протоколов взаимодействия между акторами. Модель CSP предполагает наличие общей памяти у множества процессов, что противоречит идее автономной мультипроцессности. С учетом того, что не предполагается передача больших объемов данных между процессами, сети Петри позволяют избежать сложностей при организации памяти, как например, в случае с сетями процессов Кана с FIFO-буферами неограниченной длины. Кроме того, ограничения длины очереди позволяют предотвратить перегрузки процессов неактуальными задачами, а дополнительные временные штампы меток и цветовая типизация, введенная в сетях Петри, позволяют в явном виде моделировать реальное время. По результатам сравнительного анализа было принято решение использовать в качестве базовой модели вычислений раскрашенные сети Петри.

В качестве системы для демонстрации аппаратно-интенсивного подхода к проектированию на базе мультипроцессной модели была выбрана система управления комплексом роботов-манипуляторов. Каждый манипулятор оснащен датчиками движения, давления, и три линии работают единовременно в режиме реального времени. Таким образом, подобная система обладает естественным параллелизмом и строго определенным алгоритмом функционирования, что позволяет представить ее в виде мультипроцессной модели без дополнительных преобразований.

После выбора структуры системы и разработки алгоритма управления архитектура системы (рис. 1) формализуется в форме раскрашенных сетей Петри. С помощью средств, предоставляемых математическим аппаратом раскрашенных сетей Петри, описаны действия манипуляторов. Помимо математической интерпретации архитектуры системы такое моделирование позволяет осуществить предварительный анализ системы. Для дальнейшего проектирования системы необходимо представить механизм иерархического взаимодействия процессов.

В модели взаимодействия можно явно выделить два уровня – уровень исполнения и уровень управления. Исполнительная часть системы представляет собой множество процессов – автономно функционирующих подсистем, реализующих циклическую последовательность шагов. В рамках цикла шаги имеют фиксированный порядок и длительность выполнения, т.е. реализуется жесткое временное планирование. Второй уровень системы – управляющий. Управление процессов осуществляется одним или несколькими процессами-планировщиками, которые

отвечают за конфигурирование и запуск/остановку исполнительных процессов с определенным набором параметров и приоритетов.

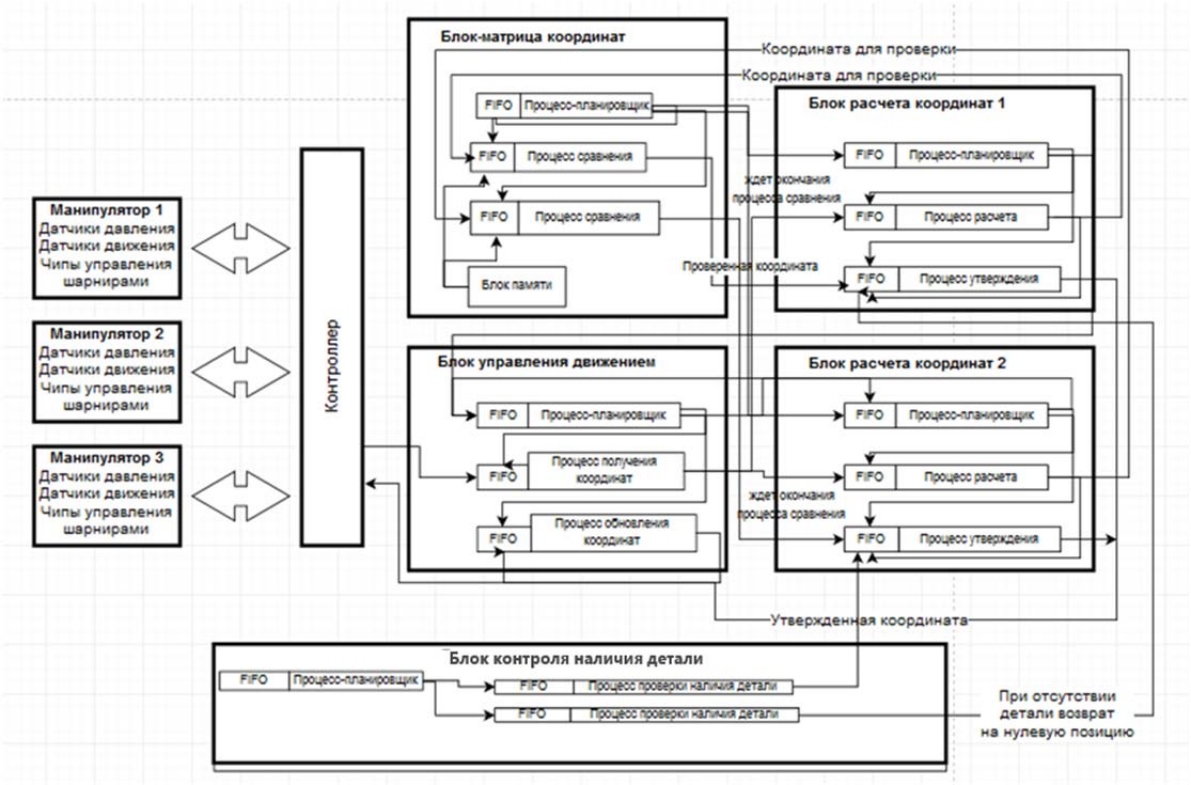


Рис. 1. Архитектура системы

Следующим шагом для дальнейшего проектирования системы является трансляция элементов исполняемой модели в элементы архитектуры. После преобразования был получен набор блоков, отвечающих за расчет координат, за контроль наличия детали в руке манипулятора, за качеством обработки детали.

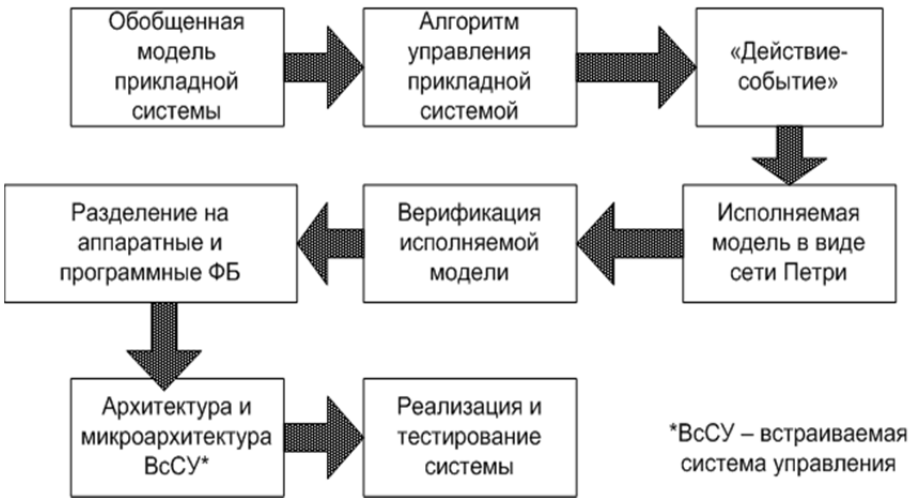


Рис. 2. Алгоритм проектирования встраиваемой системы управления

Также необходимо решать задачу синхронизации большого количества параллельных процессов и организации их управления с учетом ограничений реального времени. Изначальной идеей мультипроцессности является повышение производительности системы путем исключения программной виртуализации и сведение к минимуму связей между процессами, что исключает использование

механизма децентрализованного арбитража с единой шиной между функциональными блоками (ФБ). Следовательно, необходима организация централизованного арбитража и управления блоками системы. В исполняемой модели такой арбитраж был реализован в виде набора программных таймеров с условиями переходов. На аппаратном уровне в соответствие могут быть поставлены равноинтервальный и программируемый аппаратные таймеры, программируемое ядро-планировщик и планировщик, реализованный с помощью конечных автоматов.

По результатам исследования сформулирован типовой алгоритм проектирования системы управления, который может быть использован как некий технологический шаблон для проектирования встраиваемых систем (рис. 2).

В работе был рассмотрен круг вопросов, относящийся к проблеме проектирования выстраиваемых мультипроцессных систем с ограничениями реального времени. Достигнуты следующие результаты.

1. Сформулирован принцип мультипроцессности для систем с параллелизмом. Мультипроцессность предполагает мультизадачный режим работы системы со сведением к минимуму степени программной виртуализации ресурсов и межпроцессного взаимодействия.
2. Проведен анализ подходов к проектированию мультипроцессных систем. По результатам анализа выбран аппаратно-интенсивный подход к реализации системы, как дающий наибольшее повышение производительности для систем с высокой степенью параллелизма.
3. Проведен анализ вариантов построения мультипроцессных систем. Выполнен сравнительный анализ моделей параллельных вычислений, позволяющих провести формализацию мультипроцессности. По результатам исследования для формализации выбрана модель вычислений раскрашенных сетей Петри, которые позволяют организовывать очереди конечной длины и эмулировать реальное время за счет «цветовой» типизации и временных штампов. Выделены основные проблемы их аппаратной реализации, и предложены варианты их решения.
4. Разработана архитектура такой системы на основе ее мультипроцессной модели, согласно которой система может быть реализована аппаратно и протестирована.
5. Разработан алгоритм проектирования встраиваемой системы управления.

Литература

1. Таненбаум Э.С. Архитектура компьютера. – 4-е изд. – СПб.: Питер-пресс, 2002. – 704 с.
2. Kustarev P., Bikovsky S., Antonov A., Yanalov R. Process control and synchronization patterns for SOC. 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. – 2014. – V. 1. – № 2. – P. 287–294.
3. Tullsen D., Eggers S. and Levy H. Simultaneous multithreading: Maximizing on-chip parallelism // Proceedings of the 22nd Annual International Symposium on Computer Architecture. – 1995. – P. 533–544.
4. Lee E., Neuendorffer S. and Wirthlin M. Actor-oriented design of embedded hardware and software systems // Journal of Circuits, Systems, and Computers. – 2003. – V. 12. – № 3. – P. 231–260.
5. Jensen K. Colored Petri Nets. Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. – Springer-Verlag, 1997. – V. 1–3. – 673 p.

Гощар Ольга Игоревна
Год рождения: 1985
Естественнонаучный факультет, кафедра промышленной экологии, группа № А4230
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: berenika24@yandex.ru

УДК 504.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СКОРОСТНЫХ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НА КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

О.И. Гощар
Научный руководитель – к.х.н., ст.н.с. С.Б. Томилов

Одной из приоритетных задач, стоящих перед дорожной отраслью России, является снижение негативного воздействия дорожно-транспортного комплекса на окружающую среду. Автомобильные дороги, как инженерные сооружения воздействуют на природные ландшафты, вызывая различные формы загрязнения, изменяя режим стока поверхностных и грунтовых вод, способны заметно изменить условия местообитаний флоры и фауны, миграционные пути животных.

В последние десятилетия в связи с быстрым развитием автомобильного транспорта существенно обострились проблемы воздействия его на окружающую среду. Транспортно-дорожный комплекс является мощным источником загрязнения природной среды. Из 35 млн т вредных выбросов 89% приходится на выбросы автомобильного транспорта и предприятий дорожно-строительного комплекса. Существенна роль транспорта в загрязнении водных объектов. Кроме того, транспорт является одним из основных источников шума в городах и вносит значительный вклад в тепловое загрязнение окружающей среды.

Россия занимает пятое место в мире по общей протяженности автомобильных дорог. Общая протяженность дорог общего пользования в России превышает 1 млн 396 тыс. км., а автомагистралей – 929 тыс. км.

Темпы строительства и реконструкций автомагистралей в нашей стране возрастают с каждым годом. Однако влияние автодорог на окружающую среду, в особенности на стадии строительства, еще недостаточно изучено.

В процессе осуществления работ по строительству автомагистралей можно выделить следующие виды негативного воздействия на окружающую природную среду: загрязнение атмосферы строительной техникой, загрязнение почвы тяжелыми металлами, загрязнение водных объектов нефтепродуктами, изменение рельефа и структуры ландшафтов, отчуждение земель, изменение среды обитания живых организмов и их гибель, изменение гидрологического режима рек, вибрационное воздействие, повышенный уровень шума при работе строительной техники [1].

Строительство автомагистралей оказывает негативное влияние не только на природную среду, но и на здоровье и жизнь человека. Зачастую строительство проходит в непосредственной близости с жилыми постройками, сельскохозяйственными угодьями, речками рыбохозяйственного назначения, что может стать причиной повышенной заболеваемости и смертности населения. Исходя из этого, экологизация автотранспортного комплекса должна стать одной из приоритетных задач, стоящих перед дорожной отраслью России.

Для исследования влияния автомагистралей Ленинградской области, находящихся на стадии строительства, на окружающую природную среду были выбраны трассы «Скандинавия» и М-11.

Федеральная автомобильная дорога А-181 «Скандинавия» – автомобильная дорога федерального значения. Она начинается от границы города Санкт-Петербурга и заканчивается на границе с Финляндией. Протяженность дороги составляет 160,56 км. Исследование дороги проводилось на участке от границы Сестрорецка до поселка Огоньки, где с 2015 года проходит реконструкция автодороги. На трассе наблюдается достаточно интенсивное движение транспортных средств.

Автомагистраль М-11 – скоростная автомобильная дорога Москва-Санкт-Петербург. Данная автомагистраль находиться в стадии строительства. Протяженность дороги должна составить примерно 700 км. Исследование автомагистрали осуществлялось на первом участке дорог примерно от границы города Санкт-Петербурга до Тосненского района. Автомагистраль строится параллельно трассе М-10. Поток транспортных средств в непосредственной близи строительства трассы М-11 достаточно слабый.

В ходе исследования данных автомагистралей были отобраны пробы почв для определения содержания металлов, и пробы воды для определения концентрации нефтепродуктов.

В ходе отбора проб непосредственно на объектах строительства были выявлены сильные негативные воздействия при организации строительных работ данных автомагистралей, такие как: проезд строительной техники через русло реки рыбохозяйственного назначения, отсутствие организованного места сбора бытового мусора рядом с бытовыми помещениями (бытовками) рабочих, ненадлежащая организация санитарно-бытовых помещений. Возникновение данных негативных воздействий можно связать с недостаточным контролем со стороны руководства организаций, осуществляющих строительные работы и недостаточным знанием экологических требований ответственных лиц непосредственно на объектах строительства.

Определение нефтепродуктов в воде осуществлялось на лабораторном анализаторе нефтепродуктов АН-2. На трассе «Скандинавия» концентрация нефтепродуктов в пробах воды варьирует в пределах от 40 до 90 мг/л. Высокое значение концентрации нефтепродуктов в пробах воды на трассе «Скандинавия» может быть обусловлено достаточно плотным потоком транспортных средств, осуществляющих движение по данной автомагистрали.

Определение концентрации металлов в пробах почв осуществлялось на рентгеновском аппарате для спектрального анализа Спектроскан Макс. В пробах почв, отобранных на трассе М-11, выявлено превышение предельно допустимых концентраций по следующим элементам: цинк, медь и никель. При анализе проб почв, отобранных на трассе «Скандинавия», превышение предельно допустимых концентраций металлов выявлено по следующим элементам: свинец, цинк, медь, никель и кобальт. Графики, отражающие превышение показателей предельно допустимых концентраций (ПДК) в пробах почв на трассе «Скандинавия» и М-11, приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

Как видно из результатов анализа проб воды и почвы производство строительных работ автомагистралей М-11 и «Скандинавия» оказывает ощутимое негативное воздействие на окружающую природную среду.

Исследуемый участок трассы «Скандинавия» в нескольких точках пересекает реку Сестру, которая является рекой рыбохозяйственного назначения. В данной реке водятся такие виды рыб как: форель, хариус, окунь, щука, плотва, ерш, елец и другие.

На реке активно развивается туризм и рыболовство, на ее берегах расположены дачные и коттеджные поселки [2]. Тяжелые металлы, которые попадают в реку, вымываясь из почвы, и повышенная концентрация нефтепродуктов могут оказать пагубное воздействие не только на природную среду, но и на здоровье и жизнь людей, проживающих в данной районе.

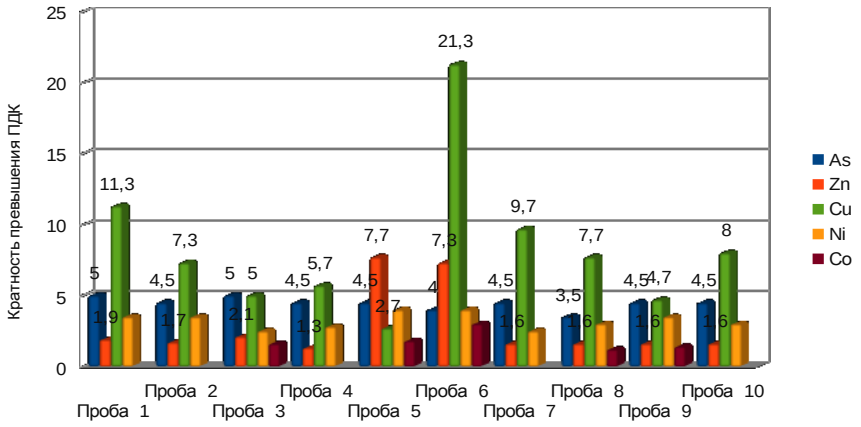


Рис. 1. Кратность превышения ПДК в пробах почв с трассы «Скандинавия»

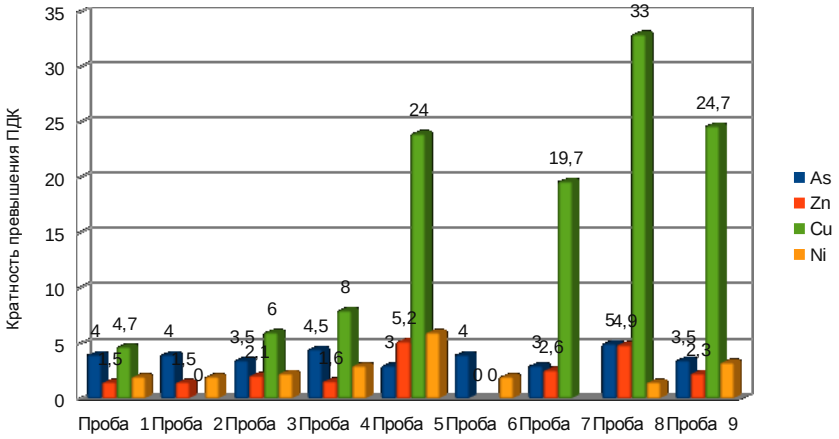


Рис. 2. Кратность превышения ПДК в пробах почв с трассы М-11

Участок трассы М-11, на котором производился отбор проб, находится в непосредственной близости с сельскохозяйственными угодьями. Превышение ПДК металлов в почвах сельскохозяйственных земель также может оказать крайне негативное влияние на здоровье людей.

Так как при производстве строительных работ автомагистралей наблюдается значительное негативное воздействие на природную окружающую среду и на здоровье и жизнь населения, одним из наиболее приоритетных направлений государственных органов и руководителей организаций должно являться внедрение мероприятий по минимизации данного негативного воздействия.

Одним из направлений по снижению негативного воздействия на окружающую природную среду являлся пересмотр нормативных требований содержаний химических веществ в объектах окружающей природной среды [3].

Также крайне важно еще на этапе проектирования строительства учесть все возможные факторы негативного влияния на окружающую природную среду и разработать детальные мероприятия и предложения по снижению воздействия.

Необходимо проводить всесторонние исследования природных экосистем до начала строительства.

При производстве строительных работ необходимо соблюдать все требования природоохранного законодательства. Использовать современные технологии и технику при строительстве автомагистралей. Строго соблюдать технологию строительства.

Необходимо повышать уровень знаний в сфере экологии людей, ответственных за производство строительных работ, и рабочих организаций, осуществляющих строительство автомобильных дорог. Осознанность работников в вопросах экологии и природоохранного законодательства позволит более эффективно внедрять мероприятия по минимизации негативного воздействия на окружающую природную среду.

Крайне важно осуществлять постоянный экологический контроль как со стороны заказчика, так и со стороны государственных органов. Возможно привлечение независимых экспертов и общественных организаций для более объективной оценки деятельности организации, осуществляющей строительство автомагистрали [4].

Литература

1. Паршина Е.И. Охрана окружающей среды в дорожном строительстве. Учебное пособие. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – 104 с.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vsereki.ru, своб.
3. Горький А.В. Контроль качества почв и грунтов Ленинградской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rgec.ru/downloads/lenobl2006.pdf, своб.
4. COUNTRY COMPARISON: ROADWAYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2085rank.html, своб.

Добриборщ Дмитрий
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, группа № Р4235
Направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника
e-mail: dmitrii.dobriborsci@corp.ifmo.ru

УДК 681.52

СИНТЕЗ ПРОСТЫХ АЛГОРИТМОВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ ПО ВЫХОДУ

Д. Добриборщ
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.Н. Герасимов

Одним из актуальных направлений исследования адаптивного и робастного управления является решение задач построения достаточно простых алгоритмов управления объектами с неизвестными параметрами. Под «простыми алгоритмами» понимается уменьшение количества арифметических операций в структуре контроллера и количества измеряемых переменных, понижение динамического порядка системы и снижение количества настраиваемых параметров. Данное направление исследования является актуальным, так как существующие решения

обладают сложностями даже для простых моделей объектов. **Цели работы** заключались в синтезе простых алгоритмов адаптивного управления линейными системами по выходу, а также его практическая реализация на подвижной платформе с двумя степенями свободы. При решении практических проблем может оказаться, что ряд характеристик реального объекта могут быть заранее неизвестными или меняться в процессе его функционирования. В адаптивных системах управления недостаток априорной информации восполняется в процессе ее функционирования на основе текущих данных о поведении объекта. Эти данные обрабатываются в реальном масштабе времени и используются для повышения качества системы управления. Особый интерес получили задачи адаптивного управления с эталонной моделью линейным параметрически неопределенным объектом без измерения производных регулируемой переменной. Сегодня получено множество решений как в классе задач адаптивного, так и в классе задач робастного управления. Эти методы служат для построения систем управления при значительной неопределенности параметров объекта управления и условий его функционирования (характеристик среды), имеющейся на стадии проектирования или до начала эксплуатации системы [1–4].

Представим линейную систему в форме вход–выход

$$y^{(n)} + a_{n-1}y^{(n-1)} + a_{n-2}y^{(n-2)} + \cdots + a_0 y = b_m u^{(m)} + \cdots + b_0 + \delta, \quad (1)$$

где n – порядок модели; u – сигнал управления; y – регулируемая переменная; δ – внешнее ограниченное возмущение, $a_i,\ b_j \quad i = \overline{0, n-1},\ \ j = \overline{0, m},$ – неизвестные постоянные параметры. Все производные y являются неизмеряемыми. Эталонная модель вида (1) задает желаемое поведение выходной переменной y

$$y_m = \frac{k}{\alpha(\mathrm{p})} g, \quad (2)$$

где $k > 0$; g – сигнал задания; $\alpha(p)$ – гурвицев полином $\alpha^{\rho} + p_{\rho-1}\alpha^{\rho-1} + \ldots + \alpha_0$, с постоянными параметрами p_i.

Принимаются следующие допущения.

1. Объект является минимально-фазовым.
2. Относительная степень системы (1) $\rho = n - m$ будем считать известной.
3. Объект является полностью управляемым и полностью наблюдаемым.
4. Сигнал эталонной модели y_m, измеряемый, и удовлетворяет условию

$$\left|\frac{d^i y^*}{dt^i}\right| \le C_0 < \infty,$$

где $i = \overline{1, \rho}$.

С учетом приведенных допущений можно сформулировать цель управления. Для линейного стационарного объекта произвольной относительной степени, с неизвестными параметрами и неизмеряемым вектором состояния синтезировать закон управления простой структуры, обеспечив слежение выхода объекта за эталонным сигналом, т.е. выполнение целевого условия:

$$|y - y_m| \le \Delta, \forall t \ge T, \quad (3)$$

где Δ – некоторая малая окрестность.

Алгоритм управления. Для решения поставленной задачи предлагается алгоритм управления, содержащий в себе настраиваемый одним параметром регулятор, наблюдатель, оказывающий информационную поддержку регулятору, и алгоритм адаптации, генерирующий параметр ω, который осуществляет настройку

регулятора и наблюдателя. Таким образом, синтез алгоритма адаптивного управления разбивается на три этапа.

Этап 1. Наблюдатель с высоким коэффициентом усиления. Рассмотрим наблюдатель вида

$$\dot{\hat{e}}(t) = \hat{A}(\omega)\hat{e} + \hat{b}(\omega)\boldsymbol{\varepsilon}(t)$$
$$\boldsymbol{\varepsilon}(t) = C\hat{e} = y - y_m. \qquad (4)$$

где $A(\omega) = \begin{vmatrix} -p_{r-1}\omega & 1 & 0 & & \\ -p_{r-2}\omega^2 & 0 & 1 & & \\ \vdots & \cdots & & \cdots & \cdots \\ -p_1\omega^{r-1} & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -p_0\omega^r & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{vmatrix}$, $\hat{b}(\omega) = \begin{vmatrix} p_{r-1}\omega \\ p_{r-2}\omega \\ \cdots \\ p_1\omega^{r-1} \\ p_0\omega^r \end{vmatrix}$, $C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \ldots & 0 \end{bmatrix}$.

Для реализации данного типа наблюдателя должна быть известна только относительная степень ρ. Применяемый наблюдатель позволяет осуществлять оценку ошибки по управлению при стремлении параметра ω к бесконечности, который генерируется алгоритмом адаптации.

Этап 2. Алгоритм адаптации. Адаптация коэффициентов усиления наблюдателя и регулятора выбираются таким образом чтобы они усиливались до тех пор пока ошибка слежения не установится в окрестности Δ, которая задается пользователем путем изменения параметра $\lambda > 0$

$$\dot{\omega}(t) = \frac{\gamma}{\omega^{\rho}} \begin{cases} |\varepsilon| - \lambda, \text{ если } |\varepsilon| > \Delta \\ 0, \text{ если } |\varepsilon| \le \Delta \end{cases}. \qquad (5)$$

Этап 3. Настраиваемый регулятор.

Рассмотрим регулятор вида

$$u = -K^T(\omega)\hat{e}, \qquad (6)$$

где $\hat{e}$ – оценка ошибки по управлению; $K(\omega) = \left[k_0\omega^{\rho}, ..., k_{\rho-1}\omega\right]$; k_i – постоянные коэффициенты гурвицева полинома. Регулятор настраивается одним параметром ω, генерируемый алгоритмом адаптации вида (5). Информационную поддержку оказывает наблюдатель вида (4).

Для доказательства работоспособности предлагаемого алгоритма вводится теорема, которая гласит, что для любой линейной системы с известной относительной степенью и ограничением нижней границы высокочастотного усиления, может быть разработан регулятор вида (6), с гарантией того, что все состояния и параметры адаптации остаются ограниченными и что ошибка слежения асимптотически сходится к окрестности Δ. Размеры данной окрестности выбираются пользователями и, как правило, зависят от технических характеристик исследуемой модели и требуемых показателей качества.

Результаты моделирования приведены на рис. 1.

Эксперимент. Для проведения эксперимента был разработан лабораторный стенд «Ball and Plate», включающий в себя платформу, приводимую в движение двумя сервоприводами, систему видеозрения для определения положения объекта на платформе и управляющую плату DFRduino Romeo v.1, осуществляющую обработку сигналов, поступающих с компьютера по интерфейсу USB и передачи необходимых значений углов на сервоприводы. Задача состояла в стабилизации объекта управления на платформе в заданных координатах. Управление осуществлялось по двум каналам: осям *X* и *Y*. Графики переходных процессов в ходе эксперимента по обоим каналам приведены на рис. 2.

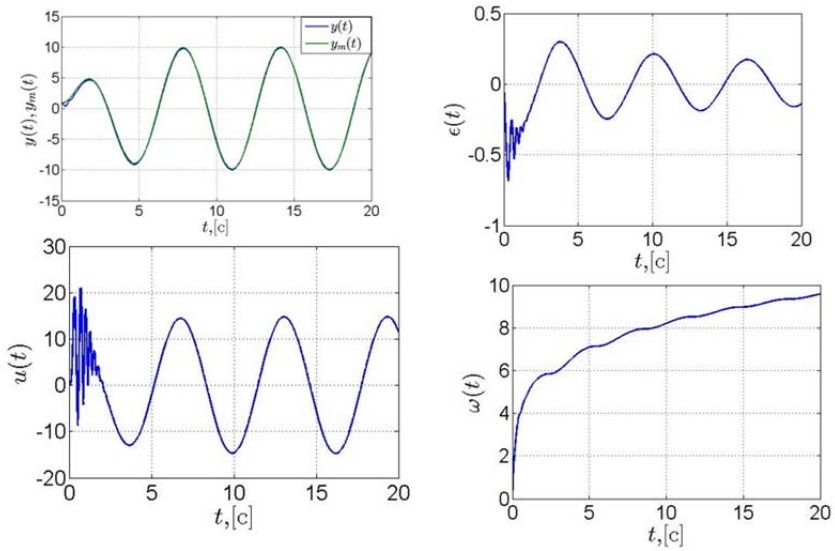


Рис. 1. Графики переходных процессов в результате моделирования

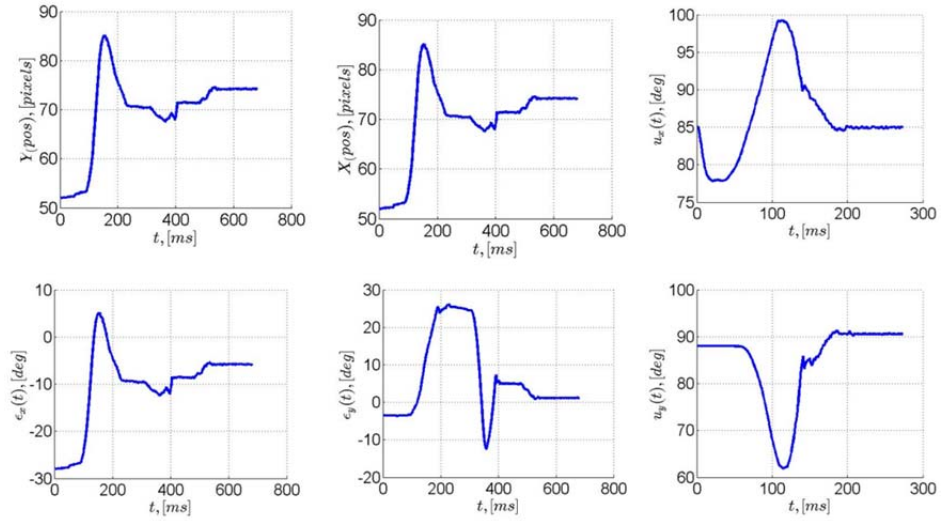


Рис. 2. Переходные процессы в ходе эксперимента

По итогам эксперимента можно сделать вывод о том, что задача слежения по выходной переменной выполняется. Объект стабилизирован в заданных координатах.

Заключение. В результате работы был получен алгоритм адаптивного управления линейными системами по выходу простой структуры. Результаты компьютерного моделирования показывают высокую точность и быстродействие регулятора. Была проведена практическая реализация, синтезированного алгоритма на разработанном лабораторном стенде «Ball and Plate». В ходе эксперимента объект управления был стабилизирован на платформе в заданных координатах. Дальнейшие исследования по рассматриваемой тематике видятся авторами в компенсации внешних возмущений, а также в учете возможных помех в каналах связи в системе управления.

Литература

1. Nicosia S., Tornambe A. High – gain observers in the state and parameter estimation of robots having elastic joints // Syst. Control Lett. – 1989. – № 13(4). – P. 331–337.

2. Allgower F., Bullinger E. Adaptive X-tracking for linear systems with higher relative degree // 14th IFAC World Congress. – 1999. – P. 84–90.
3. Kanellakopoulos I., Kokotovic P.V., Morse A.S. Systematic design of adaptive controllers for feedback linearizable systems // IEEE Trans. On Automatic Control. – 1991. – V. 36. – P. 1241–1253.
4. Kassem A., Haddad H., Albitar C. Commparison Between Different Methods of Control of Ball and Plate System with 6DOF Stewart Platform // 1st IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems. – 2015. – P. 47–52.

Егорова Дарья Андреевна
Год рождения: 1992
Факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра световодной фотоники, группа № К4206
Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: dashaegorova18@gmail.com

УДК 681.787

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ПОЛЯ ДЛЯ ЗАПИСИ ДИФРАКЦИОННЫХ СТРУКТУР В ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

Д.А. Егорова
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Куликов

Работа выполнена в рамках темы НИР № 350881 «Исследование и разработка высокостабильного низкокогерентного волоконного источника оптического излучения для высокоточных волоконно-оптических гироскопов навигационного класса точности».

В настоящее время дифракционные структуры в волоконных световодах находят широкое применение в оптике. Примером структур такого типа являются волоконные брэгговские решетки (ВБР). Световод с массивом ВБР рассматривается как один из наиболее перспективных чувствительных элементов фазовых волоконно-оптических датчиков физических величин [1]. Такие интерферометрические датчики могут служить чувствительными элементами в таких устройствах, как донная сейсмическая коса и буксируемая гидроакустическая антенна, применяемые для исследований запасов углеводородов на шельфе.

Интерферометрический метод – один из распространенных методов для записи дифракционных структур в волоконных световодах. Существуют различные интерферометрические схемы для реализации данного метода [2]. Каждая схема имеет свои преимущества и недостатки. Моделирование и исследование формирования интерференционного поля необходимо для того, чтобы получить в результате качественную дифракционную структуру в волоконном световоде. При этом период интерференционной картины может быть как постоянным, так и переменным (чирпинг).

Как уже было отмечено выше, запись качественной дифракционной структуры в световоде возможна лишь при высокой стабильности интерференционной картины. Компьютерная модель интерферометра позволяет рассчитать оптимальные параметры оптических компонентов, геометрию схемы для формирования интерференционного поля с последующей практической реализацией.

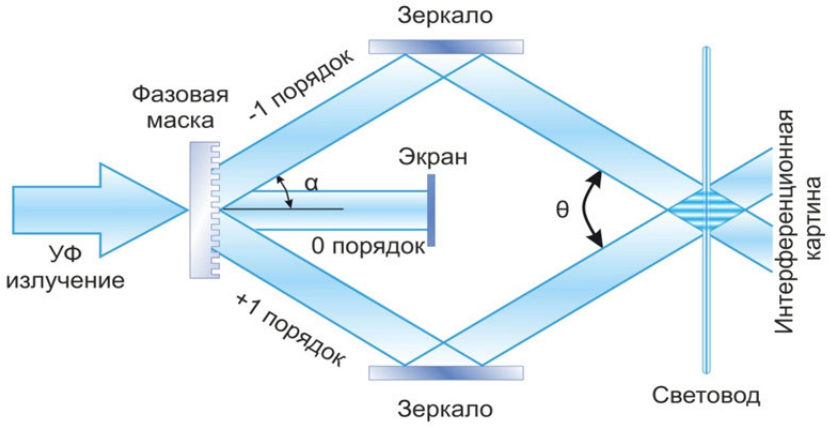


Рис. 1. Схема интерферометра Тальбота

Сравнив преимущества и недостатки оптических схем для создания дифракционных структур, можно сделать вывод, что наиболее оптимальный интерферометр для моделирования – интерферометр Тальбота (рис. 1). Главным преимуществом данного интерферометра является то, что он позволяет изменять период интерференционного поля в широком диапазоне без замены оптических компонентов. Также возможно получить апериодическую дифракционную структуру, добавив в схему цилиндрическую линзу с отрицательным фокусным расстоянием [3]. Интерферометр Тальбота значительно снижает требования к пространственной когерентности ультрафиолетового (УФ) излучения и позволяет использовать эксимерный лазер, с длиной волны излучения 248 нм.

Моделирование интерферометра Тальбота с постоянным периодом интерференционной картины. Для построения модели интерферометра Тальбота была выбрана программная среда для расчета оптических систем ZEMAX [4]. В ней есть все необходимые функции для построения модели и возможность моделирования энергетических и фазовых характеристик.

Модель интерферометра Тальбота с постоянным периодом интерференционной картиной состоит из источника оптического излучения (ОИ) с длиной волны 248,4 нм, фазовой маски с периодом 1 мкм, двух зеркал, поглощающего экрана для 0 периода и детектора, регистрирующего оптическое излучение (рис. 2).

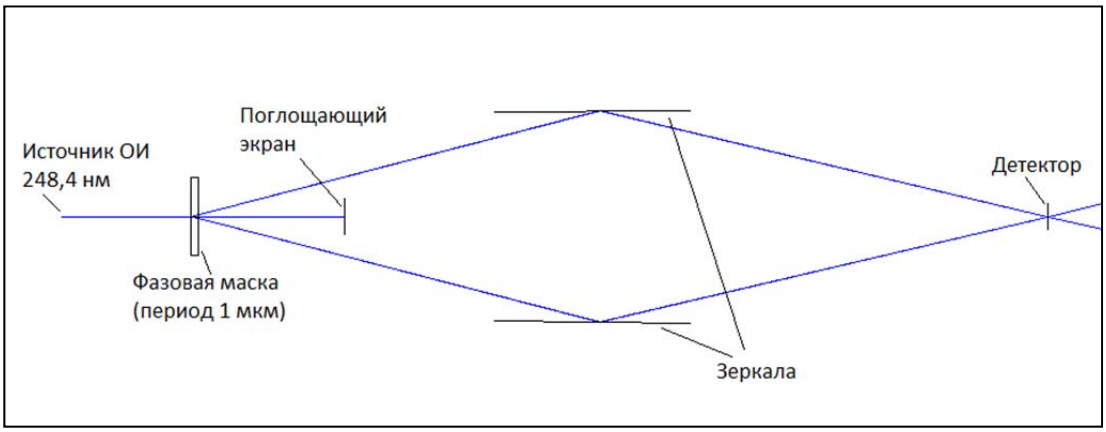


Рис. 2. Оптическая схема интерферометра Тальбота в ZEMAX

Полученные интерференционные картины в процессе моделирования сохранялись в виде массива данных. Массив обрабатывался в приложении MATHLAB. Период картины определялся из среднего значения.

Экспериментальная запись проводилась на интерферометре Тальбота эксимерным лазером на длине волны 248,4 нм. На спектроанализаторе снимался спектр отражения от решетки Брэгга с центральной длиной волны Брэгга ($\lambda_{Бр}$).

Также проводилась дополнительная запись решеток Брэгга методом фазовой маски для определения эффективного показателя преломления волокна, используемого при расчете периода решетки Брэгга:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda . \quad (1)$$

В таблице для сравнения приведены периоды интерференционной картины, полученные теоретически и в процессе моделирования, и периоды решеток Брэгга, записанные с помощью интерферометра Тальбота.

Таблица. Сравнительные данные

φ, °	$\Lambda_{теор}$, нм	$\Lambda_{модел}$, нм	$\Lambda_{экспер}$, нм
0	500,000	500,00	–
0,3	521,317	521,375	521,646
			521,733
			521,702
0,4	528,845	528,875	529,099
			529,023
			529,185
0,5	536,601	536,624	536,735
			536,815
			536,797

Результаты, представленные в таблице, демонстрируют хорошую сходимость.

Моделирование интерферометра Тальбота с переменным периодом интерференционной картины. За основу модели был взят интерферометр Тальбота с цилиндрической линзой, установленной за фазовой маской. Оптическая схема модели представлена на рис. 3.

Параметры основных оптических компонентов такие же, как при моделировании интерферометра Тальбота с постоянным периодом интерференционной картины. Угол поворота зеркал был определен исходя из условий: длина волны Брэгга 1550 нм, эффективный показатель преломления 1,452.

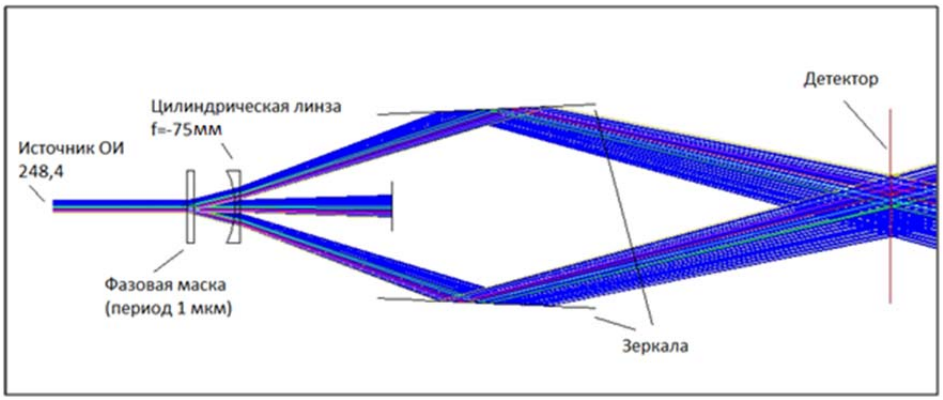


Рис. 3. Оптическая схема интерферометра Тальбота с цилиндрической линзой в ZEMAX

На рис. 4 изображен график зависимости периода интерференционной картины от координаты по оси *Y* при различном расстоянии *L* между фазовой маской и линзой,

построенный по результатам моделирования интерферометра. На графике наблюдается изменение чирпинга в зависимости от расстояния *L* между фазовой маской и цилиндрической линзой.

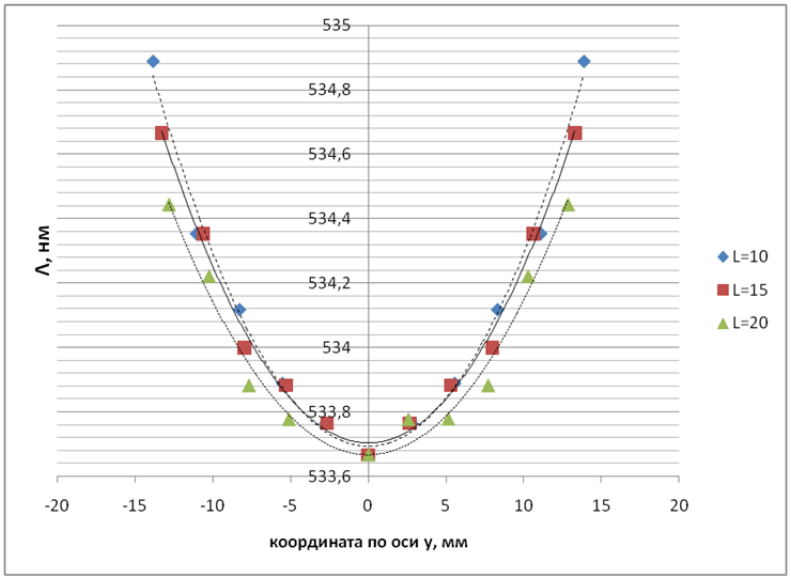


Рис. 4. График зависимости картины от координаты по оси *Y* при различном расстоянии *L* между фазовой маской и линзой

Заключение. В ходе работы выполнены следующие поставленные задачи:

– выбрана программная среда ZEMAX для моделирования, и проанализированы интерферометрические схемы, построенные в данной среде;
– проведен литературный обзор интерферометрических схем для записи дифракционных структур;
– построена модель интерферометра с постоянным периодом интерференционной картины;
– проведен эксперимент по записи дифракционной структуры и выполнено сравнение полученных результатов с результатами моделирования;
– построена модель интерферометра с переменным периодом интерференционной картины.

Дальнейшая реализация интерферометра Тальбота с цилиндрической линзой позволит записать дифракционную структуру в волоконном световоде с переменным периодом без использования чирпированной фазовой маски.

Применение интерферометра Тальбота для записи волоконных решеток Брэгга позволяет осуществлять бесконтактную запись в процессе вытяжки оптического волокна с УФ прозрачным покрытием. Настоящие технологии могут лечь в основу протяженных гидроакустических антенн и систем охраны протяженных объектов, на основе оптических волокон с массивом ВБР.

Литература

1. Kashyap R. Fiber Bragg Gratings. – San Diego, CA: Academic Press, 1999. – 478 p.
2. Варжель С.В. Волоконные брэгговские решетки. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 65 с.
3. Wang Y., Grant J., Sharma A., Myers G. Modified Talbot Interferometer for Fabrication of Fiber-Optic Grating Filter Over a Wide Range of Bragg Wavelength and Bandwidth Using a Single Phase Mask // Journal of Lightwave Technology. – 2001. – V. 19. – P. 1569–1573.
4. Zemax 13. Optical Design Program. User's Manual. – San Diego, CA. – 2014.

Ильина Ксения Викторовна
Год рождения: 1992
Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра информатики и прикладной математики,
группа № Р4217
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: kse1920@yandex.ru

УДК 004.558 + 004.415.25

ИГРОВАЯ ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

К.В. Ильина
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.М. Дергачев

В настоящее время мобильные и электронные технологии стремительно развиваются во всех сферах жизни. Не является исключением и область образования. Мобильное и электронное обучение обретает все большую популярность, вследствие чего появилось значительное количество компаний, разрабатывающих системы обучения по различным направлениям.

Предметом исследования явился процесс мобильного и электронного обучения, а также способы его информационной и программной поддержки.

Целью работы являлось создание программной платформы для обучения основам программирования в игровой форме с возможностью интеграции учебных курсов. Основное отличие данного сервиса от стандартного подхода к обучению информатике – его неформальность и индивидуальный подход к каждому ребенку, который обеспечивает система рекомендаций. В результате обучения дети познают не только программирование, но и развивают логику, мышление, учатся принимать решения и рассуждать.

В работе исследованы основные концепции и принципы электронного и мобильного обучения, проведено сравнение существующих сервисов, обучающих в мобильном формате, сформулированы основные возможности разрабатываемого сервиса.

Основываясь на анализе достоинств и недостатков существующих приложений для обучения, сформулированы особенности разрабатываемой платформы, к которым относятся:

1. авторизация и аутентификация пользователя на основе электронной почти и пароля, либо через социальные сети, после чего пользователь получает доступ к обучающим приложениям и учебному контенту;
2. разграничение прав пользователей в зависимости от роли. Управление пользователями и контентом осуществляется ролью «администратор»;
3. возможность указания и редактирования персональных данных;
4. осуществление сбора данных о пользователе, его интересах и целях;
5. предоставление рекомендаций по выбору учебного материала в зависимости от увлечений и целей ученика;
6. возможность генерации списка персональных заданий, формируемых на текущую дату;
7. возможность получения пользователем бонусов за выполнение заданий, просмотра личного прогресса и рейтингов учащихся;
8. возможность загрузки собственного обучающего контента и методики его изучения;
9. настройка и получение пользователем персональных уведомлений по электронной почте.

Для того чтобы игровая программная платформа отвечала потребностям пользователей, она должна удовлетворять основным нефункциональным требованиям:

1. скорость ответа на действия пользователя – игровая программная платформа должна быстро реагировать на все действия пользователей (мобильного приложения) и выдавать адекватный ответ;
2. обработка ошибок – должна быть предусмотрена обработка и, по возможности, корректировка ошибок пользователя;
3. удобство использования – игровая программная платформа должна иметь удобный, интуитивно понятный и современный интерфейс;
4. кроссплатформенность – игровая программная платформа должна быть совместима с различными мобильными операционными системами и переносима на различные аппаратные мобильные платформы.

Разработанная игровая программная платформа состоит из нескольких основных модулей, каждый из которых решает отдельную функциональную задачу.

Сборщик – модуль, который позволяет собирать данные о пользователях: персональные данные, оценки, интересы, цели, результаты и другую информацию, которая может влиять на рекомендации по выбору учебных курсов. Кроме того, этот модуль используется для сбора данных об учебном контенте.

Планировщик – модуль, который генерирует расписание пользователю на текущую дату, для того чтобы ученик мог скорее добиться поставленной цели.

Анализатор – модуль, который производит анализ собранных от пользователя данных и формирует ответы на запросы пользователя: прогнозирование оценок пользователя, построение рейтингов.

Рекомендатель – модуль, который подбирает подходящий контент, исходя из прогнозов оценок пользователя.

Все компоненты разрабатываемой системы и внешние компоненты (загружаемые приложения) взаимодействуют через REST API. Данный подход позволяет установить соединение с мобильным клиентом программной платформы. При выполнении каких-либо действий клиент отправляет на сервер POST-запросы с необходимыми параметрами и получает соответствующий ответ.

Исходя из функциональных требований, в базе данных должна сохраняться информация о пользователях, приложениях и других учебных материалах. В разработанной программной платформе используется база данных MySQL.

Во время выполнения работы были изучены основные подходы к фильтрации информации, которые используются в современных рекомендательных системах [1]:

1. контентная фильтрация – тип фильтрации, в котором рекомендации формируются на основе поведения пользователей. Для генерации рекомендаций система обращается к профилю пользователя, где в определенном формате хранится информация о его интересах и предпочтениях;
2. коллаборативная фильтрация – тип фильтрации, где рекомендации базируются на модели предыдущего поведения пользователей [2]. Данная модель основывается на поведении конкретного пользователя и других, схожих с ним по характеристикам, пользователей;
3. гибридная фильтрация – данный тип фильтрации объединяет в себе контентную и коллаборативную фильтрацию. Такой подход помогает решить проблемы, имеющие место при использовании этих методов по отдельности.

В разработанной программной платформе перед началом генерации рекомендаций выполняется JDBC-соединение с базой данных и извлекается информация о пользователе: индивидуальный номер пользователя, демографическая

группа (пол и возраст), интересы, цель и уровень знаний, оценки проставленные пользователем. Для каждого приложения вычисляется средняя оценка, полученная от всех пользователей.

Если пользователь только что зарегистрировался в системе, и никакой характеризующей пользователя информации получено еще не было, то в таблице с данными о пользователях хранится только e-mail и пароль нового пользователя. Такой пользователь в качестве рекомендаций получает список приложений, которые отсортированы по уменьшению средней оценки других пользователей.

Если пользователь недавно зарегистрирован в системе и уже добавил персональную информацию о себе, но нет данных о его оценках и пройденных курсах, то таблица пользователей будет заполнена его персональными данными, однако в таблице результатов информации об оценках для этого пользователя нет. Для таких пользователей отображаются те приложения, которые соответствуют его цели. Выбираются те приложения, которые подходят интересам пользователей (совпадают поля interest_id для users_interest и content_interest). Полученные приложения сортируются в порядке уменьшения средней оценки приложения.

Если пользователь работает с системой на протяжении определенного времени, то информация о его оценках уже накоплена и хранится в базе данных.

С помощью коэффициента Пирсона выполняется поиск схожих пользователей [3]:

$$\mathrm{sim}(u,a)=\frac{\sum_{i\in I}(r_{a,i}-r_a^{\mathrm{cp}})(r_{u,i}-r_u^{\mathrm{cp}})}{\sqrt{\sum_{i\in I}(r_{a,i}-r_a^{\mathrm{cp}})^2\times\sum_{i\in I}(r_{u,i}-r_u^{\mathrm{cp}})^2}}, \quad (1)$$

где I – множество объектов, которые были оценены пользователями u и a; $r_{u,i}$, $r_{a,i}$ – оценки объекта, выставленные пользователями u и a, и сохраненные в матрице оценок (u и a – строка, i – столбец); r_a^{cp} и r_u^{cp} – средние оценки, которые были проставлены пользователями u и a.

Чем ближе мера близости к 1, тем сильнее совпадают интересы пользователей. Если коэффициент Пирсона принимает отрицательное значение, то интересы пользователей противоположны.

Для схожих пользователей выполняется поиск приложений, которые не были изучены текущим пользователем. Для данных приложений вычисляется предполагаемые оценки пользователя по формуле (2).

$$p_{a,i}=r_a^{\mathrm{cp}}+\frac{\sum_{u\in K}(r_{u,i}-r_u^{\mathrm{cp}})\mathrm{sim}(a,u)}{\sum_{u\in K}|\mathrm{sim}(a,u)|}, \quad (2)$$

где $p_{a,i}$ – рассчитываемая оценка для конкретного пользователя a; r_a^{cp} и r_u^{cp} – средние оценки, которые были проставлены пользователями u и a; K – множество объектов, которые были оценены пользователями u; $r_{u,i}$, $r_{a,i}$ – оценки объекта, выставленные пользователями u и a, и сохраненные в матрице оценок (u и a – строка, i – столбец); $\mathrm{sim}(a,u)$ – мера схожести между пользователями a и u.

Вычисленные оценки сохраняются в таблицу prediction. Пользователю выводится тот учебный материал, который имеет наивысшие оценки в данной таблице.

Во время работы над созданием игровой программной платформой были проанализированы существующие подходы к реализации систем электронного и мобильного обучения, проведен обзор существующих подходов к организации рекомендательных систем, выявлены основные алгоритмы фильтрации, используемые в таких системах. Была разработана архитектура программной платформы, определены основные компоненты системы и порядок их взаимодействия.

В результате была разработана игровая программная платформа, имеющая модульный принцип реализации. Построенная на ней обучающая система позволяет

пользователям загружать учебные курсы и материалы, выполнять задания, получать планы и рекомендации. Модульный принцип реализации делает систему открытой как для разработчиков, так и для самих пользователей построенных на ее основе обучающих систем. Основное отличие заложенного в данной игровой платформе подхода от стандартного подхода к обучению информатике – его неформальность и индивидуальный подход к каждому ребенку.

Разработанное решение может быть использовано как инструмент предоставления качественного учебного материала, совершенствования полученных ранее навыков, проведения тестирований, обмена знаниями. Сервис может быть использован как в образовательных учреждениях для проведения занятий и закрепления материала, так и для самостоятельного обучения.

Данная система может быть улучшена путем добавления инструментов для разработки учебных курсов на персональной странице разработчика. Кроме того, может быть усовершенствован алгоритм предоставления рекомендаций.

В перспективе данная система позволит обучаться информатике и программированию, как школьникам разного возраста, так и людям, обладающим определенными навыками в этой области.

Литература

1. Gorakala S.K., Usuelli M. Building a Recommendation System with R. – Birmingham: Packt Publishing, 2015. – 247 p.
2. Jannach D., Zanker M., Felfernig A. Recommender System. An Introduction. – New York: Cambridge University Press, 2011. – 353 p.
3. Критерий корреляции Пирсона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://medstatistic.ru/theory/pirson.html, своб.

Кармановская Тамара Николаевна
Год рождения: 1990
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, группа № Р4255
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: tomuha90@gmail.com

УДК 004.01

ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТЫ СЛУЖЕБНОЙ ТАЙНЫ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Т.Н. Кармановская
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.Л. Ткалич

В настоящее время возрастает актуальность формирования эффективных средств защиты информации. При этом законодательство, содержащее положения о конфиденциальной информации, является недоработанным и характеризуется большим количеством пробелов и коллизий.

К одному из таких важнейших понятий относится «служебная тайна». Перед современными исследователями встает вопрос об определении сущности служебной тайны, а также о составляющих ее сведениях. Это в первую очередь обусловлено тем, что действующее законодательство до сих пор не содержит четких указаний как на содержание такой тайны, так и на правовые аспекты ее защиты. Несмотря на то, что

термин «служебная тайна» содержится во множестве нормативно-правовых актов, ни один из них не раскрывает ее сущность в полном объеме. Фактически, сегодня вопросы содержания служебной тайны находятся в ведении конкретных организаций. Законодательством не определено, как соотносятся служебная тайна и другие виды тайн, к примеру, коммерческая тайна, профессиональная тайна.

Таким образом, целью работы являлся обзор существующих правовых подходов и формулирование рекомендаций по совершенствованию системы защиты служебной тайны в условиях действующего законодательства.

Объектом исследования являлся комплекс общественных отношений, складывающихся по поводу охраны служебной тайны.

Предметом исследования – совокупность правовых и организационных мер охраны и защиты служебной тайны.

Научная новизна исследования определяется тем, что по его результатам может быть сформирован комплекс рекомендаций по совершенствованию системы защиты служебной тайны в условиях действующего законодательства. Теоретическая значимость исследования определена формированием положений, которые могут послужить базой для проведения дальнейшего анализа современного состояния института служебной тайны в российском законодательстве.

Практическая значимость результатов определяется возможностью применения сформированных рекомендаций при разработке эффективного механизма защиты служебной тайны на современном предприятии (либо в государственном учреждении).

Термин «служебная тайна» упоминается в таких нормативно-правовых актах, как Закон о кредитных историях, Закон о рекламе, Закон о защите конкуренции и др. В каждом из приведенных правовых документов термин «служебная тайна» используется наряду с такими терминами, как «коммерческая тайна», «налоговая тайна», «банковская тайна» и т.д. Следовательно, законодатель разграничивает данные виды тайн, что позволяет сделать вывод о необходимости формулировки легального определения служебной тайны.

Законодатели неоднократно предпринимали попытки дать четкое определение понятия служебная тайна», однако его до сих пор нет.

Так статья 1 Модельного закона о государственных секретах (принят в Санкт-Петербурге 16 июня 2003 года на 21-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ) [1] гласит, что служебную тайну составляет информация о сферах деятельности государственных органов, доступ к которым ограничивается служебной необходимостью и разглашение или утрата которых может нанести ущерб государственным органам или государству. Вместе с тем, представляется более актуальным определение служебной тайны, данное в Проекте Федерального Закона «О служебной тайне» [2]. Из него следует, что служебную тайну составляют не только сведения, полученные в ходе деятельности государственных, но и иных организаций. К сожалению, указанный закон не прошел даже первого чтения и существует только как мнение части депутатов.

Расходятся во мнении и юристы. В качестве примера можно привести высказывания ведущих правоведов: И.Ю. Павлова [3], Г.Г. Камаловой [4], П.Н. Кораблева [5] и других.

Исторический анализ развития института служебной тайны показал, что в советский период активно использовалось такое понятие, как «служебная информация ограниченного доступа», которая, не являясь государственной тайной, выступала в качестве информации, разглашение которой могло нанести вред государству. Разграничение государственной тайны и служебной информации ограниченного

доступа при схожести их сущностей обусловлено историческими особенностями. Прежде всего, различие определялось на основе уровня ущерба государственной безопасности с учетом необходимости сохранения авторитета советского государства.

Понятие «служебная тайна» уже фигурировало в законодательстве Советского Союза в нормативных документах. Это касается Уголовного Кодекса РСФСР (1960 г.), Приказа Генеральной Прокуратуры (1971 г.), Положения Главлита (1987 г., известное как Положение-88) и др. Практика простановки грифа «Для служебного пользования» широко использовалась для ограничения к служебным документам, не составляющим государственную тайну. Практически, решение об ограничении распространения информации с грифом ДСП принималось субъективно. В связи с изменившимися социально-политическими условиями в стране в 1993 году был принят закон «О государственной тайне», а понятие «служебная тайна» де-факто исчезло.

Дальнейшие попытки упорядочить законодательство в вопросах служебной тайны не увенчались успехом. Более того, законодательное внедрение новых понятий, как «коммерческая тайна», «персональные данные» в некотором роде затруднило понимание служебной тайны.

В современном обществе существует много различных видов профессиональной и служебной тайн, для которых жизненно необходимо обеспечить надлежащую правовую защиту. Определенный перечень сведений конфиденциального характера обозначен в Указе Президента РФ от 6 марта 1997 года № 188. Перечень относит к разряду конфиденциальной информации, в том числе служебную и профессиональную тайну. Стоит отметить, что понятие «служебная тайна» очень тесно увязано с иными видами тайн (врачебная, нотариальная, адвокатская и др.).

В подходе к формулировке служебной тайны ряд исследователей рекомендуют определение, близкое к понятию «коммерческая тайна». Однако как уже было отмечено, наиболее удачной представляется формулировка служебной тайны как «сведения, касающиеся управленческой деятельности предприятия». При этом представляется, что это понятие не следует ограничивать только органами государственного управления, а распространить на иные виды предприятий:

- бюджетные предприятия (сведения, не составляющие государственную тайну);
- некоммерческие организации;
- коммерческие организации (сведения, не составляющие коммерческую или профессиональную тайны).

Предлагаемая трактовка понятия «служебная тайна» выглядит следующим образом:

- в качестве служебной тайны целесообразно рассматривать конфиденциальную, охраняемую законодательством информацию, полученную лицом в ходе осуществления профессиональной деятельности, касающуюся управления и организационно-правовых основ функционирования организации;
- к служебной тайне следует относить как сведения, полученные сотрудниками государственных органов в процессе осуществления служебной деятельности, так и информацию, получаемую работниками коммерческих организаций;
- категорию профессиональной тайны можно рассматривать в качестве одной из разновидности служебной тайны, к которой следует относить информацию, полученную представителем конкретной профессии в рамках осуществления профессиональной деятельности (адвокатская тайна, врачебная тайна и т.д.);
- необходимо предоставить бюджетным учреждениям и организациям самостоятельно определять их перечень. Вопросы отнесения в государственных учреждениях соответствующих документов к служебной тайне должны быть урегулированы более тщательно, чем в коммерческих организациях, поскольку

чаще всего соответствующие документы являются типовыми и должны находиться в свободном для граждан доступе;
- понятие «субъект служебной тайны» можно определить следующим образом: лицо, получившее доступ к сведениям, связанным с управленческой деятельностью организации или организационно-правовыми основами ее функционирования.

Действующее законодательство (Уголовный, Административный, Гражданский кодексы) обеспечивает уголовно-правовую, административно-правовую и гражданско-правовую формы охраны служебной тайны на предприятии. Однако в законодательстве содержится ряд пробелов, связанных с отсутствием конкретного понятия служебной тайны, субъектов служебной тайны и сведений, относящихся к ней.

Поскольку действующее законодательство является недостаточно проработанным, охрана служебной тайны должна находиться в ведении конкретного субъекта той или иной профессиональной деятельности. Правовой режим охраны служебной тайны должен включать в себя особый порядок получения, документирования, хранения, порядка обработки информации, определение обязанностей сотрудников предприятия по сохранению конфиденциальности информации, меры дисциплинарной ответственности за разглашение сведений.

Сравнительный анализ подходов к охране служебной тайны в российском и зарубежном законодательстве на основании рассмотрения законодательств Швейцарии, Испании, Франции, Великобритании, Республики Беларусь показал, что в законодательстве многих развитых государств служебная тайна выступает в качестве объекта уголовно-правовой охраны и, как правило, является компонентом системы государственных секретов. Реализация такого подхода к определению служебной тайны в России в современных условиях не представляется возможной ввиду существования норм законодательства, относящих ее к различным негосударственным видам деятельности.

Как уже отмечалось, российское законодательство содержит упоминание большого количества охраняемых Законом тайн. Сегодня их взаимодействие достаточно затруднено. Это в первую очередь относится к служебной тайне. Именно поэтому в настоящей работе сделаны следующие выводы:
- служебная тайна, оставаясь самостоятельным видом конфиденциальной информации, может быть связана с коммерческой, банковской, налоговой тайной и персональными данными;
- перечень информации, составляющей служебную тайну, следует оговаривать отдельным нормативным документом предприятия;
- к информации, составляющей служебную тайну, следует отнести сведения, полученные работником в ходе осуществления управленческой деятельности или деятельности, связанной с повышением эффективности управленческого аппарата конкретной организации.

В качестве практического примера показаны пути реализации организационно-правовых мер по защите служебной информации в бюджетной организации «Городская многопрофильная больница № 2». Показано, что в условиях отсутствия государственно-правового регулирования понятия «служебная тайна» целесообразно разрабатывать на каждом конкретном предприятии «Положение о порядке обращения с информацией, составляющей служебную тайну». В рамках «Положения» необходимо разработать «Перечень сведений, относимых к служебной тайне», порядок нанесения грифа «для служебного пользования», мероприятия по охране соответствующей информации и по ее предоставлению третьим лицам.

Литература

1. Модельный закон о государственных секретах (Принят в г. Санкт-Петербурге 16.06.2003 Постановлением 21-10 на 21-ом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ) // Информационный бюллетень. Межпарламентская Ассамблея государств-участников Содружества Независимых Государств. – 2003. – № 31. – С. 230–261.
2. Справка о голосовании по вопросу: (первое чтение) О проекте федерального закона № 124871-4 «О служебной тайне» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vote.duma.gov.ru/vote/75075, своб.
3. Павлов И.Ю. Современные проблемы правового регулирования государственной и служебной тайны в России // Ленинградский юридический журнал. – 2013. – № 1(31). – С. 29–37.
4. Камалова Г.Г. О правовом режиме служебной тайны // Вестник УдмГУ. – 2014. – № 2-4. – С. 145–152.
5. Кораблев П.Н., Занина Т.М. Особенности правовой защиты служебной тайны // Вестник ВИ МВД России. – 2008. – № 1. – С. 31–34.

Климов Александр Викторович
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра технологии приборостроения, группа № Р4280
Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение
e-mail: fox_begin@mail.ru

УДК 65.011.56, 67.05, 62-529

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПОСТРОЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

А.В. Климов
Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.И. Яблочников

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615863 «Научные основы создания цифрового производства в приборостроении».

Ассоциативная связь виртуальной модели (ВМ) и реального оборудования формирует элемент цифрового производства. Это новое направление исследований, для обеспечения которого требуется методический подход к построению виртуальных моделей.

В работе рассмотрен ряд вопросов по построению виртуальных моделей технологического оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), ограниченных отраслью обрабатывающей промышленности машиностроения, и процессами обработки резанием и транспортных операций. Данные виртуальные модели применяются для имитационного моделирования производственного процесса, FEA и верификации управляющих программ (УП).

Реализация методики построения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ заключается в описании мероприятий, которые требуется

организовать и выполнить для формирования необходимого и достаточного набора функциональных элементов и связей между ними в соответствующей программной среде, который позволит проводить моделирование целевых технологических операций с заданной степенью точности.

Полное описание технологической системы, в рамках которой функционирует моделируемый объект, характеризуется достаточной степенью абстракции, с учетом типовых задач, которые решаются на современных производствах с использованием технологического оборудования с ЧПУ.

Сложившаяся структура процесса подготовки УП с помощью CAM-систем характеризуется наличием определенных этапов преобразования данных [1]. На современном этапе большинство этапов автоматизировано с использованием программных продуктов моделирования технологических процессов. Интеграция данного программного обеспечения (ПО) в структуру подготовки УП формирует подходы к организации процесса технологической подготовки производства (ТПП).

Написание УП для современных систем числового программного управления (СЧПУ) подчиняется формату данных для систем управления позиционированием, прямолинейным перемещением и перемещением по контуру, которому уже более 60 лет, и который явно тормозит развитие ЧПУ технологии [2].

На этапе постпроцессирования теряется ассоциативная связь, что вносит барьер для двустороннего обмена данными. Именно на этом этапе возникает большинство вероятных ошибок в УП и сложностей с их выявлением и исправлением.

В классическом варианте структуры подготовки УП последним этапом будет передача управляющей программы на станок с ЧПУ и запуск программы обработки. При этом запущенная управляющая программа направлена на воспроизведение траектории движения инструмента (ТДИ), запрограммированной в CAM-системе, что, без проверки корректности ТДИ с точки зрения параметров технологического оборудования и выявления возможных ошибок постпроцессирования, способно привести к нарушению технологии или возникновению аварийной ситуации.

ТПП для автоматизированных систем характеризуется эффективностью решений по организации ТП и качеством УП. Каждый из этих показателей определяется решением задач моделирования технологического процесса и верификации управляющих программ. В условиях научно-исследовательских работ применяют также методы математического моделирования технологических операций.

В соответствии с этим подходом возникает новый элемент перед передачей управляющей программы на станок с ЧПУ – верификация УП. Данный процесс осуществляется системой верификации УП на основании моделирования работы виртуального станка с ЧПУ. Результаты верификации отправляются на этап программирования обработки в CAM-системе для внесения изменений в УП или на этап моделирования технологического процесса для имитационного моделирования технологического процесса.

Для моделирования технологического процесса на основе данных CAPP-системы и результатов верификации УП применяют системы имитационного моделирования. Путем создания планировочных решений на основе виртуальных моделей, описания технологии работы операторов и исполнительных механизмов проводится оптимизация решений по применению технологического оборудования, и определяются необходимые улучшения технологических характеристик изделия [3].

Понятие «виртуальная модель технологического оборудования с ЧПУ», используемое в промышленном производстве, определяется соответствующим ПО по

моделированию производственных процессов, характеризуется типовыми задачами, решаемыми с применением данного ПО и ограничено его функциональностью.

Практически во всех CAM-системах, из представленных на рынке ПО в настоящее время на том или ином уровне, реализованы функции предварительной оценки правильности созданных траекторий, в основном в виде бэкпота и трассировки перемещения режущей кромки инструмента. Проблема качества получаемой УП привела к постановке требований к разработке модулей верификации [4].

Целью верификации является валидация процесса обработки и получение ВМ изделия после обработки. Программная реализация мер по достижению этой цели подразумевает программирование обработки в графической среде с проекцией работы СЧПУ на программные алгоритмы и отображением актуальной геометрической модели технологической системы «Станок. Приспособление. Инструмент. Деталь» (СПИД).

В данной работе рассмотрены системы и модули верификации, реализующие функции проверки ТДИ и G-кода с возможностью моделирования кинематики станка, которые на рынке ПО представлены следующими программными продуктами: CGTech VERICUT, IMSverify, NCManager, NCSIMUL Machine, PREDATOR Virtual CNC, CAMWorks Virtual Machine, NX Integrated Simulation and Verification, ESPRIT, CATIA NC Machine Tool Simulation, DELMIA V5 VIRTUAL NC, 3DEXPERIENCE Machining Validation, CREO NC, InventorCAM Toolpath and Machine Simulation, GibbsCAM Machine Simulation, PowerMILL Verification CL, PartMaker, EdgeCAMSimulator, SprutCAM, WorkNC Toolpath Viewer и VisuNC, ICAM Virtual Machine, NCG CAM, GO2cam, TEBIS NC Safety, TopSolidCAM.

В работе проанализированы функциональные возможности рассматриваемых систем верификации УП, характеризующие эффективность процесса верификации и способность определения, рассмотренных ранее ошибок УП. На основе проведенного анализа и статистики применения CAM-систем [5] в данной работе рационально рассматривать только специализированные решения, включающие анализ УП в G-кодах с имитацией геометрии и динамики станка с ЧПУ, распространяемые или применяемые на производствах Российской Федерации, имеющие возможность интеграции с комплексными программными решениями по управлению жизненным циклом, в частности, системами моделирования производственных процессов.

Типовая задача верификации УП состоит в проверке УП в G-кодах или ТДИ в CL-файле на наличие существенных для технологического процесса ошибок, проводимой в программной среде, содержащей кинематическую модель станка с параметрами моделируемых технологических операций и эмулятор СЧПУ, включающий программную модель логики ее работы.

Несмотря на общую структуру процесса верификации, рассматриваемые системы верификации УП имеют различные характеристики и специфику применения, а, следовательно, и различные подходы к методическому обеспечению процесса построения виртуальных моделей станков с ЧПУ. Для анализируемых программных систем были исследованы методики построения виртуальных моделей по методу оценки методик и построена сводная таблица по этапам соответствующего процесса.

Проведенное исследование показало, что методики для всего спектра рассматриваемых систем верификации определяют для процесса построения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ перечень типовых задач и их решений.

Структура процесса построения виртуальных моделей отображает обобщенный подход для разрабатываемой методики, который был получен в результате анализа узких мест исследованных ранее методик.

Узкие места исследуемых методик определяются критериями качественной оценки методик: понятность, доступность изложения, актуальность, новизна, инструментальность, критерий роста, затратность, эффективность, риск.

Приняв весь объем методического материала по каждому программному продукту, как систему, отражающую методику построения ВМ технологического оборудования с ЧПУ, были определены узкие места по обозначенным критериям качественной оценки.

На основе анализа узких мест исследованных методик и с учетом обобщенной структуры процесса построения виртуальных моделей был реализован интегрированный подход к формированию научно-методических подходов к процессу построения виртуальных моделей, заключающихся в определении требований с учетом ряда ограничений и последующей оценке по критериям метода оценки методик.

Представленный подход позволил разработать методику построения виртуальных моделей технологического оборудования с ЧПУ. Разработанная методика удовлетворяет критериям актуальности, отражая те аспекты вопросов верификации, рассмотрение которых позволяет решить насущные проблемы перехода на современную структуру процесса подготовки УП: определение целей и постановка задач верификации, планирование процесса внедрения системы, определение целесообразности построения детализованной ВМ и, в целом, проведения верификации и др.

Рассмотрение этих, а также других, ранее не освещенных, вопросов и задач удовлетворяет критерию новизны и, в сравнении с принятым разработчиками ПО предоставлением справочных материалов, формирует методы обеспечения процесса проверки УП, и представляет методический материал для построения виртуальных моделей станков с ЧПУ.

Помимо качественного анализа критерия эффективности разработанной методики в данной работе была проведена экспериментальная проверка предложенных решений. Была произведена декомпозиция процесса построения виртуальных моделей и проанализирована эффективность наиболее ответственных задач этого процесса на основе количественных критериев, разработанных для каждой задачи в отдельности. Результатом, подтверждающим эффективность данной методики, является построение модели станка в системе верификации, адекватной поставленным целям. В результате была построена ВМ станка с ЧПУ в системе CGTech VERICUT и NCSIMUL Machine.

Разработанная методика предназначена для построения ВМ технологического оборудования с ЧПУ в незнаковом, знаковом и программном виде, что позволяет поставить задачи для исследования применения методики в построении элементов киберфизических систем.

В теоретическом обзоре было определено, что перспективным ПО для данного класса задач являются системы Siemens PLM и Dassault Systemes 3DEXPERIENCE.

На кафедре технологии приборостроения Университета ИТМО студентами и аспирантами под руководством научных руководителей разрабатываются теоретические вопросы организации цифрового производства. В настоящей работе были поставлены задачи по построению элементов киберфизических систем в 3DEXPERIENCE.

Применение разработанной методики для построения виртуальных моделей в 3DEXPERIENCE позволит реализовать производственно-технологическую модель роботизированного технологического комплекса, отражающую производственные отношения между элементами, транспортные и технологические операции, на основе имитационного моделирования и верификации УП станка с ЧПУ и промышленного робота с ЧПУ.

Литература

1. Теверовский Л.В., Ловыгин А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 279 с.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. Учеб. пособие. – М.: Логос, 2005. – 296 с.
3. Алферова А.А., Кладов И.С. Конструкторско-технологическая разработка продукта с использованием средств виртуального моделирования // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – № 4. – С. 18–22.
4. Ловыгин А.А. Будущее CAM-систем // Журнал: PlanetaCAM. – 2016. – № 1. – С. 28–44.
5. Ловыгин А.А. CAM-системы в России – 2014 год. Обзор отечественного рынка CAM // Журнал: САПР и графика. – 2015. – № 2. – С. 40–59.

Коцур Дмитрий Викторович
Год рождения: 1993
Факультет холодильной, криогенной техники
и кондиционирования, кафедра криогенной техники,
группа № W4205
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: Dmitrijkocur@gmail.com

УДК 621.528.1

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ПРОВОДИМОСТИ ТЕПЛОВЫХ ЭКРАНОВ КРИОВАКУУМНЫХ СИСТЕМ

Д.В. Коцур
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.И. Иванов

Базовые положения исследования. В криогенных вакуумных насосах используются теплозащитные экраны двух разновидностей: непроницаемые и проницаемые, так называемые экраны типа жалюзи [1]. Экраны этого типа служат для защиты криопанелей от источников тепла, расположенных внутри криогенных вакуумных камер и насосов. Вместе с тем они не должны создавать значительного сопротивления на пути газового потока, откачиваемого криопанелями. Если коэффициент прилипания молекул откачиваемого газа на криопанели близок к единице, то скорость откачки экранированного конденсационного насоса будет определяться пропускной способностью экрана

$$\varepsilon = N_1/N_2, \quad (1)$$

где N_1 – число молекул, прошедших через экран из числа молекул N_2, поступающих на экран со стороны объекта.

В данной работе исследована проводимость шевронных решеток тепловых экранов с различными геометрическими параметрами методом статистических испытаний. Режим течения газа принят молекулярным. Получены данные для пластин с углами наклона 0°, 30°, 45° и 60° и с различным отношением длины пластин к расстоянию между ними: от 1 до 10 с шагом в 0,5. Исследован коэффициент захвата пластин криопанели с исходными данными, принятыми для расчета проводимости тепловых экранов, а также сравнены плотности распределения конденсата по различным участкам криопанели.

Промежуточные результаты. Первая часть работы сводилась к решению простейшего случая, когда пластины теплового экрана расположены под нулевым

углом наклона. Для решения задачи проводимости требуется изменять лишь один параметр системы – отношение длины пластины к расстоянию между ним. На рис. 1 представлено графическое представление изучаемой модели.

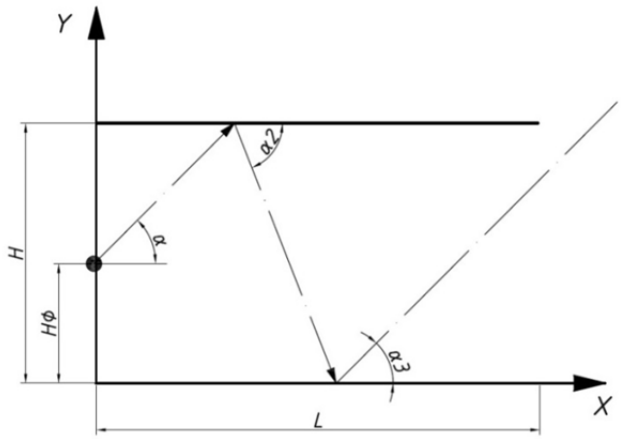


Рис. 1. Модель исследования 1-го случая: *H* – расстояние между пластинами (const); *L* – длина пластин; H_0 – случайно генерируемая на отрезке (0;*H*) точка влета; α – случайно генерируемый угол влета; $\alpha_{2...n}$ – случайно генерируемые углы отскока

В работе для расчета использовались следующие исходные данные:

– L/H начальное = 1;
– приращение L/H = 0,5;
– предел L/H = 10;
– испытаний за раз = 10^7.

Полученные данные в этом диапазоне более чем достаточны для получения наглядного представления о проводимости данного типа пластин. Разработанная программа успешно выполняет расчеты с 10^{10} испытаний, но в данном случае использование дополнительного времени не будет оправдано. Согласно [2], $8 \cdot 10^3$ испытаний по данному методу достаточно для получения погрешности менее 2%.

Алгоритм процесса прослеживания за траекториями молекул достаточно прост. Верхняя пластина описывается уравнением:

$$y = H. \quad (2)$$

А нижняя пластина, соответственно:

$$y = 0. \quad (3)$$

В зависимости от поставленной задачи, в начальный момент времени частицы могут быть внутри точечного источника, т.е. начальные координаты всех частиц постоянны и одинаковы, а могут быть и равномерно распределены по плоскости. Такое распределение соответствует присоединению испытуемой структуры к бесконечно большому объему. В данном случае использован более общий, второй вариант. На отрезке (0;*H*) генерируется случайная величина H_0, используется генератор случайных чисел с равномерным распределением. В соответствии с диффузным законом рассеяния [3], угол влета α генерируется по следующему выражению:

$$\alpha = \arcsin\sqrt{\mu}, \quad (4)$$

где μ – случайная величина на отрезке [0;1].

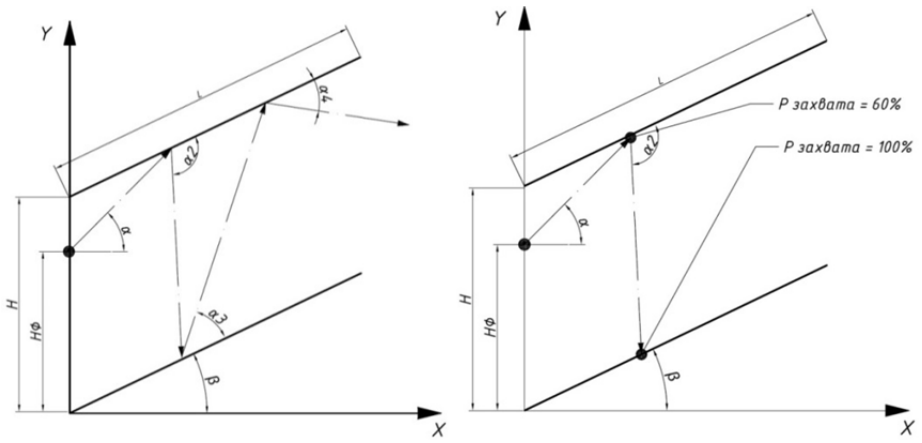
Получив координату влета и направление, делаются выводы о том, как поведет себя частица в дальнейшем и с какой поверхностью столкнется.

Далее помимо изменения отношения длины пластины к расстоянию между ними изменяется угол поворота пластин. На рис. 2, а представлено графическое представление изучаемой модели.

При расчете криопанелей, одной из основной интегральной характеристикой является коэффициент захвата Г, определяющий среднюю для совокупности молекул

вероятность быть поглощенными неким элементом. Коэффициент захвата криопанели численно равен отношению захваченных молекул к общему числу молекул, влетевших через его входное отверстие за единицу времени, т.е.

$\Gamma = N_{\text{захв.}}/N.$



а б

Рис. 2. Модели исследования: 2-го случая (β – угол наклона пластин) (а) и коэффициентов захвата участков криопанели (б)

Исследование коэффициента захвата различных единичных участков пластин криопанелей дает возможность определить реальную толщину профиля криослоя, что необходимо при выборе температурного графика определенных участков, а также при проектировании реальных пластин. Горячая молекула, сталкиваясь с холодной поверхностью криопанели, конденсирует (налипает) на ней с некоторой вероятностью.

В зависимости от температуры поглощаемого газа, температуры поверхности криопанели, а также наличия теплового экрана, вероятность налипания может меняться для различных газов от 0,45 до 1. В данной работе принято P=0,6, что соответствует, например, реальным условиям конденсации паров воды с температурой 300 К, криопанелью с температурой 24,2 К или азота с T=300 К, криопанелью с температурой 20 К [4]. На рис. 2, б представлено графическое представление изучаемой модели.

Как видно из рис. 2, б, суть решения вопроса подобна предыдущему вопросу проводимости тепловых экранов, с тем лишь отличием, что частица не может совершить более двух столкновений с пластиной криопанели. Коэффициент налипания для первого удара, как отмечено выше, взят равным 0,6. Для второго столкновения – 1,0.

Для математического моделирования было разработано программное обеспечение. Полученные в работе данные говорят о том, что при нулевом наклоне пластин криопанели, распределение сконденсировавшего слоя газа на входе максимально и распределено симметрично. Для наклонных криопанелей можно сделать вывод о том, что наибольший коэффициент захвата имеет первый сектор нижней пластины. Последние секторы нижней пластины практически не принимают участия в захвате. В то же время частицы, отраженные от нижней пластины, изредка попадают в дальние секторы верхней пластины, конденсируясь также в весьма малых количествах. Помимо уменьшения проводимости, увеличение угла наклона дает существенный прирост доли отраженных частиц поверхностью криопанели, что пагубно влияет на скорость откачки. Практика показывает невозможность существования идеального варианта, оптимального для работы во всех криовакуумных системах. Но, опираясь на полученные данные моделирования в каждом конкретном случае, можно минимизировать экономические затраты.

Основной результат. Анализируя полученные в данной работе результаты проводимости шевронных решеток тепловых экранов можно сделать вывод о нецелесообразности увеличения длины пластин на величину, большую, чем три расстояния между ними. Увеличение угла наклона до 65° снижает проводимость более чем в 2,5 раза по сравнению с горизонтальной пластиной для L/H=1 (76,59% против 30,44%) и более чем в 4,5 раза для L/H=3 (52,7% против 11,46%). В то же время, увеличение угла наклона увеличивает и оптическую плотность решеток, что увеличивает время откачки.

Изучение плотности распределения конденсата по различным участкам криопанели также показывает нецелесообразность увеличения L/H больше трех. На фоне значительного увеличения расходов криоагента на захолаживание, а также многократное увеличение металлоемкости конструкции, выигрыш в 1% для общего коэффициента захвата секции из двух пластин выглядит сомнительно (72,46% у пластины с β=65° и L/H =10 против 71,26% у пластины с тем же углом наклона и L/H=3). Помимо этого, у наклонных пластин наблюдается тенденция к увеличению доли отраженных частиц, что увеличивает время откачки и делает работу криовакуумного насоса менее эффективной. Решение каждой конкретной задачи по проектированию криовакуумной системы должно сопровождаться тщательным экономическим анализом: малый проигрыш в проводимости панелей может повлечь за собой большую экономию трудовых и финансовых ресурсов.

Литература

1. Иванов В.И. Безмасляные вакуумные насосы. – Л.: Машиностроение, 1980. – 160 с.
2. Саксаганский Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах. – М.: Атомиздат, 1980. – 216 с.
3. Нестеров С.Б., Васильев Ю.К., Андросов А.В. Методы расчета вакуумных систем. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 220 с.
4. Малков М.П., Данилов И.Б., Зельдович А.Г., Фрадков А.Б. Справочник по физико-техническим основам криогеники. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

Кротков Павел Андреевич
Год рождения: 1993
Факультет информационных технологий и программирования, кафедра компьютерных технологий, группа № М4239
Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика
e-mail: krotkov.pavel@gmail.com

УДК 004.021

РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА НЕДОМИНИРУЮЩЕЙ СОРТИРОВКИ

П.А. Кротков
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.В. Буздалов

В работе рассмотрен новый алгоритм недоминирующей сортировки множества точек в K-мерном пространстве. Рассматриваемый алгоритм отличается от существующих решений вычислительной сложностью: в то время, как вычислительная сложность наилучшего известного на данный момент алгоритма

равна $O(N\times\log^{K-1}N)$, сложность рассматриваемого алгоритма равна $O(N\times\log^{K-2}N\times\log\log N)$ [1].

Особое внимание в работе уделяется решению частного случая задачи о недоминирующей сортировке: задаче о недоминирующей сортировке точек в трехмерном пространстве. Несмотря на то, что предлагаемый в работе алгоритм решения данной задачи не является наиболее оптимальным известным решением, к его преимуществам можно отнести сравнительную простоту реализации и поддержку некоторых операций, отличающихся от обычной недоминирующей сортировки: сортировку множества точек с известными нижними оценками и получение нижних оценок для точек на основе нижних оценок точек другого множества.

Введем определение доминирования для пары точек в *K*-мерном пространстве. Точка $A=(a1, a2, ..., aK)$ доминирует точку $B=(b1, b2, ... , bK)$ в случае, если для всех $1<=i<=K$ выполняется неравенство $Ai<=Bi$ и существует j такое, что $aj<bj$. Недоминирующей сортировкой множества точек S называется процедура присваивания всем точкам данного множества рангов ri таким образом, что для любой пары точек Si и Sj таких, что Si доминирует Sj, верно утверждение $ri<rj$, и ранги всех точек минимальны.

Алгоритм недоминирующей сортировки и алгоритм поиска недоминирующего множества, который может быть сведен к решению задачи о недоминирующей сортировке, является частью множества известных многокритериальных эволюционных алгоритмов. В качестве примеров таких алгоритмов можно назвать алгоритмы NSGA-II [2], PESA [3], PESA-II [4], SPEA2 [5], PAES [6], PDE [7] и многие другие алгоритмы. Оценка вычислительной сложности одной итерации таких алгоритмов, как правило, совпадает с оценкой сложности используемой сортировки. Таким образом, рассматриваемое в данной работе решение задачи недоминирующей сортировки может быть использовано для эффективной реализации названных алгоритмов [8, 9].

В работе Дженсена [10] был предложен алгоритм, асимптотическая сложность которого составляет $O(N\times\log K-1N)$. Существенным ограничением, необходимым для корректной работы данного алгоритма, является требование о том, что у любой пары точек все соответствующие координаты должны быть различны. При этом доказательство сложности алгоритма также использует это предположение.

В работе Фортина [11] представлена попытка избавиться от такого ограничения. Однако асимптотическая сложность представленного в работе алгоритма в худшем случае составляет $O(N^2\times K)$.

Основная идея алгоритма, предложенного Дженсеном и модифицированного Буздаловым, состоит в следующем. На каждой итерации алгоритма сортируемое множество точек делится на три части по значению некоторой координаты, после чего задача разбивается на несколько задач меньшего размера. Итоговое время работы такого алгоритма составляет $O(\log^{K-2}N\times T)$, где T – время работы функций сортировки точек в двумерном пространстве. Эти функции могут быть реализованы при помощи подхода сканирующей прямой, и их ассимптотическая сложность составит при этом $O(N\times\log N)$. Подобная оценка сложности этих функций происходит из двух используемых при реализации этих функций алгоритмов: сортировки и двоичного дерева поиска. Заметим при этом, что лучшей оценки на время работы этих функций получено быть не может, поскольку задача о сортировке набора произвольных значений сводится к задаче о недоминирующей сортировке в двумерном пространстве. Таким образом, итоговая сложность всего алгоритма – $O(N\times\log^{K-1})$.

Основная идея алгоритма, рассматриваемого в настоящей работе, появляется из двух приведенных выше фактов. При замене условия остановки процесса сведения

задачи к меньшей в алгоритме Дженсена с момента, когда рассматриваются два измерения, на момент, когда рассматриваются три измерения, время работы алгоритма Дженсена станет равно $O(N\times\log^{K-3}N\times T)$, где T – время решения задачи недоминирующей сортировки в трехмерном случае. Для улучшения итоговой сложности алгоритма необходимо разработать такую модификацию алгоритма, решающего трехмерный случай, что она будет подходить для использования в качестве завершающего шага алгоритма Дженсена, а ее время работы будет составлять $O(N\times\log^2 N)$.

Из рассмотрения алгоритма Дженсена мы знаем, что в тот момент, когда на рассмотрении осталось два первых измерения, рекурсивный алгоритм останавливается. В этот момент алгоритм вызывает одну из двух функций, каждая из которых не делает никаких других рекурсивных вызовов, а просто выполняет некоторую работу по назначению точек рангов.

Первая функция SweepA(S) выполняет недоминирующую сортировку точек по первым двум измерениям. Важным замечанием относительно работы этой функции является то, что точки, которые необходимо отсортировать, могут иметь некоторые оценки снизу на ранг. Таким образом, по итогам работы этой функции точка t получает ранг $rt=\max(rt0,\max(rs|s\in St)+1)$, где $r0t$ – существовавшая оценка на ранг точки t до выполнения функции SweepA, а St – подмножество точек из S, которые доминирует точка t.

Вторая функция SweepB(L, H) присваивает точкам из множества H нижние оценки рангов на основе существующих оценок точек из множества L. Также как и SweepA, функция учитывает только первые два измерения. При этом опять же точки из множества H могут иметь некоторые оценки ранга, которые необходимо учитывать. Таким образом, по итогам работы функции SweepB, каждая точка t из множества H получает ранг $rt=\max(rt0,\max(rs0|s\in Lt)+1)$, где $rt0$ – существовавшая до запуска функции оценка ранга, а Lt –подмножество точек из L, которые доминирует точка t. Задачей настоящей работы ставится разработка таких же функций, работающих в трех измерениях вместо двух. Функции должны учитывать существующие оценки ранга точек, а сложность функций должна составлять $O(N\times\log N)$ [12].

В своей работе Некрич [13] предлагает алгоритм решения частного случая задачи недоминирующей сортировки – недоминирующей сортировки в трехмерном пространстве. Алгоритм основывается на подходе сканирующей плоскости. Рассматриваемый в настоящей работе алгоритм использует некоторые идеи, на которых основывается алгоритм Некрича.

В качестве первого шага к построению требуемого алгоритма опишем решение трехмерной задачи в случае, когда нижних оценок на ранги точек нет (или все нижние оценки равны нулю). Введем такое же ограничение на координаты точек, которое использует алгоритм Некрича: соответствующие координаты любой пары точек должны быть различны. Будем перебирать точки множества S, которое необходимо отсортировать, в порядке возрастания третьей координаты. Будем поддерживать такую же вспомогательную структуру «лестниц», как в алгоритме Некрича. Для определения ранга очередной точки необходимо разработать структуру данных, позволяющую находить первый отрезок «лестниц», который будет пересечен лучом, пущенным из некоторой точки в направлении убывания второй координаты («вниз»).

В работе доказывается, что для поиска номера такой лестницы можно использовать бинарный поиск. При использовании в качестве структуры данных для хранения лестниц дерева ван Эмде-Боаса асимптотическая сложность нашего алгоритма составит $O(N\times\log N\times\log\log N)$.

В работе сформулированы проблемы, возникающие при появлении в алгоритме нижних оценок и задачи сортировки множества по другому множеству. Приведена основная идея решения этих проблем: использование нижней оценки ранга точки в качестве начального значения одной из границ бинарного поиска. Приведено доказательство того, что такое использование обеспечивает соблюдение необходимых свойств лестниц и является корректным развитием оригинального алгоритма.

Таким образом, в работе представлен новый алгоритм решения задачи недоминирующей сортировки в трехмерном пространстве. Несмотря на то, что асимптотическая сложность представленного алгоритма хуже, чем сложность некоторых алгоритмов, известных в данный момент, он обладает набором преимуществ:

– возможность получения оценок рангов точек некоторого множества H на основе рангов точек некоторого множества L;
– возможность использования в своей работе заранее известных нижних оценок на ранги точек.

В работе показано, как разработанный алгоритм может быть интегрирован в алгоритм Дженсена – как на основе разработанного алгоритма может решаться общая задача сортировки точек в K-мерном пространстве. Получившаяся в результате такой интеграции модификация алгоритма Дженсена имеет вычислительную сложность $O(N\times\log^{K-2}N\times\log\log N)$, что является лучшей вычислительной сложностью среди известных на данный момент алгоритмов недоминирующей сортировки.

Литература

1. Fudenberg D., Tirole J. Game Theory. – Cambridge, MA: MIT Press, 1991. – 363 p.
2. K. Deb, Pratap A., Agarwal S., Meyarivan T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II // Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. – 2002. – V. 6. – № 2. – P. 182–197.
3. Corne D.W., Knowles J.D., Oates M.J. The Pareto envelope-based selection algorithm for multiobjective optimization // Parallel problem solving from nature PPSN VI. – 2000. – P. 839–848.
4. Corne D.W., Jerram N.R., Knowles J.D., Oates M.J. PESA-II: Region-based selection in evolutionary multiobjective optimization // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference. – 2001. – P. 283–290.
5. Zitzler E., Laumanns M., Thiele L. SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:24689/eth-24689-01.pdf, своб.
6. Knowles J.D., Corne D.W. Approximating the nondominated front using the Pareto archived evolution strategy // Evolutionary computation. – 2000. – V. 8. – № 2. – P. 149–172.
7. Abbass H.A., Sarker R., Newton C. PDE: a Pareto-frontier differential evolution approach for multi-objective optimization problems // Evolutionary Computation. – 2001. – P. 971–978.
8. Li K., Deb K., Zhang Q., Zhang Q. Efficient non-domination level update approach for steady-state evolutionary multiobjective optimization // Department of Electtrical and Computer Engineering, Michigan State University. – 2014. – № 2014014.
9. Kung H.-T., Luccio F., Preparata F. P. On finding the maxima of a set of vectors // Journal of the ACM (JACM). – 1975. – V. 22. – № 4. – P. 469–476.
10. Jensen M.T. Reducing the run-time complexity of multiobjective EAs: The NSGA-II and other algorithms // Evolutionary Computation, IEEE Transactions on. – 2003. – V. 7. – № 5. – P. 503–515.

11. Fortin F.-A., Grenier S., Parizeau M. Generalizing the improved run-time complexity algorithm for non-dominated sorting // Proceedings of the 15th annual conference on Genetic and evolutionary computation. – 2013. – P. 615–622.
12. Buzdalov M., Shalyto A. A provably asymptotically fast version of the generalized Jensen algorithm for non-dominated sorting // Parallel Problem Solving from Nature–PPSN XIII. – 2014. – P. 528–537.
13. Nekrich Y. A fast algorithm for three-dimensional layers of maxima problem // Algorithms and Data Structures. – 2011. – P. 607–618.

Кузнецова Ксения Александровна
Год рождения: 1991
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, группа № Т4217
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: kuzy51@rambler.ru

УДК 663.53

СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ СУХИХ СПИРТОВЫХ ДРОЖЖЕЙ К СБРАЖИВАНИЮ ЯЧМЕННОГО СУСЛА ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ

К.А. Кузнецова
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.В. Баракова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615871 «Биотехнология, процессы и аппараты для производства продуктов питания функционального назначения».

В последние годы спиртовые заводы более активно применяют в своем производстве сухие спиртовые дрожжи, а не чистую культуру. Производители сухих спиртовых дрожжей рекомендуют различные способы подготовки дрожжей к брожению: прямой засев сухих дрожжей; проведение предварительной регидратации/реактивации дрожжей; включение в технологический процесс стадии дрожжегенерации [1].

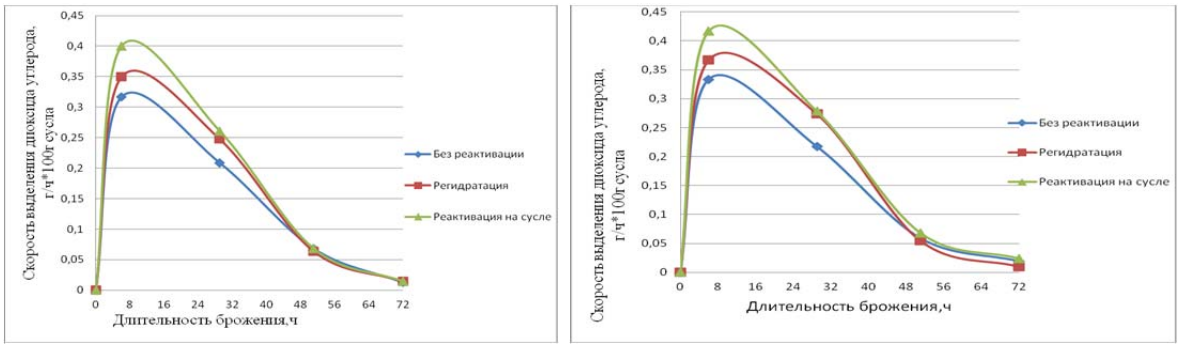
Состав питательной среды, на которой осуществляется восстановление мембраны дрожжевой клетки, является одним из наиболее важных факторов, влияющих на физиологическое состояние дрожжей и первую очередь ее углеводный состав, который формируется главным образом режимом осахаривания [2].

В настоящее время в спиртовом производстве применяется два способа осахаривания зернового сусла: традиционный для России способ осахаривания – внесение осахаривающих материалов на стадии водно-тепловой (ВТО) и ферментативной обработки при 60°С и метод широко распространенный в европейских странах – метод SSF, когда осахаривающие материалы вносятся перед началом брожения [3].

В России исследовательских работ по сбраживанию ячменного сусла повышенной концентрации, осахаренного по методу SSF, ранее не проводилось, отсутствуют также работы по выбору способа подготовки сухих спиртовых дрожжей для сбраживания такого сусла. Данные работы являются актуальными и востребованными для производителей спирта.

Целью работы стали: обоснование способа осахаривания ячменного сусла и способ подготовки сухих спиртовых дрожжей для сбраживания ячменного сусла повышенной концентрации.

Выбор способа регидратации/реактивации сухих спиртовых дрожжей для сбраживания ячменного сусла повышенной концентрации, приготовленного при разных режимах внесения глюкоамилазы. В работе были рассмотрены различные способы подготовки сухих спиртовых дрожжей к брожению: непосредственное внесение сухих дрожжей в сбраживаемую среду, регидратация дрожжей на воде и реактивация на сусле, подготовленного при разных режимах внесения осахаривающих материалов – ферментных препаратов осахаривающего действия, содержащих фермент–глюкоамилазу. Доза глюкоамилазы в обоих случаях составляла 7 ед. ГлС/г крахмала. Разный режим внесения глюкоамилазы позволил получить два образца сусла с одинаковым содержанием сухих веществ (21,4%), но с различным значением осмоляльности. Осмоляльность сусла, поступающего на брожение при традиционном способе осахаривания, составила 851 ммоль/кг, а осмоляльность сусла, подготовленного по методу SSF – 531 ммоль/кг, что впоследствии повлияло на физиологическое состояние дрожжей при брожении [4]. Регидратацию/реактивацию сухих спиртовых дрожжей проводили на воде или сусле, осахаренном различными способами, в течение 10 мин при температуре 33–35°С. После подготовки дрожжей их вносили в сбраживаемую среду. Начальная концентрация дрожжевых клеток во всех образцах составляла от 30–36 млн/мл. Оценку способов подготовки сухих спиртовых дрожжей к сбраживанию проводили по динамике выделения диоксида углерода в процессе сбраживания сусла и показателям зрелой бражки.



а б

Рисунок. Скорость выделения диоксида углерода в процессе сбраживания ячменного сусла повышенной концентрации, осахаренного традиционным способом (а) и по методу SSF (б)

Показатели зрелой бражки в зависимости от способа подготовки сухих спиртовых дрожжей и способа осахаривания сусла представлены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели зрелой бражки

Способ осахаривания	Способы подготовки сухих дрожжей	Крепость бражки, об. %	Выход спирта, см/100 г крахмала	Спиртовой коэф-т	Сод. несброж. углев., г/100 см^3
при *Т*=60°С, после ВТО (традиционный способ осахаривания)	Без реактивации/ регидратации	11,3±0,20	61,58±2,8	0,528	1,38±0,07
	Регидратация на воде	11,6±0,30	61,60±2,8	0,542	1,35±0,06
	Реактивация на сусле	11,8±0,30	62,58±3,0	0,551	1,15±0,05

Способ осахаривания	Способы подготовки сухих дрожжей	Крепость бражки, об. %	Выход спирта, см/100 г крахмала	Спиртовой коэф-т	Сод. несброж. углев., г/100 см^3
при *Т*=30°С перед началом брожения (метод SSF)	Без реактивации/ регидратации	11,6±0,20	64,73±3,0	0,542	1,01±0,05
	Регидратация на воде	12±0,20	65,06±3,1	0,560	0,95±0,04
	Реактивация на сусле	12,1±0,20	65,29±3,1	0,565	0,92±0,04

На основании данных, представленных на рисунке и в табл. 1 следует, что независимо от способа осахаривания сусла, наиболее эффективным способом подготовки сухих спиртовых дрожжей к сбраживанию является их реактивация на сусле, при этом сусло, осахаренное по методу SSF, позволяет получать зрелую бражку с более высокой концентрацией спирта.

Обоснование времени дрожжегенерации сухих спиртовых дрожжей на ячменном сусле повышенной концентрации, приготовленном при разных режимах внесения глюкоамилазы. С целью снижения расхода сухих дрожжей многие спиртовые заводы включают в технологический процесс стадию дрожжегенерации. Свойства дрожжей будут меняться в процессе их культивирования, поэтому актуальной задачей является определение продолжительности дрожжегенерации, которое позволит получить дрожжи в хорошем физиологическом состоянии и с высокой бродильной активностью, чтобы впоследствии дрожжи могли наиболее полно утилизировать сбраживаемые углеводы, содержащиеся в сусле [2, 5]. Сусло, на котором проводился процесс дрожжегенерации, готовилось при разных режимах внесения глюкоамилазы (традиционным способом и по методу SSF). Дрожжегенерация проводилась при температуре 33°С в течение 6–8 ч. Было зафиксировано, что прирост биомассы дрожжей в процессе культивирования на сусле, подготовленном методом SSF, происходит быстрее и достигает более высоких значений (220 млн/мл), чем на сусле, осахаренном традиционным способом (190 млн/мл), при этом максимальное количество почкующихся клеток было зафиксировано через 7 ч после начала дрожжегнерации. На 6-ом, 7-ом и 8-ом часе дрожжегенерации проводили отбор проб, в которых исследовалась продуктивность. Для исследования бродильной активности дрожжей пробы вносились в сусло, осахаренное различными способами (традиционным и по методу SSF). Начальная концентрация дрожжевых клеток составляла от 20 до 24 млн/мл. Брожение проводилось при температуре 30°С в течение 72 ч. Показатели зрелой бражки представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели зрелой бражки

Режим внесения глюкоамилазы	Продол. дрож-ия сух. спир. дрожжей	Крепость бражки, об.%	Выход спирта, см^3 /100 г усл. крахмала	Спиртовой коэф-т	Сод. несброж. углеводов, г/100 см^3
при *Т*=60°С, после ВТО (традиционный способ осахаривания)	6 ч	11,1±0,20	60,08±2,8	0,518	0,41±0,08
	7 ч	11,4±0,30	62,40±2,9	0,533	0,37±0,05
	8 ч	11,3±0,20	61,68±2,9	0,528	0,39±0,06

Режим внесения глюкоамилазы	Продол. дрож-ия сух. спир. дрожжей	Крепость бражки, об.%	Выход спирта, $см^3$ /100 г усл. крахмала	Спиртовой коэф-т	Сод. несброж. углеводов, г/100 $см^3$
при *Т*=30°С перед началом брожения (метод SSF)	6 ч	11,4±0,30	64,15±3,0	0,533	0,38±0,05
	7 ч	11,8±0,40	65,01±3,1	0,551	0,29±0,05
	8 ч	11,6±0,40	64,71±3,1	0,542	0,32±0,06

Из таблицы видно, что наибольшая крепость бражки в количестве 11,8%, была получена при сбраживании сусла, осахаренного методом SSF и сброженными дрожжами, отобранными через 7 ч дрожжегенерации.

Сравнивая способ реактивации сухих спиртовых дрожжей на ячменном сусле повышенной концентрации и 7 часовую дрожжегенерацию, установили, что наибольший выход спирта был получен при сбраживании сусла, осахаренного методом SSF сухими спиртовыми дрожжами, реактивирование которых проводилось на сусле, также осахаренном методом SSF. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели зрелой бражки

Режим внесения глюкоамилазы	Способ подготовки сухих спиртовых дрожжей	Крепость бражки, об.%	Выход спирта, $см^3$/100 г условного крахмала
при *Т*= 60°С, после ВТО (традиционный способ осахаривания)	7 часовая дрожжегенерация	11,4±0,30	62,40±3,0
	Реактивация на сусле	11,8±0,30	62,58±3,0
при *Т*= 30°С, перед началом брожения (метод SSF)	7 часовая дрожжегенерация	11,8±0,20	65,01±3,0
	Реактивация на сусле	12,1±0,20	65,29±3,1

Обобщая результаты, отметим следующее:

- установлено, что не зависимо от способа подготовки сухих спиртовых дрожжей к сбраживанию – внесение дрожжей в сусло без предварительной подготовки, предварительно регидратированных/реактивированных на воде или на ячменном сусле – скорость накопления биомассы дрожжей и итоговая концентрация дрожжей выше на сусле, осахаренном по методу SSF;
- при сравнении способов подготовки сухих спиртовых дрожжей к сбраживанию наибольший эффект показал способ реактивации сухих спиртовых дрожжей на зерновом сусле, подготовленном по методу SSF;
- при подготовке дрожжей методом дрожжегенерации наибольшую бродильную активность имеют дрожжи, выращенные на сусле, осахаренном по методу SSF. Время дрожжегенерации сухих спиртовых дрожжей составляет 7 ч;
- при сравнивании 7 часовой дрожжегенерации и реактивации на сусле лучший результат показали дрожжи, реактивация которых проводилась на сусле, осахаренном по методу SSF.

Литература

1. Технологическая инструкция по применения сухих дрожжей DistilaMax® HT в спиртовом производстве ТИ 10-00334586 – М.: ВНИИПБТ, 2015. – 14 с.

2. Мартыненко Н.Н., Верченов В.В., Римарева Л.В. Влияние углеводного состава среды на реактивацию сухих винных и спиртовых дрожжей // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2006. – № 1. – С. 34–35.
3. Srichuwong S., Fujiwara M., Wang X. et al. Simultaneous saccharification and fermentation (SSF) of very high gravity (VHG) potato mash for the production of ethanol // Biomass and bioenergy. – 2009. – V. 33. – P. 890–898.
4. Меледина Т.В., Давыденко С.Г., Васильева Л.М. Физиологическое состояние дрожжей. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 48 с.
5. Римарева Л.В., Оверченко М.Б., Серба Е.М. и др. Технологические аспекты использования сухих дрожжей в производстве спирта // Производство спирта и ликероводочных изделий. – 2011. – № 3. – С. 15–16.

Лавров Дмитрий Глебович
Год рождения: 1980
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра безопасности информационных технологий, группа № Р4250
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail автора: erall@mail.ru

УДК 004.056 (075.8)

АНАЛИЗ УГРОЗ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОТОКОЛА DYMO В СЕТИ ZIGBEE

Д.Г. Лавров
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.С. Лебедев

Цели применения протокола Security Dynamic MANETOn-demand (s-DYMO) должны обеспечить простой, но при этом универсальный и эффективный протокол маршрутизации для мобильных одноранговых сетей, способных адаптироваться к высоко динамичной топологии [1]. В данной работе исследовался протокол с несколько иной реализацией. Авторы хотели показать, что возможно практически внедрить в реально действующую сеть даже те протоколы для MANET и распределенных сенсорных сетей, которые находятся на стадии разработки, например, такие как протокол s-DYMO.

Применение общего и расширенного формата, обеспечивающего пакет PacketBB, создает слишком высокую нагрузку в каналах передачи сенсорной сети. В условиях, когда характерный размер пакета составляет 35 Б, использование каждого байта должно быть тщательно продумано. Как следствие, разработан конкретный формат пакета s-DYMO, который не всегда может быть применим на практике, но вместе с тем более нагляден для экспериментов и исследований. Хотя это могло бы быть полезно, работа не содержит при этой реализации функции межсетевой маршрутизации протокола s-DYMO для того, чтобы сохранить эксперименты настолько простыми, насколько это возможно [2].

Даже с используемой здесь упрощенной версией s-DYMO, реализация протокола в TinyOS не проста, особенно потому, что предпринята попытка решения дополнительных двух задач. Во-первых, сделана попытка тщательно изучить операции с s-DYMO, а также создать их описание для того, чтобы обеспечить полезную обратную связь для создания спецификаций. Во-вторых, требуется не только обеспечить реализацию s-DYMO в TinyOS, но и предоставить код и

компоненты, которые могут быть повторно использованы для реализации других протоколов маршрутизации.

В результате реализации было проведено множество различных тестов и экспериментов, которые выявили множество недостатков и ошибок. В настоящее время протокол функционирует и должен работать без проблем с небольшим количеством устройств.

Программное обеспечение и документы, принятые для внедрения в операционную систему TinyOS, дали хороший и интересный обзор и задел для будущих разработок. Он также познакомил нас с успешным примером того, как исследования проблемы могут быть решены.

Реализация протокола в конкретной сети может быть улучшена. Рассмотрение структуры реализации будет полезно по двум причинам. Во-первых, основной недостаток в компактном формате, то, что он не может быть продлен и до сих пор взаимодействует в существующем формате. В нем могут быть некоторые решения, чтобы позволить некоторое расширение формата, сохраняя при этом его компактным. Эта проблема нуждается в дальнейшем исследовании. Во-вторых, чтобы обеспечить повторно используемый код схема его реализации должна быть переработана, чтобы быть более мелкозернистой, так что, даже используя различные виды протокола маршрутизации, можно извлечь выгоду из этого [3].

Рассмотрение протокола s-DYMO в контексте повышения безопасности, созданного из DYMO-протокола, позволяет сказать, что он может решить большинство недостатков в безопасности, характерных, как для его предшественника, так и для других протоколов.

Использование криптографий с открытым ключом, как и в других защищенных протоколах маршрутизации s-DYMO, позволяют максимально упростить наладку системы при ее реализации.

Протокол s-DYMO является более эффективным, чем другие, потому что один процесс обнаружения маршрута решается за счет алгоритма обновления кросс-маршрутизации пути для всех промежуточных узлов. Таким образом, достигается требуемый уровень стойкости к несанкционированному доступу.

Также на основании исследуемых параметров было произведено моделирование в зависимости от используемых методов резервирования и защиты беспроводной децентрализованной саморегулирующейся сети с мобильными элементами связи, приведенные в таблице. Можно легко убедиться, что наибольшую опасность для сети представляют сторонние устройства, которые могут быть внедрены злоумышленником в сеть [4].

Таблица. Результаты моделирования в зависимости от используемых методов резервирования и защиты беспроводной децентрализованной саморегулирующейся сети с мобильными элементами связи

Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.	Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.
Сканирование сети	1,000	1,000	Вредоносные программы	0,997	0,950
Подмена устройства	0,999	0,990	Комплексная атака	0,995	0,900
Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.	Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.
Перехват пакетов	0,999	0,980	Замирания	0,996	0,985

Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.	Вид воздействия	$К_г$ сети	Пропуски, способн.
Переполнение	0,998	0,951	Атаки с учетом состояния радиоканала	0,994	0,884
Отказ в обслуживании	0,998	0,980	Отказ элементов сети	0,997	0,994
Модификация сети	0,997	0,950	Отказ сети с учетом всех воздействий	0,991	0,881

Определение времени безопасного функционирования защищаемой системы с вероятностью несанкционированного доступа не выше 0,995 (рисунок) производилось путем расчета среднего времени преодоления защиты сети по модели предложенной В.П. Ивановым [5]. Матрицы вероятностей переходов рассчитывались в соответствии с числом ходов, размерами пакетов и формируемыми хэш-функциями электронной цифровой подписи. Анализ был произведен для всех трех исследуемых протоколов, а также для модифицированного протокола s-DYMO_1, используемого в данной сети. С учетом того что протокол s-DYMO_1 был адаптирован к исследуемой сети его показатели оказались закономерно лучшими.

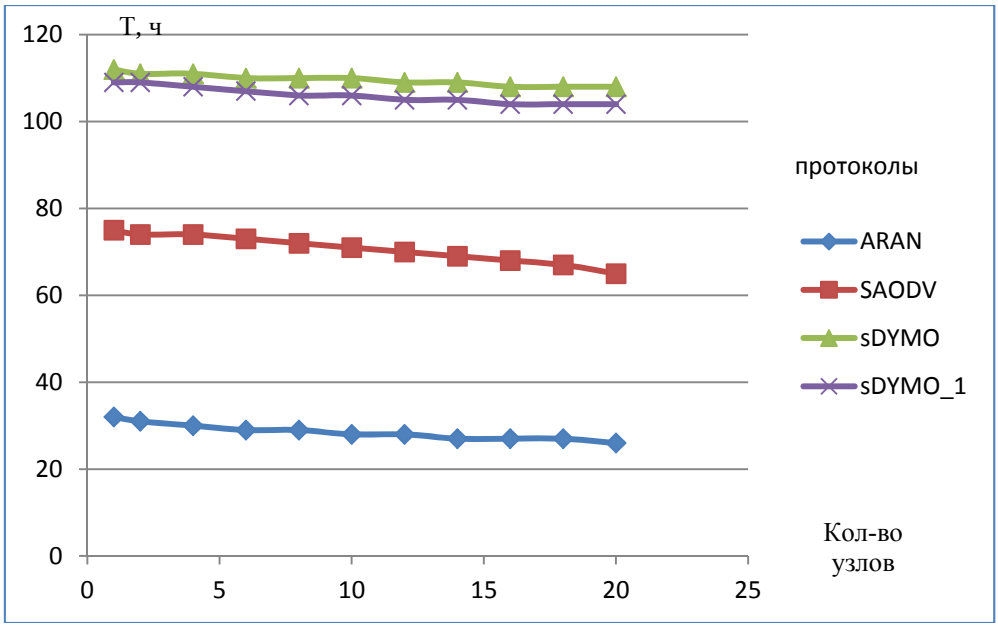


Рисунок. Время безопасного функционирования защищаемой системы в зависимости от количества узлов

В целом протокол обеспечивает работу сети s-DYMO с установленной степенью надежности и защищенности от несанкционированного доступа. За время эксплуатации системы с ноября 2014 года на предприятии сбоев в работе системы в виду несанкционированного доступа, а также технических неполадок и отказов не зафиксировано.

В целом изучения надежности протокола и выработка инженерных решений по устранению его уязвимости относительно вредоносного программного обеспечения в виде червей требует дальнейших исследований.

Литература

1. Clausen T., Dearlove C., Dean J., Adjih A. Generalized MANET packet/message format (work in progress) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ietf.org/internet-drafts/ draft-ietf-manet-packetbb-04, своб.
2. Ватаманюк А.И. Беспроводная сеть своими руками. – СПб.: Питер, 2006. – 192 с.
3. Биячуев Т.А. Безопасность корпоративных сетей. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2004. – 161 с.
4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-3-2008. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Часть 3. Требования доверия к безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-iso-mek-15408-3-2008, своб.
5. Иванов В.П. Математическая оценка защищенности информации от несанкционированного доступа // Специальная техника. – 2008. – № 3-4. – С. 57–68.

Лазарева Виктория Викторовна
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра технологий приборостроения, группа № Р4280
Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение
e-mail: be_born_vika@mail.ru

УДК 681.2:001.89

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРЕХМЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

В.В. Лазарева
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Грибовский

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615863 «Научные основы создания цифрового производства в приборостроении».

Технологии трехмерного сканирования в последние годы получили стремительное развитие. Прежде всего, это связано с коренным изменением подходов в представлении эксплуатационной и инженерно-конструкторской информации, которое характеризуется переходом от двухмерных чертежей и документов к трехмерным моделям [1]. Одним из наиболее эффективных методов получения трехмерных моделей изделий является оптико-цифровое сканирование, или, как его еще называют, трехмерное сканирование. Являясь современной технологией, трехмерное сканирование позволяет сокращать сроки и стоимость производства. Благодаря точности получаемой трехмерной модели становится возможным разработка дополнительного оборудования, визуальное моделирование, оценка внешних качеств. В основе применения технологии трехмерного сканирования лежит решение важных для любого предприятия задач, таких как проектирование модели объекта с высокой точностью и контроль качества изделия. Уникальность технологии позволяет применять новые принципы, как для моделирования, так и для контроля

изделий. До последнего времени контроль параметров изделия осуществлялся человеком на основе визуального восприятия изображения, получаемого в системах контроля. Процесс контроля зачастую занимал много времени и не всегда отвечал заданной точности. Если говорить о процессе контроля партии серийного производства, то здесь формирование отчетности растягивалось на несколько дней, потому что процесс совмещения и анализа каждой модели является довольно кропотливым процессом. В настоящей работе были поставлены задачи осуществления автоматизации процессов моделирования и контроля. Имеется необходимость значительно повысить скорость процесса сканирования за счет полной автоматизации процесса, требующей участия пользователя только как наблюдателя, и существенно увеличить производительность любого предприятия по осуществлению качественного контроля партии изделий за счет средств автоматизации.

В работе представлены существующие на данный момент способы сканирования и измерения объектов в реальном времени, приводится анализ трехмерного и оптического оборудования для осуществления процесса сканирования изделий. Выбор оборудования, на основе представленных, сделан таким образом, чтобы удовлетворять заданной точности при осуществлении процесса трехмерного сканирования. При рассмотрении трехмерных сканеров и оптических установок были представлены данные о качестве и погрешностях сканирования каждого устройства, был проведен сравнительный анализ качества поверхности моделей, полученных после сканирования каждой из установок. На основе сравнительного анализа оптических установок была выбрана наиболее подходящая и удовлетворяющая условиям задачи. Наивысшую оценку по необходимым параметрам имеет метод сканирования, основанный на процессе интерференционного проецирования структурированного света совместно с методом фотограмметрии. Для реализации поставленной в работе задачи была использована оптическая установка ATOS I-2M, которая основана на принципе совмещения интерференционного проецирования с фотограмметрией [2]. Существенным преимуществом выбранной оптической системы является возможность автоматизации процесса трехмерного сканирования, с целью повышения производительности. Реализовано это в работе с помощью создания поворотного стола и полной его синхронизации с трехмерным сканером. Была спроектирована и разработана конструкция поворотного стола, которая существенно упрощает процесс сканирования, делая его полностью автоматическим. Пользователю остается только контролировать процесс сканирования и менять положение оптической установки, когда это требуется. Модуль управление столом разработан на базе платформы микроконтроллера Arduino. Поворот стола осуществляется за счет шагового двигателя, который управляется драйвером шагового двигателя. В устройстве стола есть блок питания от сети и тумблер, с помощью которого осуществляется переключение с полностью автоматического режима на ручное выставление параметров поворота. Для того чтобы автоматизировать процесс сканирования оптической установкой синхронно с поворотным столом, написан специальный макрос, с помощью которого трехмерный сканер осуществляет непрерывный процесс сканирования. В среде Adonis было произведено имитационное моделирование процессов сканирования при полной и частичной автоматизации. В результате время, потраченное на цикл процесса сканирования объекта при частичной автоматизации, составляет 15 минут 31 секунда, что практически в три раза превышает время, потраченное на цикл в автоматическом режиме сканирования.

При производстве партии изделий в рамках мелкосерийного или крупносерийного производства встает вопрос о выборочном контроле изделий на наличие дефектов. Учитывая то, что контролировать нужно большое количество

изделий, резко повышается потребность в автоматизации процесса контроля. Широкое распространение в быстром серийном производстве сейчас получила технология литья полимеров. Литье полимеров широко используется для производства партий изделий, когда необходимо изготавливать продукцию одинаковой формы и размеров, со сравнительно небольшой себестоимостью. Для получения крупных партий изделий применяется литье под давлением в термопластавтоматах, а для небольшой партии – литье в силиконовые формы. В данной работе было произведено сканирование и анализ изделий, полученных методом литья в силиконовые формы. Опытным путем была получена небольшая партия изделий, из которых были выбраны те, которые будут подвергаться контролю поверхностей и форм. Для получения изделий, которые будут подвергаться сканированию в данной работе, использовались пластики, делящиеся по цветам на два типа: прозрачные (требующие подкрашивания специальными красителями) и белые. Для сравнительного эксперимента было получено несколько цветов, отличных от белого, чтобы проанализировать насколько цвет влияет на процесс сканирования. На рисунке представлены типы моделей, изготовленные методом литья в силиконовую форму полиуретанов разного цвета.

Рисунок. Пример изделий, полученных литьем в силиконовую форму

На основании произведенного анализа были сделаны выводы о возможности сканирования изделий разных цветов. Для обеспечения более качественного сканирования с минимальным уровнем шума лучше использовать объекты белого цвета. Для оптимизации сканирования за счет увеличения скорости аналогично лучше всего подходит использование изделий белого цвета, потому что увеличение выдержки, требуемое для сканирования более темных объектов, значительно замедляет процесс сканирования. На основании данных о сканировании поверхностей разного типа было решено использовать для литья в силиконовые формы пластики белого цвета, которые отлично подвергаются сканирования. На основании экспериментов было произведено 40 изделий одного типа методом литья, из них 10 изделий были выбраны для осуществления сканирования и контроля геометрии формы. Для контроля изделий, полученных методом литья в силиконовые формы, после осуществления процесса трехмерного сканирования использовалось программное обеспечение Geomagic Control. Одной из отличительных особенностей программного обеспечения Geomagic Control является наличие инструментов для осуществления процесса автоматизации. И одним из таких инструментов, выбранных для реализации задач, поставленных в данной работе, является создание бизнес-процессов автоматизации. Данный инструмент существенно облегчает работу, когда

речь идет о создании унифицированного бизнес-процесса для определенных групп изделий. Группирование представляет собой процесс объединение объектов, подобных друг другу по форме, размерам и технологическому процессу их изготовления в определенные группы [3]. Отнесение детали к определенной группе изделий на основании ее формы значительно упрощает процесс обработки деталей, произведенных аналогичным способом. В рамках работы был создан бизнес-процесс автоматизированного плана контроля изделий, схожих по форме и отнесенных к одной группе. Для существенного повышения автоматизации рассмотрена и опробована возможность использования режима пакетной обработки, который позволяет одновременно производить анализ сразу большого количества изделий на предмет отклонений от формы. Данный подход к анализу изделий серийного производства значительно ускоряет процесс формирования отчетности на производстве. Любые отклонения в заданных рамках система отразит в отчете и на основании цветовой диаграммы отклонений, по которой можно судить о погрешностях моделей в тех или иных местах [4].

Применение средств автоматизации делает производство конкурентоспособным на нынешнем рынке производства изделий. Исходя из этого, внедрение данных процессов необходимо каждому предприятию. Для осуществления процесса контроля партии изделий требуются значительные затраты времени и ресурсов. Автоматизация данного процесса значительно упростит работу в области осуществления контроля изделий и повысит точность анализа. Комплекс проведенных в данной работе исследований направлен на повышение эффективности решения задач технологической подготовки производства за счет разработки новых методов, применения передовых информационных технологий. Были разработаны средства автоматизации процесса трехмерного сканирования и процесса осуществления контроля геометрии изделий, полученных методом литья в силиконовые формы. Предложена и подробно описана методика осуществления контроля изделий на основе создания автоматизированного плана контроля по данным группирования. Возможности режима пакетной обработки сразу партии изделий серийного производства значительно повышают производительность предприятия по осуществлению контроля. На основании данных проведенных экспериментов произведено имитационное моделирование процессов сканирования и контроля изделий, произведен сравнительный анализ производственных процессов до и после внедрения автоматизации. В результате работы создана методика контроля изделий с помощью трехмерной сканирующей установки. Данная методика применена к партии изделий, полученных литьем в силиконовые формы. Проанализированы данные, полученные в результате анализа партии изделий.

Литература

1. Лоскутов В.В. Использование трехмерного сканирования и печати на различных стадиях жизненного цикла кораблей и судов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.remmag.ru/upload_data/files/03-2014/InterCAD.pdf, своб.
2. Грибовский А. А. Геометрическое моделирование в аддитивном производстве. Учебное пособие – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 49 с.
3. Пирогов А.В. Разработка и моделирование процессов технологической подготовки производства изделий из полимерных оптических материалов: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – СПб.: НИУ ИТМО, 2014. – 175 с.
4. Грибовский А.А., Грибовская А.А. Технологии быстрого производства в приборостроении. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 66 с.

Лугова Маргарита Витальевна
Год рождения:1992
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, № Т4225
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: lm154@mail.ru

УДК 663.674

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЗАМОРОЖЕННОГО ДЕСЕРТА БЕЗ САХАРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КУНЖУТНОЙ МУКИ

М.В. Лугова
Научный руководитель – д.т.н., профессор Т.П. Арсеньева

Согласно Распоряжению Правительства Российской Федерации от 25 октября 2010 г. № 1873-р «Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года» создание диетических, лечебных и профилактических пищевых продуктов функционального назначения является одной из приоритетных задач внутренней политики государства [1–5].

Главными современными болезнями являются ишемическая болезнь сердца, диабет, ожирение, патология толстого отдела кишечника, рак кишечника, желчнокаменная болезнь, легочные болезни (включая опухоли), варикозное расширение вен. Все эти болезни связаны с типом питания людей, живущих в экономически развитых странах. Независимо от социальной и профессиональной принадлежности, возраста, места проживания, пола, актуальная проблема современной медицины – это сахарный диабет. Сахарный диабет называют «неинфекционной эпидемией», которая охватила более 160 млн человек в мире.

В этой связи проблема разработки продуктов функционального назначения приобретает особую актуальность.

Одним из рациональных путей решения данной проблемы является расширение ассортимента и, как вариант, разработка технологии замороженного десерта без добавления сахара с добавлением кунжутной муки, для людей, страдающих сахарным диабетом, ожирением и дефицитом кальция.

Польза кунжутной муки в первую очередь заключается в витаминно-минеральном составе продукта, который содержит рекордное количество кальция и другие полезные природные соединения. Кунжутная мука может стать отличным природным лекарственным средством сердечно-сосудистых заболеваний, желудочно-кишечного тракта, кроме того, научно установлено, что кунжутная мука оказывает благоприятное воздействие при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, а также дерматитах, заболеваний дыхательных органов и при анемии.

Цели и задачи исследования. Анализ изложенного указывает на актуальность постановки исследований по созданию замороженного десерта с использованием кунжутной муки без добавления сахара, для людей страдающих сахарным диабетом.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи исследования:

– подобрать вид и дозу внесения стабилизатора;
– поиск и подбор компонентов для замены сахара в замороженном десерте;

– определить концентрацию кунжутной муки;
– определить способ и стадию внесения кунжутной муки при производстве замороженного десерта;
– разработать рецептуру замороженного десерта с добавлением кунжутной муки без добавления сахара;
– обосновать требования к готовой продукции;
– разработать особенности технологии замороженного десерта с добавлением кунжутной муки без добавления сахара;
– установить сроки годности готового десерта.

Экспериментальная часть работы. Опытные образцы смеси замороженного десерта в лабораторных условиях готовили следующим образом: воду нагревали до температуры 35–40°С, в которую вносили предварительно смешанные сухие компоненты, перешивали до практически полного растворения. Затем осуществляли нагрев до температуры 85°С с выдержкой 60 с. Гомогенизацию осуществили при этой же температуре, давление гомогенизации 10–12 МПа. Гомогенизированную смесь охлаждали до температуры 10°С, оставляли в холодильной камере (температура 8°С) для созревания смеси, продолжительность созревания 4–12 ч. Фризерование осуществляли на фризере периодического действия, без принудительной подачи воздуха. Температура замороженного десерта на выходе из фризера –5±1°С.

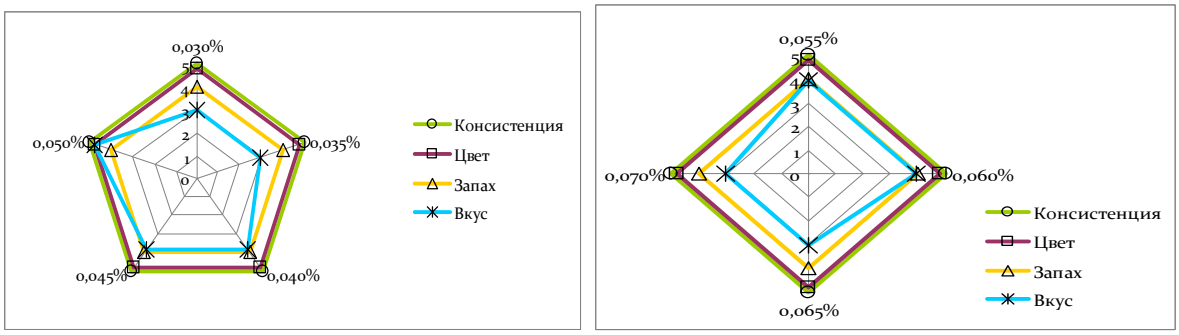
В ходе исследований осуществляли подбор вида стабилизатора. Дозу внесения стабилизаторов брали согласно рекомендации производителя. Показатели качества опытных образцов замороженного десерта с исследуемыми стабилизаторами представлены в таблице.

Таблица. Показатели качества замороженного десерта с разными стабилизаторами

Показатели	Вид внесения стабилизатора		
	PGX-1 в количестве 0,4%	Кремодан 334 в количестве 0,4%	Денайс 805R в количестве 0,4%
Органолептические	Вкус сливочный, сладкий, специфический привкус стевии, консистенция в меру плотная, однородная без ощутимых кристаллов льда	Вкус сливочный, сладкий, специфический привкус стевии, консистенция достаточно плотная, однородная без ощутимых кристаллов льда	Вкус сливочный, сладкий, специфический привкус стевии, консистенция в меру плотная, однородная без ощутимых кристаллов льда
Взбитость, %	36±2	34±2	32±2
Сопротивляемость таянию, мин	43±2	40±1	40±1
Температура на выходе из фризера, °С	–5±1	–5±1	–5±1

Как видно из данных таблицы опытные образцы с использованием стабилизатора PGX-1 имели нежную, достаточно плотную консистенцию и более высокую избитость и сопротивляемость таянью, поэтому в дальнейших исследованиях можно было использовать стабилизатор PGX-1.

В дальнейших исследованиях осуществляли подбор концентрации стевиозида. Концентрацию стевиозида варьировали от 0,03 до 0,07% с шагом 0,05. Полученные экспериментальные данные согласно бальной оценке представлены на профилограммах рис. 1.



а б

Рис. 1. Результаты органолептической оценки опытных образцов замороженного десерта с дозой внесения от 0,030 до 0,050% (а) и от 0,055 до 0,070% (б)

После органолептической оценки образцов выявлено, что образец с дозой внесения стевиозида 0,050% получил наивысшую органолептическую оценку. Однако смесь замороженного десерта имела специфический привкус стевиозида, но при уменьшении концентрации стевиозида наблюдалась недостаточная сладость. В связи с этим в дальнейших исследованиях осуществляли подбор концентрации сиропа топинамбура, который варьировали от 1 до 9% с шагом 1. Профилограмма представлена на рис. 2.

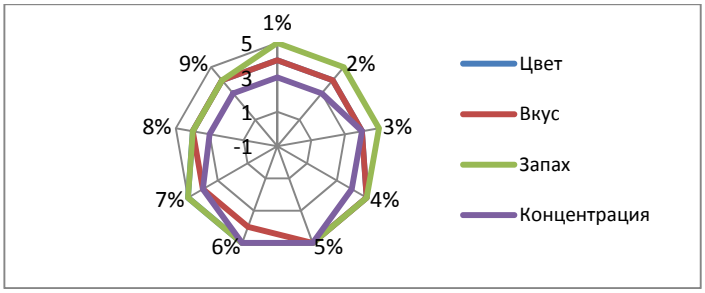


Рис. 2. Профилограмма органолептической оценки замороженного десерта с различной концентрацией сиропа топинамбура

Как видно из диаграммы наивысшее количество баллов имела смесь с концентрацией 5%. Параллельно была снижена доза стевиозида до 0,04%, из-за специфического послевкусия. В заключение можно сделать вывод, что при концентрации сиропа топинамбура 5% и стевиозида 0,04% смесь имела наивысшую 5-ти бальную оценку по вкусу, без посторонних привкусов и запахов.

Концентрацию кунжутной муки варьировали от 1 до 5% с шагом 0,5%. На основании экспериментальных данных выявлено, что доза внесения 1,5 и 2% кунжутной муки получили наивысшую оценку экспертной группы.

Кунжутную муку вносили непосредственно в нормализированную смесь, после процесса гомогенизации, затем смесь поступала на фризерование. Замороженный десерт по вкусу и запаху соответствовал предъявляемым требованиям, по консистенции наблюдалась излишняя крупитчатость кунжутной муки. По этой причине в дальнейшем проводили тепловую обработку (варку) кунжутной муки, после которой появилась более мягкая текстура. В соотношении мука к воде 1:10 в течение 15–20 мин, до полного испарения воды, влага 80±1%.

В ходе исследования была рассчитана рецептура готового десерта из расчета внесения 1,5–2% кунжутной муки, стевиозида 0,04%, сиропа топинамбура в количестве 5% от массы смеси. Продолжительность хранения образца составило 8 месяцев, руководствуясь методикой расчета сроков годности (Гигиеническая оценка сроков годности пищевых продуктов) сроки годности установлены до 6 месяцев.

Основные результаты работы

1. Теоретически и экспериментально обоснован подбор компонентов растительного происхождения для мороженого лечебно-профилактического назначения, что позволило получить замороженный десерт с высокими показателями качества для людей, страдающих сахарным диабетом.
2. Анализом полученных экспериментальных данных установлена доза внесения стевиозида 0,04%, сиропа топинамбура в количестве 5% от массы смеси, позволяющие получить замороженный десерт, с приятным вкусом и запахом.
3. Установлено, что лучшие показатели готового замороженного десерта по взбитости и сопротивляемости таянию, плотной однородной консистенцией были получены с использованием стабилизатора PGX-1 с дозой внесения 0,4%.
4. Определена доза внесения кунжутной муки 1,5%–2%, которую необходимо предварительно отварить в соотношении мука к воде 1:10 в течение 15–20 мин до полного испарения воды, влага 80±1%.
5. Разработана технологическая схема производства замороженного десерта для диабетического питания с учетом особенностей вводимых компонентов. Установлена целесообразность внесения кунжутной муки перед фрезерованием, в созревшую смесь.
6. Установлены сроки годности замороженного десерта молочного без сахара с использованием кунжутной муки до 6 месяцев при температуре минус 18°С. И произведен расчет энергетической ценности замороженного десерта, на 100 г продукции приходится: белки – 6,6 г; жиры – 7,4 г; углеводы – 10,2 г; энергетическая ценность – 136,7 ккал.

В дальнейшем планируется разработанную рецептуру и технологию внедрить в промышленное производство.

Литература

1. Арсеньева Т.П. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т. 4. Мороженое. – СПб.: ГИОРД, 2002. – 180 с.
2. Арсеньева Т.П. Развитие теоретических основ и разработка технологий низколактозных молочных продуктов с регулируемым жирнокислотным составом: автореф. дисс. д-ра техн. наук. – СПб., 2009. – 22 с.
3. Арсеньева Т.П., Брусенцев А.А. и др. Исследование качества мороженого с растительными жирами // Пищевая промышленность. – 2002. – № 2. – С. 66–67.
4. Арсеньева Т.П., Брусенцев А.А. Низколактозное сливочно-расттельное мороженое // Молочная промышленность. – 2008. – № 7. – С. 57–58.
5. Арсеньева Т.П., Брусенцев А.А. Факторы, влияющие на стабильность сливочно-растительной эмульсии // Молочная промышленность. – 2005. – № 10. – С. 54–55.

Макаренков Александр Викторович
Год рождения: 1982
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра технологии приборостроения, группа № Р4279
Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение
e-mail: mav.spb@mail.ru

УДК 62-294.2:62-294.4:004.925

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

А.В. Макаренков
Научный руководитель – к.т.н., доцент К.П. Помпеев

Существующий на предприятии процесс разработки конструкции штамповой оснастки базируется только на использовании данных о ранее спроектированных ее аналогах, а также на опыте проектанта. Предлагаемый подход к автоматизации разработки конструкторской документации на оснастку, основанный на компьютерном моделировании листовой штамповки и создании параметрических 2D-моделей оснастки, позволяет усовершенствовать процесс проектирования, выполняемый в ходе технологической подготовки производства, и снизить влияние субъективного фактора на него.

Актуальность данной темы обусловлена потребностью предприятия в сокращении общего времени проектирования и ввода в эксплуатацию разработанной штамповой оснастки, позволяющей, по возможности, без доработки ее конструкции получать качественные листовые детали.

В ходе существующего на предприятии процесса разработки конструкции штамповой оснастки в первую очередь проводится анализ подлежащей изготовлению детали и разрабатываются возможные варианты конструкции оснастки, основываясь только на опыте проектанта и на использовании данных о ранее спроектированных аналогах оснастки, если таковые имеются. Затем строится упрощенная модель детали, позволяющая рассчитать основные размеры необходимой заготовки, размеры которой согласовываются с технологами. После этого выполняется эскизный чертеж общего вида с необходимой детализацией. Далее проводится детальное проектирование 3D-модели сборки оснастки и всех входящих деталей с последующим созданием чертежей [1]. Спроектированную оснастку изготавливают и подвергают испытаниям, по результатам которых, как правило, производится доработка конструкции оснастки или согласование с заказчиком получившихся размеров детали. Такой подход к проектированию штамповой оснастки характеризуется увеличенными сроками ее конструирования и высокой вероятностью последующей доработки конструкции оснастки или ее перепроектированием после испытаний с последующим повторным изготовлением и испытанием оснастки, что само по себе не гарантирует получение удовлетворительного результата. Для устранения этих недостатков или сведения объема повторных работ к минимуму предложено усовершенствовать процесс проектирования на основе использования системы инженерного анализа процесса листовой штамповки и создания параметрических моделей штамповой оснастки.

В соответствии с предлагаемым подходом (рис. 1), после создания модели детали, на которую необходимо изготовить оснастку, проводится предварительный

анализ штампуемости, возлагаемый на компьютерное моделирование в CAE-системе. По его результатам выявляются возможные дефекты и оценивается то, насколько они технологически исправимы, или же то, насколько они являются следствием конструктивных недоработок. Затем проводится согласование заготовки и возможной технологической последовательности изготовления детали для дальнейшего анализа в CAE-системе, при котором эту последовательность возможно будет варьировать для достижения наилучших результатов, и только после этого осуществляется дальнейшее проектирование технологической оснастки.

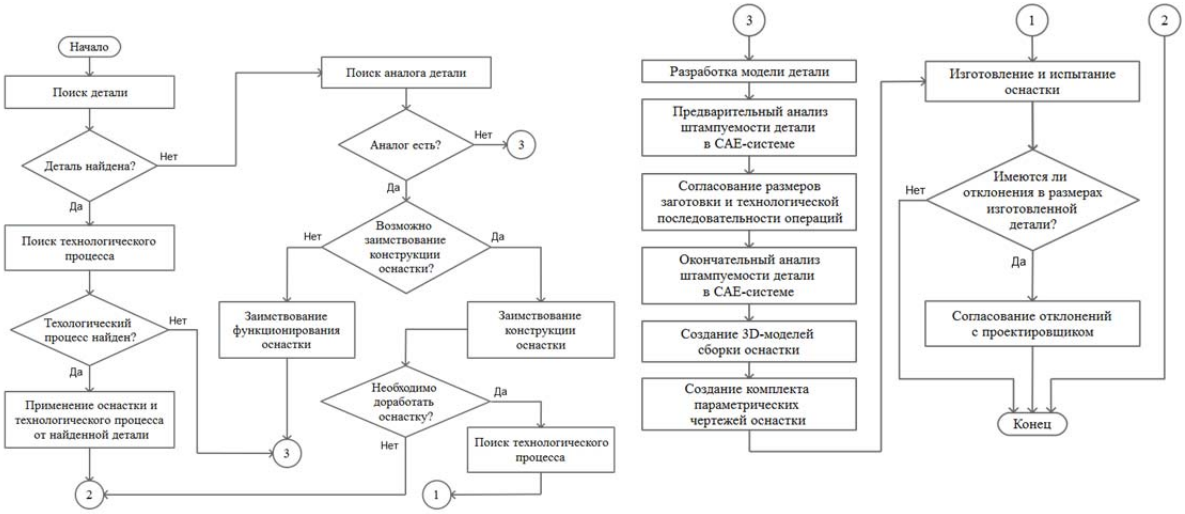


Рис. 1. Принципиальная схема алгоритма проектирования штамповой оснастки с использованием CAE-системы и параметрического моделирования

В качестве CAE-системы предлагается использовать, например, пакет AutoForm, который является специализированным программным обеспечением для оптимизации технологического процесса листовой штамповки [2]. При моделировании процесса штамповки AutoForm производит автоматическую адаптацию сетки в процессе анализа, что позволяет точно описать геометрию и получить точные результаты.

Одним из достоинств программного пакета AutoForm является возможность анимации процесса листовой штамповки, что позволяет увидеть, когда и в какой момент времени начинают образовываться гофры или происходит разрыв детали, и, тем самым, оценить ее штампуемость.

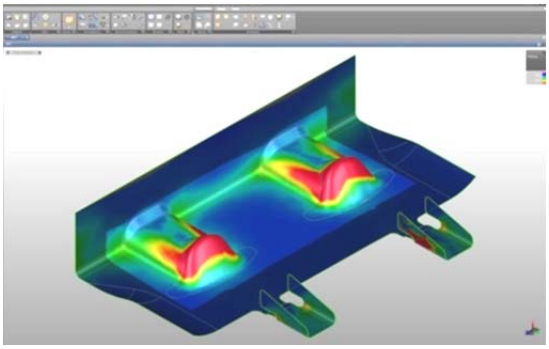
Для анализа технологичности на раннем этапе проектирования используется программный комплекс AutoForm-OneStep. Он позволяет за «один шаг» найти вариант решения, т.е. перейти от конечной формы детали к исходной плоской заготовке и в результате получить распределение толщин, утонений, пластических деформаций и напряжений в детали с учетом различных критериев разрушения. В качестве исходных данных для анализа штампуемости в AutoForm-OneStep используется геометрия детали, построенная в любой CAD-системе. Также проектант должен задать материал и толщину листа и примерно описать условия его закрепления. В процессе расчета точки на поверхности детали (узлы конечно-элементной сетки) проецируются на плоскость, и получается так называемый минимальный контур заготовки с качественными и количественными характеристиками штампуемости. При этом в программном комплексе имеются возможности по подготовке и проверке геометрии детали к расчету:

– проверка на наличие поднутрений;
– определение оптимального направления вытяжки, скругление острых кромок;

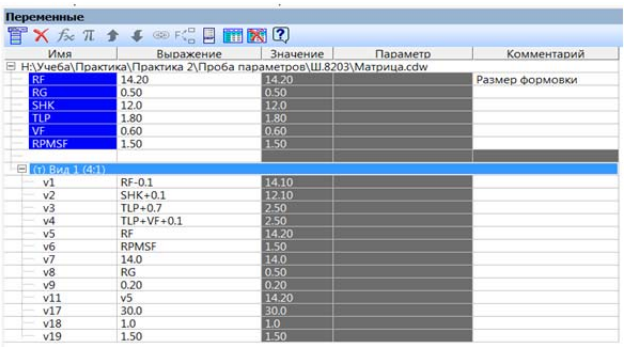
– сглаживание внешней кромки детали.

После того как геометрия инструмента построена, продолжением работы является проверка в системе моделирования техпроцесса. Виртуальный эксперимент по изготовлению требуемой детали листовой штамповкой позволяет провести система AutoForm-Incremental.

Распределение напряжений, пластических деформаций, утонений, а также поля скоростей пластического течения и другие численные результаты расчета, наглядно представленные в графической форме (рис. 2, а), дают полную картину развития формоизменения заготовки, образования гофров, складок, разрывов, линий ударов и рисок, недостаточного растяжения и других проблем, возникающих при листовой штамповке.



а



б

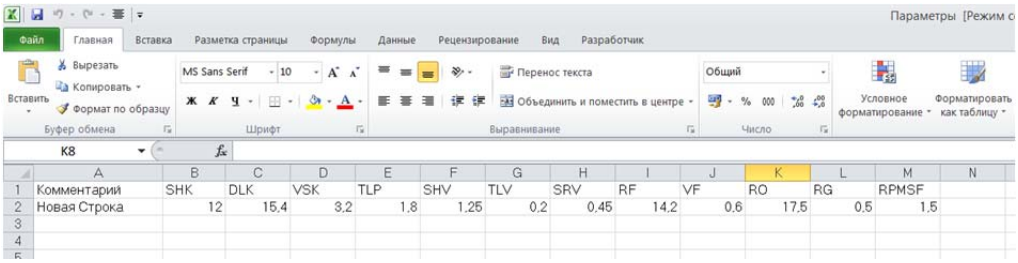
Рис. 2. Визуализация результатов моделирования (а); пример окна переменных с выражениями, связывающими параметры между собой (б)

При проектировании оснастки на однотипные детали возможно повысить уровень автоматизации процесса проектирования за счет применения параметрического моделирования. При этом параметрическое изображение, в отличие от обычного, хранит информацию о расположении и характеристиках геометрических объектов, а также о взаимосвязях между ними и наложенных на них ограничениях [3, 4].

Параметрическое моделирование связано с использованием в электронном документе пользовательских и связанных переменных, которые позволяют изменять параметры объектов, не прибегая к непосредственному редактированию последних. Пользовательские переменные используются для получения значений либо других пользовательских, либо связанных переменных. Они могут быть обычного вида (числами, константами) или функциональными переменными (зависимостями, ссылками). При этом связанные переменные формируются автоматически в процессе создания объектов и имеют связь с их параметрами. Значения связанной переменной и соответствующего ей параметра объекта равны между собой.

В процессе простановки размеров внутри файла чертежа создается таблица (рис. 2, б), в которой переменным присваиваются некоторые значения. Все эти переменные являются внутренними. Для дальнейшей работы определяются те переменные, которые будут внешними и те, которые останутся внутренними. В эту таблицу переменных могут быть переданы данные, хранящиеся в файле формата Excel.

Все внешние переменные всего проекта импортируются в одну внешнюю таблицу MS Excel (рис. 3). Она связывает эти переменные и является документом, позволяющим изменять параметры объектов, не прибегая к их редактированию.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Комментарий	SHK	DLK	VSK	TLP	SHV	TLV	SRV	RF	VF	RO	RG	RPMSF	
2	Новая Строка	12	15,4	3,2	1,8	1,25	0,2	0,45	14,2	0,6	17,5	0,5	1,5	
3														
4														

Рис. 3. Таблица внешних переменных в MS Excel

Первоначальное значение присваивается связанной переменной автоматически после задания способа получения значения: ввода числа или константы, ввода выражения для расчета, создания ссылки. Можно изменить значение переменной, задав другое число или константу, а также получив новое значение по ссылке. Выражение, заданное для связанной переменной, может содержать как зависимые, так и независимые пользовательские переменные. Для получения нового значения выражения следует изменить значения независимых пользовательских переменных (зависимые пользовательские переменные пересчитываются автоматически).

Кроме того, в выражениях могут использоваться переменные, связанные с фиксированными размерами графического документа или эскиза. В этом случае следует изменить значения фиксированных размеров в диалоге установки значения размера.

После определения внешних и внутренних переменных для последних определяются зависимости их значений от внешних, или же они остаются константами. При необходимости зависимости внешних переменных можно записывать на дополнительных листах таблицы внешних переменных MS Excel. В результате этого получается, что для всего проекта конструкторской документации имеется один файл таблицы MS Excel для входных данных на проектирование. И при вводе новых входных данных необходимо в каждом чертеже заново прочесть внешние переменные из таблицы MS Excel, и система автоматически перестроит изображение.

Таким образом, виртуальное моделирование процесса штамповки сложных деталей на ранней стадии проектирования позволяет вовремя внести изменения в конструкцию деталей. При этом отпадает необходимость в поиске аналогичной, ранее спроектированной оснастки. По результатам предварительного оценочного моделирования можно выявить возможные дефекты и оценить то, насколько они технологически исправимы, или же убедиться, что они являются конструктивными недоработками. Параметрическая организация проектирования и создание конструкторской документации увеличивает трудозатраты при первом проектировании, но позволяет значительно сократить время при проектировании аналогичной конструкции оснастки, существенно повышая уровень автоматизации процесса проектирования штамповой оснастки и снижая влияние субъективных факторов на качество проектирования, что позволяет передать проектирование подобной конструкции менее квалифицированному специалисту и снизить вероятность ошибки.

Литература

1. Схиртладзе А.Г., Морозов В.В., Жданов А.В., Залеснов А.И. Автоматизированное проектирование технологической оснастки для холодной штамповки. Учебное пособие. – М.: ТНТ, 2015. – 344 с.
2. AutoForm Plus R5: Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.autoform.com/ru/, своб.
3. Ефремов Г.В., Нюкалова С.И. Инженерная и компьютерная графика на базе графических систем: учеб. пособие. – М.: ТНТ, 2014. – 256 с.

4. КОМПАС-3D V13: руководство пользователя. – Изд-во: ЗАО «АСКОН», 2011. – 2105 с.

Маюрова Александра Сергеевна
Год рождения: 1993
Естественнонаучный факультет, кафедра экологического приборостроения и мониторинга, группа № А4205
Направление подготовки: 20.04.01 – Техносферная безопасность
e-mail: Shushka96@gmail.com

УДК 620.92

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ

А.С. Маюрова
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.А. Кустикова

В работе изучаются различные виды фотовольтаических систем. Выполнен расчет расстояния между опорами освещения Керченского моста на основании норм освещенности дорог для трех видов осветительных систем. Производился расчет начальной стоимости оборудования для освещения мостового перехода через Керченский пролив.
Ключевые слова: солнечная энергетика, фотоэлектрический преобразователь, сенсибилизированные красителем солнечные панели.

В условиях локального или регионального энергетического кризиса, вызванного нарушением подачи электроэнергии, необходимо использовать оптимальные технические решения проблем энергообеспечения на основе использования альтернативных источников энергии с учетом региональных природных факторов [1–4].

В мае 2016 года был достроен Энергомост в Крым, по проекту он должен обеспечить 840 МВт электроэнергии. По подсчетам Министерства энергетики Российской Федерации региону требуется дополнительно около 880 МВт мощности.

Длина мостовой переправы через Керченский пролив по проекту составляет 19 км. По прогнозам для энергообеспечения моста требуется 2 МВт электроэнергии. По данным Гидрометцентра России в Керчи в среднем 300 солнечных дней и 2470 солнечных часов в году. Такой высокий показатель инсоляции позволяет предположить успех внедрения солнечных элементов для энергообеспечения осветительной системы мостового перехода через Керченский пролив.

Целью работы являлся поиск энергоэффективных решений обеспечения электроэнергией осветительной системы мостового перехода через Керченский пролив.

Для выполнения этой цели были поставлены следующие задачи:
- изучить проектное предложение моста через Керченский пролив;
- изучить существующие в настоящее время типы и виды солнечных панелей;
- исследовать принципы работы солнечных элементов;
- произвести энергетический расчет солнечных панелей. Рассчитать энергопотребление осветительной системы;
- произвести расчет окупаемости системы;

По итогам работы планируется предоставить результаты застройщикам проекта моста.

Поскольку на данный момент нет информации о выбранном типе освещения мостовой переправы через Керченский пролив, то будет целесообразно рассмотреть несколько случаев. Возьмем для расчета три вида осветительных систем с различными типами источника света.

– с металлогалогенной лампой (МГЛ) ГКУ21-250-012;
– со светодиодами Волна LED-200-ШО/У;
– с дуговой натриевой трубчатой лампой (ДНТЛ) ЖКУ08-250-001.

У рассматриваемой светодиодной системы номинальная мощность составляет 200 Вт, у двух остальных 250 Вт.

Необходимо, чтобы средняя яркость покрытия была равна 1,6 Кд/м^2, исходя из норм освещенности дорог. Рассчитаем расстояние l между опорами освещения исходя из норм освещенности:

$$l = \frac{rI_{\text{ср}}}{L_{\text{ср}}\pi m},$$

где r – коэффициент яркости; $I_{\text{ср}}$ – средняя сила света; S – площадь поверхности дороги между опорами; m – ширина дороги в одну сторону; $L_{\text{ср}}$ – средняя яркость.

Полученные расстояния в табл. 1. Как видно из данной таблицы наиболее высокая стоимость у осветительных приборов со светодиодами, однако срок службы светодиодных систем по сравнению с номинальным сроком службы ламп в среднем в 50 раз больше.

Таблица 1. Сравнительные характеристики осветительных приборов

	ГКУ21-250-011	Волна LED-200-ШО/У	ЖКУ08-250-001
Тип источника света	МГЛ	Светодиоды	ДНТЛ
Мощность, Вт	250	200	250
Световой поток, Лм	20000	18500	30000
Расстояние между столбами, м	45,5	47,4	49,5
Стоимость за 1 шт, руб.	6296	35396	4170
Необходимое количество, шт	418	400	384
Стоимость итого, руб.	5 263 456	28 316 800	3 202 560

Для выполнения энергетического расчета солнечных панелей необходимо рассчитать расход энергии осветительной системы. Номинальная мощность ламп составляет 250 Вт. Самым темным месяцем является декабрь, длина светового дня составляет всего 9 ч. Следовательно, максимальный расход энергии составляет 3,75 кВт·ч. Для светодиодов номинальная мощность составляет 200 Вт, следовательно, средний расход энергии составляет 2,4 кВт·ч.

Необходимо рассчитать мощность солнечных панелей, необходимую для полного энергообеспечения осветительных систем.

Зная среднемесячные данные инсоляции для региона Керчи, можно оценить необходимую мощность солнечной панели для энергообеспечения осветительной системы:

$$P_{\text{сб}} = \frac{P_{\text{инс}}E_{\text{сб}}}{E_{\text{инс}}\eta},$$

где $E_{\text{инс}}$ – среднемесячная инсоляция; $P_{\text{сб}}$ – номинальная мощность солнечной батареи; η – общий КПД передачи электрического тока по проводам и $P_{\text{инс}}$ – максимальная мощность инсоляции квадратного метра земной поверхности (1000 Вт).

Показатели среднемесячной инсоляции в районе Керчи представлены в табл. 2, η – при достаточно толстых и коротких проводах можно приравнять к единице, минимальный показатель $E_{\text{инс}}$ должен быть больше максимального расхода энергии осветительной системы, т.е. 3,75 кВт·ч для металогаллогенной и дуговой натриевой трубчатой лампы и 2,4 кВт·ч для светодиодных ламп. Исходя из этих данных, рассчитываем необходимую номинальную мощность солнечных панелей. Полученные показатели среднемесячной выработки солнечных панелей для металогаллогенной и дуговой натриевой трубчатой лампы также находятся в табл. 2, для светодиодных ламп в табл. 3.

Таблица 2. Показатели среднемесячной инсоляции Керчи и выработка солнечных батарей для МГЛ и ДНТЛ

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Среднемесячная инсоляция, МДж/м^2	126	190	333	464	647	672
Выработка солнечных батарей, кВт·ч	6,3	9,5	16,65	23,2	32,35	33,6
Месяц	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Среднемесячная инсоляция, МДж/м^2	678	597	429	276	126	80
Выработка солнечных батарей, кВт·ч	33,9	29,85	21,45	13,8	6,3	4

Исходя из данных табл. 2, необходимая мощность солнечных панелей составляет 200 Вт. При данной мощности минимальное значение энергии, которое будет поставляться для обеспечения осветительной системы, составляет 4 кВт·ч. Из табл. 3 необходимая мощность солнечных панелей составляет 140 Вт.

Таблица 3. Показатели среднемесячной инсоляции Керчи и выработка солнечных батарей для светодиодных ламп

Месяц	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
Среднемесячная инсоляция, МДж/м^2	126	190	333	464	647	672
Выработка солнечных батарей, кВт·ч	4,41	6,65	11,655	16,24	22,645	23,52
Месяц	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
Среднемесячная инсоляция, МДж/м^2	678	597	429	276	126	80
Выработка солнечных батарей, кВт·ч	23,73	20,89	15,02	9,66	4,41	2,8

В солнечные летние месяцы при помощи фотоэлектрических преобразователей будет выделяться большое количество сверх необходимой электроэнергии. Часть данной мощности пойдет для подзарядки аккумуляторов, оставшуюся часть можно возвращать в сеть энергомоста в Крым, часть из которого пройдет по дну Керченского пролива, или отдавать на питание железнодорожных путей.

Данные о характеристиках солнечных панелей показаны в табл. 4. В данной таблице указаны только монокристаллические кремниевые солнечные элементы, так как именно они обладают высокими показателями КПД и меньшей площадью.

Все чаще солнечные панели используются для энергообеспечения различных систем как промышленных, так и коммунальных объектов, так как цена на солнечные элементы со временем падает, а стоимость коммунальных услуг только растет.

Таблица 4. Характеристики систем кремниевых солнечных батарей

Тип солнечных панелей	Монокристаллический	Монокристаллический
Мощность, Вт	200	140
Площадь, $м^2$	1,2	0,65
Стоимость системы за 1 шт., руб.	19 950	12 950
Итоговая стоимость с МГЛ, руб.	21 941 656	
Итоговая стоимость со светодиодами, руб.		38 676 800
Итоговая стоимость с ДНТЛ, руб.	18 524 160	

Стоимость электроэнергии в Керчи составляет 4,95 рублей за 1 кВт·ч. Исходя из этих данных, можно рассчитать время окупаемости осветительных систем питающихся от энергии Солнца (табл. 5).

Таблица 5. Окупаемость системы с заменой систем освещения

Тип источника света	МГЛ	Светодиоды	ДНТЛ
Стоимость электроэнергии за освещение моста в год, руб.	5 664 161	3 468 960	5 216 990
Средний срок эксплуатации, час/лет	15000/1,7	35000/4	12000/1,6
Время окупаемости системы, лет	4,12	12,2	3,7

В год для полного энергообеспечения моста необходимо 32 МВт·ч, что составит почти два миллиона рублей для МГЛ и ДНТЛ и 20 МВт·ч – полтора миллиона рублей для светодиодных систем.

Окупаемость рассчитывалась только по данным стоимости электроэнергии за освещение моста, в данную стоимость не входит стоимость обслуживания системы, так как обслуживание будет производиться в независимости от выбора систем.

По итогам данной работы можно сделать несколько выводов:

– осветительные приборы с ДНТЛ являются самыми дешевыми, однако светодиодные системы имеют более долгий срок службы и имеют низкое энергопотребление;
– для обеспечения энергоэффективного питания осветительной системы наиболее рационально взять монокристаллические солнечные элементы, так как они обладают меньшей площадью, чем поликристаллические;
– необходимая мощность панелей для энергообеспечения МГЛ и ДНТЛ составляет 200 Вт, для энергообеспечения светодиодной системы – 140 Вт. Система освещения с ДНТЛ окупится через 3,7 лет, окупаемость системы со светодиодными источниками излучения составляет 12 лет;
– высокая стоимость светодиодных систем освещения не позволяет снизить окупаемость данной системы, несмотря на более длительный срок эксплуатации.

Литература

1. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – Введен 01.01.1996. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1995. – 54 с.
2. Gevorkian P. Alternative Energy Systems in Building Design. – McGraw-Hill, 2011. – 545 p.
3. Dr. Jager-Waldau A. PV Status Report 2012. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. – 58 p.
4. Nazeeruddin Md.K., Baranoff E., Grätzel M. Dye-sensitized solar cells: A brief overview // Solar Energy. – 2011. – V. 85(6). – P. 1172–1178.

Новикова Наталья Евгеньевна
Год рождения: 1991
Факультет методов и техники управления «Академия ЛИМТУ»,
кафедра компьютерного проектирования и дизайна,
группа № S4205
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: sesm335novikova@gmail.com

УДК 004.9

ОСОБЕННОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ САЙТА-ВИЗИТКИ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТОВ CRO

Н.Е. Новикова
Научный руководитель – к.п.н. Д.А. Шуклин

Оптимизация уровня конверсии сайта – это улучшение различных показателей и качества сайта. Оно является более экономически выгодным, чем привлечение большего объема трафика, а также увеличение внутренней конверсии может существенно увеличить возврат инвестиций, вложенных в продвижение. Различные аспекты этой проблемы рассматриваются по отдельности представителями экономической, социологической областей наук, а также информационных технологий. Издан ряд научных статей, освещающих современный опыт исследования эффективности онлайн-маркетинга с помощью конверсии. Однако большая часть существующих работ по данной проблеме посвящена исследованию понятия конверсии, факторов, влияющих на мотивацию, и созданию маркетинговых рекомендаций по повышению конверсии. В большинстве работ, единственным способом исследования конверсии авторы предлагают A/B- или A/B/*n*-тестирования. В настоящей работе рассмотрен полный комплекс инструментов, позволяющий выявлять проблемы и управлять конверсией сайта, и предложен всесторонний подход к анализу конверсии сайта [1–4].

Целью работы являлся обзор, классификация и сравнительный анализ инструментов CRO, а также формулировка практических рекомендаций по их использованию.

Для решения поставленных задач в работе рассмотрены в первую очередь теоретические основы: история продвижения сайтов, вводится понятие оптимизации уровня конверсии, проводится сравнительный анализ SEO и CRO, определяется стратегия CRO.

Показатель конверсии сайта – это процентное отношение числа посетителей сайта, сделавших заказ или выполнивших любой другой сценарий, необходимый создателю, к общему числу посетителей. Оптимизация уровня конверсии (CRO) в корне отличается от SEO. Поисковая оптимизация ориентирована на алгоритмы поисковых машин, в то время как оптимизация конверсии – на потребности и мотивацию посетителя. В ее основу входит создание привлекательного контента и удобного дизайна.

Основная стратегия CRO основана на анализе исходных данных, выявлении проблем, построении, тестировании гипотез и внедрении результатов. Исходя из этого, оптимизация конверсии – процесс индивидуальный для каждого отдельно взятого ресурса. В работе подробно представлен комплекс информационных решений для проведения тестирований, проведен анализ особенностей, достоинств и недостатков каждого инструмента.

Оптимизация уровня конверсии – очень молодое направление в разработке веб-сайтов. В этой связи инструменты, применяемые для оптимизации, известны далеко не всем специалистам, и лишь небольшое количество человек используют их в своей работе. Владельцу сайта в первую очередь важно понимать какую пользу принесет его бизнесу применение данных инструментов, а также какие условия необходимы для проведения тестирования.

Для оптимизации процесса выбора из них оптимальных и наиболее соответствующих задачам улучшения ресурса, был сформирован и обоснован специальный набор из 14 критериев для анализа инструментов CRO, на основе которого была проведена классификация данных инструментов (таблица). Она позволяет провести оценку существующих инструментов, определить их сильные и слабые стороны, подобрать оптимальный набор инструментов, требующихся для решения той или иной проблемы или для определенного типа сайтов.

Таблица. Классификация инструментов CRO

	A/B-, A/B/*n*-тестирование	WEB-аналитика	Карты кликов	Карты скроллинга	Юзабилити тестирования	Eye-tracking	Live Chat, опросы	«Приведи друга»	Со-конкуренция
Длительность	Интервал до появления устойчивых результатов	Постоянно	Постоянно	Постоянно	Сеанс	Сеанс	Постоянно	Постоянно	До появления значимых результатов
Способ получения информации	Количественный	Количественный	Оба	Количественный	Качественный	Качественный	Качественный	Качественный	Количественный
Этап	Запуск	Запуск	Запуск	Запуск	Проектирование	Проектирование	Запуск	Запуск	Продвижение
Специальные технические средства	–	–	–	–	Устройства аудио- и видео записи, монтажа	Eye-трекеры, приборы для окулографии	–	–	–
Специальные знания и компетенции	Дизайнер, программист	Программист*	Программист*	Программист*	–	Специалист окулографии	Программист*	–	Контент-менеджер
Сбор статистики / анализ статистики	Сбор	Анализ	Анализ	Анализ	Анализ	Анализ	Сбор	Сбор	Сбор
Гибкость	Не рекомендуется	Да	Да	Да	Да	Не рекомендуется	Да	Да	Нет
Целенаправленность	Страница/ элемент	Сайт	Страница	Страница	Элемент/ страница/ сценарий	Страница	Сайт/ страница	Сайт/ страница	Нет
Простота интерпретации	Наглядная статистика	Наглядная статистика	Тепловые карты	Тепловые карты	Дополнительный анализ	Тепловые карты	Дополнительный анализ	Дополнительный анализ	Дополнительный анализ

	A/B-, A/B/*n*-тестирование	WEB-аналитика	Карты кликов	Карты скроллинга	Юзабилити тестирования	Eye-tracking	Live Chat, опросы	«Приведи друга»	Со-конкуренция
Точность	Однозначен	Однозначен	Точен, но потребуется дополнительная проверка решений	Точен, но потребуется дополнительная проверка решений	Потребуется дополнительная проверка решений	Точен, но потребуется дополнительная проверка решений	Потребуется дополнительная проверка решений	Потребуется дополнительная проверка решений	Однозначен
Доступность	Наиболее популярные сервисы бесплатны	Наиболее популярные сервисы бесплатны	Платные, но есть бесплатные аналоги	Платные, но есть бесплатные аналоги	Платно, но можно провести самостоятельно	Платные	Платные	Бесплатно	Бесплатно
Тип тестирования	Программный	Программный	Программный, юзабилити	Программный, юзабилити	Юзабилити	Юзабилити	Взаимодействие с посетителем	Взаимодействие с посетителем	Программный
Условия проведения	Реальные	Реальные	Реальные	Реальные	Лабораторные	Лабораторные	Реальные	Реальные	Реальные
Совместимость с SEO	Есть ограничения, необходима настройка	–	–	–	Не взаимодействует	Не взаимодействует	–	–	

* В данных случаях участие программиста требуется только на начальном этапе для установки и настройки счетчиков.

Процесс выбора оптимального набора инструментов зависит от многих факторов. Этот процесс был рассмотрен на примере сайта-визитки, так как данный тип сайта представляет собой наглядное виртуальное представление компании и является наиболее распространенным в интернет-пространстве. На основании выявленных особенностей строения подобного типа сайтов, анализа целей, проведенных исследований и классификации обосновывается выбор оптимального набора инструментов для продвижения сайта-визитки.

Для практической апробации решения был проведен эксперимент, для которого были рассмотрены наиболее популярные сервисы, предоставляющие необходимые инструменты, проведен сравнительный анализ наиболее известных инструментов каждого типа, выбраны и обоснованы наиболее подходящие из них.

Практическим результатом исследования также стала оптимальная схема внедрения инструментов CRO на различных этапах проектирования сайта (рис. 1), кроме этого была разработана классическая модель жизненного цикла сайта (рис. 2, а) и альтернативная (рис. 2, б) – с использованием инструментов CRO. В данном случае CRO представляет собой процесс регулярного мониторинга взаимодействия посетителей с ресурсом, выявления проблем тестирования и внесения корректировок в работу сайта. Как и SEO, которое постоянно подстраивается под изменяющиеся требования поисковых алгоритмов, оптимизация уровня конверсии – это непрерывный процесс исследования и улучшения качества сайта на протяжении всего времени его существования.

Предложенные модели помогут определить основные ошибки и проблемы, связанные с проектированием дизайн-макета, цветовым решением, а также UX, еще до запуска, и внедрить непрерывный процесс оптимизации на этапе последующей поддержки сайта, а предложенная классификация может быть использована для создания оптимального набора инструментов для решения любой задачи любого типа сайтов.

Рис. 1. Внедрение инструментов CRO на различных этапах проектирования сайта

Рис. 2. Классическая (а) и альтернативная (б) модель жизненного цикла сайта

Литература

1. Goward C. You Should Test That! Conversion Optimization for More Leads, Sales and Profit or The Art and Science of Optimized Marketing. – John Willey & Sons, Inc., 2013. – 378 p.
2. King A. Website optimization/ Andrew B. King. – O'Reilly Media, Inc., Sebastopol, 2008. – 395 p.
3. Saleh K., Shukairy A. Conversion Optimization: The Art and Science Of Converting Prospects to Customers. – O'R-lly Media, 2010. – 272 p.
4. Брильков Ю.А. Конверсия как основной показатель эффективности IT-маркетинга // Актуальные проблемы экономики и финансов. Сб. тезисов научных работ II Международной научно-практической конференции. Финансово-экономический научный совет. – 2015. – С. 31–34.

Попова Дарья Андреевна
Год рождения: 1994
Факультет программной инженерии и компьютерных технологий, кафедра вычислительной техники, группа № Р4210
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: popova.daria@mail.ru

УДК 004.414.23

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ WFQ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Д.А. Попова
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.В. Соснин

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615869 «Методы проектирования ключевых систем информационной инфраструктуры».

Потребители нуждаются в предоставлении таких показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) [1], которые позволят удовлетворительно выполнять бизнес-задачи их приложений. По этой причине актуальным становится вопрос исследования и стандартизации качества обслуживания. В данной области значительный вклад был внесен организацией «Международный союз электросвязи» (МСЭ), в том числе разработаны рекомендации Y.1540 и Y.1541 [2, 3].

Для обеспечения QoS в сетевых устройствах применяются приоритетные дисциплины обслуживания (ДО) очередей. Одной из наиболее распространенных в настоящее время ДО является алгоритм взвешенного справедливого обслуживания (Weighted Fair Queuing, WFQ) [4].

Однако из-за алгоритмической сложности WFQ аналитические методы исследования теории массового обслуживания применимы к WFQ только со значительными ограничениями, что не позволяет приблизить исследования к практическим условиям. В результате, конфигурация параметров сетевого устройства требует значительных трудозатрат системного администратора, так как параметры WFQ приходится устанавливать эмпирически.

Следовательно, для предоставления QoS в соответствии с требованиями МСЭ необходимо обладать информацией о правилах конфигурации WFQ в зависимости от исходных данных. Такая информация может быть получена с помощью имитационного моделирования, чему и посвящена предлагаемая работа.

Цель исследования состояла в формировании рекомендаций по конфигурации WFQ в сетевых устройствах в соответствии с международными стандартами МСЭ Y.1540 и Y.1541.

Для достижения цели исследования решались следующие задачи:

1. провести аналитический обзор исследований по теме взвешенного справедливого обслуживания;
2. изучить рекомендации МСЭ Y.1540 и Y.1541, на основании которых выявить принципы оценки качества предоставляемых услуг в сетях IP;
3. реализовать новую функциональность в учебно-исследовательском комплексе (УИК), которая позволит выполнить требуемые эксперименты;
4. провести верификацию работы реализованной функциональности;
5. провести имитационные эксперименты с использованием сетевых трасс трафика, варьируя параметры WFQ;

6. на основании результатов экспериментов сформулировать рекомендации по конфигурации WFQ.

Аналитический обзор аналогичных исследований позволил выявить ряд недостатков, которые не позволяют полноценно использовать их результаты для конфигурации WFQ в сетевых устройствах:

– рассчитываются только такие сетевые характеристики, как средняя задержка и вероятность потери; отсутствует расчет джиттера;
– не выполняется расчет доверительного интервала, что не позволяет оценить точность экспериментов;
– отсутствуют исследования, которые проводились с целью выполнения требований стандартов МСЭ Y.1540 и Y.1541.

При постановке задачи исследования важным требованием к имитационной модели была возможность начала работы пользователя без предварительной подготовки. В связи с этим целесообразной оказалась реализация требуемой функциональности в УИК [5], который был разработан на кафедре вычислительной техники Университета ИТМО в 2013–2015 гг. авторами Т.К. Гомзиной и Д.А. Поповой. Интерфейс УИК представлен на рис. 1.

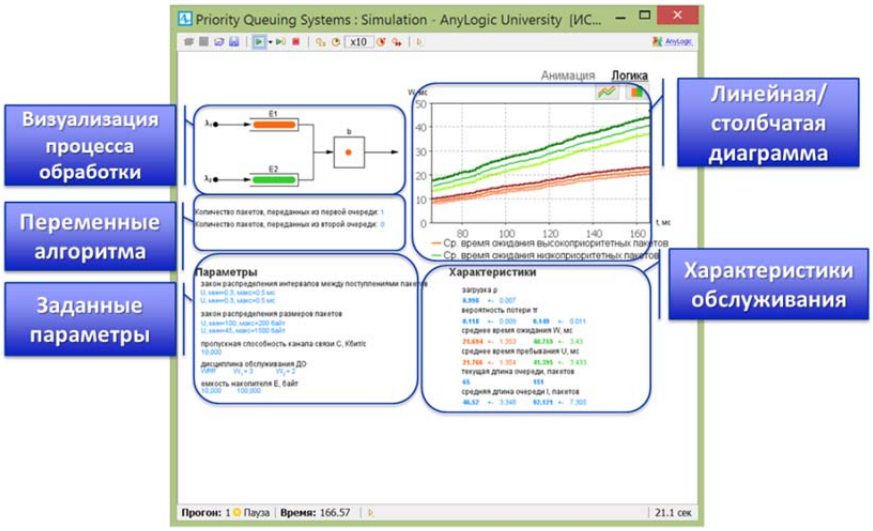


Рис. 1. Интерфейс проведения эксперимента в УИК

При реализации имитационной модели был применен широко распространенный прием представления сетевого устройства в виде системы массового обслуживания (СМО). Для исследования СМО был использован дискретно-событийный подход, который обеспечивается процессной диаграммой, составленной из блоков «Основной библиотеки» AnyLogic.

Стандартных возможностей «Основной библиотеки» AnyLogic оказалось недостаточно, чтобы задать требуемую логику работы модели. Дополнительная логика была задана в виде программного кода на языке Java.

Вся реализованная в имитационной модели функциональность была верифицирована. В зависимости от вида функциональности верификация выполнялась либо на частных примерах входных данных, либо путем сбора статистики выполнения модели и ее сравнения с входными данными.

Проведены эксперименты со следующей постановкой задачи. Пользователь одновременно выполняет скачивание файла большого объема и совершает звонок по Skype. Необходимо определить, какие параметры WFQ обеспечат выполнение требований к качеству обслуживания, приведенных в рекомендациях МСЭ Y.1540 и Y.1541.

В ходе экспериментов использовались входные параметры и их значения, представленные в таблице.

Таблица. Входные параметры экспериментов

Параметр	Значение
Сетевая трасса трафика	варьирование, 10 сетевых трасс по 1 мин
Пропускная способность сетевого устройства	10000 кбит/с
Размер буферов сетевого устройства	64 пакета, значение по умолчанию согласно материалам Cisco
Веса классов трафика	варьирование в интервале 0,007–0,9
Загрузка	варьирование в интервале 0,953–0,131

Результаты измерения сетевых характеристик, определенных в Y.1540, представлены на рис. 2. Пунктирной линией обозначено предельное допустимое значение сетевой характеристики. Над пунктирной линией расположена область значений, не удовлетворяющих требованиям рекомендаций.

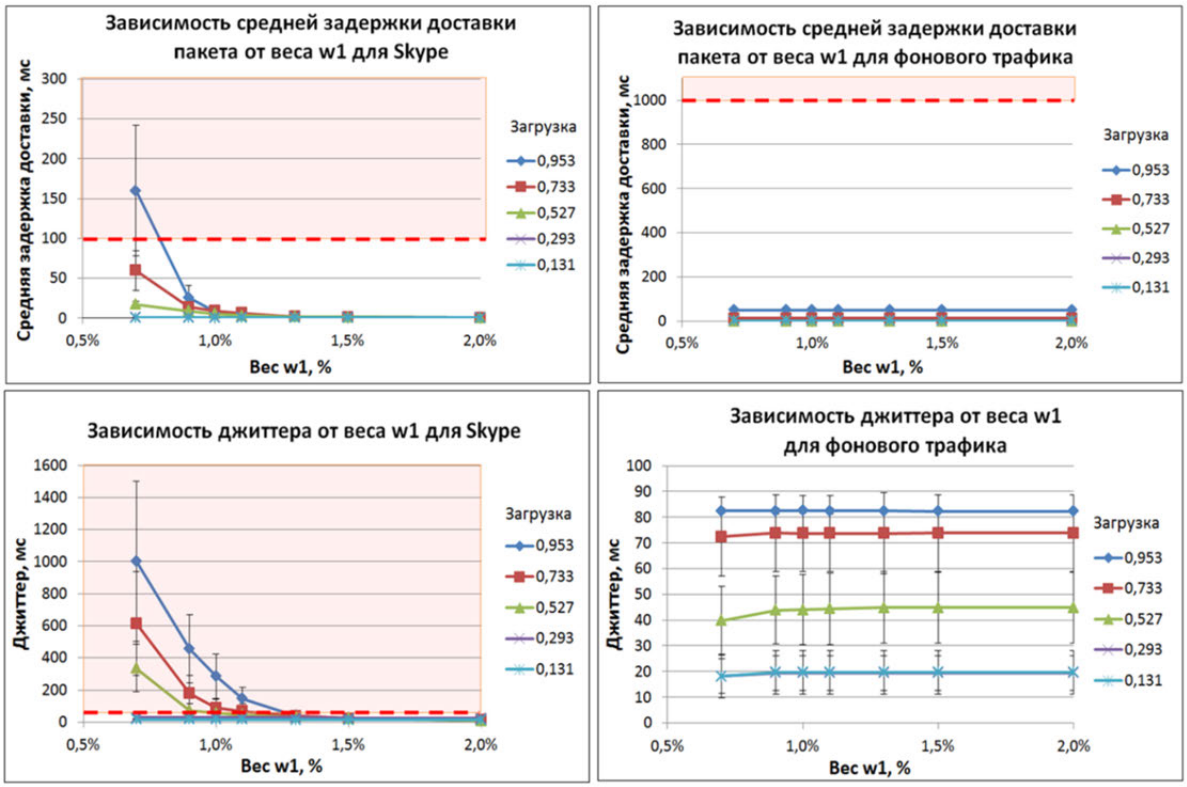


Рис. 2. Зависимость сетевых характеристик от веса w_1 для Skype и фонового трафика

Суммируя результаты экспериментов по всем сетевым характеристикам, можно сделать следующие общие выводы:

1. выполнение требований МСЭ обеспечивается, если установить значение веса интерактивного трафика Skype w_1=1,5% (при значениях загрузки до 0,953). Наиболее чувствительной к изменению веса интерактивного трафика w_1 сетевой характеристикой является джиттер;
2. показано, что установка веса интерактивного трафика w_1 в значения более чем 10% нецелесообразна, так как при увеличении w_1 до 90% сетевые характеристики не изменяются. Приведено подробное объяснение на основе механизма виртуального времени, лежащего в основе WFQ;

3. выявлено, что изменение веса интерактивного трафика w_1 практически не оказывает влияние на характеристики обслуживания фонового трафика, так как доля его пакетов составляет 93–96% от общего количества, а размер самих пакетов в несколько раз превосходит пакеты интерактивного трафика.

В рамках выполнения работы были получены следующие результаты:

1. разработан инструмент для имитационного моделирования WFQ, проведение экспериментов в котором позволяет приблизиться к практическим задачам;
2. выявлена зависимость качества обслуживания от входных данных при различных параметрах WFQ;
3. впервые сформированы рекомендации по конфигурации WFQ в соответствии с международными стандартами МСЭ Y.1540 и Y.1541.

Результаты работы представляют практическую значимость, так как УИК внедрен в образовательный процесс Университета ИТМО по дисциплинам «Сети ЭВМ и телекоммуникации», «Теория проектирования систем».

Литература

1. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP. – М.: Вильямс, 2003. – 368 с.
2. ITU-T recommendation Y.1541 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.1541-201112-I!!PDF-E&type=items, своб.
3. ITU-T recommendation Y.1540 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ntc-sss.ru/nali_pb_files/g.8261/G.8261.pdf, своб.
4. Demers A., Keshav S., Shenker S. Analysis and simulation of a fair queueing algorithm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ccr.sigcomm.org/archive/1995/jan95/ccr-9501-shenker.pdf, своб.
5. Учебно-исследовательский комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.runthemodel.com/models/k-M5kFlHxctNrp6XaNHPix/, своб.

Радачинская Анастасия Александровна
Год рождения: 1992
Факультет программной инженерии и компьютерных технологий, кафедра информатики и прикладной математики, группа № Р4215
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: nastya.radachinskaya@gmail.com

УДК 004.6

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ СОЗДАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ

А.А. Радачинская
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.И. Муромцев

Работа посвящена разработке модели для оценки стоимости создания и поддержки открытых данных. Актуальность темы исследования состоит в том, что на сегодняшний день отсутствует полноценный инструментарий для оценки стоимости создания и поддержки открытых данных на этапе планирования. Оценка стоимости на ранних этапах позволит не только взять под контроль временные и стоимостные затраты, но и существенно сократить издержки, моделируя будущую систему и задавая необходимые параметры. Возможность экономии делает данную проблему

особенно актуальной в силу того, что порталы открытых данных очень часто имеют бюджетное финансирование, и исключение лишних затрат позволило бы пустить средства на другие важные исследования и сферы бюджетного финансирования [1–5].

Степень теоретической разработанности проблемы оценки стоимости создания и поддержки открытых данных довольно низкая по причине специфичности открытых данных и новизны направления. В силу того, что открытые данные не предполагают взимания платы, оценить экономический эффект создания и управления порталом открытых данных довольно сложно. Исследованиями в области открытых данных занимались такие научные деятели, как И.А. Радченко, И.А. Волков, Л.А. Рейнгольд, В. Голдштейн, Л. Дайсон и др. В России на законодательном уровне важность публикации открытых данных подтверждена такими законами, как ФЗ «Об обеспечении доступа к информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления», Постановление Правительства РФ «Об обеспечении доступа к общедоступной информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в форме открытых данных», Приказ Минкомсвязи РФ «Об утверждении Требований к технологическим, программным и лингвистическим средствам, необходимым для размещения информации государственными органами и органами местного самоуправления в сети «Интернет» в форме открытых данных, а также для обеспечения ее использования» и другими нормативными документами. В международной практике существует большое количество документов, декларирующих важность открытых данных для развития общества и экономики, а также диктующих принципы формирования наборов открытых данных, способы их публикации и поддержки.

Важность публикации открытых данных признана во всем мире и подтверждена законодательно, разработаны методы формирования открытых данных, платформы и стандарты. Однако, несмотря на важность открытых данных, вопросам ценообразования уделено мало внимания. Это, в свою очередь, затрудняет процесс публикации и замедляет процессы предоставления доступа к результатам государственной деятельности для общественности.

Учитывая важность открытых данных для общественности и экономики, необходимо сотрудничество правительств, успешно реализовавших проекты по открытым данным, обмен опытом, информацией, технологиями, единая платформа для специалистов и система их подготовки.

В настоящей работе разработана классификация открытых данных, представленная на рисунке, а.

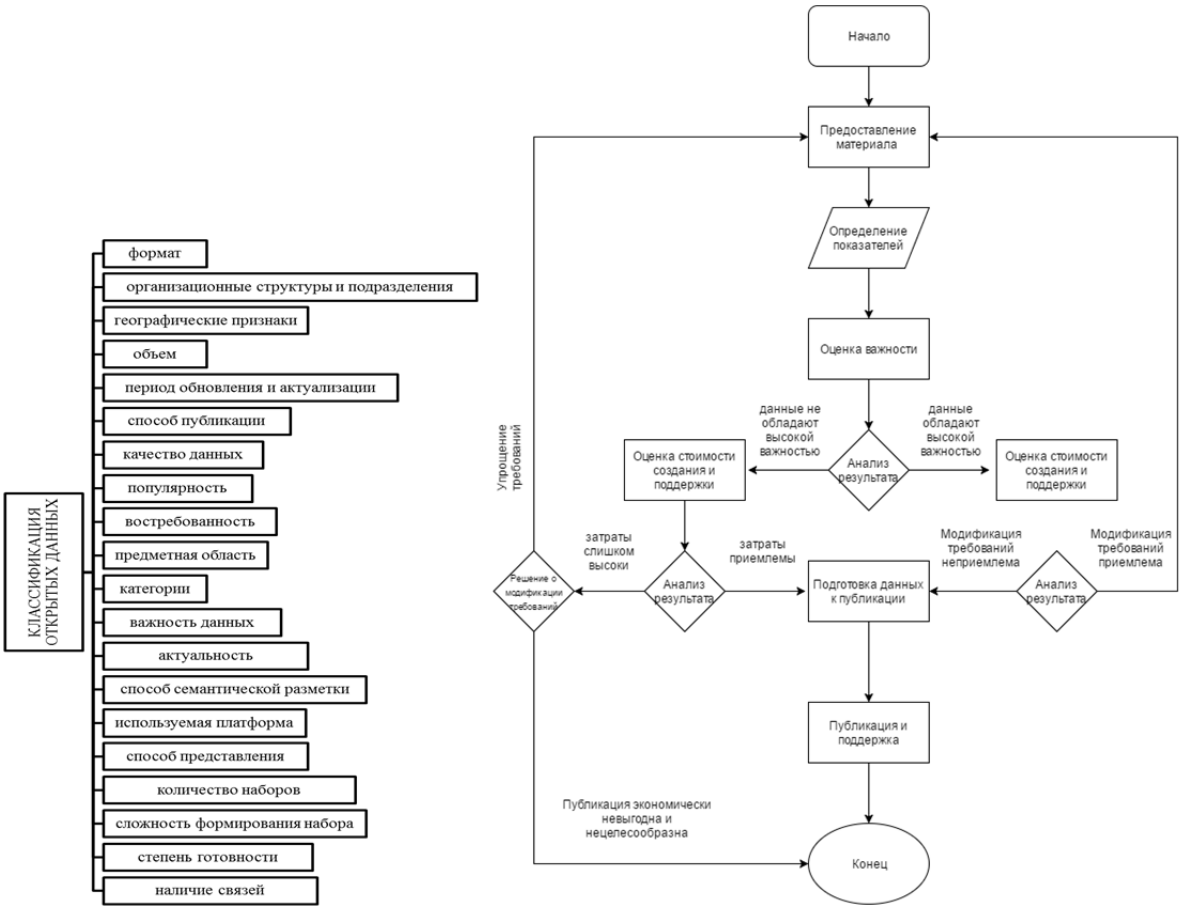
Разработанная классификация ОД, представленная на рисунке, а, отражает все факторы, влияющие на стоимость создания и поддержки открытых данных – трудозатраты, временные затраты, востребованность, географическое положение, объем данных, степень готовности, важность и актуальность данных и т.д. Разработка классификации необходима для того, чтобы сформировать показатели для оценки стоимости создания и поддержки ОД.

«The Open Data Institute» выделяет следующие элементы общих расходов на создание открытых данных:

1. техническая стоимость и настройка;
2. управление открытыми данными;
3. развитие навыков сотрудников;
4. затраты на устойчивость системы открытых данных.

В работе проведен анализ методов оценки затрачиваемых усилий, согласно которому исследуемые методы оценки затрачиваемых усилий имеют свои недостатки и

преимущества. Самым точным методом на данный момент является модель COCOMO, самым неточным и субъективным – анализ аналогичного опыта. Все перечисленные методы, однако, относятся по большей части к оценке затрат на работу проекта, либо разработку программного обеспечения. Для открытых данных данные методы могут быть применимы, однако не полностью учитывают их специфику.



а б

Рисунок. Классификация (а) и алгоритм оценки стоимости создания и поддержки (б) открытых данных

На основании таблицы показателей, разработанной в данной работе на основе модели COCOMO, формируется показатель, характеризующий стоимость создания открытых данных. Если коэффициент больше единицы, ожидаются дополнительные затраты. Затраты на формирование открытых данных оцениваются с помощью средневзвешенной стоимости формирования наборов открытых данных и умножается на полученный коэффициент.

С помощью предложенной в работе модели оценки важности данных можно определять важность показателей и требований с помощью распределения их по рангам. Распределения по рангам важности показателей целесообразно в случае, если какой-либо показатель крайне важен для заданной предметной области (например, частота обновления), и его необходимо учитывать в первую очередь, снижая требования и стоимость в менее важных областях.

Затраты на формирование открытых данных оцениваются с помощью средневзвешенной стоимости формирования наборов открытых данных и умножаются на полученный коэффициент.

Экономический эффект открытых данных отследить довольно сложно. Влияние открытых данных, безусловно, положительно сказывается на экономике страны,

лояльности граждан, а также на деятельность правительства (в условиях прозрачности государственный аппарат работает эффективнее). Для оценки эффективности можно использовать метод оценки таких факторов, как:

– популярность ресурса;
– доступность для пользователей глобальной сети;
– наличие альтернативных ресурсов;
– важность данных;
– объем информации;
– актуальность предоставляемых данных;
– стадия развития ресурса.

Разработанный алгоритм оценки стоимости создания и поддержки данных, представленный на рисунке, б, позволяет оценить и проконтролировать стоимость создания и поддержки открытых данных на этапе принятия решения о публикации, что позволит сократить расходы и сэкономить бюджет.

Алгоритм включает в себя следующие этапы:

1. предоставление материала;
2. определение показателей;
3. оценка важности;
4. в случае если данные обладают высокой важностью, происходит оценка стоимости создания и поддержки. После происходит анализ результата, и в случае, если стоимость высока и есть возможность модификации требований, требования изменяются. Если возможности модификации требований нет, данные подготавливаются к публикации;
5. в случае если данные не обладают высокой важностью, проводится оценка стоимости создания и поддержки, после происходит анализ результата, и в случае если стоимость удовлетворительна, данные подготавливаются к публикации. В случае если стоимость слишком высока, принимается решение о модификации требований. Если модификация возможна, требования изменяются и данные подготавливаются к публикации. Если модификация невозможна, следует принять решение об отказе от публикации в данном формате, поскольку она экономически невыгодна и нецелесообразна.

Таким образом, практическая значимость исследования состояла в следующем:

– разработана классификация открытых данных;
– разработана модель бизнес-процессов, протекающих в открытых данных;
– разработана группа показателей для оценки стоимости создания и поддержки открытых данных;
– разработана модель оценки важности данных, позволяющая выстраивать показатели важности по рангам;
– разработана система показателей эффективности открытых данных;
– разработан алгоритм для оценки усилий на создание и поддержку ОД.

Представляются возможными следующие направления развития работы:

– формирование онтологии на основе разработанной классификации;
– связь показателей модели оценки стоимости создания и поддержки с онтологией;
– разработка экспертной системы, предназначенной для помощи в принятии решений по публикации ОД;
– разработка веб-приложения, включающего функционал экспертной системы, основанной на разработанной онтологии, позволяющего оценить стоимость создания и поддержки открытых данных в режиме реального времени.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2013 г. № 583 «Об обеспечении доступа к общедоступной информации о деятельности государственных органов и органов местного самоуправления в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» в форме открытых данных».
2. Майер-Шенберг В., Кукьер К. Большие данные – Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 240 с.
3. Полковников А.В., Дубовик М.Ф. Управление проектами. Полный курс MBA. – М.: Олимп-бизнес, 2013. – 538 с.
4. Волков И.А. Рейнгольд Л.А. Открытые данные: проблемы и решения // Прикладная информатика. – 2014. – № 3(51). – С. 5–9.
5. Методические рекомендации по публикации открытых данных (версия 3.0) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://data.gov.ru/metodicheskie-rekomendacii-po-publikacii-otkrytyh-dannyh-versiya-30, своб.

Рюмин Дмитрий Александрович
Год рождения: 1991
Факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, группа № М4221с
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e–mail: dl_03.03.1991@mail.ru

УДК 004.582

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЖЕСТОВ РУК С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕНСОРА KINECT

Д.А. Рюмин
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Карпов

На текущий момент высшие правительства развитых, а также развивающихся стран в сотрудничестве с мировыми научными центрами и компаниями начинают уделять внимание разработке интеллектуальных технологий и систем на базе речевых и многомодальных человеко-машинных интерфейсов [1].

Компания Microsoft предоставляет актуальный инструмент в виде сенсора-дальномера Kinect для разработки систем с возможностью распознавания жестовых языков, который позволяет получать трехмерный видеопоток информации в виде карты глубины или трехмерного облака точек.

Цель работы заключалась в разработке математического и программного обеспечения для распознавания элементов казахского жестового языка глухих людей.

Вопрос нехватки сурдопереводчиков казахского жестового языка (КЖЯ) в Республике Казахстан стоит очень остро. В первую очередь это связано с отсутствием школ и утвержденного стандарта, по которому необходимо обучать будущих специалистов. Кроме того, в КЖЯ выделяется три основных диалекта: северо-восточный, южный и западный. Это вызывает сложности при исследовании элементов КЖЯ.

По типу показа все жесты делятся на статические и динамические. При воспроизведении статического жеста не возникает необходимости в непрерывном движении рук, так как положение кисти и пальцев рук неизменчиво в пространстве по истечении времени. Динамические жесты, в свою очередь, воспроизводятся путем движения какой-либо части человеческого тела, в большинстве случаев кистью руки во времени и пространстве.

Разработка базы данных (БД) для казахского жестового языка является начальной ступенью при создании системы автоматического распознавания отдельных жестов рук.

В результате проведенных в работе практических исследований, выявлено, что наиболее оптимальной моделью проектирования БД, способной хранить многомерные сигналы, получаемые с сенсора Kinect, является иерархическая модель (ИМ). С помощью ИМ все необходимые данные в совокупности можно представить в виде файловой системы, представленной на рис. 1, состоящей из корневого каталога и иерархии подкаталогов и файлов различного формата.

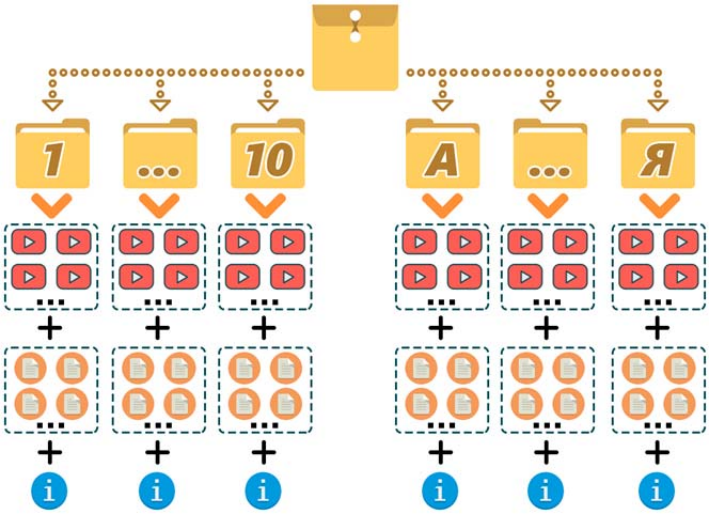


Рис. 1. Модель базы данных иерархичного типа для хранения жестовой информации

Запись элементов КЖЯ производилась при помощи сенсора Microsoft Kinect 2.0 на расстоянии от 1,5 до 2 м от демонстраторов, что является оптимальным расстоянием. Задний фон состоял из стены с однородным светлым или темно-зеленым фоном. Захват потока видео осуществлялся с разрешением 956×824 пикселей и частотой 25 кадров в секунду (fps).

Корневой каталог базы данных состоит из 52 подкаталогов, 10 из которых содержат информацию о жестах, показывающих цифры от 1 до 10. Остальные каталоги хранят данные дактильной азбуки казахского языка жестов, состоящей из 42 букв.

Кроме описанных файлов также имеется текстовый файл, хранящий служебную информацию о жесте. Средняя длительность одного видеофайла составляет около 4–5 с.

Следующий шаг заключался в разработке алгоритма выделения рук на изображениях, который необходим для метода вычисления информативных видеопризнаков жестов рук человека.

Вектор информативных видеопризнаков жестов рук представлен в табл. 1. Значения признаков хранятся в идентификаторах, наименование которых не совпадает между собой [2]. Это позволяет использовать при распознавании признаки в любой последовательности.

Таблица 1. Информативные признаки

Кисти рук		Каждый палец	
Идентификатор	Признак	Идентификатор	Признак
hand_or	Ориентация руки	fing_or	Ориентация пальца
hand_maj_axis_len	Длина большой оси эллипса	fing_maj_axis_len	Длина большой оси эллипса
hand_small_axis_len	Длина малой оси эллипса	fing_small_axis_len	Длина малой оси эллипса
hand_eccentr	Эксцентриситет	fing_eccentr	Эксцентриситет
hand_open	Количество внутренних отверстий	fing_open	Количество внутренних отверстий
hand_eul_num	Число Эйлера	fing_eul_num	Число Эйлера
hand_area	Площадь	fing_area	Площадь
hand_convex	Коэффициент выпуклости	fing_convex	Коэффициент выпуклости
hand_bord_len	Длина границы	fing_bord_len	Длина границы
hand_bord_diam	Диаметр границы	fing_bord_diam	Диаметр границы

Основные методы распознавания можно разделить на следующие категории: структурные и синтаксические методы; методы, которые основаны на теории принятия решений; статистические методы и нейронные сети [3].

В случае, если визуальные образы описываются при помощи количественных дескрипторов (длины, площади, диаметра, текстуры и т.д.), то можно использовать элементы теории принятия решения [4].

Каждый жест представляется в виде образа. Образ – это упорядоченная совокупность дескрипторов, образующих вектора признаков:

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где компонента x_i – i-дескриптор; n – общее количество дескрипторов. Эквивалентная форма записи признаков имеет вид: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, где T – операция транспонирования [5].

Образы, которые обладают какими-то схожими свойствами, образуют класс. На данном этапе исследований в совокупности система распознавания содержит 52 класса (по числу распознаваемых жестов в БД), обозначаемые, как $w_1, w_2, \dots, w_{52}$. В каждом классе находятся 5 записей, которые являются эталонами правильного показа определенного жеста.

Процесс сопоставления эталонных векторов с тестовыми основан на вычислении евклидова расстояния между ними. Принадлежность объекта к какому–то классу происходит на основе минимального расстояния между эталоном (прототипом) и неизвестным объектом, как показано на рис. 2.

Статический классификатор по минимуму евклидова расстояния выглядит следующим образом. Эталон класса – это математическое ожидание векторов образов выбранного класса (2):

$$m_j = \frac{1}{N}\sum_{x \in w_j} x_j, \quad (2)$$

где $j = 1,2, \dots, W$ – число классов; N_j – число векторов дескрипторов объектов класса w_j. Суммирование производится по всем векторам. Мера близости, основанная на евклидовом расстоянии, вычисляется по формуле (3).

Рис. 2. Примеры распознавания жестов

$$D_j(x) = \|x - m_j\|, \quad (3)$$

где $j = 1,2,\dots,W$ – число классов; x – неизвестный объект; m_j – математическое ожидание, вычисляемое по формуле (2).

Таким образом, неизвестный объект x будет соотнесен с некоторой вероятностью к такому классу w_j, для которого мера близости $D_j(x)$ будет наименьшей.

Достижение наименьшей (в среднем) вероятности появления ошибок при классификации осуществляется следующим образом. Вероятность того, что определенный объект x относится к классу w_i – это $p(w_i|x)$. В случае если классификатор относит образ (объект) к классу w_j, который в действительности принадлежит w_i, то это означает, что возникла потеря в виде ошибки классификации. Данные ошибки обозначаются как L_{ij}. Поскольку любой образ x возможно отнести к любому из имеющихся классов W, среднее значение потери (ошибки), связанное с отнесением к классу w_j объекта x равно среднему риску. Вычисление производятся на основании формулы (4).

$$r_j(x) = \sum_{k=1}^{W} L_{kj}\, p(w_k|x). \quad (4)$$

Таким образом, неизвестный образ возможно отнести к любому классу W. Сумма значений средних потерь по всем допустимым решениям будет минимальной, так как для входного образа x происходит вычисление функций $r_1(x), r_2(x), \dots, r_w(x)$. Данный классификатор основан на байесовском классификаторе, т.е. относит образ x к классу w_i в том случае, когда $r_i(x)<r_j(x)$ при условии, что $j = 1,2,\dots,W$ – число классов и класс j не равен классу i.

Тестирование автоматизированной системы производилось на вычислительных машинах с разной производительностью.

Предложенная система распознавания определенных статичных жестов рук была протестирована на созданной БД, которая включает в общей сложности 1770 жестов двух демонстраторов. Среднее время обработки одного кадра видеопоследовательности составляет 215 мс, что позволяет обрабатывать до 5 кадров за 1 секунду. Текущие показатели пока не позволяют обрабатывать автоматизированной системой поток видеоинформации в режиме реального времени. Однако присутствует возможность обработки записанных видеофрагментов с камеры Kinect 2.0 в паре с получаемыми значениями от датчика глубины в синхронном режиме.

Характеристики качества распознавания представлены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики качества распознавания отдельных жестов

Жест	Точность	Жест	Точность	Жест	Точность	Жест	Точность
1	0,89	В	0,90	М	0,90	Х	0,85
2	0,90	Г	0,86	Н	0,89	Һ	0,90
3	0,85	Ғ	0,84	Ң	0,88	Ц	0,86
4	0,88	Д	0,87	О	0,88	Ч	0,86
5	0,87	Е	0,87	Ө	0,86	Ш	0,87
6	0,87	Ё	0,86	П	0,90	Щ	0,86
7	0,85	Ж	0,88	Р	0,87	Ъ	0,83
8	0,86	З	0,87	С	0,87	Ы	0,88
9	0,87	И	0,89	Т	0,90	І	0,87
10	0,84	Й	0,85	У	0,85	Ь	0,84
А	0,91	К	0,88	Ұ	0,83	Э	0,87
Ә	0,86	Қ	0,84	Ү	0,84	Ю	0,86
Б	0,87	Л	0,85	Ф	0,87	Я	0,88

Из полученных результатов видно (табл.2), что средняя точность распознавания, вычисляемая по формуле (5) составляет 0,87 (87%).

$$x_c = \frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}, \quad (5)$$

где n – количество жестов; x_n – точность распознавания жеста. Данные результаты получены на записанной БД.

Наиболее низкую точность распознавания показали жесты, при демонстрации которых необходимо располагать пальцы на относительно близком расстоянии друг от друга под разными углами. Повысить точность в таком случае возможно за счет увеличения количества эталонов, а также разработке алгоритма, способного осуществлять процессы размыкания и замыкания не только бинарного, но и цветного изображения. Это позволит гибко управлять цветовыми параметрами и определять не только более точно координаты объектов, но и их дескрипторы.

Литература

1. Ivanko D.V., Kipyatkova I.S., Ronzhin A.L., Karpov A.A. Analysis of multimodal fusion techniques for audio-visual speech recognition // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2016. – V. 16. – № 3. – P. 387–401.
2. Kukharev G.A., Matveev Yu.N., Shchegoleva N.L. Matching of a sketches with an original photo // Proc. XVIII IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). – 2015. – P. 157–159.
3. Kukharev G.A., Matveev Yu.N., Shchegoleva N.L. New solutions for face photo retrieval based on sketches // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2016. – V. 26. – № 1. – P. 118–128.
4. Sholohov A., Kinnunen T., Cumani S. Discriminative multi-domain PLDA for speaker verification // Proc. ICASSP, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. – 2016. – P. 5030–5034.
5. Kukharev G., Matveev Yu., Forczmanski P. An Approach to Improve Accuracy of Photo–to–Sketch Matching // International Conference Image Analysis and Recognition. – 2016. – V. 9730. – P. 385–393.

Савицкая Александра Александровна
Год рождения: 1993
Факультет программной инженерии и компьютерных технологий, кафедра информатики и прикладной математики, группа № Р4217
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: dontspeaker.gm@gmail.com

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИГРОВОГО ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ

А.А. Савицкая
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.М. Дергачев

Работа выполнена в рамках темы НИР «Мобильное приложение для игрового обучения программированию».

Работа посвящена созданию мобильного приложения, которое в совокупности с сервером представляет собой игровую систему для обучения программированию детей, обучающихся в младших и средних образовательных учреждениях. В работе рассмотрены преимущества игрового мобильного приложения, а также его внутренняя структура и концепция. Описаны дальнейшие перспективы развития для привлечения широкой аудитории к обучению программированию.

Игровое обучение – это образование посредством развлечения, форма учебного процесса в условных ситуациях, направленная на воссоздание и усвоение общественного опыта во всех его проявлениях: знаниях, навыках, умениях, эмоционально-оценочной деятельности.

Мобильное обучение – это обучение, которое проходит независимо от местонахождения и происходит при использовании портативных технологий [1].

Объединив два подхода игрового и мобильного обучения, была сформулирована **цель работы**: создание мобильного приложения для обучения основам программирования в интерактивной игровой форме для учащихся младших и средних образовательных учреждений, а также для домашнего обучения детей (в том числе и для детей с ограниченными физическими способностями). Приложение должно быть реализовано для нескольких мобильных операционных систем, которые охватывают большинство пользователей смартфонов и планшетов.

Было условлено, что приложение должно предоставлять следующие возможности и сервисы:

- возможность знакомства с программированием для аудитории, которая никак не связана с этой предметной областью;
- возможность пошагового обучения начальным основам программирования;
- возможность моментальной проверки результатов;
- ознакомление с программированием в игровой форме, позволяющее во время игры осваивать материал;
- возможность отслеживания собственных результатов и ведения рейтингов среди пользователей и приложений;
- наличие сервиса рекомендаций приложения по уровням знаний пользователей.

Для создания приложения был выбран инструмент Unity.

Unity – это инструмент для разработки двух- и трехмерных приложений и игр, работающий под мобильными операционными системами Windows Phone, Android, Apple IOS [2].

Данный инструмент был выбран за его кроссплатформенность, а именно возможность с минимальными изменениями перенести один и тот же код на разные платформы.

При проектировании системы была выбрана трехуровневая (three-tier) архитектура «клиент – сервер – база данных». В базе данных хранятся данные, которые загружаются в определенном формате. Эти данные используются в качестве заданий, которые с помощью сервера отправляются клиенту. Задания отформатированы под определенный шаблон для корректной обработки клиентом.

Было условлено, что в качестве стиля архитектуры используется подход REST.

REST (Representational state transfer) – это стиль архитектуры программного обеспечения для распределенных систем, таких как World Wide Web, который, как правило, используется для построения веб-служб [3].

В итоге было зафиксировано следующее распределение по задачам между клиентом и сервером (рис. 1).

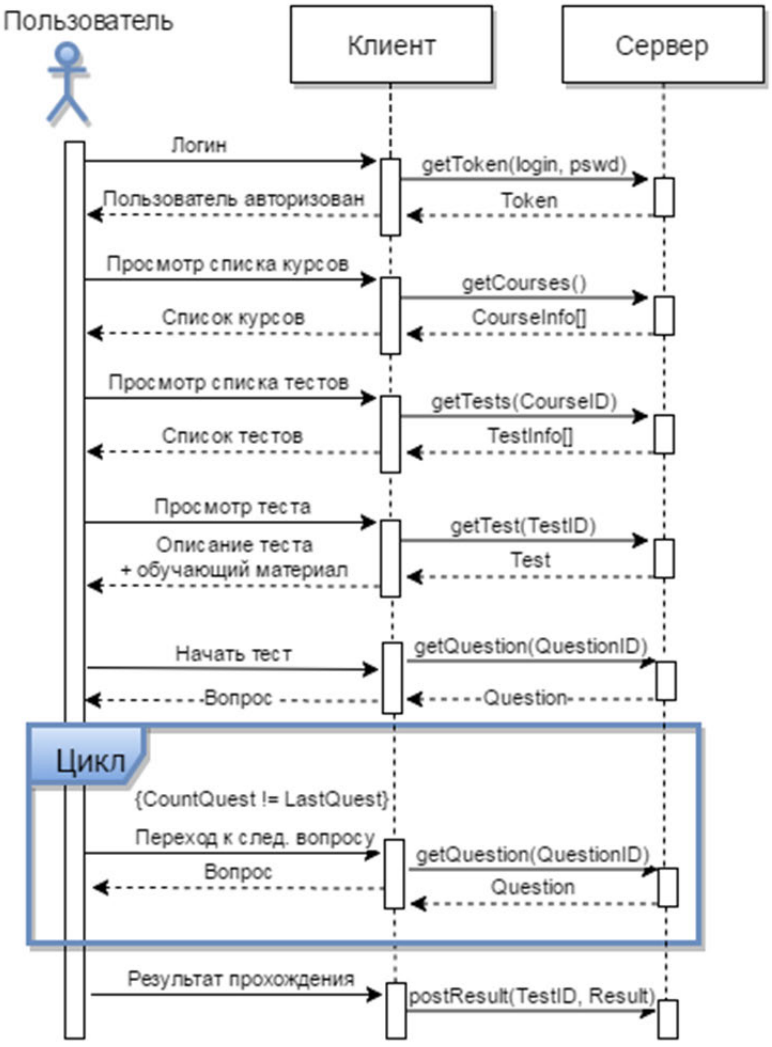


Рис. 1. Взаимодействие между клиентом и сервером

Клиент отвечает за:

– обеспечение взаимодействия с пользователем;
– обучение пользователя программированию в игровой форме;

– мониторинг активности пользователя для формирования рекомендаций;
– предоставление возможности поиска курсов и тестов по категориям;
– доступ к дополнительным материалам курсов;
– отображение статистики и рейтинга пользователя.

Сервер отвечает за:

– предоставление доступа к базе данных;
– аутентификацию и авторизацию пользователей;
– формирование и отправление заданий в определенном формате;
– получение результатов прохождения заданий;
– анализ результатов;
– формирование рекомендаций для пользователей;
– предоставление возможности расширения базы вопросов;
– предоставление возможности формирования тестов и курсов на основе базы вопросов.

Сенсорный экран переносимых устройств позволяет непосредственно контактировать с элементами на экране. В связи с этим были выбраны основные типы заданий и отобраны элементы интерфейса, которые позволили реализовать данные типы заданий.

При открытии приложения на мобильном устройстве пользователь выбирает определенную тему для обучения и начинает ее изучение. Каждый уровень предполагает под собой область с формулировкой задания и область непосредственного выполнения задания. Также на каждом уровне имеется возможность получить справочную информацию об изучаемой теме.

При правильном прохождении уровня приложение открывает новый уровень с новым заданием, начисляя пользователю очки за успешно пройденное задание. Если задание выполнено некорректно, пользователю отображается пояснительная информация с указанием на ошибку. В случаях, где наглядно можно продемонстрировать ошибку или корректное выполнение, проигрывается анимация, что помогает более подробно изучить тему.

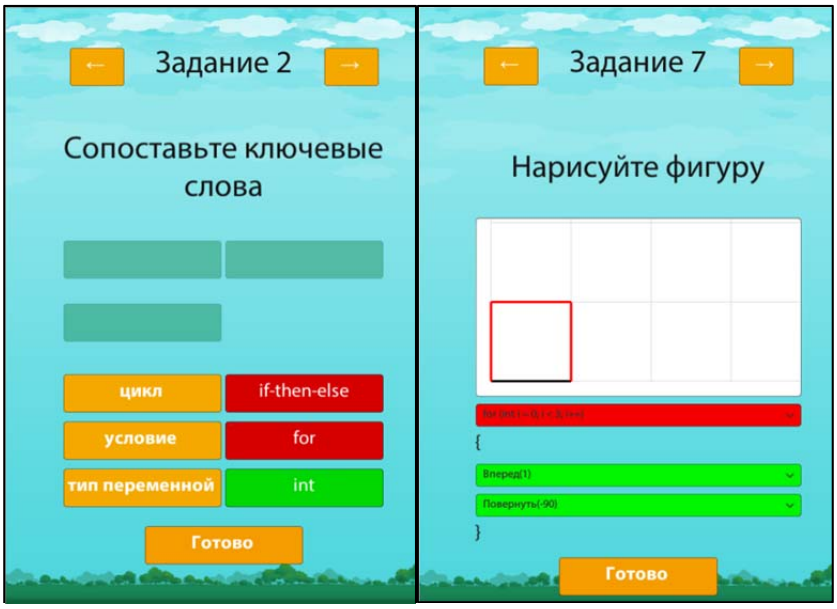


Рис. 2. Экраны с некорректно выполненными заданиями

На экране (рис. 2) сформулировано задание, где предлагается его выполнить путем перетаскивания блоков в пустые ячейки или путем выбора ответа из

выпадающего списка. После того, как пользователь выполняет задание и подтверждает свое решение, на экране отображается корректный ответ. В том случае, если возможно наглядно отобразить результат, пользователю прорисовывается анимация. В зависимости от корректности решения она подтверждает или демонстрирует ошибки пользователя.

На скриншотах приложения в обоих случаях видно, что пользователь совершил ошибку, и в каком конкретно месте он это сделал.

Во время выполнения заданий собирается статистика по пользователю и отправляется на сервер для анализа и формирования индивидуальных рекомендаций. Таким образом, пользователь получает новые задания, которые соответствуют его уровню.

В результате было реализовано мобильное приложение для обучения программированию в игровой интерактивной форме. Основным достоинством приложения является такой формат обучения, который легко и положительно воспринимается детьми. Данный формат не претендует на замену классическому обучению, но является мощным вспомогательным инструментом.

Кроссплатформенное мобильное приложение для обучения программированию, включает в себя следующую функциональность:

- получение и отображение курсов со списком тестов и обучающими материалами (текстовые файлы);
- прохождение тестов, включающих как простые задания в виде выбора ответа на вопрос, так и интерпретацию заданий с анимированным отображением результатов на экране;
- отправка на сервер результатов прохождения тестов и пользовательской оценки пройденного теста для формирования рекомендаций;
- поиск и сортировка тестов по различным направлениям и темам, а также отображение рекомендованных курсов для дальнейшего обучения;
- личный кабинет со статистикой прохождения курсов и общим рейтингом среди всех пользователей.

Разработанное решение является гибким решением для загрузки заданий и формирования курсов любых уровней подготовки. Приложение может быть использовано как для индивидуального домашнего обучения, так и для использования на уроках в образовательных учреждениях.

В дальнейшем предполагаются следующие области для развития:

- адаптация приложения под всевозможные языки программирования;
- адаптация приложения под различные возрастные категории;
- индивидуальная настройка параметров обучающей программы;
- реализация многопользовательского режима.

Литература

1. Меркулов А.М. Обучение при помощи мобильных устройств – новая парадигма электронного обучения // Молодой ученый. – 2012. – № 3. – С. 70–75.
2. Manning J., Buttfield-Addison P. Mobile Game Development with Unity. Build once, deploy anywhere. – O’Reilly Media, Inc., 2015. – 300 p.
3. Richardson L., Amundsen M. RESTful Web APIs. – O’Reilly Media, Inc., 2013. – 404 p.

Тазитдинов Рамиль Рашитович
Год рождения: 1992
Факультет холодильной, криогенной техники
и кондиционирования, кафедра холодильных установок,
группа № W4202
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: t.r_92@mail.ru

УДК 621.56/.59

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВАКУУМНО-ВЫПАРНОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ «БИНАРНОГО ЛЬДА»

Р.Р. Тазитдинов
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Круглов

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615876 «Повышение энергетической эффективности и экологической безопасности систем хладоснабжения и кондиционирования».

Подписание Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой Земли, и Киотского протокола о стабилизации выбросов парниковых газов в атмосферу оказали влияние на развитие холодильной техники в сторону применения природных хладагентов и снижения заправочной емкости систем с синтетическими хладагентами.

В 1972 году российский ученый В.А. Чижиков предложил использовать двухфазный хладоноситель «бинарный лед». Бинарный лед состоит из мелких кристаллов льда, размер которых не превышает 2 мм, в смеси с водой или водным раствором. Доля льда в смеси может варьироваться от 10 до 50%.

Применение бинарного льда в качестве хладоносителя со стабильной температурой, меняющего свое агрегатное состояние в процессе охлаждения, наиболее экономично в случаях неравномерных тепловых нагрузок при околонулевых температурах. Бинарный лед обладает высокой охлаждающей способностью, создаваемой многочисленными кристаллами, которые обволакивают продукт со всех сторон при контактном охлаждении, тем самым предотвращают его контакт с воздухом, обеспечивая при этом быстрое охлаждение и увеличивая срок хранения охлаждаемой продукции. Бинарная смесь с массовой долей льда 30% потенциально может улучшить эффективность системы за счет уменьшения объема циркулирующей воды более чем на 80%, или же увеличить охлаждающую способность в 6 раз при тех же тепловых нагрузках и мощностях на перекачивание хладоносителя. Опубликованные результаты исследований [1], свидетельствуют об увеличении коэффициента теплопередачи на 20% для пластинчатых теплообменников и на 50% для трубчато-ребристых теплообменников при использовании бинарного льда, что позволяет сократить расходы на теплообменное оборудование, трубопроводы, насосы и арматуру. Область применения и популярность использования бинарного льда с каждым годом растет в странах Европы, в Америке и Японии [2, 3]. Это объясняется его теплофизическими и экологическими свойствами.

Применяемые в настоящее время парокомпрессионные генераторы бинарного льда стоят дороже водоохлаждающих холодильных машин. Новые способы получения бинарного льда должны составить конкуренцию существующим. Производство бинарного льда с помощью вакуумно-выпарных установок имеет ряд преимуществ: в качестве хладагента в вакуумных установках применяется вода;

система находится под давлением ниже атмосферного; коэффициент эффективности вакуумно-выпарных установок выше, чем у традиционных способов получения. Таким образом, разработка новых установок, применение и исследование процессов в вакуумных установках для получения бинарного льда является актуальной темой.

Цель работы – исследование процессов при производстве бинарного льда в вакуумно-выпарной установке; разработка методики расчета процессов вакуумно-выпарной кристаллизации. Задачи, решаемые в настоящей работе: выбор установки для проведения исследований; составление тепловых и массовых балансов для установки; разработка модели, описывающей процессы, происходящие в установке; исследование процессов кристаллизации капель в баке-кристаллизаторе; определение геометрических размеров бака-кристаллизатора.

В качестве объекта исследования рассмотрена холодильная установка для получения бинарного льда методом вакуумно-выпарной кристаллизации. При описании расчетной модели вакуумно-выпарной установки можно выделить следующие этапы:

1. составление тепловых и массовых балансов установки;
2. расчет системы откачки водяного пара и описание процесса распыления;
3. расчет процесса кристаллизации капель;
4. определение геометрических параметров бака-кристаллизатора.

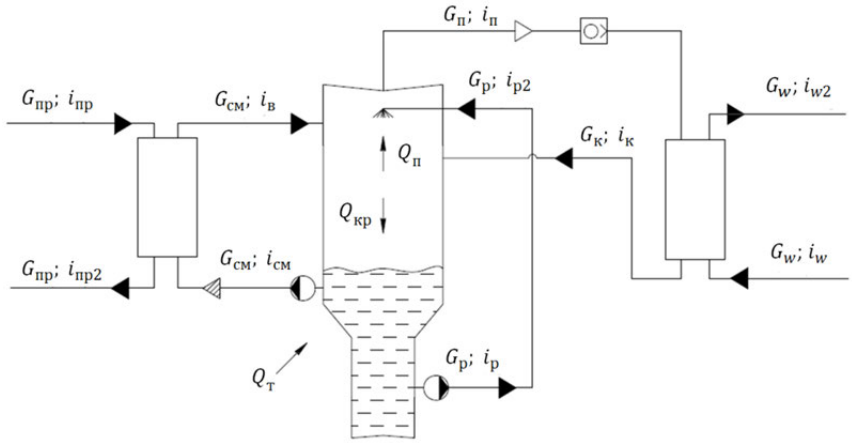


Рис. 1. Схема расчета балансов вакуумно-выпарной установки для получения бинарного льда

Тепловые и массовые балансы бака-кристаллизатора (рис. 1) позволяют определить расход бинарной смеси, исходя из тепловой нагрузки, и расход откачиваемого водяного пара:

$$G_{см}i_{см} - G_{см}i_в + G_п i_п - G_к i_к + G_р i_р - G_р i_{р2} = 0;$$
$$Q_{кр} = (G_п + G_л)i_{р2} + (G_п + G_л)i_{в0} + (G_п + G_л)i_л;$$
$$Q_{см} = G_л i_л - G_л i_{в0} + G_л r_п + G_{см} i_{в0} - G_{см} i_в;$$
$$G_р i_{р2} - G_л i_л - G_п i_п + Q_п - Q_{кр} - Q_т = 0;$$
$$G_р i_р - G_р i_{р2} + N_р = 0;$$
$$G_{см} = (G_л + G_в);$$
$$G_р = (G_л + G_п);$$
$$Q_п = G_п r_п;$$
$$G_п = G_к.$$

Из расчета системы откачки водяного пара определяются характеристики вакуумного насоса, и согласовываются с работой бака-кристаллизатора.

Расчет процесса кристаллизации капли проводился с использованием данных, приведенных в работе Б.Т. Маринюка [4]; изменение времени замерзания τ капли радиусом R в вакууме определяется уравнением:

$$\frac{L\rho_л}{R\tau(R-\eta)}\left(\frac{\eta^4}{3R}+\frac{R^2\eta}{6}-\frac{\eta^3}{2}\right)=\frac{S^*L^*\mu}{R_г}\left(35-\frac{8940}{T_ф-\frac{L\rho_л}{\lambda_л R\tau}\left(\frac{\eta^3}{3}+\frac{R^3}{6}-\frac{R\eta^2}{2}\right)}\right).$$

Основные размеры бака-кристаллизатора определяются его диаметром и высотой зоны кристаллизации, которые зависят от времени замерзания капли, размера капли, порозности псевдоожиженного слоя и массовых расходов потоков.

По расчетной модели и разработанному алгоритму составлена программа расчета вакуумно-выпарной установки для получения бинарного льда. Выполнены расчеты вакуумно-выпарной установки с холодопроизводительностью 12 кВт при диаметре капли 1,5 мм, проведены аналитические исследования процессов вакуумной кристаллизации, влияние параметров процессов на массогабаритные характеристики бака-кристаллизатора и производительность установки. Сравнение вакуумно-выпарной установки и скребкового генератора жидкого льда SIM-50 показало, что стоимость производства килограмма льда в вакуумно-выпарной установке в 3 раза ниже.

Увеличение диаметра капли на 50% приводит к увеличению времени ее замерзания в 2 раза (рис. 2).

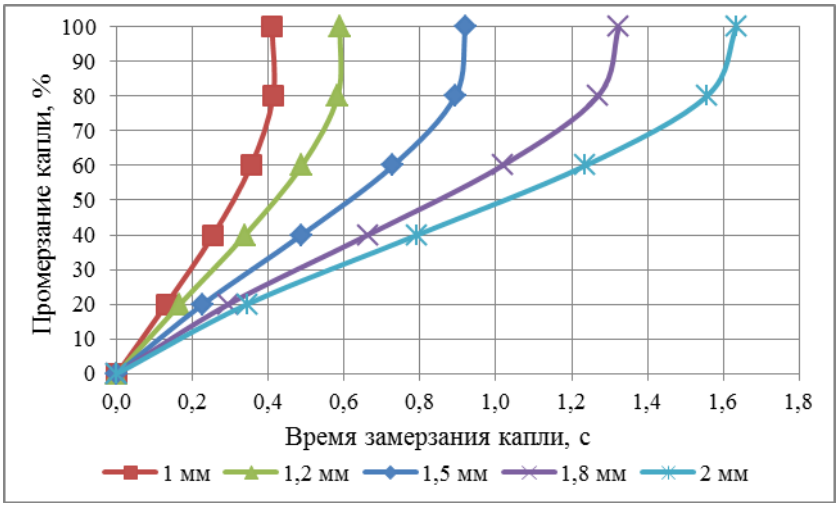


Рис. 2. Влияние диаметра капли на время промерзания

Меньшие затраты на изготовление, потребление энергии и массогабаритные показатели установки достигаются при распылении капли с диаметром 1,5 мм (рис. 3).

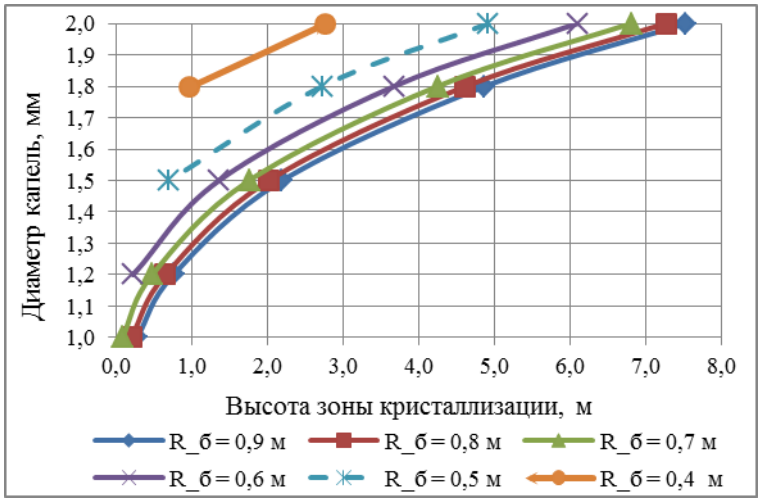


Рис. 3. Влияние диаметра капли на габариты бака-кристаллизатора (при ε=0,8, S^*=11,028 м^3/(м^2·с), $G_ф$=120 кг/ч): R_б – радиус бака-кристаллизатора

Увеличение порозности псевдоожиженнного слоя в зоне кристаллизации на 7% приводит к увеличению скорости осаждения капель на 25%.

Увеличение массовой доли льда (от 10% до 50%), при малых тепловых нагрузках (до 5 кВт) оказывает незначительное влияние на скорость откачки водяного пара (рис. 4). При нагрузках от 12 кВт до 50 кВт виден заметный рост требуемой скорости откачки водяного пара при увеличении массовой доли льда с 10% до 20%. Для сравнения, при увеличении массовой доли льда: с 10% до 20% рост составляет 10%; с 20% до 30% – скорость откачки возрастает на 4%; свыше 30% – скорость откачки возрастает менее чем на 2% (при тепловых нагрузках 12 кВт, 20 кВт, 30 кВт, 40 кВт и 50 кВт). Из чего можно сделать вывод, что с энергетической точки зрения более выгодно производить бинарную смесь с массовой долей льда более 20%.

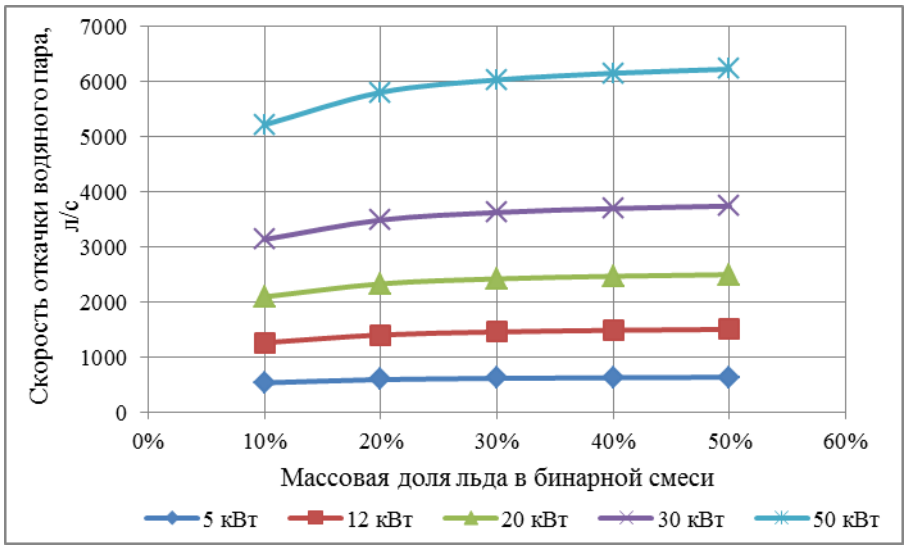


Рис. 4. Влияние массовой доли льда в бинарной смеси на скорость откачки водяного пара при различных тепловых нагрузках

Основные результаты работы:

– составлена расчетная модель бака-кристаллизатора;
– описан алгоритм расчета установки для производства бинарного льда;
– составлена программа расчета, реализующая алгоритм;
– выполнен расчет вакуумно-выпарной установки с холодопроизводительностью 12 кВт;
– проведены численные исследования, выполнен анализ влияния параметров процессов вакуумной кристаллизации на массогабаритные характеристики и производительность установки.

Результаты исследований, проведенных в данной работе, показывают перспективность применения вакуумно-выпарных установок для производства бинарного льда и необходимость дальнейших исследований процессов в этих установках.

Литература

1. Paul J. District cooling with binary ice. Design and execution of district cooling systems with a liquid, pumpable ice slurry («binary ice»). – Technical University of Denmark.
2. Цой А.П., Круглов А.А., Тазитдинов Р.Р. Основные типы аккумуляторов холода с использованием бинарного льда // VI Международная научно-техническая конференция «Казахстан-Холод 2016»: сб. докладов конференции. – 2016. – С. 144–148.

3. Wang M.J., Goldstein V. Ice slurry: advanced fish chilling and preservation technology // American Fisheries Society Symposium. – 2003. – V. 38. – P. 379–386.
4. Маринюк Б.Т. Расчет теплообмена в аппаратах и системах низкотемпературной техники. – М.: Машиностроение, 2015. – 272 с.

Улин Александр Викторович
Год рождения: 1993
Факультет систем управления и робототехники, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, группа № Р4245
Направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: San-th@mail.ru

УДК 681.5.01: 681.537

ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОПОДСИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КООРДИНАТНЫХ ОСЕЙ МНОГОКООРДИНАТНЫХ СТАНКОВ

А.В. Улин
Научный руководитель – к.т.н., доцент П.А. Борисов

В настоящее время основные усилия при проектировании электрооборудования направлены на экономию потребляемой энергии. Более 60% всей вырабатываемой энергии на сегодняшний день потребляется системами электропривода, поэтому ключевыми задачами при использовании подобных систем являются энергосбережение и повышения качества потребляемой электроэнергии.

Международные стандарты, такие как IEC 61000-3 [1] и IEEE 519 EN [2], из года в год ужесточают требования к качеству энергопотребления. В последние годы были пересмотрены не только требования к показателям качества потребляемой электроэнергии ГОСТ 13109-97 [3], но и введены новые государственные стандарты, вводящие новые жестко регламентированные показатели качества, а также регламентирующие состав потребляемого тока вплоть до 49 гармоники (МЭК 61000-3-2-95) [4]. Постоянно ужесточающиеся требования к качеству потребляемой энергии, новые вводимые стандарты, а также стремление к максимальному энергосбережению заставляют разработчиков систем электропривода использовать новые подходы и, вследствие этого, полностью перестраивать силовую часть преобразователей.

Одним из способов подобной модернизации является использование активного преобразователя на полностью управляемых ключах в звене постоянного тока (ЗПТ). Вследствие этого осуществляется переход от неуправляемых преобразователей напряжения (выпрямителей), построенных на неуправляемых вентилях (полупроводниковых диодах), к активным – полностью управляемым.

Активные преобразователи обеспечивают двухстороннее энергопотребление, другими словами – возможность потреблять и рекуперировать энергию. Активный выпрямитель напряжения (АВН) представляет собой автономный инвертор напряжения, построенный на полностью управляемых силовых ключах (MOSFET, IGBT) с обратными диодами, обращенный на сторону переменного тока [5].

Исследуемое устройство – электропривод CSD-DH-NYS, производимый компанией ООО «Балт-Систем». В своем составе электропривод имеет

преобразователь частоты CSD-DH-16 и синхронный вентильный электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов 215NYS-M-15-Z. Данный преобразователь построен на базе неуправляемого выпрямителя [6], вследствие чего при его эксплуатации необходимо использовать тормозную цепь для реализации тормозного режима. Преобразователь комплектуется балластным сопротивлением.

Моделирование электропривода с АВН. Модель данного электропривода была получена в результате исследования, описанного в работе [7]. Результаты, полученные при модельном исследовании, практически аналогичны результатам, полученным при экспериментальном исследовании электропривода, что позволяет утверждать, что модель с высокой точностью отражает электромагнитные процессы, проходящие в преобразователе.

Одним из способов повышения энергоэффективности системы является использование активного выпрямителя вместо неуправляемого. Активный выпрямитель не только позволяет рекуперировать энергию торможения в сеть, но еще способствует повышению качества потребляемого из сети тока. Построим модель активного выпрямителя для данного преобразователя. Структурная схема замкнутой системы электропривода с активным выпрямителем в ЗПТ представлена на рис. 1.

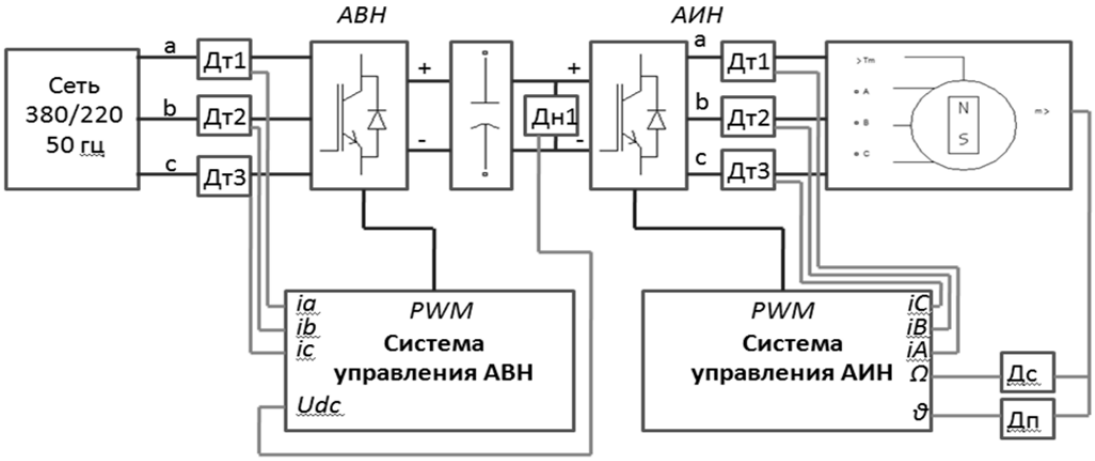


Рис. 1. Структурная схема электропривода с АВН

Модель электропривода с АВН была построена в соответствии со структурной схемой. В модели АВН реализована замкнутая двухконтурная система управления. Внутренний контур – контур регулирования потребляемого тока с пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором, замкнутый по сетевому току. Внешний контур – контур стабилизации напряжения ЗПТ с ПИ-регулятором, замкнутый по напряжению в нагрузке. Коэффициенты регуляторов подбирались с помощью метода Циглера–Николса [6, 8]. Емкость конденсатора в ЗПТ уменьшена в 10 раз относительно емкости конденсатора в ЗПТ исследуемого электропривода, и составляет Cf=85,7 мкФ. В модели электропривода также реализована двухконтурная система управления. Внутренний контур – контур регулирования тока двигателя с ПИ-регулятором, замкнутый по току двигателя. Внешний контур – контур регулирования скорости с ПИ-регулятором, замкнутый по скорости двигателя. При моделировании использовались различные сигналы задания скорости: синусоидальный с частотой 2π рад/сек и амплитудой 1500 и трапецеидальный. Система отрабатывает задающее воздействие. Результаты сравнения показателей качества системы электропривода с неуправляемым выпрямителем (НУВ) и активным выпрямителем напряжения (АВН) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнение энергетических показателей

Задание	НУВ		АВН	
	синус	трапеция	синус	трапеция
КПД	0,65	0,71	0,94	0,95
THD П	35%	32%	2,49%	2,71%
THD Р	–	–	4,7%	5,2%
cosfi	0,85	0,86	0,99	0,99

Моделирование электроподсистемы трехкоординатного металлообрабатывающего станка. Поскольку преобразователь CSD-DH-16 в большинстве случаев используется в многокоординатных металлообрабатывающих комплексах, проведем модельное исследование энергоподсистемы многокоординатного станка с общим ЗПТ и активным выпрямителем.

Для исследования энергетических процессов подобного станка построим модель его энергетической подсистемы в Simulink (рис. 2).

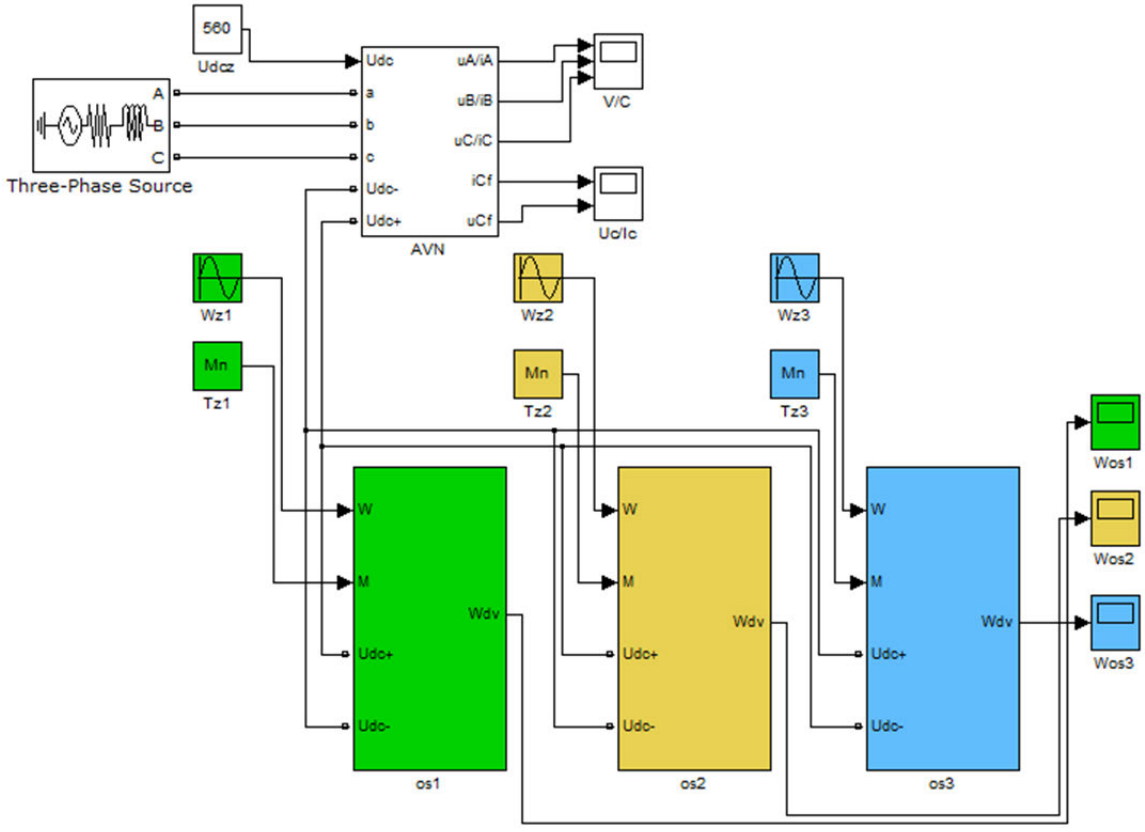


Рис. 2. Модель энергетической подсистемы трехкоординатного станка

Подсистема AVN представляет собой АВН, построенный ранее. Для мониторинга его работы выведены: осциллограф, показывающий графики фазных токов и напряжений в сети и осциллограф, показывающий напряжение и ток в ЗПТ. Подсистемы os1, os2 и os3 представляют собой модель электропривода. Моделирование также проводилось при различных режимах работы станка: при отработке станком окружности и синхронном движении всех осей. Результаты сравнения показателей качества системы электропривода с НУВ и АВН представлены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение энергетических показателей

Задание	НУВ		АВН	
	окружность	синхронное движение	окружность	синхронное движение
КПД	0,86	0,63	0,93	0,94
THD П	32%	30%	2,53%	1,53%
THD Р	–	–	5,09%	2,29%
cosfi	0,86	0,82	0,99	0,99

В ходе исследования системы электропривода с активным выпрямителем при различных сигналах задания было установлено, что в подобных системах активный выпрямитель способствует повышению КПД за счет возможности рекуперации энергии, выделяемой при торможении двигателя. За счет использования АВН можно добиться понижения коэффициента гармоник (в 7–10 раз) и улучшения гармонического состава потребляемого и рекуперируемого токов. Значение коэффициента мощности увеличилось до 0,99. Благодаря использованию АВН емкость силового фильтра была уменьшена в 10 раз (с 857 мкФ до 87,5 мкФ), что позволило значительно уменьшить его габариты. Также исключилась необходимость использования тормозной цепи.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что использование АВН в ЗПТ с приводом CSD-DH-NYS благоприятно сказывается на показателях качества энергопотребления и повышает энергоэффективность. Также использование активного выпрямителя благоприятно сказывается на массогабаритных показателях шкафа электроавтоматики станка.

Литература

1. IEC 61000-3-2. Electromagnetic compatibility (EMC). – P. 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤16 A per phase).
2. IEEE Standard 519-1992. Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. – The Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 1993.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введен 01.01.1999. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 32 с.
4. ГОСТ 27803-91. Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Технические требования. – Введен 01.01.1992. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 21 с.
5. Борисов П.А.,. Поляков Н.А., Томасов В.С. Энергетическая совместимость полупроводниковых преобразователей систем электропривода с питающей сетью. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2012. – 112 с.
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
7. Улин А.В., Поляков Н.А. Исследование энергоподсистемы преобразователя частоты CSD-DH-16 // Сб. трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2015. – С. 389–393.
8. Ziegler J.B., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // ASME Transactions. – 1942. – V. 64. – P. 759–768.

Федорова Александра Юрьевна
Год рождения: 1980
Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра экономики и стратегического менеджмента,
группа № U4250
Направление подготовки: 38.04.05 – Бизнес-информатика
e-mail: AYFedorova@gmail.com

УДК 330.46

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В МАЛОМ БИЗНЕСЕ

А.Ю. Федорова
Научный руководитель – к.э.н., профессор Е.А. Павлова

В работе проведено исследование способов моделирования и подходов к совершенствованию бизнес-процессов в российском малом бизнесе: анализ теоретических и методологических предпосылок процессного моделирования, специфики современных способов и стандартов моделирования, подходов к управлению бизнес-процессами, определены особенности деятельности малых предприятий, определяющих возможности применения современных способов и инструментов моделирования для анализа и совершенствования бизнес-процессов. Актуальность темы обусловлена неослабевающим интересом бизнес-сообщества к нахождению более совершенных в современных условиях методов повышения эффективности деятельности. Тема находится на стыке нескольких областей знаний – экономики, менеджмента, информатики, моделирования сложных систем.

Вопросы управления бизнес-процессами и повышения эффективности деятельности организации в той или иной степени интересовали руководителей всегда. При решении подобных задач применяли и используют в настоящее время различные методы моделирования, усложняющиеся с развитием и распространением информационных технологий.

История моделирования насчитывает почти столетие (начиная с 1920-х годов). В настоящее время для графического описания и анализа бизнес-процессов могут применяться различные методологии. Некоторые из них разработаны – в начале и середине XX века (IDEF – в первую «волну»), затем были модифицированы (в том числе благодаря развитию информационных технологий).

Первые модели (блок-схемы, графы – «модели на бумаге») позволяли описать, как выполняются те или иные задачи, работы и оценить рациональность организации процессов (способов осуществления). В 1990-е годы с осознанием необходимости не только формализации деятельности, но и радикальной перестройки и автоматизации процессов, появилось множество методологий, предназначенных для построения бизнес-моделей. Однако все они оказались неспособны оперативно реагировать на изменения внешней среды, что особенно важно сейчас [1].

В современном постиндустриальном мире, на пороге шестого технологического переворота, способность компании гибко (и быстро) реагировать на изменения бизнес-среды, как никогда ранее, определяет ее способность сохранить свое конкурентное преимущество. Современные методологии, в том числе нотация по моделированию бизнес-процессов (Business Process Modeling

Notation, BPMN), позволяют не только описать процессы – последовательности действий/задач, их взаимосвязи – с учетом сложных условий (ситуаций), но и проводить анализ моделей в статике и в динамике, оптимизировать внутренние процессы. Таким образом, моделирование выступает и инструментом процессного совершенствования.

Множество российских компаний используют классическую методологию (реализуется доступными программными средствами и «на бумаге»), некоторые – ARIS и семейство IDEF, другие (в том числе малый бизнес) – постепенно обращают свое внимание на BPMN.

Выбор методологии для малого бизнеса обусловлен его особенностями. Законодательно и фактически ограничены численность и размер выручки (таблица), что в сравнении с крупным и средним бизнесом «дает» лучшую управляемость, но и обуславливает недостаток ресурсов (трудовых и финансовых) – в том числе для внедрения специализированного программного обеспечения для моделирования.

Таблица. Особенности деятельности малых предприятий

Законодательно установленные в Российской Федерации предельные значения	Факт (2011–2014 гг.)
численности работников (за год): малый бизнес – до 100 человек (включительно), в том числе микропредприятия – до 15 человек	средняя численность – 6 человек (микропредприятия – 3 человека)
выручки от реализации (или балансовой стоимости активов): малый бизнес – 800 млн руб. /год; микропредприятия – 120 млн руб./год)	в среднем 12 млн руб./год на одно предприятие (микропредприятие – 5 млн руб./год)

Таким образом, малые предприятия более гибки и «управляемы». С другой стороны, они не обладают достаточными финансовыми средствами для внедрения мощных информационных систем (для моделирования). Однако это не является препятствием для моделирования и оптимизации деятельности. Описание бизнес-процессов малых компаний осуществимо посредством применения программных продуктов, не требующих финансовых затрат (на покупку, внедрение и поддержание лицензии).

В работе проведен сравнительный анализ методологий IDEF3 и BPMN. Выявлено, что по своему назначению нотация BPMN – прямой конкурент IDEF3, и обладает рядом преимуществ. В первую очередь BPMN ориентирован не только на технических специалистов (разработчиков), а на широкий круг «читателей», позволяет отразить на диаграмме множество элементов, связей и дополнительную информацию, не теряя при этом «читаемости». Кроме того, существует свободно распространяемое программное обеспечение (например, Yaoqiang BPMN Editor [2], не требует инсталляции и совместим с различными операционными системами), что также ценно для малого бизнеса.

Моделирование деятельности малого предприятия проведено на примере петербургского детского центра ООО «СП «Гнездо». Это микропредприятие, основанное в 2015 году. Три основных бизнес-направления компании (рис. 1) – осуществляются параллельно.

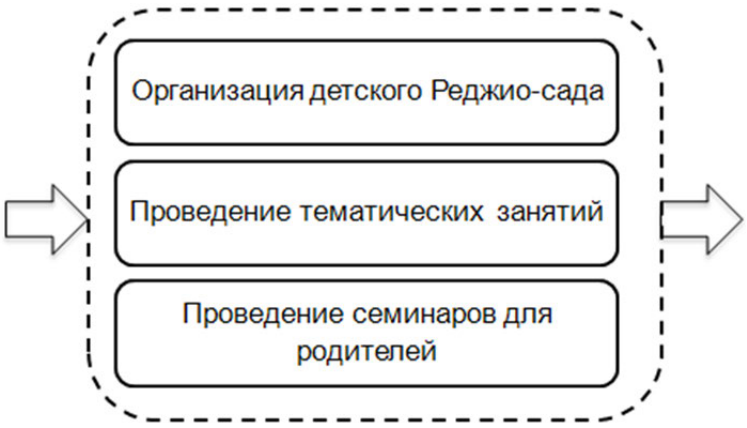


Рис. 1. Основные бизнес-направления детского центра

Регламентируют деятельность санитарные правила и нормы, правила пожарной безопасности, правила внутреннего распорядка. «Входом» является заявка клиента, «выходами» – проект (детские работы), фото и письменный отчет.

Моделирование бизнес-процессов осуществлено в нотации BPMN. Был проведен графический анализ схем (входов/выходов, наличия дублирования функций, организационной фрагментарности). Методы количественного анализа в данном случае не применялись в виду отсутствия разработанной системы оценки показателей.

В результате проведенного анализа выявлен ряд «болевых» точек – проблем. А именно: дублирование функций (как в основных, так и процессах управления); проблемы в учете клиентов («ручное» управление, множество таблиц, временные потери и человеческий фактор).

Были рассмотрены различные подходы к процессному совершенствованию, разделяемые на две группы: революционные (радикальные, резкие, «прорывные») и эволюционные (инструменты постоянного совершенствования), выделены их отличительные черты, суть и алгоритм реализации отдельных методов. К первым относят – BPR (Business Process Reengineering, реинжиниринг бизнес-процессов), FAST (Function Analysis System Technique, методика системного анализа функций) и другие. Ко второй группе – например, BPI (Business Process Improvement, совершенствование бизнес-процессов), TQM (Total Quality Management, всеобщее управление качеством, в соответствии со стандартами ISO). Автором отмечено, что применение конкретного подхода в отдельной организации зависит от комплекса различных обстоятельств, в том числе от стадии жизненного цикла, специфики и «размера» бизнеса. Задача совершенствования бизнеса, внедрения инноваций в управление – актуальна для всех: затрагивает каждое предприятие, но по-разному на них реализуется.

В качестве подхода к совершенствованию бизнес-процессов исследуемой компании целесообразно обратиться к инструментам постоянного (постепенного и непрерывного) совершенствования, так как организация находится в фазе развития – адаптации к рынку, требованиям потребителей. ООО «СП «Гнездо» реализует принципы Реджио-подхода, являющегося в нашей стране (условиях и традициях) – инновационным. Среди методов совершенствования для «Гнезда» целесообразны будут – упрощение, идеализация и структурирование функции качества. Для успешной реализации вышеназванных мер по оптимизации, необходим более детальный и комплексный анализ, но некоторые рекомендации могут быть реализованы уже сейчас. К таким мерам относятся: упрощение (сжатие и

запараллеливание процессов; автоматизация), идеализация (при участии сотрудников) и структурирование функции качества (для разработки четкой системы оценки результатов процессов).

Алгоритм оптимизации бизнес-процессов исследуемой компании представлен на рис. 2 (в нотации BPMN).

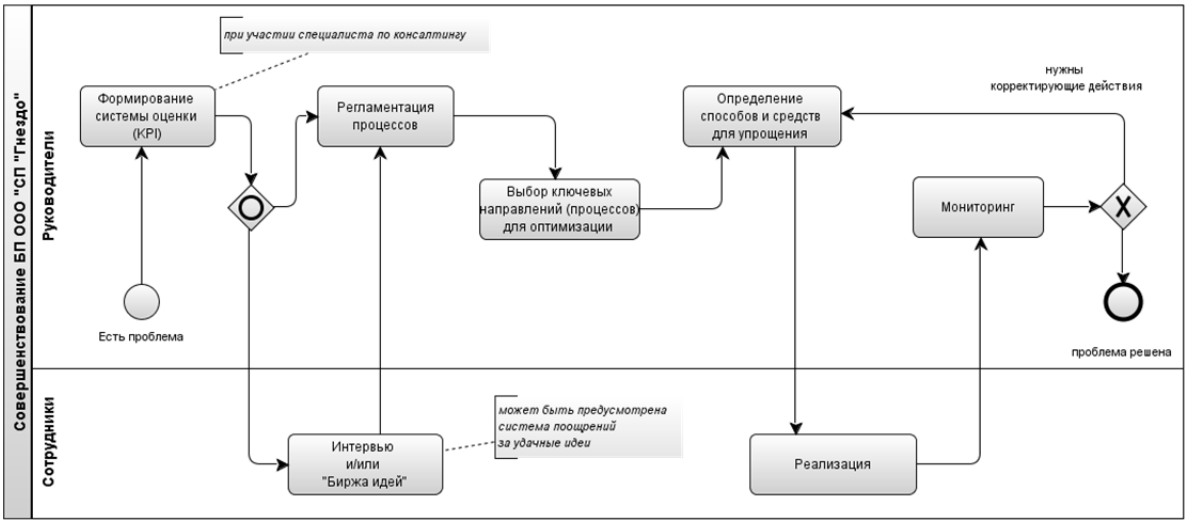


Рис. 2. Алгоритм оптимизации бизнес-процессов ООО «СП «Гнездо»

В заключение сформулированы основные результаты исследования:

– для описания и анализа бизнес-процессов компании используют различные методологии (блок-схемы, IDEF и др.);

– нотация BPMN предназначена для широкого круга «читателей», существует доступное (свободно распространяемое) программное обеспечение для моделирования бизнес-процессов. Именно этот стандарт предпочтительнее для малого бизнеса;

– в работе проведено моделирование бизнес-процессов малого предприятия (микропредприятия), визуальный анализ схем позволил выявить несколько «узких» мест. Количественные методы оценки не применимы в виду отсутствия системы оценки показателей результативности процессов;

– с учетом стадии жизненного цикла (развитие) совершенствование бизнес-процессов исследуемой компании рекомендуется проводить с помощью методов постоянного совершенствования.

Литература

1. Самуйлов К.Е., Чукарин А.В., Яркина Н.В. Бизнес-процессы и информационные технологии в управлении телекоммуникационными компаниями. – М.: Альпина Паблишерз, 2009. – 442 с.

2. Yaoqiang BPMN Editor, an open source graphical editor for business process diagrams, compliant with BPMN 2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://sourceforge.net/projects/bpmn/, своб.

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ КАФЕДР НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ

Аргымбаева Ажар Егембердиевна
Год рождения: 1992
Факультет пищевой биотехнологии и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, группа № Т4242
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: arginbaeva_azhar@ mail.ru

УДК 577+637

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО БЕЛКА В КИСЛОМОЛОЧНОМ ПРОДУКТЕ

А.Е. Аргымбаева
Научный руководитель – д.м.н., профессор А.Г. Шлейкин

Молочная промышленность включает в себя большое количество отдельных отраслей: цельномолочное производство, маслоделие, сыроделие, производство консервированных сгущенных и сухих молочных продуктов, мороженого, производство продуктов детского питания, заменителей цельного молока и пр. Каждая из этих отраслей имеет свои особенности, однако все они в той или иной степени связаны с переработкой молока [1–3].

Йогурт – это кисломолочный продукт с повышенным содержанием сухих обезжиренных веществ молока, произведенный с использованием смеси заквасочных микроорганизмов – термофильных молочнокислых стрептококков и болгарской молочнокислой палочки.

При понижении pH в процессе получения йогурта заряд и способность молочных белков связывать дисперсионную среду уменьшаются, вследствие чего они коагулируют. При этом может происходить отделение сыворотки, что является значимой проблемой в производстве йогуртов.

Добавление к молочной основе стабилизаторов, обладающих высокой влагоудерживающей способностью, значительно уменьшает интенсивность отделения сыворотки.

Стабилизирующую функцию может выполнять трансглутаминаза.

Для целей промышленного производства ферментированных молочных продуктов, в частности, йогурта в настоящей работе предлагается использование фермента трансглутаминазы (ТГ), позволяющего проводить связывание белков в молочной системе и, таким образом, укреплять структуру продукта. Ранее проведенные на кафедре исследования показали перспективность использования ТГ для производства творога. Использование ТГ в производстве йогурта позволяет получить более гладкую и кремообразную поверхность продукта. Йогурт получают сквашиванием молока термофильных стрептококков и болгарской палочкой. Получается кисломолочный продукт, содержащий повышенное количество обезжиренных сухих веществ, что полезно для детского и диетического питания.

Для целей повышения питательной ценности йогурта предлагается использование амаранта в виде муки или экстракта. Для целей укрепления структуры конечного продукта предлагается использование концентрата амарантовых белков, который находится на стадии разработки. ТГ способна связывать между собой белки молока и растительные белки амаранта, что способствует упрочнению структуры сгустка и повышению вязкости. Амарантовая мука является не только ценным биологически активным пищевым продуктом, но также оказывает общеукрепляющее

и оздоравливающее действие на организм человека благодаря комплексу различных лечебно-профилактических свойств.

Измерение вязкости. Образцы йогурта нагревали при температуре 25°C. Вязкость измеряли на ротационном вискозиметре Реотест RN 4.1 (Реотест Medingen, Германия) в течение 30 с, со сдвигом градиента 100 $с^{-1}$, с использованием шпинделя *S*1. Показатели вязкости были показаны с использованием «Rheo-42» и программного пакета Excel.

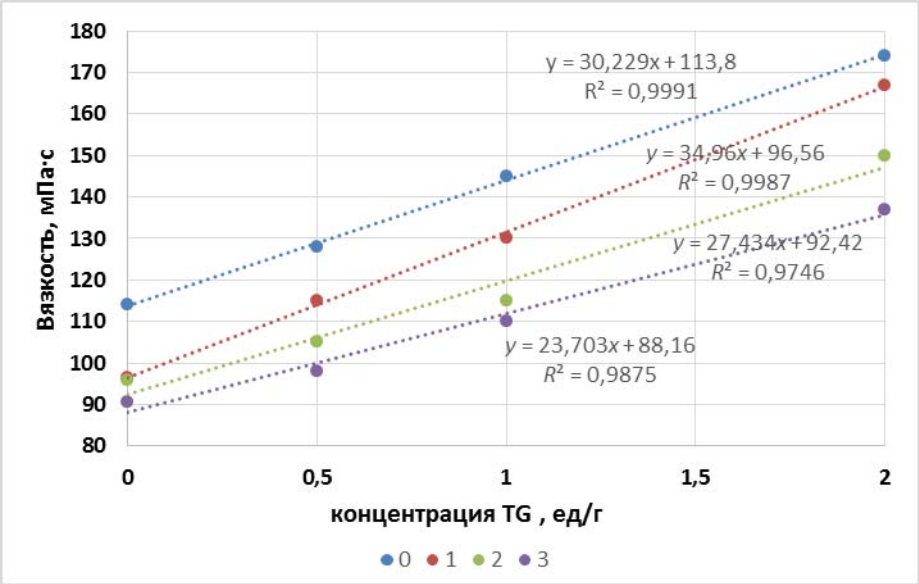


Рис. 1. Вязкость йогуртов с добавлением амарантовой муки (условные обозначения 0, 1, 2, 3%) в зависимости от концентрации ТГ

Как видно из рис. 1, использование ТГ повышает вязкость йогурта. Зависимости описываются линейными уравнениями вида $y=kx+b$, скорость изменения вязкости йогурта в зависимости от концентрации ТГ составляет от 23 до 30 мПа·с/(ед/г) в диапазоне концентраций ТГ 0–2 ед/г. Среди исследуемых ТГ дает больший положительный эффект на вязкость йогурта из-за связывания белка. В сравнении с этим негативное влияние амарантовой муки, связанное с эффектом балластных веществ муки, – главным образом, полисахаридов, – было меньше.

Проведение электрофореза. Электрофорез – это стандартный SDS-Page (полиакриламидный гель с додецилсульфатом натрия по Лэмлли) метод разделения смесей белков в соответствии с их электрофоретической подвижностью.

Буферный раствор додецилсульфат натрия 100 мкл с pH=8,7 были добавлены в образцы йогурта. Затем SDS (3% раствор) вводят в количестве 150 мкл и приготовленный раствор оставили на 30 мин при комнатной температуре. Затем добавили дистиллированную воду в количестве 650 мкл и смесь выдерживали при температуре 100°C в течении 5 мин. Затем добавили 1% раствор бромфенола синего в количестве 100 мкл. После окончания готовые растворы по 3 мкл вносили в лунки на поверхность геля.

Гель был приготовлен следующим образом: 5 мл 0,2 М буфера трис/HCl смешивают с 5 мл 12,5% раствора акриламида. Было добавлено 14 мкл ТЕМЕД. Реакционную смесь продували аргоном. SDS был добавлен 10 мг в 10 мл раствора персульфата калия в количестве 0,2 мл раствора с концентрацией 7 мг/мл.

Полученный раствор наносят на отверстия между пластинами для электрофореза. Наблюдалось образование геля.

Электрофорез проводили на аппарате FBE 3000 (компанией Pharmacia, Упсала, Швеция). Данный аппарат был наполнен 450 мл 0,1 М буфера трис/HCl содержащегося 0,1% SDS. Интенсивность электрического поля 30 В/см. Напряжение *U*=300 В, ток *I*=100 мА, мощность *P*=40 Вт. По завершении процедуры краска геля проводилась красителем 0,2% Кумасси R-250 в смеси с 7,5% по объему уксусной кислоты, 25% по объему метанола и 67,5% по объему воды, после чего лишняя краска отмывалась в течение ночи при постоянном встряхивании. Гели фотографировали с использованием программного обеспечения Image J (Национальные институты здоровья, Bethesda, Мэриленд, США).

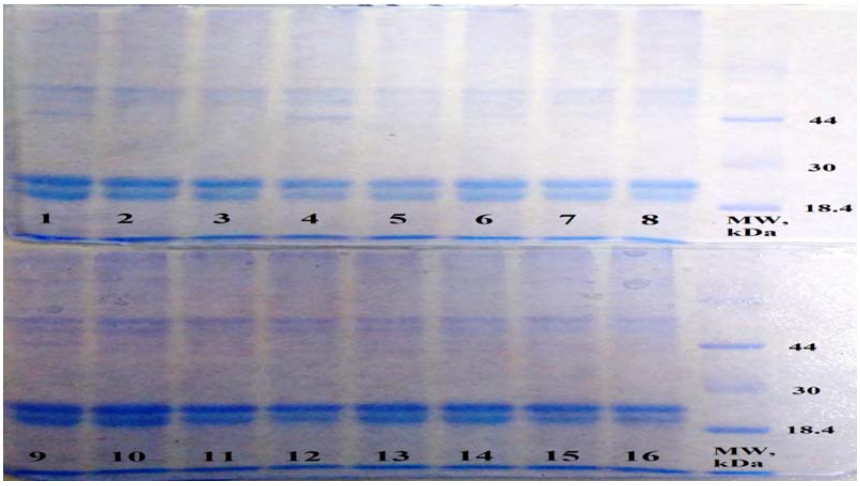


Рис. 2. Электрофореграмма образцов йогурта (таблица для образцов йогурта 1–16)

На рис. 2 видны полосы, соответствующие казеину (20–26 кДа). Полосы, соответствующие белкам сыворотки (14–18 кДа), невидны, что свидетельствует о денатурации в результате термической переработки молока до начала брожения.

Исследование текстурных свойств йогуртов, приготовленных с амарантовой мукой и ТГ. Для исследования текстурных свойств йогуртов, приготовленных с амарантовой мукой и ТГ для измерения структурных свойств, образцы йогуртов в емкостях объемом 0,35 л захолаживали до 4°С, измеряли структурные характеристики прочности и работы пенетрации на текстурном анализаторе текстуры TA-XT Plus (Stable Micro Systems Ltd., UK) с тензодатчиком 5 кг. Проводили исследование на погружение зонда для получения структурных графиков. Многоигольчатый зонд A/MPP был задействован в ходе испытаний. Параметры испытаний: скорость движения зонда до испытания 1 мм/с, во время испытания 2 мм/с и после испытания 10 мм/с. Глубина погружения зонда 10 мм. Вес нагрузки 30 г. Работа пенетрации – площадь графика между усилиями 35 г и максимальным.

Таблица. Зависимость прочности йогуртов от концентрации амарантовой муки и ТГ

Амарантовая мука, %	Концентрация ТГ, ед/г			
	0	0,5	1	2
0	5,30±0,22	5,15±0,21	5,08±0,24	5,31±0,20
1	4,76±0,18	5,39±0,20	4,97±0,15	5,03±0,18
2	3,82±0,41	4,99±0,21	5,29±0,13	5,76±0,25
3	5,03±0,19	4,83±0,21	5,40±0,22	5,50±0,25

Как видно из таблицы, добавление ТГ вызывает более выраженные изменения в йогурте при использовании амарантовой муки в концентрации 2% и 3%. В контрольной пробе без муки амаранта и образца йогурта с амарантовой мукой в концентрации 1% – это изменение практически отсутствует. Полученные данные свидетельствуют об успешности применения ТГ для увеличения прочности йогурта с амарантовой мукой в концентрации 2% и 3%.

Органолептический анализ. Образцы были представлены в 50 г стаканчике при температуре 12°С. Выделение сыворотки (синерезис), цвет, стойкость, интенсивность цвета, распределение ингредиентов, кислотность и сладость были оценены по 10-балльной шкале. Сенсорные наборы данных были подвергнуты однофакторному дисперсному анализу с использованием Minitab 16 (Minitab Лтд. Ковентри, Великобритания), чтобы установить, действительно ли сенсорные оценки отличаются. Значения были сравнены, используя критерий Фишера и уровень статистической значимости $p<0,05$.

Все образцы были оценены как приемлемые. Незначительные изменения были обнаружены в «цвете», «кислотности», «распределении ингредиентов» или «сладости» для любого типа йогурта. Контрольный образец и образец с амарантом и без ТГ получили почти одинаковые баллы по всем характеристикам. Результаты для «синерезиса», «упругости» и «интенсивности аромата» показали значимые различия для контрольного образца с амарантом, и образцы с ТГ. Для йогуртов с ТГ были получены лучшие результаты по этим характеристикам.

Заключение

- Амарантовая мука и ТГ были добавлены в сквашиваемое молоко одновременно с закваской. Было исследовано влияние этих добавок на структуру резервуарного йогурта.
- Реологические измерения показывают, что вязкость зависит от концентрации добавки линейно в уравнение $y=kx+b$, где k – это скорость изменения вязкости. k находится в диапазоне от (–7)–(–12) при использовании амарантовой муки в исследованном диапазоне концентраций 0–3%, k =23–30 в исследованном диапазоне концентраций ТГ 0–2 ед/г. Таким образом, применение ТГ позволяет перекрыть негативный эффект от полисахаридов амаранта на вязкость йогурта и может быть рекомендовано в производстве йогурта с добавлением амаранта.
- Результаты электрофореза явно указывают на связывание белков с помощью ТГ: казеиновые полосы становятся менее яркими. Сывороточных белковых полос не наблюдается из-за денатурации сывороточного белка молока при термической обработке.

Литература

1. Серёгин С.Н. О государственной политике в области развития биоэнергетики в Российской Федерации // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – № 12. – С. 8–11.
2. Соколенко Г.Г. Научное обоснование и разработка технологий функциональных продуктов питания на основе нативного и биомодифицированного пищевого сырья: дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра, 2015. – С. 13–23.
3. Шлейкин А.Г., Данилов Н.П., Аргымбаева А.Е., Рыков С.В. Улучшение структурных свойств йогурта с помощью амарантового экстракта и трансглутаминазы // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых продуктов». – 2015. – № 3. – С. 4–21.

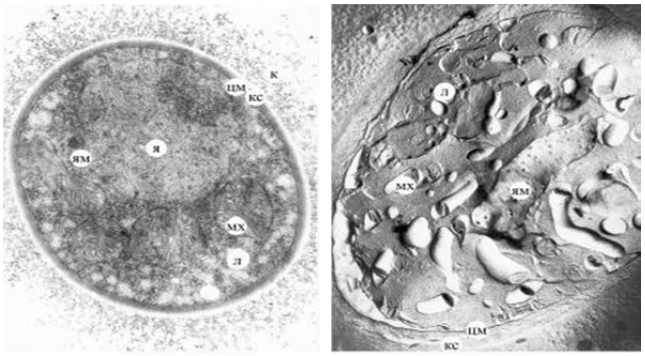
Арыкбаева Алия Бахыткызы
Год рождения: 1992
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии, кафедра химии и молекулярной биологии, группа № Т4242
Направление подготовки: 19.04.02 – Продукты питания из растительного сырья
e-mail: aliya.arykbaeva@mail.ru

УДК 577.15; 663.126

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ДРОЖЖАХ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* ПРИ ХРАНЕНИИ

А.Б. Арыкбаева
Научный руководитель – к.х.н., ст.н.с., доцент Н.Н. Скворцова

Дрожжи представляют собой одноклеточные микроорганизмы (грибы) яйцевидной или овальной формы длиной 5–12 мкм и шириной 5–10 мкм, в зависимости от вида дрожжей и условий их развития [1]. Отношение внешней поверхности клетки к ее объему влияет на скорость обмена между клеткой и культуральной средой, и следовательно, на интенсивность процессов метаболизма [2].



а б

Рис. 1. Электронная микрофотография дрожжевой клетки: снимки получены методом тонких срезов (а) и замораживания-скола (б) [2]

Дрожжевая клетка (рис. 1) имеет структуры эукариотической клетки (как растительной, так и животной), а также обладает некоторыми особенностями клеток грибов. В клетке дрожжей отсутствуют хлоропласты, имеющиеся у растений, и накапливается гликоген, как у животных.

Цель работы – установление взаимосвязи между физиологическим состоянием дрожжей, содержанием тиоловых веществ и технологическими свойствами различных товарных видах дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при низкотемпературном хранении.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. выбор объектов исследования – различных товарных видов дрожжей;
2. микроскопическое исследование клеток дрожжей;
3. выбор метода определения общего содержания сульфгидрильных групп в дрожжах;
4. выбор метода оценки технологических характеристик образцов дрожжей;
5. проведение и оценка исследовательской работы.

В работе проводили исследование взаимосвязи между физиологическим состоянием товарных хлебопекарных дрожжей, содержанием тиоловых веществ, и технологическими свойствами различных товарных видах дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при низкотемпературном хранении (–20±1)°С.

В качестве объектов исследования были выбраны различные товарные виды прессованных и сухих дрожжей, приобретенные в товарной сети г. Санкт-Петербург: сухие дрожжи «Саф-Момент» (ООО «Саф-Нева»), сухие дрожжи «Dr.Oetker» (Компания «Dr.Oetker»), высокоактивные прессованные дрожжи и хлебопекарные прессованные дрожжи (ОАО «Комбинат пищевых продуктов»). Все исследованные образцы приобретены в торговых точках.

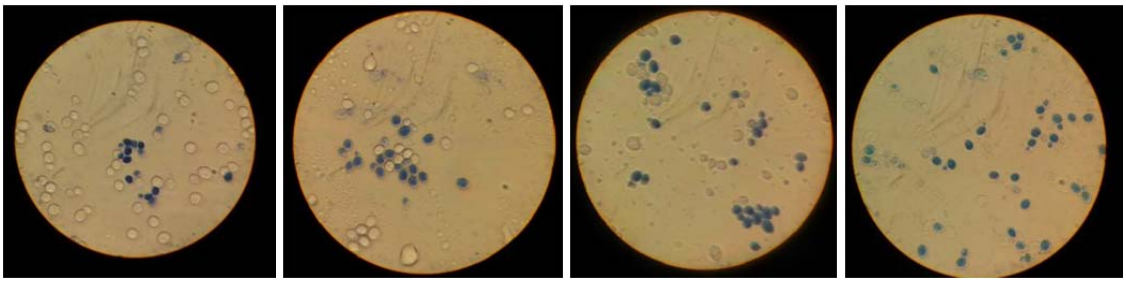
При отборе двух образцов (сухие дрожжи «Саф-Момент» и высокоактивные прессованные дрожжи) проанализированы даты выпуска, даты приобретения, сроки годности образцов, на основании чего для дальнейших исследований выбраны образцы с наименьшей длительностью хранения в торговой сети.

Навески этих образцов были заложены на хранение в морозильную камеру бытового холодильника при температуре (–20±1)°С. Размораживали и анализировали физиологическое состояние дрожжей и биохимические показатели в сроки, приводимые в обсуждении анализа конкретных показателей.

Микроскопический анализ клеток дрожжей. Микроскопирование представляет собой один из этапов микробиологического контроля хлебопекарных дрожжей. При этом оценивается морфологическое состояние, способность к размножению, устанавливается количество мертвых и почкующихся клеток. Кроме того, метод позволяет выявить наличие посторонних микроорганизмов. Требования к результатам микроскопирования зависит от вида дрожжей. Так для дрожжей, используемых в пивоварении содержание почкующихся клеток должно быть высоким (40–70%), в засевных дрожжах для производства спирта – не более 3% [3].

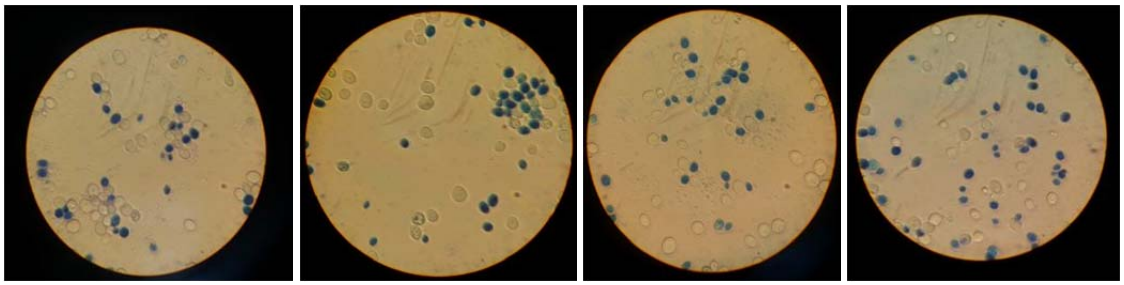
Подсчет нежизнеспособных клеток и концентрации клеток при микроскопировании осуществляли согласно методу, описанному в руководстве [4].

Для экспериментов использовали сухие и пекарские прессованные дрожжи. Культуру хранили при низкой температуре (–20±1)°С в течение 35 дней. Примеры микроскопирования приведены на рис. 2 и 3.



а б в г

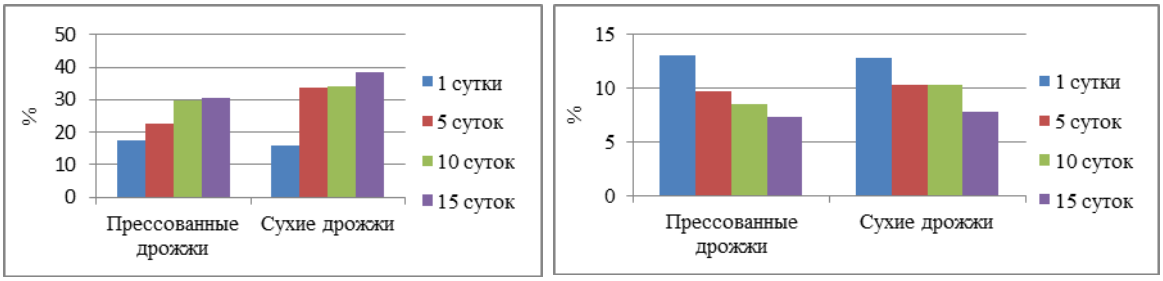
Рис. 2. Окрашенные клетки прессованных дрожжей метиленовым синим: 1 сутки (а); 5 суток (б); 10 суток (в); 15 суток (г)



а б в г

Рис. 3. Окрашенные клетки сухих дрожжей метиленовым синим: 1 сутки (а); 5 суток (б); 10 суток (в); 15 суток (г)

Полученные результаты графически представлены на рис. 4.



а б

Рис. 4. Изменение доли мертвых (а) и почкующихся (б) клеток в сухих и прессованных дрожжах при хранении *t* (–20±1)°С

Сопоставление результатов показало, что снижение почкующихся клеток (рис. 4, б) и увеличение количества мертвых клеток (рис. 4, а) за исследованный период имеют сходные тенденции.

Однако через 15 суток хранения дрожжей содержание мертвых клеток увеличивается на 23,8%, а содержание почкующихся клеток уменьшается в меньшей степени – всего на 13,9%. Этот факт дает возможность предположить интенсификацию процессов метаболизма в клетках с более выраженной жизнестойкостью.

Определение общего содержания тиоловых (сульфгидрильных) групп и восстановленного глутатиона. Глутатион (GSH) – это трипептид γ-глутамил-цистеинил-глицин (γ-Glu-Cys-GlyOH), который содержит нетипичную γ-связь пептидную связь между амино-группой цистеина и карбоксильной группой боковой цепи глутаминовой кислоты. Восстановителем является тиольная группа цистеинового остатка. Две молекулы восстановленной формы GSH при окислении образуют дисульфид (GS–SG):

$2GSH + J_2 = GS – SG + 2HJ$.

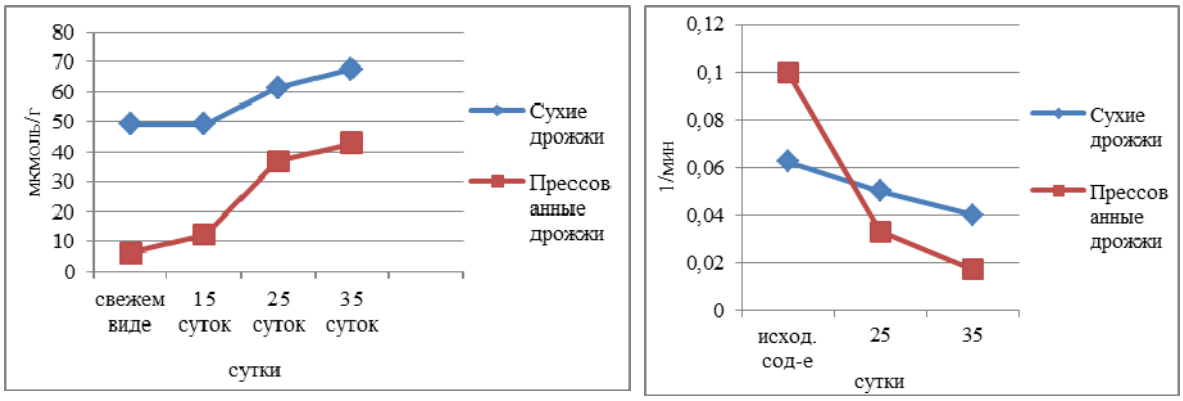
Определение общего содержания сульфгидрильных групп проводили методом йодометрии. Результаты определения общего содержания сульфгидрильных групп использовали для расчета содержания глутатиона в восстановленной форме.

Для дальнейших исследований определяли изменение содержания тиоловых веществ прессованных дрожжей с небольшой длительностью хранения в торговой сети и сухие дрожжи «Саф-Момент» при хранении в морозильной камере в течение 35 суток при температуре (–20±2)°С (таблица).

Таблица. Общее содержание сульфгидрильных групп (X_1) и содержание восстановленного глутатиона ($X_{ГлSH}$) при низкотемпературном хранении

Виды дрожжей	X_1(мкмоль/г)				$X_{ГлSH}$(мкмоль/г)			
	Исходное содер.	15 суток	25 суток	35 суток	Исходное содер.	15 суток	25 суток	35 суток
Сухие дрожжи «Саф-Момент»	73,7	61,4	73,7	79,8	49,1	49,1	61,4	67,4
Высоко-активные прессованные дрожжи	24,6	24,6	43,0	61,4	6,1	12,3	36,9	43,0

Как следует из данных таблицы хранение при температуре (–20±2)°С в течение 15 суток не обнаруживает аналитически достоверных изменений в содержании глутатиона в сухих дрожжах. В прессованных дрожжах наблюдается двукратное увеличение показателя. После 25 суток хранения наблюдается увеличение содержания глутатиона: в сухих дрожжах повышается на 25%, в то время как в прессованных – на 66,6%. Последующий период низкотемпературной выдержки (35 суток) привел к увеличению содержания восстановленного глутатиона (рис. 5, а) в 1,3 раза по сравнению с исходным содержанием в сухих дрожжах и в 7 раз в прессованных.



а б

Рис. 5. Содержание глутатиона в восстановленной форме (а); снижение подъемной силы при низкотемпературном хранении образцов сухих и прессованных дрожжей (б)

Увеличение содержания глутатиона может служить показателем реакции дрожжевых клеток на действие неблагоприятного фактора, которое более ярко проявляется в образцах прессованных дрожжей.

Возможно, менее выраженное повышение содержания глутатиона в образцах сухих дрожжей связано с наличием стабилизирующих добавок, тормозящих реакцию клеток на действие неблагоприятных факторов, к которым относится низкотемпературное хранение и голодовой стресс.

Влияние низкотемпературного хранения на подъемную силу дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Одним из показателей качества дрожжей является подъемная сила – способность дрожжей сбраживать углеводы с выделением углекислого газа. Результаты анализа динамики изменения подъемной силы при низкотемпературном хранении сухих (образец №1) и прессованных (образец №2) дрожжей методом всплывающего шарика (рис. 5, б).

Чем больше время всплывания, тем ниже подъемная сила образца дрожжей, тем хуже работают амилолитические ферменты мальтазного комплекса и ферменты зимазного комплекса гликолитического расщепления глюкозы.

Анализ кривых показывает, что показатели качества прессованных дрожжей снижаются значительно быстрее, чем сухих, и, практически, достигают предельного значения за время определения.

Выводы

1. Определена динамика изменения содержания тиоловых веществ в различных товарных видах хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при низкотемпературном хранении.
2. Показано, что нарастание содержания восстановленного глутатиона происходит быстрее в образцах прессованных дрожжей, чем в образцах сухих дрожжей.

3. Методом «подъема шарика» установлена динамика изменения опосредованной активности мальтазного комплекса амилолитических ферментов в сухих и прессованных образцах хлебопекарных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при низкотемпературном хранении. Показано, что изменение активности мальтазного комплекса в большей степени выражено для прессованных дрожжей при низкотемпературном хранении.
4. Микроскопирование образцов дрожжей, хранящихся при (–20±2)°С, показало, что через 15 суток хранения дрожжей содержание мертвых клеток увеличивается на 23,8%, а содержание почкующихся клеток уменьшается в меньшей степени – всего на 13,9%. Этот факт дает возможность предположить интенсификацию процессов метаболизма в клетках с более выраженной жизнестойкостью [5, 6].

Литература

1. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
2. Бабьева И.П., Чернов И.Ю. Биология дрожжей. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. – 239 с.
3. Еремина И.А., Кригер О.В. Лабораторный практикум по микробиологии: учебное пособие. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2005. – 112 с.
4. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Жилинская Н.Т. Микробиология: практикум. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2012. – 109 с.
5. Меледина Т.В., Давыденко С.Г., Васильева Л.М. Физиологическое состояние дрожжей: учеб. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 48 с.
6. Шлейкин А.Г., Жилинская Н.Т., Кабанов А.В. Изучение тиоловых веществ в хлебопекарных дрожжах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-tiolovyh-veschestv-v-hlebopekarnyh-drozhzhah, своб.

Бабаджанова Ширин Бахтиеровна
Год рождения: 1993
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, группа № Р4255
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: babadzhanova.shirin@mail.ru

УДК 51-74

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ

Ш.Б. Бабаджанова
Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Б. Бондаренко

Методами исследования являются генетический алгоритм и его модификации, теория надежности.

Целью исследования являлось нахождение методики разработки многоуровневой системы защиты с максимальной эффективностью.

В работе проанализированы этапы создания комплексной защиты автоматизированных систем (АС), которые усложняются многоуровневой структурой

защищаемых систем, а следовательно, и трудоемкостью задачи получения наилучшего варианта защиты отдельных подсистем.

В работе исследованы методы повышения живучести систем, как способность противостоять негативным воздействиям на систему. Проанализирована законодательная база, а также подходы к разработке комплексной защиты. Разработана модификация генетического алгоритма для решения задачи многоуровневой оптимизации. Выполнены эксперименты с помощью разработанной программы.

Архитектура сложных АС представляет собой многоуровневую иерархическую систему. Например, системы промышленной автоматизации строятся по объектному принципу, при этом локальная система (подсистема) выполняет отдельную функцию [1]. Это позволяет упростить процесс проектирования системы и обеспечить ее структурную надежность. Низший уровень – датчики и исполнительные механизмы, которые к настоящему времени могут быть интеллектуальными, иметь цифровой интерфейс, встроенный микроконтроллер, память, сетевой адрес, встроенную систему калибровки и компенсации погрешности, быть взаимозаменяемыми, иметь нормированные метрологические характеристики.

Первый уровень составляют программируемые логические контроллеры, устройства ввода–вывода по промышленным сетям [2].

Второй уровень состоит из рабочих станций с установленными системами диспетчерского управления, осуществляющих мониторинг, анализ действий оператора, аварийных ситуаций, запуск управляющих процедур и архивирование данных. Наблюдение за процессом может осуществляться с любого рабочего места, а управление – только с одного. Права операторов устанавливаются с помощью разграничения доступа на сетевом сервере. На втором уровне располагаются средства управления и база данных реального времени.

Третий уровень – интегрирующий. В нем объединяются автоматизированные системы управления (АСУ) и АСУП (АСУ процессами). В зависимости от масштабов предприятия варьируется количество уровней в АСУ, и может осуществляться интеграция с четвертым уровнем – высшего руководства, которое может быть удаленным.

С развитием сетевых технологий управления стало возможным использование web-сервисов для удаленного взаимодействия с устройствами не только высших уровней, но и уровня технологического оборудования [3].

Законодательно защита АС развивалась в Российской Федерации (РФ) по следующим вехам [4–6]:

- 2006 год – был разработан и принят первый законопроект «Об особенностях обеспечения информационной безопасности критически важных объектов информационной и телекоммуникационной инфраструктуры» [7, 8];
- доработаны разделы «Стратегии национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года» [9, 10], внесены дополнения в закон «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса», а также в некоторые Постановления Правительства и Указы Президента России;
- 2012 год – СовБез РФ принял «Основные направления государственной политики в области обеспечения безопасности автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами критически важных объектов инфраструктуры Российской Федерации»;
- 2014 год – вышел приказ ФСТЭК №31 «Об утверждении Требований к обеспечению защиты информации в автоматизированных системах управления производственными и технологическими процессами на критически важных

объектах, потенциально опасных объектах, а также объектах, представляющих повышенную опасность для жизни и здоровья людей и для окружающей природной среды»;

- 2015 год – разработаны законопроекты «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» и «О внесении изменений в законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

При разработке комплексных систем защиты вводятся элементы избыточности разного рода, поэтому запас живучести будет определяться степенью избыточности: структурной и элементной, в отличие от повышения надежности системы с ростом надежности входящих в нее элементов:

$$P_{\text{сист}} = \prod_i p_i \,, \qquad (1)$$

где p_i – надежность подсистем; повышение живучести невозможно выполнить без усложнения структуры и (или) применения многофункциональных элементов, а также наличия средств защиты, диагностики и самоорганизации системы.

Модель оценки живучести сложной технической системы должна адекватно отражать зависимость показателей живучести от параметров системы: структуры сети G, цели C и условий ее функционирования U, а также решаемых задач Z, исходя из имеющихся ресурсов R. Общий показатель живучести системы Q имеет интегральный и комплексный характер зависимости от живучести подсистем Q_k:

$$Q = F(Q_1, Q_2, ..., Q_k), \;\; Q_k = f(G_k, C_k, U_k, Z_k, R_k, p_k). \qquad (2)$$

По заданию руководителя в работе для оптимизации многомерной иерархической структуры системы АС необходимо использовать генетический алгоритм, что и указано в техническом задании.

Для решения поставленной задачи был разработан многоколониальный генетический алгоритм (ГА), схема которого представлена на рисунке.

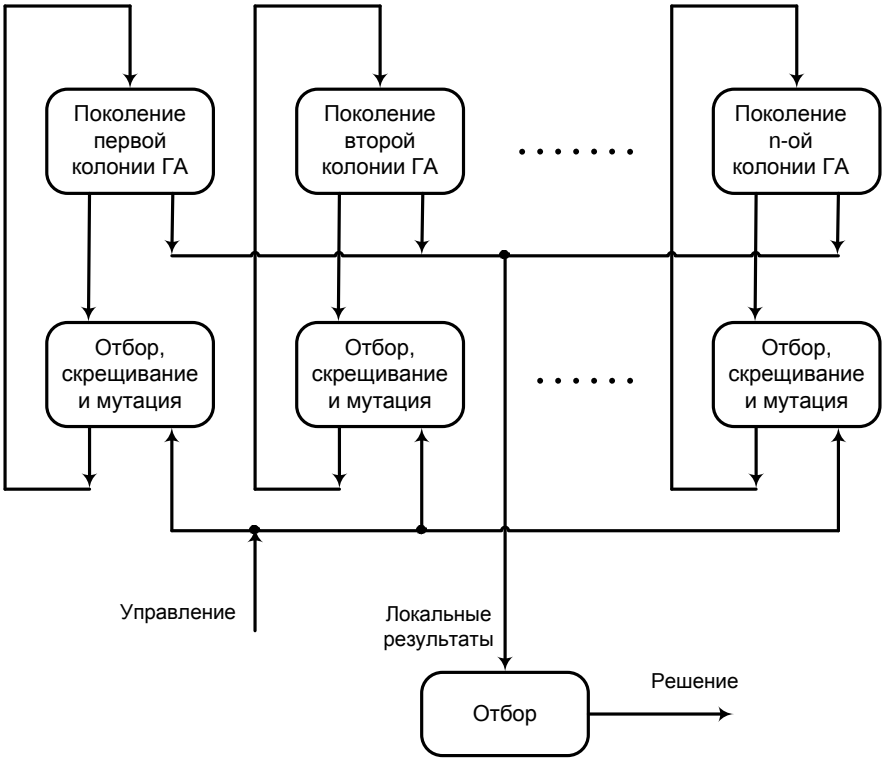


Рисунок. Принцип работы разработанного многоколониального ГА

Для проверки работоспособности разработанного модернизированного алгоритма генетического поиска была решена следующая оптимизационная задача для многоуровневой системы.

Необходимо найти количество элементов резервированной структуры, таким образом, чтобы надежность системы была максимальной, а стоимость такой системы не превышала $C_{\max}$. Эта задача представляет собой определенный вид резервирования – раздельный. К каждому элементу i-го типа может подключаться некоторое, неизвестное число (m_i–1) таких же по типу резервных элементов. Каждый элемент характеризуется надежностью p_i (таблица).

Окончательно задача оптимизации запишется:

$$Q_{opt} = \max_{\sum c_i m_i \le C_{\max}} \left(\prod_{i=1}^{n} (1-(1-p_i)^m)\right). \qquad (3)$$

Таблица. Исходные данные и результаты эксперимента

p_i, %	c_i, руб.	$C_{\max}$, руб.	$m_{i_{opt}}$, шт.	C, руб.	Варианты локальных решений m_i, шт.								
					Поколение 1		Поколение 2		Поколение 3				
					1	2	1	2	1	2	3	4	5
90	10	500	10	485	15	16	11	12	9	10	8	8	8
80	15		15		10	10	10	11	15	15	13	14	13
95	20		8		8	8	9	10	8	8	6	7	7

Заключение. В итоге разработанные положения можно использовать для более высоких порядков структур автоматизированных систем.

Разработанная методика позволяет получить максимальную надежность системы при использовании раздельного резервирования, т.е. максимум живучести вдобавок с учетом ограничения – стоимости системы.

Литература

1. Грибунин В.Г., Чудовский В.В. Комплексная система защиты информации на предприятии. – Изд-во: Академия, 2009. – 416 с.
2. Алексенко В.Н., Древс Ю.Г. Основы построения системы защиты производственных предприятий и банков. Учебное пособие. – М.: МИФИ, 1996. – 121 с.
3. Дикарев В.И., Заренков В.А., Заренков Д.В., Койнаш Б.В. Защита объектов и информации от несанкционированного доступа. – Изд-во: Стройиздат СПб, 2004. 320 с.
4. Мельников В.П., Клейменов С.А., Петраков А.М. Информационная безопасность и защита информации: учебное пособие. – М.: Академия, 2006. – 336 с.
5. Филин С.А. Информационная безопасность. – Изд-во: Альфа-Пресс, 2006. – 412 с.
6. Ярочкин В. Коммерческая информация фирмы. – М.: Ось-89, 1997. – 160 с.
7. Приоритетные направления развития науки, техники и технологий Российской Федерации (утверждены Президентом РФ Пр-843 от 21.05.2006 г.).
8. Критические технологии федерального уровня (утверждены Президентом РФ Пр-842 от 21.05.2006 г.).
9. Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р.

10. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2010 году». – М.: МЧС России; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. – 299 с.

Белявский Андрей Олегович
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, группа № Р4240
Направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах
e-mail: belyavskyi.a.o@gmail.com

УДК 681.513.6

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАЛЫМИ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

А.О. Белявский
Научный руководитель – д.т.н., профессор Б.Р. Андриевский

Целью работы являлось исследование и разработка методов управления миниатюрными беспилотными летательными аппаратами вертолетного типа в условиях существенной параметрической неопределенности модели объекта управления. На основе проведенных исследований выработаны рекомендации по управлению в условиях неопределенности и разработаны алгоритмы робастного и адаптивного управления конкретным типом беспилотных летательных аппаратов.

Математическая модель. Неинерциальная система отсчета (НСО) связывается с квадрокоптером и обозначается осями O_bX_b, O_bY_b, O_bZ_b. Она двигается относительно инерциальной системы отсчета (ИСО). ИСО, в свою очередь, связана с Землей и задана ортогональными координатными осями OX, OY, OZ. В системе отсчета квадрокоптера оси НСО ортогональны между собой, а с осями инерциальной системы отсчета – сонаправлены и параллельны. Центр O_b находится в центре масс квадрокоптера. Основной задачей квадрокоптера является перемещение в нужную точку в ИСО, в то время как движение сопровождается наклонами системы, которые происходят в ИСО и НСО по-разному. В связи с этим необходимо правильно соблюдать переходы из одной системы в другую, для чего используются специальные поворотные матрицы. Углы, на которые квадрокоптер отклоняется относительно своего нулевого положения, называются углами Эйлера и обозначаются греческими γ, ϑ, ψ. На рис. 1 представлены обе системы отсчета, основные направления и углы, которые формируют общее положение системы. Линейное положение квадрокоптера описывается переменными x, y, z – координатами центра масс. Полную информацию о динамике летательного аппарата можно получить по вектору, состоящему из девяти переменных, среди которых линейные скорости V_x, V_y, V_z, угловые скорости γ, ϑ, ψ и угловые ускорения $\dot{\omega}_x, \dot{\omega}_y, \dot{\omega}_z$.

Динамика движения описывается системой:

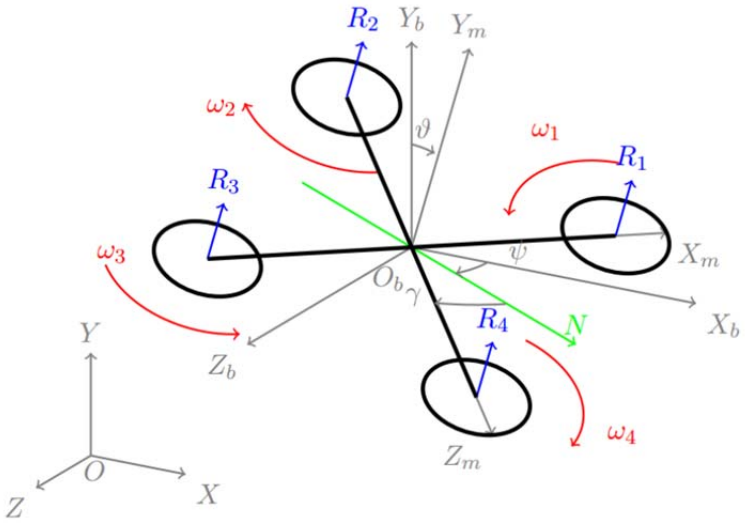


Рис. 1. Схематичное изображение квадрокоптера

Квадрокоптер имеет структуру, симметричную относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс. Четыре двигателя закреплены на лучах по осям O_bX_b и O_bZ_b на расстоянии l от пересечения осей. Пара двигателей, находящихся друг напротив друга, вращаются по часовой стрелке и пара – против. Поскольку коптер имеет симметричную структуру, матрица инерции является диагональной:

$$I_A = \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Итоговые уравнения инерции для осей x, y, z выглядят следующим образом:

$$I_x = I_z = \frac{2}{5} m_c l_c^2 + 2 m_e l^2,\ I_z = \frac{1}{2} m_c l_c^2 + 4 m_e l^2, \quad (2)$$

где m_c – масса центра квадрокоптера; l_c – радиус центра шара, которым описывается центр квадрокоптера; m_e – масса двигателя.

Итоговая система уравнений динамики выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} m\dot{V}_x = \tau_y\left(C_\psi S_\vartheta C_\gamma + S_\psi S_\gamma\right) - V_x A_x, \\ m\dot{V}_y = -mg + \tau_y\left(C_\vartheta C_\gamma\right) - V_y A_y, \\ m\dot{V}_z = \tau_y\left(S_\psi S_\vartheta C_\gamma - C_\psi S_\gamma\right) - V_z A_z, \\ \dot{\gamma} = \omega_x + S_\gamma T_\vartheta \omega_z + C_\gamma T_\vartheta \omega_y, \\ \dot{\vartheta} = C_\gamma \omega_z - S_\vartheta \omega_y, \\ \dot{\psi} = \frac{S_\gamma}{C_\vartheta}\omega_z + \frac{C_\gamma}{C_\vartheta}\omega_y, \\ I_x \dot{\omega}_x = \left(I_y - I_z\right)\omega_y \omega_z - I_r \omega_z \omega_r + \tau_\gamma, \\ I_y \dot{\omega}_y = \left(I_z - I_x\right)\omega_x \omega_z + \tau_\psi, \\ I_z \dot{\omega}_z = \left(I_x - I_y\right)\omega_y \omega_x - I_r \omega_x \omega_r + \tau_\vartheta, \end{cases} \quad (3)$$

где V_x, V_y, V_z – линейные скорости по соответствующим осям; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые скорости вращения квадрокоптера вокруг соответствующих осей; A_x, A_y, A_z – аэродинамические коэффициенты по соответствующим осям; $S_\alpha = \sin(\alpha)$, $C_\alpha = \cos(\alpha)$, $T_\alpha = \mathrm{tg}(\alpha)$, а g – ускорение свободного падения.

Исходя из математической модели квадрокоптера, расчет скоростей роторов происходит домножением вектора управляющих воздействий на матричный коэффициент по следующей формуле:

$$\begin{bmatrix}\omega_1\\ \omega_2\\ \omega_3\\ \omega_4\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{1}{4} & 0 & -\frac{1}{2k_r l} & -\frac{1}{4k_r}\\ \frac{1}{4} & -\frac{1}{2k_r l} & 0 & \frac{1}{4k_r}\\ \frac{1}{4} & 0 & \frac{1}{2k_r l} & -\frac{1}{4k_r}\\ \frac{1}{4} & \frac{1}{2k_r l} & 0 & \frac{1}{4k_r}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\tau_y\\ \tau_\gamma\\ \tau_\vartheta\\ \tau_\psi\end{bmatrix}. \quad (4)$$

Синтез адаптивного регулятора. Для управления воспользуемся сигнально-параметрическим регулятором (СПР) на основе метода пассификации [1], который более подробно описан в [2]. Очевидным плюсом является адаптивная составляющая, позволяющая управлять положением системы, не зная ее параметров.

Пусть объект описывается моделью вход–состояние–выход:

$$\dot{\tilde{x}} = \mathbf{A}\tilde{x} + \mathbf{B}\tilde{u},\ \tilde{y} = \mathbf{C}\tilde{x}, \quad (5)$$

где $\tilde{x}$ – вектор состояния; $\tilde{u}$ – вход модели; $\tilde{y}$ – выход модели; **A**, **B**, **C** – матрицы соответствующих размерностей.

Пусть цель работы алгоритма состоит в стабилизации по состоянию:

$$\lim_{t\to\infty} \tilde{x}(t) = 0. \quad (6)$$

Дополнительно потребуем скользящий режим вдоль поверхности σ=0, где $\sigma=\mathbf{G}\tilde{y}$, **G** – матрица размерности $l\times n$.

Зададим тогда закон управления в следующем виде:

$$\tilde{u} = -\gamma_\sigma \operatorname{sign}\sigma,\ \sigma=\mathbf{G}\tilde{y}, \quad (7)$$

где $\gamma_\sigma>0$ – параметр, выбираемый разработчиком.

Для того чтобы избежать зависимости устойчивости системы от начальных условий, воспользуемся сигнально-параметрическим адаптивным законом управления:

$$\tilde{u} = -K^T(t)\tilde{y}(t) - \gamma_\sigma \operatorname{sign}\big(\sigma(\tilde{y})\big),\ \sigma(\tilde{y}) = \mathbf{G}\tilde{y},\ \dot{K}(t) = \sigma(\tilde{y})\mathbf{\Gamma}\tilde{y}(t), \quad (8)$$

где $\mathbf{\Gamma}=\mathbf{\Gamma}^T>0$ – матрица соответствующей размерности.

В случае скалярного входа вместо алгоритма (8) может быть использована следующая модификация, обеспечивающая скользящий режим вдоль поверхности σ≡0:

$$\tilde{u} = -k(t)\tilde{y}(t) - \gamma_\sigma \operatorname{sign}\big(\sigma(\tilde{y})\big)\sqrt{|\sigma(\tilde{y})|},\ \sigma(\tilde{y}) = \mathbf{G}\tilde{y},$$
$$\dot{k}(t) = \gamma_k \sigma(t)^2, \quad (9)$$

где $\gamma_k>0$ – подлежит выбору разработчика.

Коэффициент усиления в (8) и (9) может бесконечно расти при наличии внешних возмущений (например, из-за упраздненных членов движения, принятых за возмущения), поэтому необходимо его ограничить. Для этого воспользуемся окончательным алгоритмом:

$$\tilde{u} = -k(t)\tilde{y}(t) - \gamma_\sigma \operatorname{sign}\big(\sigma(\tilde{y})\big)\sqrt{|\sigma(\tilde{y})|},\ \sigma(\tilde{y}) = \mathrm{G}\tilde{y}, \quad (10)$$
$$\dot{k}(t) = \gamma_k \sigma(t)^2 - \alpha_k(k(t) - k^0),\ k^0 = k(0),$$

где α_k регулирует обратную связь. Этот алгоритм является усеченным алгоритмом супер-твистинга [3].

Для скалярного случая и возможности измерения текущей координаты со скоростью алгоритм может трактоваться следующим образом: введем ошибку выполнения алгоритма для перемещений и углов как

$$e_h(t) = h^*(t) - h(t), \quad (11)$$

где $h^*(t)$ – задающее воздействие; $h(t)$ – текущее значение. Тогда зададим поверхность для скользящего режима:

$$\sigma(t) = e_h(t) - \alpha_h \dot{h}(t), \quad (12)$$

где $\alpha_h > 0$ – параметр алгоритма, отвечающий за скорость схождения ошибки. Тогда динамика движения будет описываться следующим образом:

$$\alpha_h \dot{h}(t) + h(t) = h^*(t), \quad (13)$$

что соответствует динамике апериодического звена и качественно подходит к функционированию квадрокоптера для движения без перерегулирования.

Тестовый стенд. Для начальной стадии разработки различных алгоритмов управления был специально разработан тестовый стенд. Он позволяет безопасно протестировать новый алгоритм управления в условиях ограниченного пространства лаборатории и вовремя вносить изменения в случае неудачи. Основой тестового стенда является малый беспилотный летательный аппарат (БПЛА) (квадрокоптер), который устанавливается в две вращающиеся относительно друг друга рамки, сделанные по принципу карданова подвеса. Конструкция имеет две степени свободы и позволяет квадрокоптеру свободно вращаться по углам крена и тангажа. Внешняя рамка крепится на ножки и может вращаться вокруг горизонтальной оси. К внешней рамке крепится центральная планка, которая также вращается относительно горизонтальной оси. На центральной планке закреплен квадрокоптер. Благодаря такой конструкции, центр масс коптера всегда находится на одном месте. Ножки закреплены на большом квадратном основании, что в купе с сохранением центра масс коптера, обеспечивает устойчивость конструкции. Тестовый стенд выполнен из деревянных частей и металлических уголков, что обеспечивает практичность в эксплуатации, простоту в сборке и легкость всего устройства. Фотография тестового стенда представлена на рис. 2.

Рис. 2. Квадрокоптер, закрепленный на тестовом стенде

В работе была предложена система стабилизации квадрокоптера с использованием сигнально-параметрических регуляторов для скалярного и векторного сигналов. Предложенный алгоритм обладает очевидным достоинством по сравнению с двумя другими. Оно выражается в том, что не требуется знать ни одного параметра квадрокоптера для проектирования системы управления. Также описан оригинальный двухстепенной тестовый стенд, который может быть использован в дальнейших научных исследованиях, в испытании новых алгоритмов управления.

Литература

1. Фрадков А.Л. Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта // Автоматика и телемеханика. – 1974. – № 12. – С. 96–103.
2. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Метод пассификации в задачах адаптивного управления, оценивания и синхронизации // Автоматика и телемеханика. – 2006. – С. 3–37.
3. Емельянов С.В., Коровин С.К., Левантовский Л.В. Новый класс алгоритмов скольжения второго порядка // Математическое моделирование. – 1990. – Т. 2. – № 3. – С. 89–100.

Бойцева Алеся Анатольевна
Год рождения: 1992
Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра экономики и стратегического менеджмента,
группа № U4250
Направление подготовки: 38.04.05 – Бизнес-информатика
e-mail: lesia-098@mail.ru

УДК 001.891.32

МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

А.А. Бойцева
Научный руководитель – к.э.н., профессор Е.А. Павлова

Работа выполнена по теме НИР № 610749 «Проектирование и экономическое обоснование оптических систем для фундаментальных и прикладных исследований».

В современном мире наука создает уникальные возможности для социального и экономического развития общества. Решающими факторами инновационного развития российской экономики выступают наличие перспективных фундаментальных и прикладных исследований по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий, развитая инновационная инфраструктура, обеспеченность научных разработок высококвалифицированным персоналом [1–5].

Вследствие этого огромную значимость приобретает эффективная организация научно-технического процесса, целью которой является осуществление полного цикла создания научно-технической продукции: от выдвижения первоначальной гипотезы до коммерциализации научных результатов и их использования для удовлетворения потребностей общества.

Объектом работы являлись научные исследования; предмет работы представлял собой методическое и информационное обеспечение научных исследований.

Цели работы: проведение анализа источников экономической поддержки научных исследований, исследование методических подходов к оценке экономической эффективности научных исследований, разработка информационной среды для продвижения на рынок результатов научных исследований и опытно-конструкторских разработок.

В работе проанализированы теоретические основы проведения фундаментальных и прикладных исследований. Сравнительная характеристика особенностей проведения фундаментальных и прикладных исследований представлена в табл. 1.

Таблица 1. Особенности проведения научных исследований

Фундаментальные исследования	Прикладные исследования
Познавательные цели, отсутствие ориентированности на практическое применение результатов	Решение практических проблем, ориентированность на практическое применение результатов
Направленность на создание «общественного блага»	Направленность на решение конкретной задачи
Ориентация на долгосрочную перспективу	Ориентация на краткосрочную перспективу
Отсутствие ориентации на получение прибыли или аналогичного материального вознаграждения	Ориентированность на получение коммерческих выгод
Невозможность заранее с высокой степенью точности определить итоговый результат	Получение конкретного результата, быстрое внедрение результатов в практику
Финансирование исследований в основном за счет государственного бюджета	Привлечение альтернативных источников финансирования

Последний из рассматриваемых критериев – это финансирование. Финансирование является одним из важнейших направлений, определяющих состояние научного потенциала. В работе рассмотрены источники экономической поддержки научных исследований, к которым относятся:

- государственные ассигнования;
- внебюджетные централизованные фонды;
- собственные средства промышленных предприятий и объединений;
- собственные средства научных организаций;
- кредитные средства;
- средства иностранных инвесторов и международных финансовых организаций;
- венчурный капитал.

Для того чтобы происходило финансирование науки, распределение государственных ресурсов на проведение фундаментальных и прикладных исследований, необходимо определение эффективности результатов научных исследований.

В работе исследованы методические подходы к оценке экономической эффективности научных исследований.

Предполагается, что рассматривая фундаментальные исследования, целесообразнее оценивать их результативность, так как для большинства исследований невозможно рассчитать суммарные затраты на их проведение.

Методы оценки результативности фундаментальных исследований:
- качественные критерии (новизна результатов, ценность результатов, реализуемость результатов, широта применения);
- количественные критерии (метод «достижения цели», метод «обобщенной оценки значимости исследования»).

Несмотря на трудность определения результативности фундаментальных исследований, перспективность и допустимость использования результатов, полученных от проведения исследований, возможно оценить по степени их влияния на другие направления научных исследований, главным образом, на содержание прикладных исследований. Чем более масштабное и интенсивное влияние оказывают результаты фундаментальных исследований на другие виды исследований, тем более высоко и точно можно оценить их общую результативность.

Показатели оценки эффективности прикладных исследований:
- среднегодовая выработка научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- количество внедренных тем;
- критерий экономической эффективности;
- количество полученных авторских свидетельств и патентов;
- количество проданных лицензий.

Чем выше приведенные показатели, тем эффективнее научно-исследовательская работа.

В России используются разные методы оценки эффективности фундаментальных и прикладных исследований. На текущий момент они не ведут к получению исчерпывающих результатов, поэтому перед наукой продолжает стоять задача разработки научного аппарата количественной оценки полезности добываемых знаний.

В работе рассмотрены методы оценки эффективности инновационных научно-технических проектов. Эффективность проекта оценивается с тем, чтобы определить потенциальную привлекательность проекта для заинтересованных участников и осуществить поиск источников финансирования.

Методы оценки эффективности:
- динамические методы (чистая текущая стоимость, дисконтированный индекс доходности, внутренняя норма рентабельности (доходности), дисконтированный срок окупаемости инвестиций);
- статические методы (простой срок окупаемости инвестиций, рентабельность инвестиций (или расчетная норма прибыли)).

При оценке эффективности инновационных научно-технических проектов целесообразнее использовать динамические методы, так как при сравнении денежных потоков и затрат они предусматривают длительность инвестиционного периода, влияние инфляционной составляющей в величине процентных ставок, учет рисков.

Необходимо продолжать исследовать, совершенствовать методы определения эффективности, чтобы учитывать те изменения, которые происходят с течением времени.

В настоящее время существуют определенные проблемы коммерциализации научных исследований и разработок, препятствующие внедрению результатов научно-исследовательской и инновационной деятельности в экономику страны:
- невостребованность инноваций и новых технологий формирующейся рыночной экономикой;
- недостаточная государственная поддержка научной деятельности;
- низкая привлекательность сферы науки для молодых специалистов;

- сокращение потенциала науки, проявляющееся в уменьшении численности исследователей, источников финансирования, влекущее за собой уменьшение количества патентов, новых технологий, публикаций в журналах.

Автор считает, что одним из способов решения существующих проблем является создание информационной среды, в которой будет происходить информационное и экономическое взаимодействие между различными участниками процесса коммерциализации. Информационная среда будет реализована в виде виртуальной торговой площадки.

Участники процесса коммерциализации:

- потенциальные инвесторы (государственные и международные фонды и программы; негосударственные фонды, гранты, целевые программы, международные проекты; венчурные фонды; производственные предприятия; консалтинговые компании; маркетинговые структуры);
- авторы технологических разработок (институциональные участники – университеты и институты; коллективы, объединяющие научно-педагогических работников; малые инновационные предприятия (МИП); ученые и изобретатели).

Входные денежные потоки: абонентская плата инвесторов за тарифный план, плата авторов технологических разработок за подключение, баннерная реклама.

Преимущества торговой площадки: оптимизация бизнес-процессов, доступность для новых участников, обеспечение безопасности информационного взаимодействия, качественное управление информационным наполнением площадки.

Начальные инвестиции относительно невелики, их обеспечение производится самими учредителями, без привлечения заемных средств (табл. 2).

Таблица 2. Начальные инвестиции в проект

Наименование	Количество	Сумма, тыс. руб.
Разработка сайта	1	150
Компьютер	4	120
Многофункциональное устройство	1	10
Сотовый телефон	4	40
Доменное имя	1	0,45
1С:Бухгалтерея 8	1	13
Office 365 для дома (распространяется на 5 компьютеров)	1	3,4
Сервер	1	60
Итого		396,85

Создание электронной торговой площадки будет весьма актуальным и перспективным, авторы технологических разработок смогут не только заявить о результатах своих научных исследований, опытно-конструкторских разработках, но и предложить их потенциальным инвесторам для организации производственной деятельности и последующей продажи на рынках товаров и услуг; потенциальные инвесторы смогут не только презентовать способы финансирования, но и выбрать наиболее выгодные, с коммерческой точки зрения, научно-технические разработки.

В рамках работы:

- рассмотрены теоретические основы проведения фундаментальных и прикладных исследований;
- проведен анализ методов экономической поддержки научных исследований;

- исследованы методические подходы к оценке экономической эффективности научных исследований;
- разработана информационная среда для продвижения на рынок результатов научных исследований и опытно-конструкторских разработок.

Литература

1. Башин М.Л. Эффективность фундаментальных исследований. Экономический аспект. – М.: Мысль, 1947. – 255 с.
2. Бойцева А.А., Павлова Е.А. Исследование источников экономической поддержки фундаментальных и прикладных исследований в России // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1. – С. 804.
3. Бойцева А.А., Павлова Е.А. Роль и место научных исследований в инновационном цикле // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6-2. – С. 339–343.
4. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 144 с.
5. Комков Н.И., Ерошкин С.Ю., Кравченко М.В. Анализ и оценка перспектив перехода к инновационной экономике // Проблемы прогнозирования. – 2005. – № 6. – С. 10–26.

Борздая Евгения Владимировна
Год рождения: 1992
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4225
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: jhenka_1992@mail.ru

УДК 663.41

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПИВОПОДОБНОГО НАПИТКА НА ОСНОВЕ ПЕРМЕАТА ТВОРОЖНОЙ СЫВОРОТКИ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Е.В. Борздая
Научный руководитель – д.т.н., профессор Т.П. Арсеньева

Значение пищи как источника пищевых веществ и биологически активных компонентов в формировании и обеспечении здоровья человека подтверждают современные достижения медицинских и биологических наук [1–4].

Молочная промышленность относится к ресурсо- и энергоемким отраслям пищевой индустрии.

К сожалению, значительная часть сыворотки, получаемой на заводах молочной промышленности, сбрасывается в сточные воды, несмотря на постоянно возрастающий объем вторичного молочного сырья, его пищевую и биологическую ценность. Основной путь решения проблемы комплексной переработки молочного сырья видится в создании безотходных технологий.

Из молочной сыворотки возможно производство алкогольных напитков, как на основе брожения лактозы, так и на основе ее окисления.

Многообразие пивных напитков обусловлено свойствами молочной сыворотки, которая содержит вещества, подобные коллоидам пивного сусла, имеет вязкую консистенцию и обладает хорошей способностью связывать углекислоту; имеет подобно пивному суслу высокую концентрацию солей. Некоторые составные части сыворотки после продолжительного теплового воздействия образуют вещества, похожие на вкус и запах солода; сладость лактозы невелика и не влияет на вкус конечного продукта.

Анализ изложенного указывает на актуальность постановки исследований по созданию пивного напитка. На рынке ассортимент пивных напитков из сыворотки не представлен, в связи с чем производство пивного напитка из пермеата творожной сыворотки будет весьма целесообразно, а внедрение его на рынок позволит наслаждаться ярким пивным вкусом с минимальным содержанием алкоголя и максимальным набором полезных свойств.

На основании литературного обзора была сформулирована **цель работы** и задачи исследования:

- обосновать выбор использования пермеата творожной сыворотки для приготовления пивных напитков;
- установить вид и гидромодуль солода;
- определить вид и дозу внесения хмеля, подобрать дрожжи для производства пивного напитка;
- подобрать вкусоароматические компоненты для улучшения органолептических свойств продукта;
- определить влияние вносимых компонентов на органолептические и физико-химические свойства готового напитка.

Экспериментальная часть. На начальном этапе эксперимента подбирали вид сыворотки для производства пивного напитка.

В ходе эксперимента определяли гидромодуль солода в пивном напитке.

При создании пивного напитка измельченный солод заливали пермеатом (объем пермеата всегда был постоянный, изменяли массу внесения солода) с температурой t=50°С, получали затор, в котором температуру повышали до 63°С, выдерживали в течении 30 мин, затем нагревали затор до 70°С, потом – выдерживали в течении 40 мин Далее затор подогревали до 75°С, выдерживали в течение 10 мин. И фильтровали.

По разработанной шкале напиток оценивали по 5-балльной системе по следующим органолептическим показателям (в баллах): прозрачность – 3, цвет – 3, вкус – 5, хмелевая горечь – 5, аромат – 4, пенообразование – 5.

В табл. 1 представлена балльная оценка по органолептическим показателям.

Таблица 1. Балльная оценка по органолептическим показателям

Показатель		Баллы
Прозрачность	Мутная	1
	С включениями мути	2
	Прозрачная	3
Вкус	Невыраженный	1
	Пустой	2
	Сладковатый	3
	Насыщенный солодовый	4
	Ярко выраженный солодовый	5
Цвет	Коричневый	1
	Золотистый	2
	Янтарный	3

Показатель		Баллы
Хмелевая горечь	Слабая	1
	Мягкая	2
	Остающаяся	3
	Слегка остающаяся	4
	Ярко выраженная	5
Аромат	Кислый	1
	Фруктовый	2
	Хмелевой	3
	Выраженный хмелевой	4
Пенообразование	Слабое	1
	Неудовлетворительное	2
	Среднее	3
	Обильное	4
	Удовлетворительное	5

На рисунке представлена профилограмма органолептической оценки образцов напитка с солодом.

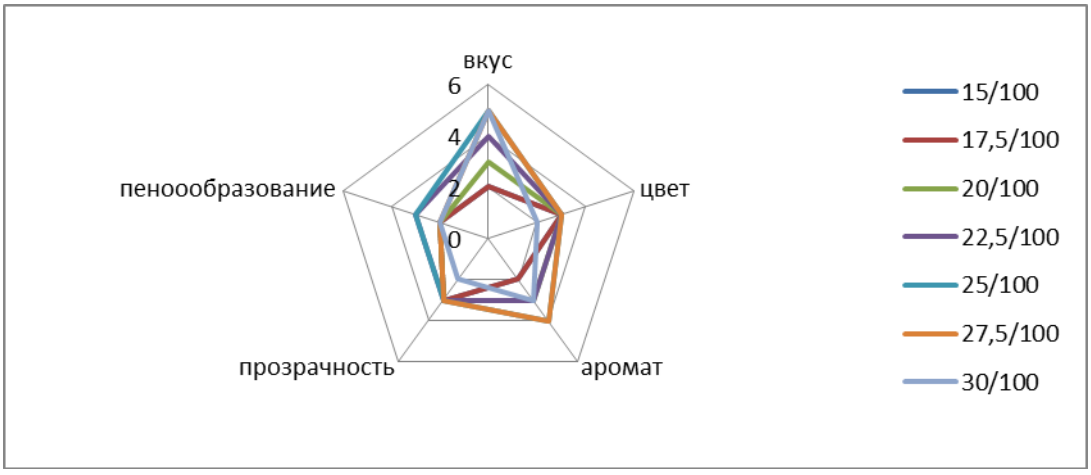


Рисунок. Профилограмма органолептической оценки образцов напитка с солодом

Образец с гидромодулем 25 г солода и 100 г пермеата, как видно из рисунка, имел ярко выраженный солодовый вкус и аромат, удовлетворительное пенообразование и хорошую прозрачность.

На следующем этапе исследований определяли влияние концентрации хмеля на показатели качества пивного напитка. Из рассчитанного количества хмеля вносили 90% при варке для приобретения напитком хмелевой горечи и 10% для придания пряности. Смеси выдерживали в течение 1 ч при температуре 85°С. Концентрацию хмеля варьировали от 1,0 до 2,0% с шагом 0,5%. Было выявлено, что лучшими органолептическими показателями обладала смесь с концентрацией хмеля 1,5%.

Затем в полученный образец вносили дрожжи пивные низового брожения, дрожжи лактозосбраживающие *Kluyveromyces fragilis*, а также композицию пивных дрожжей и лактозосбраживающих в соотношении 1:1.

В табл. 2 представлена сравнительная характеристика пивных напитков с разными видами дрожжей.

Таблица 2. Сравнительная характеристика пивных напитков с разными видами дрожжей

Характеристики	Напиток с пивными дрожжами	Напиток с дрожжами *Kluyveromyces fragilis*	Напиток с композицией дрожжей 1:1
Прозрачность	Наличие осадка	Прозрачное	Прозрачное
Вкус	Излишне дрожжевой	Недостаточно выраженный пивной	Чистый выраженный пивной
Аромат	Излишне выраженный дрожжевой	недостаточно выраженный	Чистый выраженный
Пенообразование	Пена обильная, рыхлая, высотой 60 мм, стойкость в течение 2 мин	Незначительная пена, высотой 12 мм, нестойкая	Пена обильная, компактная, высотой 32 мм, стойкость в течение 3 мин
Цвет	светлый	светлый	Светлый золотистый

По завершении брожения пивного напитка для улучшения органолептических показателей напитка вносили мяту в количестве от 0,5% до 1,5% с шагом 0,5. Напиток оставляли на дображивание в течение 5 дней. На основании экспериментальных исследований наивысшую балльную оценку получил опытный образец с концентрацией мяты 1,0%.

В ходе эксперимента была разработана схема технологического процесса производства пивного напитка в лабораторных условиях.

Технологический процесс производства пивного напитка включает в себя следующие стадии:

- подготовка компонентов;
- дробление солода;
- затирание;
- фильтрование затора и отделение дробины;
- внесение хмеля и кипячение сусла с хмелем;
- осветление сусла и отделение хмелевой и белковой дробины;
- охлаждение сусла;
- внесение дрожжей;
- брожение;
- внесение мяты;
- дображивание;
- фильтрование;
- розлив пивного напитка;
- хранение.

Основные результаты работы

1. Обоснован выбор использования пермеата, в связи с тем, что исключается технологическая операция денатурации белков, требующая больших материальных затрат и временных.
2. Выбранный солод Пилсен с установленным гидромодулем 25 г солода и 100 г пермеата позволил получить пивной напиток с ярко выраженным солодовым

вкусом и ароматом, с удовлетворительным пенообразованием и хорошей прозрачностью.

3. С концентрацией хмеля Херсбрукер 1,5% с содержанием альфа-кислоты 2,4% получен пивной напиток с отличным пенообразованием (пена обильная, компактная, высотой 42 мм, стойкость в течение 4 мин), приятной хмелевой горечью и сильно выраженным хмелевым вкусом.
4. В образце с пивными дрожжами низового брожения был излишне дрожжевой вкус и аромат, в некоторых образцах наблюдался бомбаж, в образце с дрожжами *Kluyveromyces fragilis* получили напиток с невыраженным пивным вкусом и ароматом и незначительным пенообразованием. В то время как образец с композицией пивных дрожжей низового брожения и дрожжей *Kluyveromyces fragilis* в соотношении 1:1 имел чистый выраженный пивной вкус и аромат, светлый золотистый цвет, без осадка и обладал отличным пенообразованием.
5. С подобранной в качестве вкусоароматической добавки мяты перечной концентрацией 1%, пивной напиток имел приятный охладительный вкус и аромат.
6. С подобранными компонентами в ходе экспериментальных исследований выработан пивной напиток с выраженным пивным вкусом и ароматом, и легкими нотками мяты, золотистого цвета с отличным пенообразованием, алкоголь готового продукта составлял 4,3% об. и экстрактивностью 11,2. Расчетная энергетическая ценность продукта 220 кДж.

Литература

1. Данина М.М. Методы исследования свойств сырья, продуктов брожения и безалкогольных напитков. Лабораторные работы. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. – 2013. – С. 14–15.
2. Кунце В. Технология солода и пива: Пер. с нем. – СПб.: Профессия, 2001. – 912 с.
3. Нарцисс Л. Краткий курс пивоварения: Пер. с нем. А.А. Куреленкова. – СПб.: Профессия, 2007. – 640 с.
4. Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Технология продуктов из молочной сыворотки. Учебное пособие. – М.: ДеЛи принт, 2003. – 768 с.

Буряк Ирина Владимировна
Год рождения: 1992
Естественнонаучный факультет, кафедра промышленной экологии, группа № А4232
Направление подготовки: 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
e-mail: iraburyak@yandex.ru

УДК 504.61

УПРАВЛЕНИЕ ОТХОДАМИ В ЦЕПОЧКЕ ПОСТАВОК НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ОБРАТНОЙ ЛОГИСТИКИ

И.В. Буряк
Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

Система управления отходами – это комплексная проблема, объединяющая управленческие, технические, финансовые, политические, социологические и психологические аспекты. Управление отходами, как правило, требует вовлечения больших трудовых ресурсов и тесного сотрудничества с общественными и коммерческими организациями.

Организационные и финансовые проблемы, а также ошибки в выборе и эксплуатации необходимого оборудования являются самыми распространенными вопросами в процессе внедрения системы. На выбор способов обращения с отходами, а также развитие инфраструктуры системы управления отходами влияют принимаемые управленческие решения. Социальные нормы, в свою очередь, определяют, принимается ли населением предложенная схема управления отходами либо она становится лишь краткосрочным неудачным экспериментом [1].

Целью исследования являлось повышение ресурсной эффективности при применении данного принципа к управлению отходами бытовой и промышленной техники с точки зрения соотношения между затратами на ресурсы, как материальными и энергетическими, так и финансовыми, и получаемыми результатами.

Актуальность данной тематики состоит в том, что в разных странах земного шара проблема сбора и переработки отходов бытовой и промышленной техники стоит достаточно остро, но развитые страны ее активно пытаются решить, прибегая к самым различным методам. В Европе постоянно вводятся новые, более рациональные технологии его переработки.

Логистика в цепочке поставок – организация рационального процесса продвижения сырья от поставщиков сырья к потребителям, функционирование сферы обращения произведенной продукции, управления товарными запасами и провиантом, создания инфраструктуры товародвижения.

В качестве объекта исследования был выбран один из наиболее интересных примеров – утилизация холодильной техники. Целесообразность данного выбора обуславливается как масштабом объема образования данных видов отхода и степенью воздействия на окружающую среду, так и высокой стоимостью утилизации отхода.

Концепция MIPS измеряет использование природных ресурсов на протяжении всего жизненного цикла (извлечение ресурсов, производство, транспортировка, упаковка, переработка, повторное использование, переработка, и повторное изготовление, окончательная утилизация отходов) технологий, продукции, процессов и услуг. Она может применяться на уровне продукции и компании. MIPS учитывает прямое и косвенное потребление материалов, а также использованное и неиспользованное извлечение.

Последнее особенно важно, поскольку материальный вход включает в себя ресурсы, используемые и неиспользуемое извлечение в экономике. Таким образом, все материальные потоки, вызванные человеком, рассчитываются независимо от их экономической выгоды.

Показатель MIPS измеряет извлекаемые природные ресурсы пяти категорий: абиотические, биотические, вода, воздух и перемещение земли в сельском и лесном хозяйстве (эрозия и механическое перемещение почвы). Сырье включает металлические и неметаллические минералы (руды, камни, песок и т.д.), ископаемые энергоносители (например, уголь, нефтепродукты, природный газ). Энергия и транспортировка рассчитываются по сумме всех сырьевых материалов, необходимых для их производства, в том числе для создания необходимой инфраструктуры. Различные категории могут быть разбиты, в случае необходимости, на разные материалы и их использование по фазам в жизненном цикле, так что количество каждого материала или вещества становится очевидным, что способствует процессам принятия решений в процессах экологической оценки и устойчивого управления.

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) может быть определена, как метод, изучающий экологические аспекты и потенциальное воздействие продукции или процесса в течение всего его жизненного цикла, начиная с добычи сырьевых

материалов, процессов производства, до окончательного размещения в окружающей среде [2, 3]. Результаты ОЖЦ носят экологический характер и выражают воздействие жизненного цикла всей системы или отдельных его стадий. Комплексный интегральный подход к проведению ОЖЦ обеспечивает учет и оценку всех эмиссий и воздействий на окружающую среду продукции и процессов на протяжении всего периода их существования в техносфере. Этот широкий охват области анализа гарантирует включение в оценку как прямых, так и косвенных воздействий продукции на окружающую среду [4].

Для проведения обратной ОЖЦ была изучена технологическая схема производства холодильной техники, а также при использовании программного оборудования определено, что:

- при оценке входных потоков в систему (затрата энергетических ресурсов для работы оборудования) – максимальное воздействие оказывает стадия измельчения корпуса холодильника (рис. 1);
- при оценке выходных потоков (экономия ресурсов) – максимальное воздействие также оказывает стадия измельчения корпуса холодильника (рис. 2).

При оценке воздействия единичных процессов на систему было определено, что максимальное воздействие оказывают стадии измельчения корпуса (образование отхода) и извлечение смеси хладогента и масла (потенциал глобального потепления) (рис. 3).

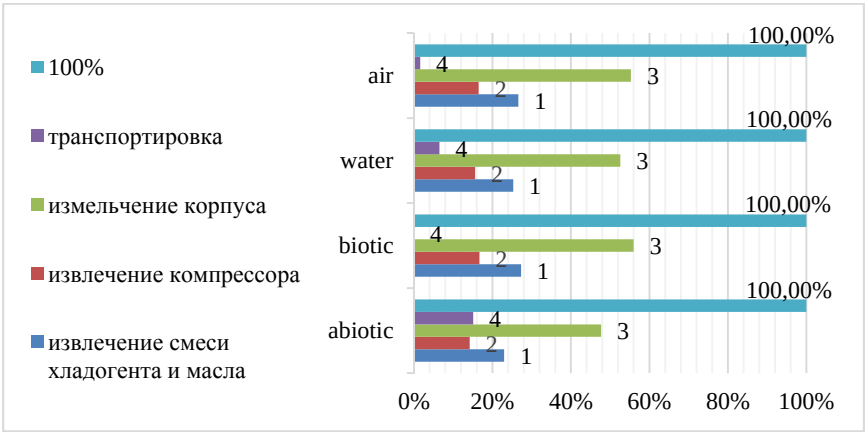


Рис. 1. Определение показателей категории «Истощение природных ресурсов» (входные потоки – затраты энергетических ресурсов в обратном цикле, процентное содержание)

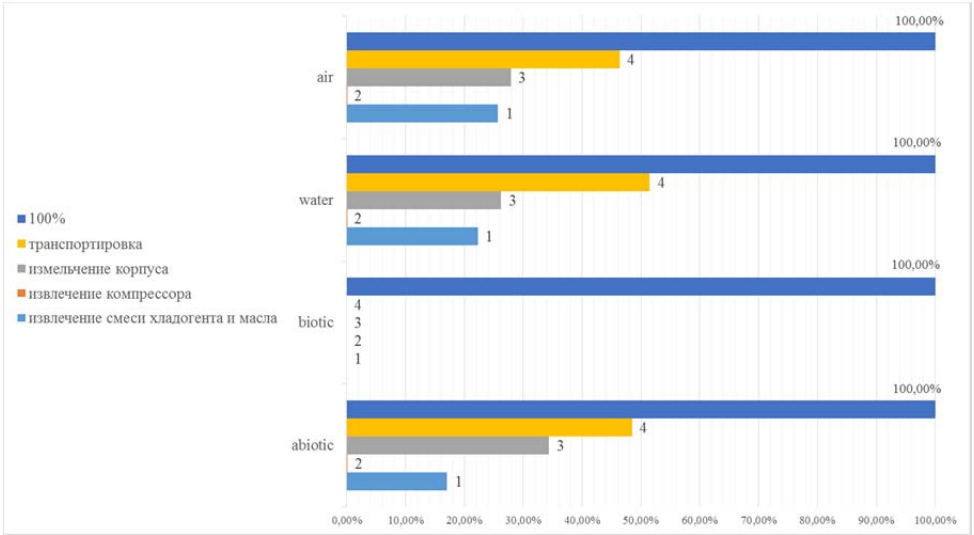


Рис. 2. Определение показателей категории «Истощение природных ресурсов» (выходные потоки – экономия природных ресурсов в обратном цикле, процентное содержание)

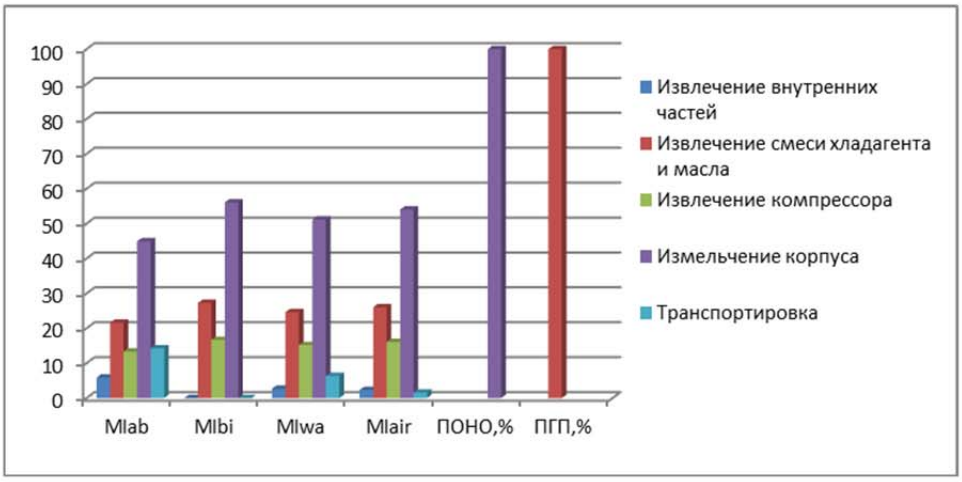


Рис. 3. Воздействие единичных процессов продукционной системы на окружающую среду по показателям категорий воздействия

Литература

1. Отчет о целях политики в области обращения с твердыми коммунальными отходами на разных уровнях внедрения (первая редакция) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.greenlogic.by/content/files/Othody/Documents/Otchet_o_principax_politiki.pdf, своб.
2. Boer E., Boer J., Jager J. Handbook for municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems. – Stuttgart: Ibidem Verlag, 2005. – 306 p.
3. ГОСТ Р ИСО 14040-2010. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. – Введен 01.06.2010. – М.: Стандартинформ, 2010 – 40 с.
4. Winkler J., Bilitewski B. Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management // Waste Management. – 2007. – V. 27. – № 8. – P. 1021–1031.

Воробьев Константин Александрович
Год рождения: 1991
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, группа № Р4245
Направление подготовки: 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
e-mail: yakko@nxt.ru

УДК 621.317.39.084.2: [681.2.083+681.2.088]

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СИНУСНО-КОСИНУСНЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

К.А. Воробьев
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.В. Лукичев

В системах автоматического управления одной из основных задач, стоящих перед разработчиком, является определение скорости и (или) положения объекта регулирования в различных областях: робототехника, автоматизированное производство, следящие системы электропривода и др.

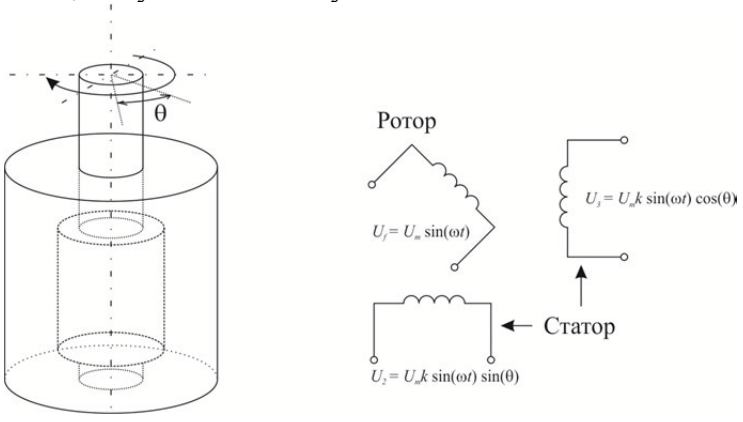
Одна из особенностей синусно-косинусных вращающихся трансформаторов (СКВТ) – сложность преобразований при обработке выходных сигналов этого датчика. Классический подход для решения данной задачи состоит в построении системы преобразователя на аналоговых элементах. Точность такой системы значительно зависит от качества изготовления отдельных компонентов, таких как операционные усилители, функциональные преобразователи и др., при этом всякое изменение температуры, внешние электромагнитные помехи и наводки снижают точность системы, требуя дополнительные средства защиты и коррекции, что, в свою очередь, приводит к росту стоимости системы. Реализация такой системы с использованием микроконтроллера позволяет существенно снизить сложность преобразователя, а как следствие, и стоимость при сохранении той же точности [1, 2].

Описание синусно-косинусного вращающегося трансформатора. СКВТ – индукционная информационная электрическая машина, состоящая, как правило, из четырех обмоток: статорных (обмотка возбуждения и квадратурная) и роторных (обмотки, напряжения которых пропорциональны синусу и косинусу угла поворота ротора модулированных несущей частотой обмотки возбуждения).

Опорное напряжение подается на обмотку возбуждения СКВТ, а с вторичных обмоток снимают напряжения (рис. 1), которые в идеальном случае можно представить как [3]:

$$\begin{aligned} U_f &= U_m \sin(\omega t) \\ U_{p1} &= U_m k \sin(\omega t)\sin(\vartheta) \\ U_{p2} &= U_m k \sin(\omega t)\cos(\vartheta) \end{aligned}, \qquad (1)$$

где $U_m, k, \omega, U_f, U_{p1}, U_{p2}$ – амплитудное напряжение обмотки возбуждения, коэффициент трансформации, частота возбуждающего напряжения, напряжение обмоток возбуждения, синусной и косинусной соответственно.



аб

Рис. 1. Структура (а) и схема (б) СКВТ

Метод прямого преобразования. Метод прямого преобразования в общем виде основан на определении угла поворота по мгновенным значениям U_{p1} и U_{p2} из (1):

$$\vartheta = \operatorname{arctg}\left(\frac{U_{p1}}{U_{p2}}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{U_m k \sin(\omega t)\sin(\vartheta)}{U_m k \sin(\omega t)\cos(\vartheta)}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sin(\vartheta)}{\cos(\vartheta)}\right). \qquad (2)$$

Недостаток метода: при мгновенном определении напряжений в реальных системах вместе с полезным сигналом на АЦП попадают шумы и помехи, которые невозможно скомпенсировать.

Пусть измеренный угол выражается как $\theta = f(\vartheta)$, где ϑ – реальное положение ротора СКВТ. Тогда в случае если $\theta \neq \vartheta$, можно переписать зависимость как $\varepsilon(\theta) = \theta - f(\vartheta)$, где ε – ошибка определения угла.

В результате моделирования без компенсации была получена зависимость ошибки определения углового положения (рис. 2).

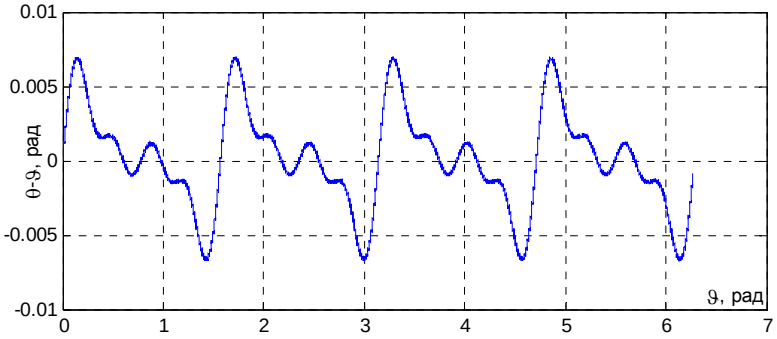


Рис. 2. Ошибка углового положения

После прореживания массива ошибки и формирования новых массивов компенсирующих значений или поправок были произведены моделирования, результаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результат моделирования прямого метода преобразования

Максимум модуля ошибки, рад	Эффективная разрядность
Моделирование без компенсации	
0,006977	9
Компенсация выполнялась по 72-м точкам, шаг 0,087 рад	
0,003585	10
Компенсация выполнялась по 360-ти точкам, шаг 0,017 рад	
0,001028	12
Компенсация выполнялась по 3600-м точкам, шаг 0,0017 рад	
0,001024	12
по 360-ти точкам за счет дискретной интерполяции 36 точек	
0,001506	12
по 360-ти точкам за счет линейной интерполяции 72 точек	
0,004821	10

Метод следящего преобразования. Упрощенная структура следящего преобразователя представлена на рис. 3. Переход к данной системе возможен из условия (3). Так как после прохождения переходных процессов и установки величины выходного положения, равной отлеживаемой $\varepsilon = \vartheta - \theta \to 0$, принимаем, $\lim_{\varepsilon \to 0}(\sin(\varepsilon)) = \varepsilon = \vartheta - \theta.$

$$U_e = U_a - U_b = U_m k \sin(\omega t)\sin(\theta - \vartheta). \qquad (3)$$

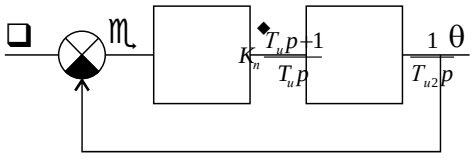


Рис. 3. Обобщенная структура следящего преобразователя

Временная функция, описывающая непрерывную систему, имеет вид:

$$\omega(t) = K_{\text{п}}\left(\varepsilon(t) + \frac{1}{T_{\text{и}}}\int_0^t \varepsilon(\tau)d\tau\right),$$
$$\theta(t) = \frac{1}{T_{и2}}\int_0^t \omega(\upsilon)d\upsilon$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент передачи; $T_{\text{и}}$ – постоянная времени интегрирования.

Для малых тактов квантования T_0 эту систему можно преобразовать к разностным уравнениям с помощью дискретизации, состоящей в замене интеграла суммой. При замене непрерывного интегрирования на интегрирование по методу трапеций, уравнения примут вид:

$$\begin{aligned}\omega(k) &= K_{\text{п}}\left(\varepsilon(k) + \frac{T_0}{T_{\text{и}}}\left(\frac{\varepsilon(0)+\varepsilon(k)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1}\varepsilon(i)\right)\right)\\ \theta(k) &= \frac{T_0}{T_{\text{и2}}}\left(\frac{\omega(0)+\omega(k)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1}\omega(i)\right)\end{aligned}. \quad (4)$$

С целью повышения точности предлагается производить аппроксимацию линейными отрезками массив компенсирующих значений. Вместо простой выборки вычисляется коэффициент наклона отрезка в соответствие с формулами:

$$\begin{aligned}t_m &= \left\lceil \theta\frac{n}{2\pi} \bmod n \right\rceil\\ \Delta\mathbf{E} &= \mathbf{E}((t_m+1) \bmod n) - \mathbf{E}(t_m)\\ \Delta\varepsilon &= \mathbf{E}(t_m) + \frac{\Delta\mathbf{E}n}{2\pi}\left(\theta - \frac{2\pi t_m}{n}\right)\end{aligned}, \quad (5)$$

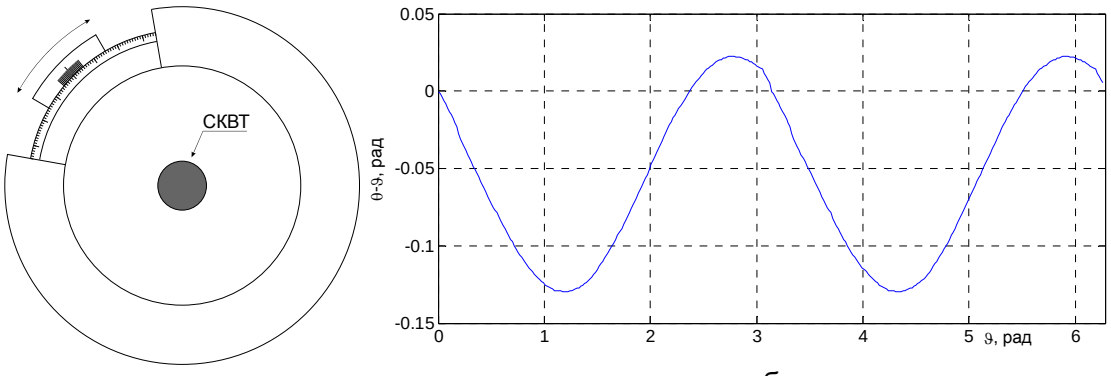
где t_m – элемент массива поправок, соответствующий текущему углу; n – длина массива поправок; $\mathbf{E}$ – массив поправок; $\Delta\varepsilon$ – приращение поправки.

Таблица 2. Результат моделирования следящего метода преобразования

Максимум модуля ошибки, рад	Эффективная разрядность
Моделирование без компенсации	
0,006977	9
Компенсация выполнялась по 72-м точкам, шаг 0,087 рад	
0,001954	11
Компенсация выполнялась по 360-ти точкам, шаг 0,017 рад	
0,00064	13
Компенсация выполнялась по 3600-м точкам, шаг 0,0017 рад	
0,000528	13
по 360-ти точкам за счет дискретной интерполяции 36 точек	
0,001336	12
по 360-ти точкам за счет линейной интерполяции 72 точек	
0,005292	10

Моделирование на физической модели. В качестве целевого вычислительного устройства для данной задачи использовался преобразователь на базе ЦСП ADuC7026 и СКВТ 5мвт-2в-10э, персональный компьютер с пакетом MATLAB, в котором реализуются все исследуемые алгоритмы. На рис. 4, а, представлен упрощенный вид стенда, на котором исследовался преобразователь с СКВТ. Данный стенд представляет собой жесткую опору с лимбом и вращающимся относительно центра

диском, на котором нанесена градусная шкала. К диску с помощью цанги крепится за вал СКВТ. Возможная точность до 2′ по лимбу.



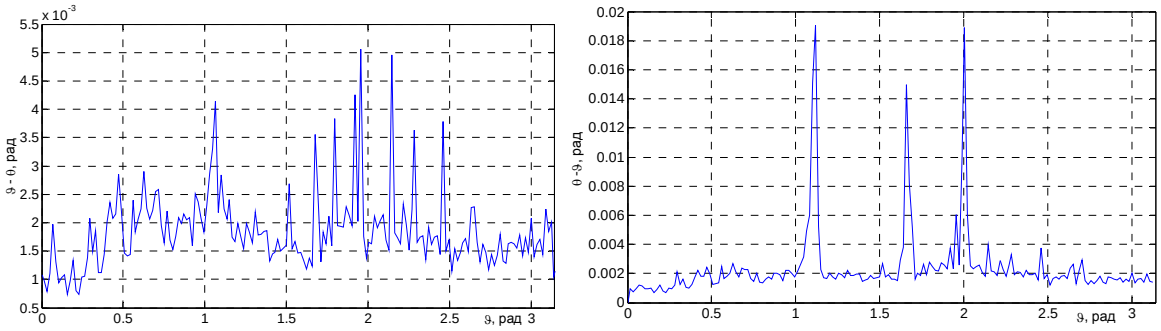
а б

Рис. 4. Упрощенный вид стенда (а); ошибка углового положения (б)

Была получена зависимость ошибки определения углового положения (рис. 4, б). Для получения данной зависимости использовался следящий преобразователь.

Точность преобразователя без компенсации ошибки не превышает 5 двоичных разрядов при единице младшего разряда 0,1297 рад. Для фильтрации цифровых сигналов используется фильтр Баттерворта 1-го порядка. Порядок выбран по причине низкой частоты дискретизации системы, так как увеличение порядка ведет к существенному запаздыванию выходной величины фильтра [4]. Ошибка углового положения, представленная на рис. 4, б, позволяет сформировать массив поправок для повышения точности определения углового положения. Для компенсации был сформирован массив в 360 элементов с шагом в 0,017 рад. Данный массив поправок использовался для дальнейших измерений углового положения.

На рис. 5 представлены график рассогласования углового положения между лимбом стенда и выходом преобразователя при следящем и прямом преобразовании при реализации алгоритмов с компенсацией угловой ошибки по положению.



а б

Рис. 5. Рассогласование углового положения следящего (а) и прямого (б) преобразователя

По графикам на рис. 5 можно определить конечную точность преобразователя. Так, для следящего метода преобразования ошибка рассогласования составляет 0,0051 рад, что соответствует 10 двоичным разрядам, для метода прямого преобразования – 0,019 рад, что соответствует 8 разрядам; точность преобразователя увеличивается в 25 и 6 раз соответственно. Однако следует указать на то, что математические модели не включали в себя случайные искажения, которые появляются в физической модели из-за наводок, тепловых и дробовых шумов в компонентах преобразователя, которые частично можно убрать, реализуя цифровой

фильтр в алгоритме преобразователя или в дальнейшем включив в схему преобразователя аналоговый фильтр [5].

Литература

1. Вульвет Дж. Датчики в цифровых системах: Пер. с англ. В.В. Малова / Под ред. А.С. Ярменка. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
2. Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.
3. Хрущев В.В. Электрические микромашины переменного тока для устройств автоматики. – Л.: Энергия, 1969. – 288 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.
5. Ануфриев В., Лужбинин А., Шумилин С. Методы обработки сигналов индуктивных датчиков линейных и угловых перемещений // Современная электроника. – 2014. – № 4. – С. 30–33.

Гладышев Владислав Эдуардович
Год рождения: 1991
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: d1alspb@yandex.ru

УДК 621.37

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЭЛЕКТРОННОГО УСТРОЙСТВА

В.Э. Гладышев
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Шарков

Надежность и срок эксплуатации электронного оборудования существенно зависят от теплового режима электронных приборов, входящих в его состав. Измерение температуры компонентов радиоэлектронных устройств зачастую затруднено в силу малости их размеров и необходимости измерений большого количества элементов. Это значительно сужает круг методов и средств измерения их температуры. Монтаж контактных датчиков в ряде случаев невозможен или приводит к недостоверным результатам измерения из-за наведения ими искажений в температурном поле исследуемого объекта. Неконтактные мобильные точечные средства измерения (пирометры) не позволяют различать элементы, размером менее миллиметра, и оценивать распределение их температуры с требуемой точностью, поскольку дают только осредненное значение по измеряемой области. Погрешность в таких случаях может достигать 50% и более. В последнее время широкое распространение получили неконтактные измерительные оптоэлектронные инфракрасные (ИК) приборы (далее тепловизоры). Это обусловлено появлением новой элементной базы, качественным улучшением их точностных (чувствительность достигает 0,01 К) и массо-габаритных характеристик, что позволило им стать удобными и универсальными средствами диагностики объектов по тепловому излучению [1].

Когда речь заходит об электронном устройстве, помещенном в корпус (шкаф), не представляется возможным измерить температуру приборов внутри корпуса неконтактными методами с помощью пирометров и тепловизоров.

Измерение температуры тел по тепловому излучению (оптическая пирометрия) базируется на использовании законов излучения абсолютно черного тела (АЧТ). Излучение реальных тел отличается от АЧТ, и соответственно, измеренная температура будет отличаться от истинной.

Главное условие применимости оптической пирометрии – излучение нагретого тела должно подчиняться закону Кирхгофа (т.е. излучение тела должно быть чисто тепловым). Как правило, твердые тела и жидкости при высокой температуре удовлетворяют этому требованию.

Была составлена математическая модель, описывающая изменение температуры объекта во времени при изменении граничных условий.

Температуру объекта будем представлять в виде суммы экспонент, формула будет иметь следующий вид [2]:

$$T_i(\tau) = T_C + (T_H - T_C)\{1 - \sum_{i=1}^{n}[A_i \exp(-m_i\tau)]\}, \quad (1)$$

где $T_i(\tau)$ – i-я температура объекта в момент времени τ; T_C – температура среды; T_H – начальная температура объекта; A_i – постоянные времени; m_i – темп охлаждения.

Исследование многих звеньев систем автоматического регулирования показывает, что с ростом номера i коэффициенты A_i, m_i уменьшаются по своей абсолютной величине. По этой причине, с увеличением времени τ влияние первых слагаемых рядов становится все большим и, наконец, начиная с некоторого времени τ_1 изменение $t(\tau)$ будет практически подчиняться зависимости:

$$T(\tau) - T_C \approx (T_H - T_C)(1 - A_i \exp(-m\tau)),\ \tau > \tau_1. \quad (2)$$

Выражение (2) может быть переписано в виде:

$$\frac{T_C - T(\tau)}{T_C - T_H} \approx A_1 \exp(-m_1\tau);\ \tau > \tau_1. \quad (3)$$

Если полученные в результате опыта зависимости $T(\tau)$ обработать в координатах $\ln\left(\frac{T_C - T(\tau)}{T_C - T_H}\right), \tau$, то их можно представить в виде графиков, из которых находятся коэффициенты первой экспоненты.

После этого можно найти вторую экспоненту $A_2[1 - \exp(-m_2\tau)]$ из выражений:

$$T(\tau) = T_C + (T_H - T_C)\{1 - A_1 \exp(-m_1\tau) - A_2 \exp(-m_2\tau)\}, \quad (4)$$

$$A_2 \exp(m_2\tau) = \frac{T_C}{T_H - T_C} - \frac{T(\tau)}{T_H - T_C} - A_1 \exp(-m_1\tau) + 1. \quad (5)$$

Получив значения второй экспоненты, можно восстановить начальную температуру объекта в момент времени τ=0. Для этого необходимо методом наименьших квадратов аппроксимировать значения $A_2[1 - \exp(-m_2\tau)]$ на момент времени τ=0.

Применив описанную выше математическую модель, получив зависимость изменения температуры во времени и найдя вторую экспоненту, можно восстановить начальное значение температуры объекта.

Для проверки разработанной методики, была собрана экспериментальная установка. Два резистора, помещенные на радиатор, были включены в электрическую

сеть и разогреты до стационарного состояния. Затем производилось отключение от электрической сети, и температуры резисторов фиксировались с помощью тепловизора. В результате был получен набор термограмм, который описывал изменение температуры объектов во времени (рис. 1).

Рис. 1. Термограмма в стационарном режиме

После фиксирования значений в стационарном режиме, элементы были отключены от электрической сети, и был включен секундомер. Данные в стационарном режиме нужны, чтобы определить погрешность расчетного метода. Полученные результаты расчета начального значения температуры сравнивались с измеренными. Дальнейшие показания снимались с периодом в 30 с.

Получив зависимость изменения температуры объекта во времени и применив описанную выше математическую модель, были восстановлены температуры объектов на начальный момент времени (в момент отключения от электрической сети).

Сравнивая результаты расчета с измеренной температурой элементов можно оценить погрешность данного метода.

Температура в стационарном режиме (в нулевой момент времени), которую мы зафиксировали с помощью тепловизора:

– тепловыделяющий элемент № 1: $T_{изм}(0)=39{,}8°C$;
– тепловыделяющий элемент № 2: $T_{изм}(0)=38{,}5°C$.

Рассчитанная по описанной математической модели температура в нулевой момент времени первого тепловыделяющего элемента равна $T_1(0)=38{,}4°C$, температура второго тепловыделяющего элемента равна $T_2(0)=38{,}3°C$.

Разница между измеренными и полученными значениями температур для:

– тепловыделяющего элемента № 1 $\Delta T=39{,}8–38{,}4=1{,}4$ К;
– тепловыделяющего элемента № 2 $\Delta T=38{,}5–38{,}3=0{,}2$ К.

Отсюда можно сделать вывод, что погрешность расчетного метода для второго тепловыделяющего элемента оказалось небольшой, всего 0,2 К, для первого элемента погрешность оказалась 1,4 К.

Также был проведен второй эксперимент, в котором объекты разогревались до больших температур. Для второго эксперимента разница между измеренными и полученными значениями температур для тепловыделяющих элементов оказалась следующей:

– тепловыделяющий элемент № 1 $\Delta T=71{,}6–57{,}4=14{,}2$ К;
– тепловыделяющий элемент № 2 $\Delta T=65{,}6–57{,}8=7{,}8$ К.

Как видно из результатов второго эксперимента, погрешность метода больше, ввиду того, что тепловыделяющие элементы достаточно быстро остывают до температуры радиатора.

Далее разработанная методика была проверена на реальном объекте – электронном шкафе. Чтобы оценить тепловой режим тепловыделяющего элемента и определить его температуру при наступлении стационарного режима работы, необходимо отключить электронный шкаф, достать плату и провести фотографирование тепловизором с определенным шагом во времени. В результате получался набор термограмм, описывающих изменение температуры платы во времени (рис. 2).

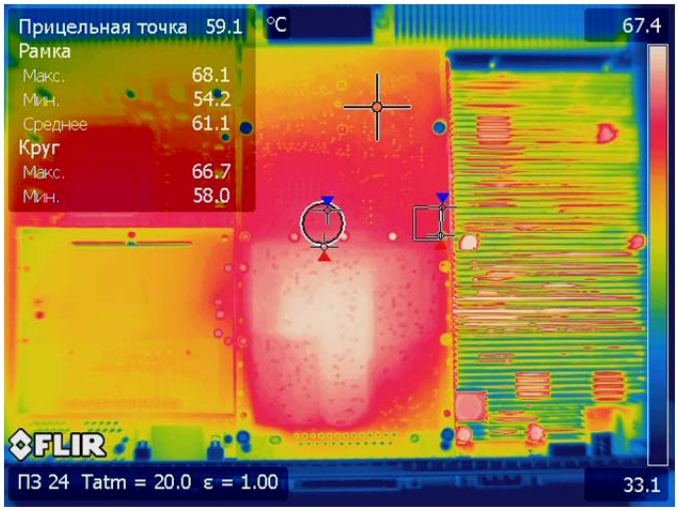


Рис. 2. Термограмма платы спустя 17 с после отключения электронного шкафа от электрической сети

Используя математическую модель и полученные экспериментальные данные с помощью тепловизора, был произведен расчет температуры $T(0)$ элемента на момент отключения электропитания ($\tau=0$). Была получена температура $T(0)=70{,}8°C$.

В итоге была восстановлена температура объекта на момент отключения электропитания. Полученная температура была сравнена с температурой, измеренной контактным методом в стационарном режиме. Температура, измеренная контактным методом с помощью термопар, равнялась 73°C. Таким образом, погрешность составила 2,2 К. Таким образом, относительная погрешность восстановления температуры, рассчитанная по формуле (6) составила 5,2%.

$$\frac{T_К - T_О}{T_К - T_С} \cdot 100\%, \qquad (6)$$

где $T_К$ – температура, измеренная контактным методом; $T_О$ – температура, полученная в результате расчета; $T_С$ – температура среды.

В результате работы был разработан метод исследования теплового режима электронных приборов с помощью тепловизора. Для проверки метода была собрана экспериментальная установка. Метод был опробован на реальном объекте. Были разработаны рекомендации по уменьшению погрешности восстановления температуры объекта, находящегося в закрытом корпусе. Результаты сопоставления полученных опытных и расчетных данных позволяют рекомендовать разработанный метод восстановления температуры для практического использования.

Литература

1. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. – М.: Мир, 1975. – 934 с.
2. Кондратьев Г.М., Дульнев Г.Н., Платунов Е.С., Ярышев Н.А. Прикладная физика. Теплообмен в приборостроении. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2003. – 560 с.

Джураева Мунаввара Мухсиновна
Год рождения: 1988
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра химии и молекулярной биологии, группа № Т4240
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: hrustalnaia_maska@list.ru

УДК 637.146

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ФИТОЭКСТРАКТАМИ

М.М. Джураева
Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.В. Красникова

Введение. Расширение ассортимента функциональных продуктов является одним из приоритетных направлений пищевой промышленности. На современном рынке функциональных продуктов около 65% приходится на молочные продукты. Актуальным является разработка технологии и рецептуры кисломолочных продуктов, обогащенных биологически активными веществами (БАВ) из сырья растительного происхождения [1]. Для этого используют фитоэкстракты из плодов, ягод, грибов, трав и других растений.

Использование практического опыта применения фитоэкстрактов в технологии пищевых продуктов позволит расширить ассортимент, повысить конкурентноспособность новых продуктов, улучшить их качество и хранимоспособность. Большим комплексом БАВ обладают ягоды аронии, в состав которых входят красящие вещества, (антоцианы, лейкоантоцианы, флавонолы) витамины, Р-активные соединения, минеральные вещества, среди которых следует выделить йод.

Весьма важным является разработка состава функциональных продуктов с использованием растительных компонентов, обладающих лечебными свойствами. К таким компонентам относятся фитоэкстракты, содержащие бета-глюканы. Волокна бета-глюканов экстрагируют из овса, ячменя, пшеницы, грибов. В настоящей работе источником бета-глюканов явились грибы вешенки обыкновенной. Бета-глюканы обладают противоопухолевым, иммуномодулирующим, антиоксидантным действием. Следует отметить также важную роль бета-глюканов в профилактике диабета II типа.

Р-активные полифенолы аронии весьма ценны в лечебно-профилактическом питании при гипертонической болезни, атеросклерозе, геморрагическом диатезе и других патологических состояниях, сопровождающихся повышенной проницаемостью и хрупкостью капилляров. Оксикоричные кислоты, содержащиеся в аронии в значительных количествах, положительно влияют на функции печени, желчных путей и почек [2–4].

Экстракты из так называемых «лечебных» грибов широко используются в традиционной восточной медицине. К таким грибам отнесены вешенка, шиитаке, мейтаке. Начиная с XV в., в Китае их использовали для лечения сердечно-сосудистых заболеваний, поражений печени. Около 30 лет назад ученые Гарвардского университета обнаружили в стенках грибов полисахарид с длинной цепочкой, структурной единицей которого являлась D-глюкоза. Лечебные свойства этих грибов обусловлены содержанием в них бета-глюканов, которые в последние годы подробно

исследованы в связи с их ценными биологическими свойствами – противоопухолевым и иммуномодулирующим действием.

Бета-глюканы используют для лечения и профилактики многих заболеваний с целью коррекции неустойчивости иммунной системы, что подтверждено многими исследованиями [5–9].

При достаточно значительном количестве на потребительском рынке функциональных продуктов, содержащих пробиотические культуры, среди них весьма незначительный объем занимают продукты с повышенной биологической ценностью и лечебно-профилактической направленностью. Для разработки состава таких продуктов в настоящей работе были использованы такие наполнители, как экстракт ягод аронии и бета-глюкан, экстрагированный из плодовых тел вешенки обыкновенной.

Из литературных источников известно, что ценность ягод аронии заключается в высоком содержании в них флавоноидов (фолацин и ниацин), а также минеральных веществ. Флавоноиды обладают антиоксидантными свойствами, и кроме того, играют дополнительную роль красящих веществ, придавая привлекательный вид кисломолочным продуктам. Следовательно, добавление экстрактов аронии в творожную пасту позволяет повысить ее функциональность, придать ей целевое назначение.

Что касается бета-глюканов, содержащихся в вешенке, то многочисленными исследованиями в разных странах доказаны их лечебные свойства – противоопухолевое, иммуномодулирующее, профилактическое при метаболическом синдроме и диабете II типа. Наряду с этим бета-глюканы имеют ряд ценных технологических свойств, а именно: являются натуральными стабилизаторами, увеличивая влагоудерживающую способность сгустков, легко вносятся в продукт, создают мягкую текстуру кисломолочных напитков. В связи с этим включение в состав рецептуры бета-глюканов позволяет получить лечебно-профилактические кисломолочные продукты с высокими потребительскими свойствами.

Таким образом, **целью работы** явилась разработка технологии и рецептуры функциональных кисломолочных продуктов с фитоэкстрактами из аронии и вешенки обыкновенной.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. обосновать выбор культур молочнокислых бактерий (МКБ) для приготовления функциональных кисломолочных продуктов с фитоэкстрактами;
2. исследовать условия экстрагирования БАВ из аронии;
3. определить дозу внесения экстракта аронии в творожную пасту;
4. установить влияние экстракта вешенки на ферментативную активность молочнокислых бактерий разных видов;
5. исследовать структурно-механические свойства кисломолочного продукта (КМП) с экстрактом вешенки;
6. исследовать физико-химические и микробиологические показатели готовых КМП и определить допустимые сроки их хранения.

При проведении исследований были применены стандартные общепринятые в исследовательской практике методы для определения органолептических, физико-химических, структурно-механических показателей.

Общая структурная схема проведения исследований приведена на рисунке.

Теоретический этап исследования

↓

Анализ научно-технической и патентной литературы и формулировки цели и задачи исследования

↓

Выбор объектов исследований

↓

Экспериментальная часть работы

↓

Наименование этапов	Изучаемые факторы	Методы исследования
Подбор комбинации лактобактерий для приготовления кисломолочного продукта	Влияние вида лактобактерий на данные кислото-накопления органического свойства и физико-химического, микробиологические показатели	Органолептические, физико-химические (кислотность), микроскопическая картина
Определение дозы фитоэкстрактов, вносимой в кисломолочные продукты	Влияние дозы фитоэкстракта вешенки на лактобактерии	Органолептические, кислотность, оптическая плотность, pH, СВ
Разработка рецептуры продукта	Влияние компонентов кисломолочного продукта на показатели качества продукта	Органолептические, физико-химические, химические свойства
Исследование изменения качества продукта в процессе хранения	Влияние продолжительности хранения на показатели качества продукта	Органолептические, микробиологические, физико-химические показатели (кислотность, pH)
Выводы		

Рисунок. Общая схема проведения исследований

Молочно-белковую пасту получали путем сычужно-кислотного свертывания молока с использованием закваски прямого внесения LYOBAC MCL 24 (производство Италия), в состав которой входят мезофильные культуры *Lactococcus lactis subsp. lactis, Lactococcus lactis subsp. diacetylactis, Lactococcus lactis subsp. cremoris, Leuconostoc dextranicum* и бактериальный концентрат *Lactobacillus casei subsp. casei.* Сыворотку отделяли от сгустка самопрессованием до содержания влаги в пасте 79±3%. В подготовленную пасту вносили 5–7% экстракта аронии, за счет чего влажность продукта увеличивалась до 84–85%.

Для приготовления экстракта использовали свежие и замороженные ягоды аронии черноплодной урожаев 2014 и 2015 гг. Ягоды растирали в ступке, и полученную мякоть экстрагировали творожной сывороткой с титруемой кислотностью (75±5)°Т. Гидромодуль составлял 1:1, 1:2, 1:5 и 1:10. Исследования показали, что наилучшие технологические показатели имел экстракт с гидромодулем 1:2. Несмотря на то, что в экстракте с гидромодулем 1:1 содержание экстрактивных веществ было выше, чем с гидромодулем 1:2, его фильтрование происходило очень

медленно. Экстракты с гидромодулем 1:5 и 1:10 имели недостаточное количество экстрактивных веществ.

Показано, что высокое содержание экстрактивных веществ аронии получено при гидромодулях с молочной сывороткой 1:1 и 1:2, и последний выбран для дальнейших исследований.

В процессе хранения образцов творожной пасты с внесением экстракта аронии происходило постепенное нарастание кислотности и снижение количества МКБ. Показано, что в контрольном образце после 9 суток хранения появились дрожжи и плесени, тогда как в образце с экстрактом аронии они отсутствовали и после 15 суток. Установлено, что срок хранения разработанного КМП не должен превышать 10 суток.

За счет внесения экстракта аронии готовый продукт имел приятный светло-розовый цвет, нежную пастообразную консистенцию, приятный кисломолочный вкус с оттенком, свойственным черноплодной рябине.

Для приготовления КМП с фитоэкстрактом вешенки были использованы культуры термофильных МКБ – *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus, Lactobacillis acidophilus* и мезофильных – LYOBAC MCL 24.

Исследование кислотообразующей активности МКБ разных видов показало, что в присутствии бета-глюкана титруемая кислотность нарастала в большей степени у *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus* (на 15% по сравнению с контролем), и в меньшей степени у мезофильных лактококков и *Lactobacillis acidophilus* (на 9% по сравнению с контролем).

Показано, что внесение 0,5% бета-глюкана в молоко, ферментируемое *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus, Lactobacillis acidophilus* и мезофильными лактококками улучшало структурно-механические свойства готовых КМП, в частности, вязкость увеличивалось на 20, 46 и 26% соответственно, а влагоудерживающая способность (ВУС) – в среднем на 20% для всех МКБ.

Выводы

1. Обоснован выбор культур молочнокислых бактерий для приготовления функциональных КМП с фитоэкстрактами. Для приготовления творожной пасты с экстрактом аронии выбраны закваска прямого внесения (LYOBAC MCL 24) и закваска пробиотической культуры *Lactobacillus casei subsp. casei.* Для приготовления КМП с фитоэкстрактом вешенки были использованы культуры термофильных МКБ – *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus, Lactobacillis acidophilus* и мезофильных – LYOBAC MCL 24.
2. Показано, что высокое содержание экстрактивных веществ аронии получено при гидромодулях с молочной сывороткой 1:1 и 1:2, и последний выбран для дальнейших исследований.
3. На основании органолептических показателей подобрана доза внесения экстракта аронии в творожную пасту в количестве 5%.
4. Установлено, что внесение в молоко экстракта вешенки (бета-глюкана) в количестве 0,5% повышало кислотообразующую активность МКБ, причем для разных видов в разной степени: в большей – для термофильных видов *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus* и *Lactobacillis acidophilus* и в меньшей – для мезофильных лактококков.
5. Показано, что внесение 0,5% бета-глюкана в молоко, ферментируемое *Streptococcus salivarius subsp. thermophlus, Lactobacillis acidophilus* и мезофильными лактококками улучшало структурно-механические свойства готовых КМП, в частности, вязкость увеличивалось на 20, 46 и 26% соответственно, а ВУС – в среднем на 20% для всех МКБ.

6. В процессе хранения образцов творожной пасты с внесением экстракта аронии происходило постепенное нарастание кислотности и снижение количества МКБ. Показано, что в контрольном образце после 9 суток хранения появились дрожжи и плесени, тогда как в образце с экстрактом аронии они отсутствовали и после 15 суток. Установлено, что срок хранения разработанного КМП не должен превышать 10 суток.

Литература

1. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. Т.3. Пробиотики и функциональное питание. – М.: ГРАНТЪ, 2001. – 288 с.
2. Большая иллюстрированная энциклопедия. Лекарственные растения. – СПб.: СЗКЭО, 2014. – 224 с.
3. Oszmanski J., Sapis J.C. Anthocyanins in fruits of Aronia melanocarpa (Chokeberry) // J. Food Sci. – 1988. – V. 53. – № 4. – P. 1241–1242.
4. Химический состав пищевых продуктов / Под ред. И.М. Скурихина. – М.: Пищевая пром-сть, 1979. – 247 с.
5. Лукьянченко В.Д., Мищенко В.М., Бабенко М.Н. Бета-глюканы как основа создания средств иммуномодулирующего действия // Украінский медичный часопис. – 2011. – № 5. – С. 92–93.
6. Brown G.D., Gordon S. Immune recognition. A now receptor for beta-glucans // Nature. –2001. – V. 413. – P. 36–37.
7. Brown G.D., Taylor P.R., Reid D.M. et al. Dectin-1 is a major beta-glucan receptor on macrophages // J. Exper. Med. – 2002. – V. 196. – № 3. – P. 407–412.
8. Mizuno T. Shiitake, Lentinus edodes: functional properties for medicinal and food purposes // Food Reviews International. – 1995. – V. 11. – № 1– P. 111–128.
9. Novac M. Beta-glucans, history, and the present: immunomodulatory aspects and mechanisms of action // J. of immunotoxicology. – 2008. – V. 5. – P. 47–57.

Захарченко Анна Васильевна
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра информационно-навигационных систем,
группа № Р4230
Направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигации
e-mail: anna_vzahar@mail.ru

УДК 531.383-1:537.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АВТОКОМПЕНСАЦИОННОГО ВРАЩЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОЧНОСТИ БЕСКАРДАННОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА

А.В. Захарченко
Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.И. Емельянцев

В настоящее время разрабатывается прибор для наземного применения с бескарданными электростатическими гироскопами (БЭСГ) в полярной ориентации, задача родилась из практических приложений. Для обеспечения требуемой точности было предложено использовать один из методов повышения точности – автокомпенсационное вращение. Исследование проводилось через параметры видимого движения.

В работе требовалось рассмотреть влияние автокомпенсационного вращения корпуса полярного гироскопа вокруг вектора кинетического момента на характеристики точности гироскопа. Для этого необходимо исследовать влияние скорости и режимов автокомпенсационного вращения на характеристики гироскопа. Провести сравнение характеристик гироскопа на неподвижном основании и при автокомпенсационном вращении корпуса. Провести теоретическое исследование и экспериментальное подтверждение полученных результатов.

Точность гироскопа определяет величина дрейфа, зависящая от уровня уводящих моментов, а также величина разности между реальным движением гироскопа и смоделированным. Для полярного БЭСГ – определяется преимущественно моментами от осевого дисбаланса и нечетных гармоник формы ротора.

В ходе решения была использована известная модель дрейфа гироскопа для земных условий [1]. Были составлены уравнения движения вектора кинетического момента полярного гироскопа при автокомпенсационном вращении, и получены аналитические решения:

$$\begin{cases} \gamma_1(t) = (\gamma_1(0)\cos\omega t + \gamma_2(0)\sin\omega t) + 2\dfrac{k_1 V\cos\varphi}{\omega_p}\sin\left(\dfrac{\omega_p}{2}t\right)\cos\left(\omega_{вр}+\dfrac{\omega_p}{2}\right)t + \\ + \dfrac{U+\omega_{вр}}{\omega}[\alpha_1\sin\omega t + \alpha_2(1-\cos\omega t)], \\ \gamma_2(t) = (\gamma_2(0)\cos\omega t - \gamma_1(0)\sin\omega t) - 2\dfrac{k_1 V\cos\varphi}{\omega_p}\sin\left(\dfrac{\omega_p}{2}t\right)\sin\left(\omega_{вр}+\dfrac{\omega_p}{2}\right)t + \\ + \dfrac{U+\omega_{вр}}{\omega}[\alpha_1(\cos\omega t - 1) + \alpha_2\sin\omega t], \\ \gamma_3(t) \approx 1. \end{cases} \qquad (1)$$

В выражении (1) V – относительные управляющие напряжения на электродах подвеса (отношение управляющих напряжений к опорному V_0); при этом $\gamma_i (i=1,2,3)$ – направляющие косинусы вектора кинетического момента в корпусных осях; $k_i (i=\overline{0,4})$ – коэффициенты, обусловленные моментами, связывающими геометрические параметры несферичного и несбалансированного ротора с полем подвеса, в частности, k_1 зависит от осевого дисбаланса и всех последующих нечетных гармоник формы ротора; α_i – углы рассогласования измерительных осей гироскопа с корпусными осями; φ – широта места; U – угловая скорость вращения Земли; $\omega_{вр}$ – угловая скорость модуляционного вращения; скорость ω_p видимого прецессионного движения ротора при модуляционном вращении корпуса $\omega_p = \sqrt{\omega_{p1}\omega_{p2}}$, здесь при принятых допущениях $\omega_{p1} = \omega_{p2} = \omega_p$, $\omega_1 = \omega_2 = \omega = \omega_p + \omega_{вр}$.

Из параметров видимого движения можно определить углы рассогласования осей как положения равновесия, коэффициент модели ухода (КМУ) $k_1 V$ из максимальной амплитуды, он определяет систематическую составляющую дрейфа гироскопа.

Из периода прецессионного движения можем оценить КМУ k_0:

$$\omega_p = U + k_0 - (k_1 + k_3)V\sin\varphi + (k_2 + k_4)V^2\sin^2\varphi - k_2 V^2 0{,}5\cos^2\varphi .$$

Как правило, все КМУ связаны с уводящими моментами от взаимодействия четных гармоник формы ротора с полем подвеса одного порядка. В выражении (2) для частоты прецессионного движения КМУ k_0, k_2 и k_4 входят с разным весом. КМУ k_1 и k_3 коэффициенты, зависящие от дисбаланса и нечетных гармоник формы ротора, они значительно меньше четны, так как к осевому дисбалансу предъявляются высокие требования. Таким образом, оцениваем k_0.

На неподвижном основании имеет место одна частота – частота прецессионного движения. И углы рассогласования измерительных и корпусных осей и КМУ k_1 проявляются на частоте прецессионного движения, их невозможно различить. При автокомпенсационном вращении имеет место две частоты, углы рассогласования осей проявляются на частоте автокомпенсационного вращения, а КМУ k_1 на частоте прецессионного движения. Во втором случае, центр годографа вектора кинетического момента расположен в плоскости меридиана, чего не было без автокомпенсационного вращения, что говорит об уменьшении ошибки по курсу. Принимая во внимание, сказанное раннее, видно, что наблюдаемость КМУ улучшается при автокомпенсационном вращении.

В обоих случаях дрейф гироскопа содержит постоянные и колебательные составляющие с периодом прецессионного движения. Отличаются они функционалом при коэффициенте k_2, и в первом приближении это отличие незначительно (с учетом характерных для гироскопов БЭСГ значений КМУ не превосходит 10%) [2]. Следует отметить, что КМУ k_0 не связан с изменением напряжений подвеса при автокомпенсационном вращении в отличие от k_2 и k_4, следовательно, не обнуляется. При автокомпенсационном вращении происходит компенсация этой составляющей дрейфа. Коэффициент k_0 определяет период прецессионного движения, а так как автокомпенсационное вращение не оказывает влияния на k_0, период не изменяется. Коэффициенты от нечетных гармоник при автокомпенсационном вращении не обнуляются. Таким образом, автокомпенсационное вращение не оказывает существенного влияния на величину систематической составляющей дрефа. Однако в практических приложениях за счет улучшения наблюдаемости КМУ можно добиться повышения точности. Наблюдаемость коэффициентов улучшается, появляется возможность определить их с более высокой точностью, в процессе алгоритмической компенсации точность системы увеличивается.

Известно, что у позиционных гироскопов скорость автокомпенсационного вращения должна быть значительно больше скорости прецессионного движения гироскопа [3]. На данный момент обычной скоростью автокомпенсационного вращения для БЭСГ считается 0,5 об/мин, это достаточно большая скорость.

Были проведены испытания с использованием разных скоростей автокомпенсационного вращения, с целью выбора оптимальной скорости. На рисунке показаны направляющие косинусы в осях экваториальной системы координат при разных скоростях автокомпенсационного вращения, указаны периоды автокомпенсационного вращения.

Из рисунка видно, что амплитуда высокочастотных колебаний зависит от скорости автокомпенсационного вращения: чем меньше скорость, тем больше амплитуда. При этом при высоких скоростях автокомпенсационного вращения средний диаметр годографа не изменяется, поскольку зависит от КМУ, обусловленных действием на гироскоп уводящих моментов. С изменением скорости автокомпенсационного вращения координаты равновесного положения изменяются на сотые доли угловых минут.

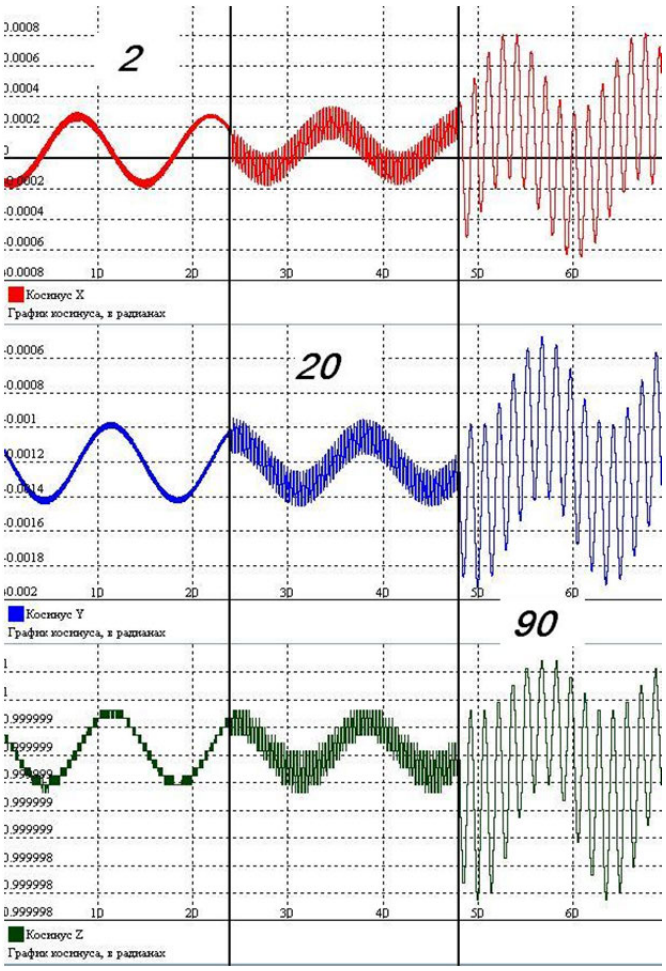


Рисунок. Направляющие косинусы в корпусных осях при разных скоростях автокомпенсационного вращения

На данный момент для БЭСГ выбрана скорость 10800 °/ч. Аналитические исследования показывают, что чем больше частота, тем меньше значение амплитуд высокочастотных составляющих движения гироскопа. Однако выбор оптимальной скорости автокомпенсационного вращения зависит от практического приложения гироскопа, поскольку в этом случае за счет решения уравнения прогноза (дифференциального) обеспечивается алгоритмическая компенсация систематической составляющей дрейфа. Шаг решения уравнений прогноза определяется частотой опроса спецвычислителя измерительного канала.

Известно [4], что в некоторых инерциальных навигационных системах используется реверсивное автокомпенсационное вращение. Были проведены исследования для БЭСГ реверсивного вращения, и сравнение его с непрерывным.

Анализ полученных результатов показал, что закон вращения влияет на характер высокочастотного (с частотой автокомпенсационного вращения) движения и практически не влияет на параметры прецессионного движения. Реверсивное вращение не оказывает существенного влияния на характеристики точности гироскопа по сравнению с непрерывным автокомпенсационным вращением.

Получены аналитические решения уравнений движения ротора БЭСГ с полярной ориентацией при отсутствии и при наличии автокомпенсационного вращения его корпуса. Автокомпенсационное вращение корпуса БЭСГ обеспечивает:

– наблюдаемость погрешностей ориентации измерительных осей гироскопа на фоне его дрейфа, обусловленного, в частности, осевым дисбалансом ротора, что

приводит к существенному повышению точности калибровки коэффициентов модели погрешностей гироскопа;
- минимизацию моментов от четных гармоник формы ротора, а также возмущений, не учитываемых в принятой расчетной модели дрейфов ЭСГ;
- «обнуление» моментов диссипативной природы.

Проведено исследование влияния скорости автокомпенсационного вращения корпуса БЭСГ, и выбрана наилучшая скорость, соответствующая частоте опроса 8 Гц.

Литература

1 Буравлев А.П., Ландау Б.Е., Левин С.Л., Романенко С.Г. Модель бескарданного электростатического гироскопа и идентификация ее параметров // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем: процессы, модели, эксперимент. – 2002.
2 Емельянцев Г.И., Ландау Б.Е., Левин С.Л., Романенко С.Г., Медведков А.А. Об эффективности модуляционного вращения корпуса бескарданного электростатического гироскопа в полярной ориентации // Гироскопия и навигация. – 2015. – № 4(91). – С. 91–105.
3 Вайсгант И.Б. Выбор скорости принудительного вращения платформы инерциальной системы // Гироскопия и навигация. – 1999. – № 4(27). – С. 116–120.
4 Биндер Я.И., Лысенко А.С., Падерина Т.В., Розенцвейн В.Г. Автокомпенсация дрейфов ДУС непрерывного гироинклинометра с использованием дискретных модуляционных разворотов // Сб. XIX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – 2012. – С. 8–15.

Кардаш Алексей Викторович
Год рождения: 1990
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра прикладной и компьютерной оптики, группа № В4202
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: chaos_emperor@mail.ru

УДК 681.7-1/-9

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ ОБОРАЧИВАЮЩЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖЕСТКОГО ЭНДОСКОПА

А.В. Кардаш
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Бахолдин

Оборачивающая система эндоскопа переносит по тонкой трубке изображение, сформированное объективом вблизи его заднего фокуса, в переднюю фокальную плоскость окуляра, расположенного на проксимальном конце прибора. Обычно оборачивающие системы имеют небольшое число оборачивающих элементов или имеют большое число компонентов с асферическими поверхностями, но для удовлетворения поставленному техническому заданию, оборачивающая система должна иметь много оборачиваний и быть простой конструктивно и технологически. При этом от стекла оборачивающей системы зависит колориметрическое подобие наблюдаемого объекта и изображения.

Требовалось разработать оборачивающую систему, которую можно собирать в наборы для приборов с тремя различными длинами рабочей части: 175, 300 и 500 мм. При этом во всех наборах она должна иметь нечетное количество оборачивающих компонентов, для формирования неперевернутого изображения после объектива перед окуляром эндоскопа, и состоять из материалов, имеющих равномерное пропускание в видимой области спектра. Первоначально были проанализированы материалы из каталога Лыткаринского завода оптического стекла (ЛЗОС), имеющиеся на складе у заказчика – производственной фирмы (ПФ) Линза. Из всех флинтов доступным оказался только Ф1, поэтому был создан макрос для программы ZEMAX для отбора допустимых марок стекол из каталогов Schott и Ohara, поскольку каждый из этих каталогов имеет более 300 марок стекол. Для выбора стекол применялись следующие параметры: длины волн от 380 нм до 760 нм, толщина проверяемого материала 25 мм, минимальное доступное пропускание 85%. Был произведен анализ патентов оборачивающих систем для жестких эндоскопов и рассмотрены наиболее часто применяемые схемы. Были выбраны две принципиальные схемы, удовлетворяющие требованиям технологичности и простоты, и имеющие наименьшую остаточную сферическую аберрацию, которая фактически ограничивает максимальное допустимое количество оборачиваний в оборачивающей системе [1]. Они представлены на рисунке.

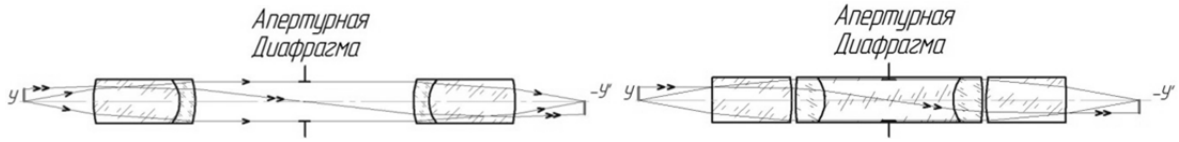


Рисунок. Принципиальные схемы одного компонента оборачивающей системы

Схема должна быть симметрична относительно апертурной диафрагмы для компенсации следующих аберраций: комы, дисторсии и хроматизма увеличения [2].

Был произведен габаритный расчет одного компонента оборачивающей системы под характеристики применяемых на фирме объектива и окуляра используя инвариант Лагранжа–Гельмгольца [3].

$$n \times y \times A = n' \times y' \times A' .$$

Окуляр имеет большую числовую апертуру, что могло в дальнейшем позволить разработать светосильный объектив. Разработаны схемы компоновки оборачивающих систем, позволяющие получать наборы с требуемой длиной рабочей части, но для того потребовалось два типовых компонента с разными длинами. Из всех рассмотренных выбиралась компоновка, которая наиболее проста при сборке и позволяет унифицировать крепление трубки эндоскопа к корпусу. Результаты представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Компоновка оборачивающей системы для характеристик окуляра

Длина рабочей части эндоскопа, мм	175	300	528
Количество элементов с длиной L_1=31,25 мм	2	6	6
Количество элементов с длиной L_2=38 мм	3	3	9
Длина крепежной части трубки, мм	14,5		

Таблица 2. Компоновка оборачивающей системы для характеристик объектива

Длина рабочей части эндоскопа, мм	175	300	500
Количество элементов с длиной L_1=62,5 мм	3	5	5
Количество элементов с длиной L_2=50 мм	0	0	4

Компоновка систем, рассчитанных под характеристики объектива, имела значительно меньше компонентов в каждом наборе, что ведет к большему светопропусканию и меньшим остаточным аберрациям. Оборачивающая система для окуляра требует большее количество компонентов, поскольку фокусное расстояние половины компонента обратно пропорционально числовой апертуре и прямо пропорционально расстоянию между предметом и изображением оборачивающего компонента. Иными словами, с увеличением апертуры максимальная длина одного компонента уменьшается, и необходимо больше оборачивающих компонентов для достижения требуемых длин рабочей части.

Качество составленных систем на основе обеих выбранных схем, рассчитанных под характеристики окуляра, было очень низким во всех трех наборах. Это вызвано как большим количеством компонентов, так и большой апертурой каждого компонента. Было решено перейти к оборачивающим системам, рассчитанным под характеристики объектива. Собранные системы имели требуемое качество только в наборе 175 мм, поэтому было проведено исследование возможностей усложнения схем для улучшения качества.

Первоначально исследовалась более простая схема из двух стержневидных склеек. В качестве модификаций в нее добавлялись либо две одиночные линзы в каждый компонент, либо афокальный компенсатор только в один из компонентов. Компенсатор рассчитывался таким образом, чтобы длина компонента осталась неизменной. Качество систем улучшилось, и было достаточно для наборов с длиной 175 мм и 300 мм, но не 500 мм. На следующем этапе исследовались модификации схемы из двух стержневидных линз и тройной склейки. Одиночные линзы были заменены на склейки, и были добавлены еще две одиночные линзы. Только в такой сложной схеме удалось достичь требуемого качества во всех трех наборах.

Было проведено исследование достижимого качества изображения в полученной системе и в системе с одним афокальным компенсатором при замене материалов на стекла из каталога Schott и Ohara. Изменение остаточного хроматизма положения приведено в табл. 3 и 4.

Таблица 3. Остаточный хроматизм положения в системе с афокальным компенсатором

Используемый каталог		ЛЗОС	Ohara	Schott
Хроматизм положения, мм	T_1=175 мм	0,070	0,060	0,029
	T_2=300 мм	0,085	0,170	0,046
	T_3=500 мм	0,120	0,239	0,086
Количество различных марок стекол в схеме		6	7	10

Таблица 4. Остаточный хроматизм положения в системе на основе компонента с двумя склейками, двумя линзами и тройной склейкой

Используемый каталог		ЛЗОС	Ohara	Schott
Хроматизм положения, мм	T_1=175 мм	0,014	0,014	0,101
	T_2=300 мм	0,023	0,024	0,168
	T_3=500 мм	0,026	0,045	0,045
Количество различных марок стекол в схеме		6	6	5

Значительного улучшения разрешающей способности достигнуто не было, но в отдельных случаях сильно расширялась номенклатура используемых материалов. В первом случае наименьший хроматизм положения получен в системе из материалов Schott. Во втором случае наилучшей оказалась система из отечественных материалов.

Именно эта схема была принята за конечное решение, и был произведен ее пересчет на радиусы пробных стекол, имеющихся на ПФ Линза, и округление толщин с точностью до 0,05 мм. Благодаря поэтапному процессу округления толщин с учетом их влияния на характеристики качества, разрешающая способность конечной системы почти не снизилась, по сравнению с ее вариантом до пересчета. Была произведена оценка влияния отклонения от номинальных параметров на качество изображения во всех наборах и составлена таблица допусков на конструктивные параметры.

В результате работы был создан макрос, позволяющий быстро проверять стекла в любых каталогах по критерию пропускания. Была разработана унифицированная линзовая оборачивающая система для жесткого эндоскопа, которую можно собирать в наборы для приборов с длиной рабочей части 175, 300 и 500 мм. Было достигнуто требуемое качество изображения в разработанной системе во всех наборах. Были исследованы возможности усложнения простых принципиальных схем оборачивающего компонента и замены используемых стекол для получения более высокого качества изображения.

Литература

1. Хацевич Т.Н., Михайлов И.О. Эндоскопы: учеб. пособие. – 2-е изд., доп. и расш. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 260 с.
2. Грамматин А.П., Романова Г.Э., Балаценко О.Н. Расчет и автоматизация проектирования оптических систем. Учебное пособие. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 128 с.
3. Чуриловский В.Н. Теория оптических приборов. – М.: Машиностроение, 1966. – 565 с.

Карпова Татьяна Валерьевна
Год рождения: 1993
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, группа № Р4202
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: ttnkarpova@gmail.com

УДК 004.272.43

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИМУЛЯТОРА ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

Т.В. Карпова
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.О. Ключев

Встраиваемые системы проникают во все сферы жизни человека и формируют наш мир. Д. Паттерсон и Дж. Хеннесси относят к таким системам все вычислительные системы, не являющиеся персональными компьютерами или серверами, предназначенными для обработки информации, потребляемой человеком [1]. Разработка встраиваемых вычислительных систем характеризуется высокой сложностью, их проектирование часто требует междисциплинарного подхода. Специфика встраиваемых вычислительных систем заставляет разработчиков активно совершенствовать методы и средства их проектирования.

Одним из подходов является модельно-ориентированное проектирование (model-driven, model-based design) [2]. Его суть заключается в разработке через создание и анализ моделей системы. В данной работе речь шла об исполняемых моделях, т.е. о симуляции. Симуляция – это процесс, при котором имитируются внешние проявления системы. Внутреннее устройство симулируемой модели при этом представляется «черным ящиком» и может быть совершенно не похоже на реальное устройство.

Симуляторы применяются во многих областях науки и техники. В рассматриваемой в работе области встраиваемых систем применяются симуляторы компьютерных архитектур.

Их роль заключается в предоставлении разработчику возможности исследования проектных альтернатив, раннего обнаружения ошибок проектирования, написания соответствующего аппаратуре программного обеспечения, в том числе с параллельной разработкой аппаратной части, оценки характеристик и качественно-функциональных свойств разработок.

С ростом потребности во взаимодействии со все более сложными объектами контроля и управления встраиваемые вычислительные системы организуются в виде кластеров, сетей, многопроцессорных комплексов. Исходя из этого, вопросы организации работы систем, состоящих из ста, тысячи ядер на одном кристалле, вопросы построения многопроцессорных встраиваемых систем и развитие симуляторов для проектирования и тех и других важны и актуальны.

Целью работы являлась разработка симулятора многопроцессорной системы, и его исследование. Предполагается использовать данный симулятор в учебном процессе, поэтому в качестве вычислительного узла выбран учебный лабораторный стенд SDK1.1: он не один год используется и знаком студентам, сопровождается множеством различных документов, методических пособий.

Для достижения поставленной цели необходимо было проанализировать существующие симуляторы, разработать архитектуру, реализовать ее и провести серию экспериментов.

При анализе особое внимание было уделено проектам SimpleScalar, SimOS, PARSEC, как имеющим наибольшее число ссылок на статьи, и проектам Grafite, ZSim, PartitionSim, как появившимся относительно недавно, и содержащим оригинальный подход к симуляции многопроцессорных архитектур. Обнаружено, что большинство симуляторов являются абсолютно непараллельными, и существуют большие сложности в моделировании многопроцессорных архитектур, параллельных и распределенных вычислений, связанные с тем, что такие системы симулируются непозволительно долго с замедлением до ста тысяч раз.

Стенд SDK1.1 является сложным объектом. Сложность поставленной задачи разработки его симулятора порождает сложность создаваемого программного продукта. Для борьбы со сложностью были использованы методы объектно-ориентированного программирования [3]. На основе структуры аппаратной части стенда была проведена объектная декомпозиция системы и получена диаграмма классов (рис. 1).

Классом, объединяющим все остальные классы, является класс Main, непосредственно осуществляющий симуляцию, построенную на основе интерпретации, т.е. исполнения загруженной в память программы команда за командой. Продвижение времени происходит дискретно при наступлении событий.

В качестве инструмента разработки выбран язык Python, так как он является динамически типизируемым, гибок и способствует быстрой разработке.

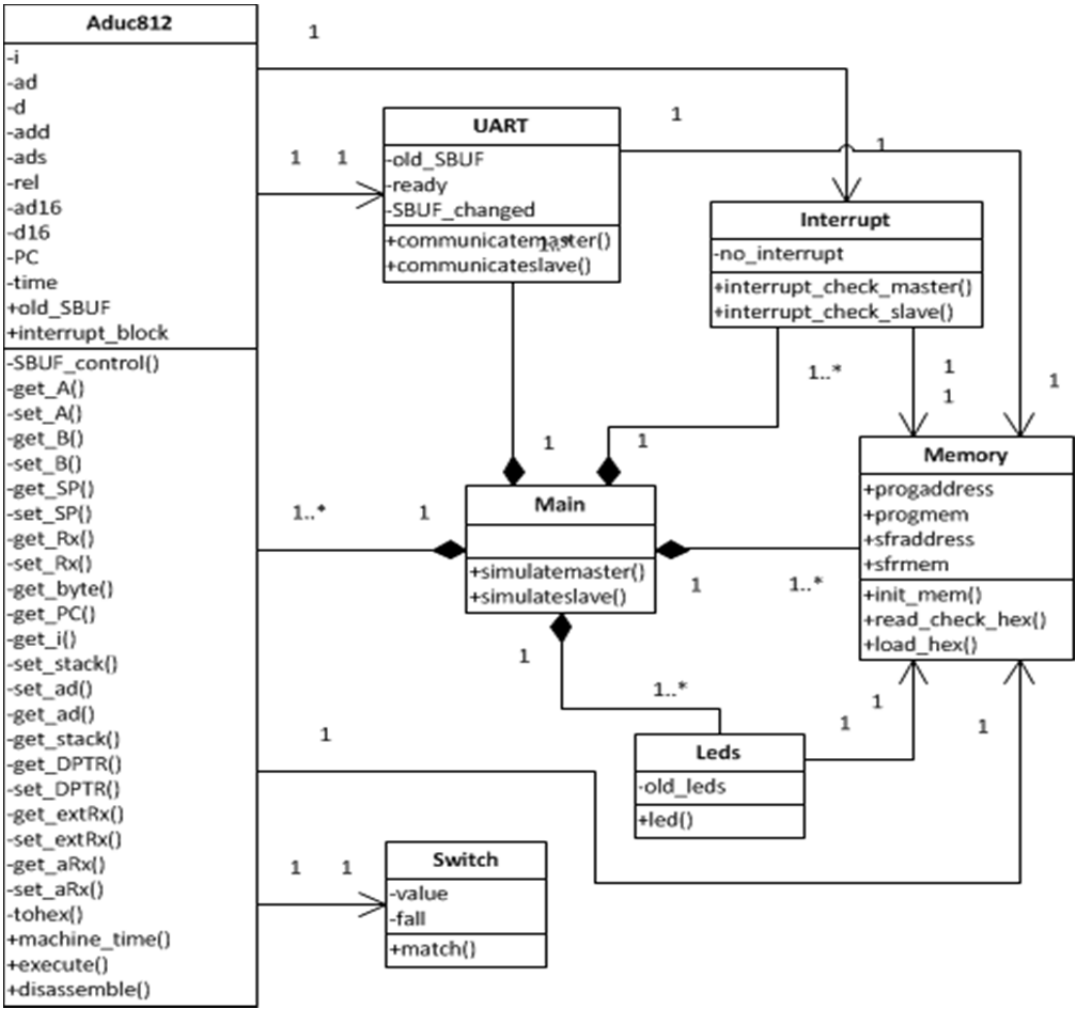


Рис. 1. Диаграмма классов разработанного симулятора

Будет реализована параллельная симуляция работы нескольких SDK1.1, объединенных в сеть с топологией общая шина. Основной трудностью в контексте решаемой задачи становится глобальная блокировка интерпретатора Python (GIL). Из-за нее в многопоточных программах в один момент времени может исполняться только один поток.

Для преодоления этой трудности использовалась библиотека для работы с процессами multiprocessing, на симуляцию работы каждого стенда выделен отдельный процесс, исполняемый своим интерпретатором.

Для организации взаимодействия между процессами использована очередь (queue). Фактически их в симуляторе две. В первую данные отправляет стенд, выполняющий функции мастера (master), а читают ее все остальные стенды (slave). Вторую очередь мастер проверяет на предмет получения ответа.

При симуляции сети из n стендов будет запущено n+1 процессов: родительский процесс и n дочерних. Работу дочерних процессов потребуется синхронизировать во времени. Существует множество различных подходов к синхронизации: оптимистических, консервативных алгоритмов. В работе будет использоваться lax или слабая синхронизация, идея которой предложена разработчиками симулятора Grafite [4]. В дополнение к этому организован глобальный синхронизационный барьер в настраиваемое число циклов, при достижении которого все процессы приостанавливают свою работу и ждут друг друга. Глобальный барьер увеличивает точность слабой синхронизации.

Сеть стендов планируется использовать для организации параллельных вычислений. В качестве вычислительной задачи для экспериментов выбрана типичная задача из области научных вычислений – вычисление произведения двух матриц. Это задача является хорошо распараллеливаемой, так как содержит большое число независимых операций.

В первом эксперименте вычислялось произведение двух квадратных матриц с помощью одного стенда. Размер матриц варьировался. Время симуляции измерялось с помощью Unix-утилиты time. Это случайная величина, поэтому был написан скрипт для повторения эксперимента 100 раз. Среднее значение и доверительный интервал рассчитывались в Excel.

С увеличением размера квадратной матрицы растет количество вычисляемых элементов и соответственно число выполненных симулятором команд и симуляционное время. Время симуляции также растет, однако его рост нестабилен, доверительные интервалы для данной величины также разнятся на порядок. Программа исполняется симулятором в среднем в тысячу раз медленнее. При этом, чем больше вычислительная задача, тем меньше замедление.

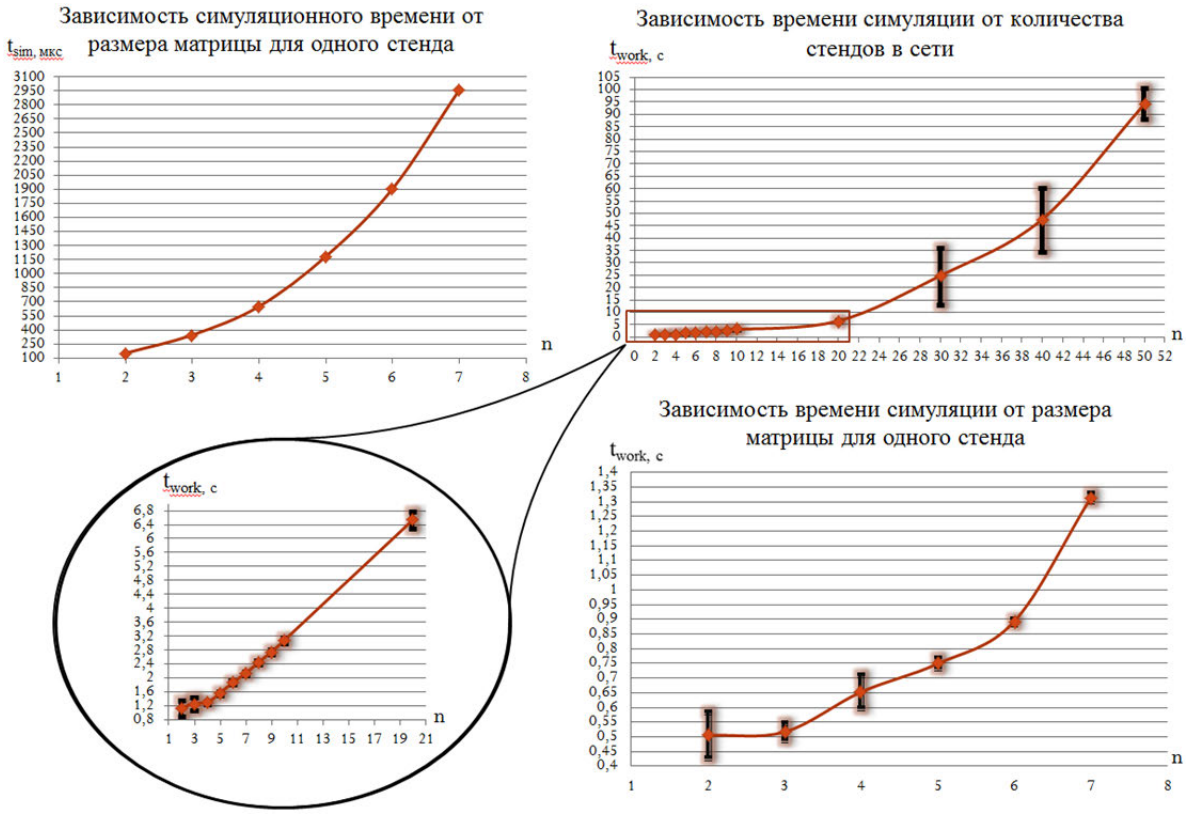


Рис. 2. Результаты экспериментов в графическом виде

Во втором эксперименте варьировалось число стендов в сети, вычислительная задача у каждого была одинаковая, стенды не взаимодействовали друг с другом. В результате на графике (рис. 2) снова виден рост времени симуляции. С учетом доверительных интервалов полученные значения частично пересекаются. Таким образом, описанные эксперименты выявили особенности поведения симулятора в среде операционной системы и показали, что симулятор заканчивает свою работу в разное случайное время.

Для тестирования всех функций разработанного симулятора использовались демонстрационные программы для стенда SDK1.1 на сайте embedded.ifmo.ru, а также

собственные программы, написанные во время прохождения соответствующего курса лабораторных работ.

Таким образом, в работе показана и обоснована со ссылками на преимущественно англоязычные источники важность и актуальность развития средств программного моделирования компьютерных архитектур, их роль и значимость. Предложена классификация симуляторов, и расставлены акценты между различными классами.

Показано, что параллельные и распределенные вычисления связаны с повышенной сложностью, являются предметом активных исследований и затрагивают область симуляции вычислительных систем в части организации симуляционных вычислений и как объект симуляции.

Реализован симулятор учебного лабораторного стенда SDK1.1 в оговоренном в техническом задании объеме моделирования. Показано, что он соответствует предъявляемым к нему требованиям по функциональности и производительности и может быть использован в учебном процессе, исполняет программы с тысячекратным замедлением. Работа с данным симулятором могла бы стать отличным дополнением к уже существующему курсу заданий для студентов, расширяющим образовательные возможности этого курса в части предоставления возможности исследования студентами вопросов организации многопроцессорных систем.

Однако автор столкнулась с проблемами в преодолении глобальной блокировки интерпретатора (GIL) в Python, связанными с некорректной работой примитива синхронизации барьер (barrier) из используемой библиотеки multiprocessing. Та же функциональность была реализована другим способом с помощью событий (event) в настоящий момент только для двух стендов.

Дальнейшее развитие проекта может осуществляться в сторону окончательного преодоления описанной выше проблемы, расширения набора доступных в симуляторе моделей периферийных устройств, добавления возможности симуляции сетей с различными топологиями, организации распределенной симуляции на объединенных в сеть компьютерах [5].

Литература

1. Hennessy J.L., Patterson D.A. Computer architecture: a quantitative approach. – 5th edition. – Morgan Kaufmann, 2012. – 856 p.
2. Lee E.A. Model-driven development-from object-oriented design to actor-oriented design [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ptolemy.eecs.berkeley.edu/publications/papers/03/MontereyWorkshopLee/MontereyWorkshopLee.pdf, своб.
3. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование. – М.: БИНОМ, СПб: Невский диалект, 1998. – 560 с.
4. Beckmann N. et al. Graphite: A Distributed Parallel Simulator for Multicores [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://people.csail.mit.edu/beckmann/publications/papers/2010.hpca.graphite.pdf, своб.
5. Платунов А.Е. Теоретические и методологические основы высокоуровневого проектирования встраиваемых вычислительных систем : дисс. ... докт. техн. наук : 05.13.12. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 477 с.

Клюквин Кирилл Александрович
Год рождения: 1990
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: klukvins@mail.ru

УДК 536.5

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЛИДАРА

К.А. Клюквин
Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

В настоящей работе с тепловой точки зрения рассмотрен прибор для гидрологических исследований – лидар. Лидар – оптико-электронное устройство, предназначенное для светового зондирования прозрачной, либо полупрозрачной среды [1]. Выявлена необходимость постоянного контроля теплового режима рассматриваемого прибора даже в рабочем диапазоне температур окружающей среды, поскольку температурное состояние основных элементов лидара существенно влияет на:

– качество оптического изображения;
– пропускные характеристики фильтрующих и поляризующих оптических элементов устройства;
– энергетические характеристики лазерного излучения.

При этом внешние тепловые воздействия могут быть достаточно существенными: изменение температуры окружающей воды может достигать от единиц до десятков градусов Цельсия. В конструкцию рассматриваемого устройства с целью контроля температуры заложен датчик – терморезистор. Однако корпус прибора достаточно массивен (полная его теплоемкость $C \approx 18000$ Дж/К) и обладает невысокой теплопроводностью ($\lambda = 14,7$ Вт/(м·К)), поэтому датчик, установленный на глубине 3 мм от границы с внешней средой, при резких воздействиях в необходимой мере «почувствует» температурную волну лишь через критично большой промежуток времени. При этом в прибор в настоящее время не заложено каких-либо алгоритмов учета описанной погрешности и определения истинных значений температуры.

В связи со всеми вышеописанными обстоятельствами и проведена настоящая работа, имевшая основной целью предложить метод получения истинных распределений температуры по толщине фланца корпуса прибора, контактирующего с внешней средой, в каждый момент времени, а также показать целесообразность применения выбранного метода.

Основные требования, предъявляемые к алгоритму получения распределения температуры по толщине фланца корпуса устройства:

– программная реализуемость;
– возможность получения оптимальных несмещенных оценок распределений температуры в реальном масштабе времени по мере получения данных от измерительного преобразователя температуры;
– возможность устранения, смягчения, или учета ошибки, возникающей вследствие высокой инерционности и низкой теплопроводности корпуса прибора;
– возможность при необходимости учета в модели контактных тепловых сопротивлений, нелинейностей, вызванных лучистым теплообменом, и других

усложняющих обстоятельств.

Последнее требование исключает возможность использования в работе аналитических методов решения задач теплопереноса.

Вообще, предъявляемым требованиям удовлетворяют, например, алгоритмы параметрической идентификации дифференциально-разностных математических моделей теплопереноса. Такие алгоритмы позволяют полностью идентифицировать процесс теплопереноса в системе тел при наличии в ней хотя бы одного измерительного преобразователя температуры или теплового потока [2, 3].

Суть параметрической идентификации процесса теплопереноса, протекающего во времени и описываемого функцией $\hat{T}\left(q(\tau)\right)$, состоит в следующем. Если функция $q(\tau)$ может быть с достаточной точностью аппроксимирована следующим конечным рядом:

$$q(\tau)=\sum_{j=1}^{r} q_j \varphi_j(\tau), \qquad (1)$$

где q_j – неизвестные параметры; $\varphi_j(\tau)$ – заранее задаваемые (базисные) функции, то задача параметрической идентификации состоит в отыскании такого набора параметров $\left\{q_j\right\}_1^r$, при котором невязка:

$$J(q)=\int_0^{\tau}\left(\hat{T}\left(\hat{q}(q,\tau),d,\tau\right)-T^*(\tau)\right)^2 d\tau \qquad (2)$$

достигнет минимального значения.

В выражении (2): $\hat{T}\left(\hat{q}(\tau),d,\tau\right)$ – значение функции $\hat{T}\left(q(\tau)\right)$, рассчитанное по аппроксимированной выражением (1) функции $q(\tau)$ в точке рассматриваемого тела d в момент времени τ; $T^*(\tau)$ – значение, полученное экспериментальным путем в точке d в момент времени τ.

В качестве алгоритма минимизации невязки (2) выбран алгоритм расширенного фильтра Калмана (ФК). Он состоит в том, что по некоторой априорно задаваемой информации об условиях теплообмена вычисляется значение вектора состояния объекта $\hat{\mathbf{R}}_k$, содержащего распределение температур по толщине рассматриваемого тела в k-й момент времени, а также значения уточняемых внешних плотностей тепловых потоков на левой и правой границах текущего участка аппроксимации функции $q(\tau)$. Далее вычисляется разница между измеренным в k-й момент времени значением температуры и рассчитанным ее значением в точке измерения, после чего расчетное значение вектора $\hat{\mathbf{R}}_k$ уточняется на эту разницу, взятую с соответствующим весом [2, 3].

В выбранном алгоритме все величины являются одномерными (векторы), либо двухмерными (матрицы) массивами, а время дискретно. Это позволяет выбранному алгоритму удовлетворять требованию программной реализуемости.

Что касается остальных требований, то при использовании выбранного алгоритма расчета они также выполняются. Возможность получения оптимальных несмещенных оценок распределений температуры в реальном масштабе времени по мере получения данных от измерителя реализуется следующим путем. Шкала времени разбивается на N участков аппроксимации, каждый из которых содержит l измерений температуры, причем длина участка зависит от частоты получения данных с измерителя, требуемой частоты получения новых оценок искомой функции, а также от скорости изменения функции. И значение вектора $\hat{\mathbf{R}}_k$ рассчитывается на каждом

участке. Учет ошибки, возникающей вследствие высокой инерционности и низкой теплопроводности корпуса рассматриваемого прибора происходит благодаря тому, что по l измерениям на каждом из участков аппроксимации функции $q(\tau)$ определяется близкое к истинному распределение температуры по толщине объекта (фланца корпуса, контактирующего с внешней средой), что позволяет оценить разницу между температурой чувствительного элемента измерителя и температурой объекта. А идентифицируемая по выбранной методике дифференциально-разностная математическая модель позволяет вносить члены, учитывающие нелинейности теплопереноса и контактные тепловые сопротивления [2, 3].

В период проведения испытаний прибора на стойкость к воздействию климатических факторов снимались показания приборного датчика температуры при следующих известных внешних воздействиях:

– граничные условия теплообмена фланца корпуса с внутренним пространством прибора – II рода, Q=0,5 Вт;
– граничные условия теплообмена фланца корпуса с внешней средой – III рода: коэффициент теплоотдачи $\alpha = 30$ Вт/(м$^2 \cdot$К), температура окружающей среды: $\begin{cases} t_{\text{ср}}(\tau) = -20^\circ\text{C}, & \tau \in [0;8000) \\ t_{\text{ср}}(\tau) = 30^\circ\text{C}, & \tau \in [8000;11401] \end{cases}$.

Показания термодатчика приведены на графике, изображенном на рис. 1.

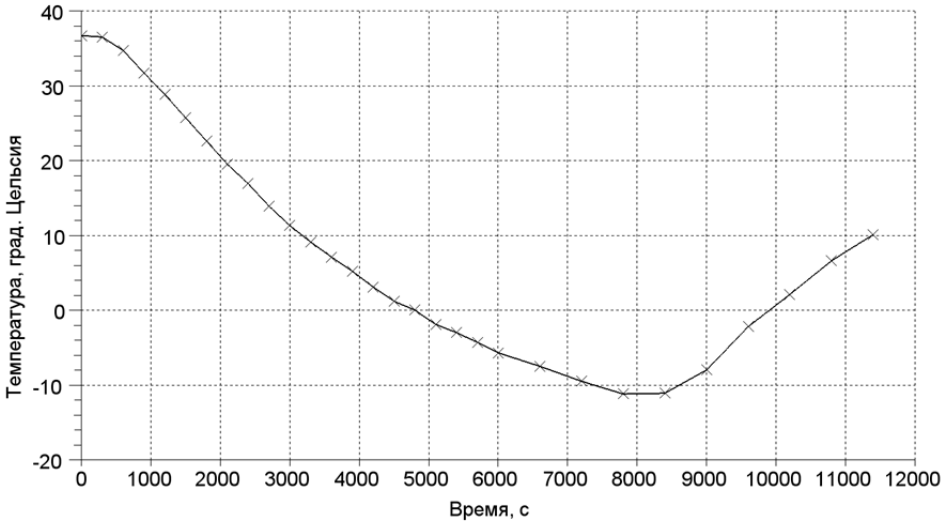


Рис. 1. Показания приборного датчика температуры

С использованием данных, полученных при испытаниях, в программе Heat Identification, реализующей алгоритм расширенного фильтра Калмана, проведен вычислительный эксперимент по определению температурного поля фланца корпуса прибора. Результат расчета для крайних блоков разбиения модели фланца, соответствующий температурам его наружной и внутренней поверхностей, приведен на рис. 2 (Т1 – температура наружной поверхности фланца, Т36 – температура внутренней его поверхности), из которого видно, что при данных тепловых условиях перепад температуры по толщине фланца корпуса прибора составляет приблизительно $(0,5...1,5)^\circ$C в зависимости от скорости изменения температуры окружающей среды (т.е. от величины воздействующего теплового потока).

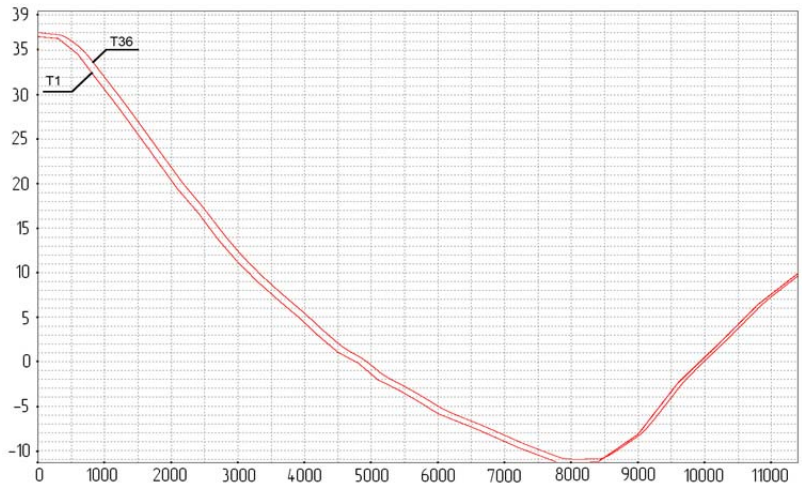


Рис. 2. Результат восстановления температур поверхностей объекта

Поскольку чувствительный элемент измерителя температуры расположен на расстоянии 3 мм от наружной поверхности, разница между показаниями датчика и температурой наружной поверхности при данных условиях оценивается в $(0{,}1-0{,}6)°C$, а разница между показаниями датчика и температурой внутренней поверхности – в $(0{,}4-0{,}9)°C$. Таким образом, при необходимости измерения нестационарных температур граничных поверхностей фланца с точностью хотя бы до десятых долей градуса Цельсия считается целесообразным применять метод параметрической идентификации дифференциально-разностной математической модели теплопереноса с использованием алгоритма расширенного фильтра Калмана с целью определения истинных температур.

Итак, для достижения цели настоящей работы были решены следующие задачи:

- рассмотрены принципы работы лидара, основные конструктивные особенности, а также тепловые условия его функционирования;
- на основе анализа влияния температуры на функциональные характеристики прибора выявлена необходимость контроля теплового режима работы лидара;
- предложен метод получения нестационарных распределений температуры по толщине наружного фланца корпуса исследуемого прибора, позволяющий осуществлять необходимый контроль с приемлемой точностью;
- проведены натурные измерения температуры корпуса прибора штатным датчиком при известных внешних условиях в климатической камере;
- в компьютерной программе, реализующей выбранный алгоритм расчета, проведен ряд вычислительных экспериментов по определению нестационарных температурных полей фланца. На основании полученных результатов сделан вывод о необходимости и целесообразности применения выбранного метода определения нестационарных распределений температуры фланца при решении рассмотренной задачи, или подобных ей.

Литература

1. Зуев В.Е., Зуев В.В. Современные проблемы атмосферной оптики. Монография. Том 8. Дистанционное оптическое зондирование атмосферы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 232 с.
2. Пилипенко Н.В. Методы и приборы нестационарной теплометрии на основе решения обратных задач теплопроводности, – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 180 с.
3. Симбирский Д.Ф. Температурная диагностика двигателей. – Киев: Техника, 1976. – 208 с.

Клюшин Александр Николаевич
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и лазерной техники, группа № В4216
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: look91@bk.ru

УДК 544.032.65

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ В РЕЖИМЕ СДВОЕННЫХ ИМПУЛЬСОВ

А.Н. Клюшин
Научный руководитель – к.т.н., ассистент А.А. Самохвалов

Работа посвящена исследованию эффективности обработки двухимпульсным лазерным излучением (импульсный волоконный иттербиевый лазер, длина волны 1064 нм) керамических образцов (Cr_2O_3) и выявлению ее преимуществ для последующего применения в практике лазерной гравировки (гравирования) керамических поверхностей. Представляется перспективным дополнительное изучение параметров кратеров, образующихся при абляции, с точки зрения различных значений энергии и задержек между импульсами.
Ключевые слова: лазерная гравировка, лазерная абляция, режим сдвоенных импульсов, моноимпульсный режим, кратер, плазма.

Со времени начала применения лазеров для различных видов обработки и, в частности, для гравировки (гравирования) проведено большое количество исследований по улучшению качества и эффективности обработки. Объектами исследования становились такие параметры как длительность импульса, длина волны, энергия в импульсе, импульсная частота, окружающий газ, положение фокуса, плазменные эффекты и т.д. [1]. Целью создания или нанесения гравировки является нанесение такого контура или рисунка, который будет с одной стороны четким и легко различимым, а с другой стороны – долговечным и устойчивым к воздействию окружающей среды [2]. Основные преимущества использования лазерного излучения по сравнению с другими видами воздействия достаточно очевидны. К ним относится высокая скорость обработки, высокая концентрация энергии при сравнительно низком тепловом воздействии, гибкость и воспроизводимость операций, возможность проведения операций на открытом воздухе, доступность мониторинга и т.д. По сравнению с ранее применявшимися методами (механический, химический и т.д.) лазерная обработка (абляция) для углубленной гравировки обладает всеми преимуществами при достижении указанных целей. На практике данная технология в большей степени применялась для обработки металлов, что обусловило и наличие большого количества исследований, касающихся взаимодействия различных режимов лазерного излучения и металлов. Взаимодействие лазерного излучения с металлами и неметаллическими материалами, например, керамикой, носит принципиально разный характер, что обусловливает актуальность исследования возможностей лазерной обработки керамики в различных режимах. Побочные эффекты (разбрызгивание, недостаточная ровность кратеров и т.д.) и недостатки (возможное образование микротрещин, недостаточная глубина кратера, недостаточно эффективный вынос массы вещества) технологий обработки, применяемых в настоящее время (преимущественно моноимпульсный режим) служит основанием для поиска новых,

более эффективных методик для означенных конкретных целей и технологических задач. В связи с этим представляется целесообразным изучение возможностей двухимпульсного лазерного излучения для гравировки (гравирования) керамических материалов и сравнение его с моноимпульсной обработкой. Абляция сдвоенными импульсами привлекла особое внимание ввиду результатов, представленных во многих статьях на эту тему. В частности, одна из первых работ по сверлению сдвоенными импульсами была опубликована исследователями в 2005 году, тогда авторы показали значительное улучшение качества отверстия, получаемого сдвоенными импульсами твердотельного лазера. В этой же работе были приведены результаты, говорящие об увеличении производительности обработки многих материалов при использовании сдвоенных импульсов. Несмотря на распространенность подобных результатов в литературе, результатов использования волоконных лазеров в этой сфере не встречается. Это, как и то, что волоконные лазеры обладают преимуществом в силу таких характеристик, как высокий ресурс службы, высокое качество пучка и относительно низкая стоимость, послужило основанием для исследования генерации волоконного лазера в режиме сдвоенных импульсов.

Несмотря на большое разнообразие лазеров, можно выделить два основных типа лазерных граверов, используемых в производственных процессах: газовые – для гравировки неметаллов (акрил, пластик, дерево, стекло, кожа, ДСП и пр.); твердотельные и волоконные – для гравировки металлов и неметаллов (в зависимости от материала подбирается необходимый тип лазера). Основными преимуществами применения лазера в рассматриваемой достаточно узкой сфере гравирования (гравировки) по сравнению с более традиционными методами являются следующие [3]:

- широкая номенклатура маркируемых материалов;
- высокая точность наносимых изображений;
- возможность гравировки сверхпрочных материалов;
- бесконтактность;
- возможность гравировки в труднодоступных местах;
- гибкость и адаптивность процесса.

Получение углубленного рельефа на какой-либо поверхности, т.е. лазерная абляция материала, является на сегодняшний день актуальным вопросом для исследователей. **Целью работы** было исследование влияния режима сдвоенных наносекундных импульсов на процесс гравировки.

Были поставлены следующие задачи: создание лабораторной установки на основе импульсного иттербиевого лазера (ИЛИ-1-50), позволяющей осуществлять гравировку в режиме сдвоенных импульсов; выполнение гравировки в режиме одиночных и сдвоенных импульсов при различной продолжительности импульсов и задержек между ними; сравнение параметров кратеров, полученных в режиме одиночных импульсов, с параметрами кратеров, полученных при использовании сдвоенных импульсов; описание механизма, предположительно лежащего в основе абляции сдвоенным импульсом.

В основе установки использован волоконный импульсный иттербиевый лазер, реализованный по схеме Master Oscillator Power Amplifier, состоящий из непрерывных диодов накачки, акустооптического модулятора (АОМ), волоконного усилителя и изолятора Фарадея (рис. 1).

Важным моментом для исследования лазерной абляции керамических структур является то, что теплофизические характеристики обработки сильно зависят от размеров зерен и состава обрабатываемого материала. В связи с этим большое

значение приобретает исследование взаимодействия между лазерным лучом и керамикой. Оно имеет иной характер, нежели в случае с металлами. Для керамики порог абляции выше (фактор 2–10) и более четко определен.

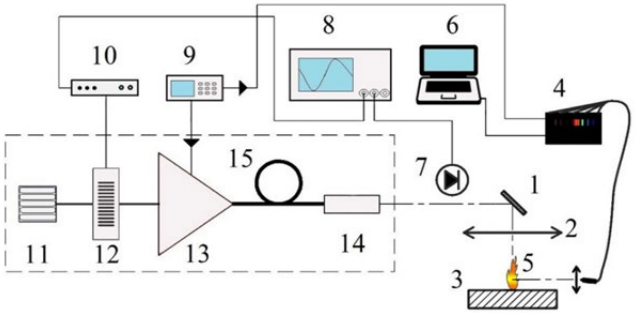


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – направляющее зеркало; 2 – фокусирующий объектив; 3 – образец; 4 – спектрометр (Ocean Optics LIBS2500); 5 – плазменный факел; 6 – компьютер; 7 – PIN-фотодиод; 8 – осциллограф (Tektronix TDS3054C); 9 – генератор импульсов; 10 – ВЧ-драйвер для АОМ; 11 – лазерные диоды; 12 – АОМ; 13 – волоконно-оптический усилитель; 14 – оптический изолятор Фарадея и расширитель пучка; 15 – оптическое волокно

Керамические материалы в силу своих свойств более склонны к образованию трещин вследствие теплового напряжения. Микротрещины возникают при достаточно длинных импульсах, поскольку при явном преимуществе в виде высокой эффективности удаления материала длинные импульсы приводят к образованию стекловидного слоя, который как раз и является источником микротрещин.

При воздействии лазерного излучения импульсов наносекундной длительности отмечается окисление обрабатываемого материала. Такое воздействие является результатом высокотемпературного воздействия лазерного излучения. Рассеивание теплоты в среду, окружающую мишень, также способствует окислению материала за пределами непосредственно кратера и, возможно, особому составу и характеру образования валика расплава [4].

Для преодоления указанных выше трудностей в работе предложен метод воздействия несколькими импульсами, следующими друг за другом с некоторой частотой, что может позволить производить глубокие отверстия с меньшим диаметром и более высоким соотношением глубины и диаметра, и более высокой точностью обработки. Кроме того, при кратком импульсном воздействии стекловидный слой не образуется, а второй импульс в паре усиливает воздействие и приводит к образованию глубокого отверстия с высокой эффективностью.

Энергия первого импульса вызывает образование плазмы, при этом следующий через короткое время второй импульс нагревает ее, способствуя быстрому испарению и удалению материала. Воздействие носит направленный характер, уменьшая повреждение материала вокруг цели и увеличивая точность производства отверстий.

Предположено, что описываемый механизм воздействия (обработка сдвоенными импульсами) должен дать в результате более точную прицельную обработку, более глубокие и ровные кратеры и более высокое соотношение глубины и диаметра.

В соответствии с выдвинутой гипотезой о перспективности применения методики сдвоенных импульсов был проведен эксперимент, который позволил сопоставить результаты применения одиночных и сдвоенных лазерных импульсов в различных режимах.

С помощью генератора сигналов специальной формы AWG-4105 и драйвера АОМ 10 осуществлялся контроль над временным профилем импульса (рис. 1). Спектрометр 4 с разрешающей способностью 0,1 нм, спектральный диапазон 400–

890 нм использовался для изучения плазмы. PIN-фотодиод 7 – давал временной профиль излучения на осциллографе.

В экспериментальном исследовании использовалась авторская оригинальная разработка – ВЧ-драйвер. Генерируя сигналы специальной формы, устройство позволяет управлять АОМ и тем самым генерировать как одиночные, так и сдвоенные лазерные импульсы с различной длительностью и задержкой между ними. Генератором контролировалось количество импульсов, попадающих на образец, будь то одиночные или сдвоенные.

Для изучения абляции покрытия использовались различные режимы лазера (τ_1=100 нс, τ_2=100 нс, задержка 400 нс; τ_1=200 нс, τ_2=100 нс, задержка 400 нс; τ_1=200 нс, τ_2=100 нс, задержка 600 нс; τ_1=200 нс, τ_2=200 нс, задержка 400 нс; режим одиночных импульсов 200 нс). При этом средняя мощность (около 27 Вт) оставалась постоянной, менялась только временная форма импульсов.

Абляция сдвоенными импульсами проводилась в воздухе при комнатной температуре. Полученные кратеры оценивались с помощью оптической микроскопии (Carl Zeiss Axio Imager A1.m), атомно-силовой микроскопии (Nanoeducator, NT-MDT), и посредством регистрации спектров плазмы неселективным спектрометром (Ocean Optics LIBS2500-5).

Первоначально производилась визуальная оценка полученных кратеров. Для каждого кратера было сделано по два снимка, с фокусировкой на дне и на поверхности образца, при 50-кратном увеличении. В целом было получено 10 снимков, визуальное сравнение характеристик которых позволяет сделать следующие заключения: во-первых, диаметр кратера больше при использовании режима сдвоенных импульсов, во-вторых, в том же режиме дно более пологое, отсутствуют «пики», характерные для режима одиночных импульсов. В целом, исходя из геометрии всех кратеров, полученных при воздействии сдвоенных импульсов в различных режимах, можно сделать вывод об увеличенном объеме вынесенного (испаренного) материала из кратеров по сравнению с режимом генерации одиночных импульсов.

После сканирования поверхности программное обеспечение выдало объем данных, позволяющий построить сечение кратеров. Поскольку ввиду особенностей процесса сканирования микронеровности кратеров привели к возникновению сильных высокочастотных шумов, было принято решение осуществить аппроксимацию полученных результатов. Для этого использовалось программное обеспечение Ориджин Лаб (высота оценивалась по центру кратера).

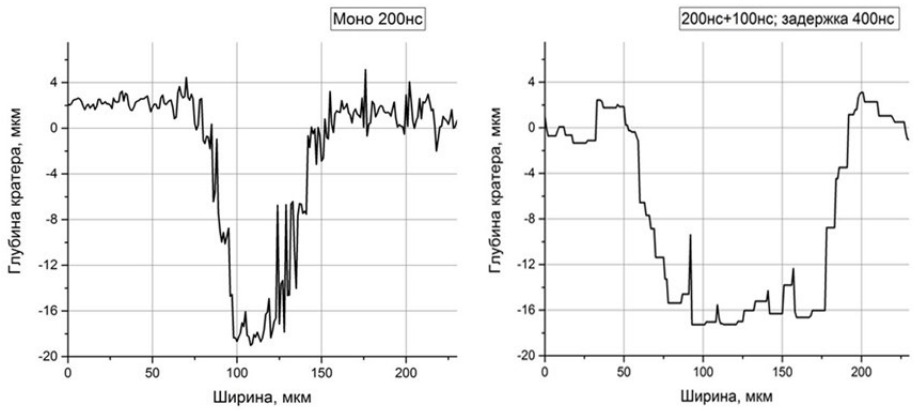


Рис. 2. Сравнение сечений кратеров, полученных при различных режимах

Из приведенных на рис. 2 сечений видно, что форма кратера, полученная в режиме сдвоенных импульсов, имеет более правильную п-образную форму, с более

гладкой поверхностью и значительно меньшим количеством частиц осаждаемого материала. При использовании режима одиночных импульсов, вероятно, имел место механизм гидродинамического выноса вещества, причиной которого могло стать образование плазмы, которая и стала источником тепла.

Далее было произведено вычисление и сравнение параметров кратеров. Для проверки гипотезы об увеличенном объеме абляции были проведены измерения кратеров при помощи автоматизированного интерферометра Линника. Данный прибор позволяет осуществлять послойное сканирование кратеров, в нашем случае шаг составлял 64 нм.

Таблица. Сравнение объема материала, удаленного из кратера при лазерной абляции в различных режимах

τ_1=200 нс, τ_2=100 нс, задержка 400 нс	$15{,}673 \cdot 10^9$ мкм^3
τ_1=100 нс, τ_2=100 нс, задержка 400 нс	$4{,}874 \cdot 10^9$ мкм^3
τ_1=200 нс, τ_2=100 нс, задержка 600 нс	$7{,}088 \cdot 10^9$ мкм^3
τ_1=200 нс, τ_2=200 нс, задержка 400 нс	$5{,}833 \cdot 10^9$ мкм^3
Режим одиночных импульсов 200 нс	$2{,}423 \cdot 10^9$ мкм^3

В таблице приведены значения объемов удаленного материала (покрытия Cr_2O_3) в зависимости от режима генерации лазера. Данные свидетельствуют о том, что при использовании режима сдвоенных импульсов объем вынесенного материала как минимум в два раза больше, чем при использовании моноимпульсного режима. Также важно отметить, что в одном из режимов получено почти семикратное увеличение объема.

Для исследования механизма, который объяснил бы полученный результат, были проведены измерения времени жизни плазмы при помощи фотоэлектронного умножителя. Как и предполагалось, интенсивность свечения факела в режиме одиночных импульсов намного выше, чем в случае сдвоенных, что объясняется отсутствием распределения энергии по нескольким импульсам.

В режиме 200 нс+100 нс и задержке между импульсами в 400 нс второй импульс «догревает» плазму, оставшуюся после первого, делая ее объемным источником тепла, что и приводит к увеличению объема вынесенного материала и к увеличению диаметра кратера. В случае же длинной задержки больше энергии уходит на плавление материала, и второй импульс попадает уже в расплав.

Эксперименты по лазерно-искровой эмиссионной спектрометрии (ЛИЭС) и запись эмиссионных спектров образцов с керамическим напылением при различных режимах генерации лазера подтвердили предположения, выдвинутые при визуальной оценке образцов на микроскопе. В результате эксперимента обнаружен эффект увеличения выноса массы вещества при обработке материала в режиме сдвоенных импульсов, что, несомненно, является важным результатом, так как удаление материала является важнейшей характеристикой процесса лазерной абляции.

Исходя из результатов, полученных в ходе эксперимента, можно предположить, что:

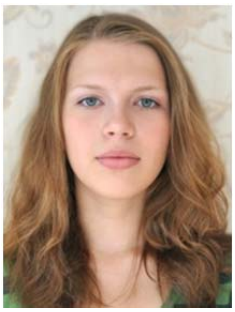
– первый лазерный импульс приводит к пробою в парах мишени вблизи поверхности;
– в зависимости от длительности импульсов и задержки между ними время жизни и термодинамические свойства плазмы сильно меняются;
– второй импульс поглощается либо плазмой, либо остывающей после первого импульса поверхностью, от чего и зависит геометрия формируемого кратера.

Таким образом, экспериментальное исследование, проведенное при помощи специально разработанного драйвера для АОМ волоконного лазера, показало

существенное увеличение выноса массы при абляции Cr_2O_3 в режиме сдвоенных импульсов по сравнению с режимом одиночных импульсов для волоконного лазера. Также было показано, что, управляя структурой импульса, можно менять геометрию кратеров. Материалы исследования, а также его общие выводы свидетельствуют о большей эффективности использования предлагаемого метода – гравировки керамических материалов при помощи двухимпульсного лазерного излучения – по сравнению с моноимпульсным излучением той же длительности. Данный метод генерации сдвоенных импульсов может быть использован для технологии лазерной гравировки керамических покрытий и других тугоплавких материалов. Весьма целесообразно продолжить данную работу в плане углубления полученных результатов. Предполагается, что в дальнейшем потребуется дополнительное изучение параметров кратеров, образующихся при абляции, с точки зрения различных значений энергии и задержек между парами импульсов.

Литература

1. Wang X.D., Yuan X., Wang S.L., et al. Efficient Laser Drilling with Double-Pulse Laser Processing // Advanced Design and Manufacture to Gain a Competitive Edge. – 2008. – P. 759–766.
2. Making Sense of Industrial Engraving Applicatons [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://a-e-mag.com/features/making-sense-industrial-engraving-applicatons, своб.
3. Samant A.N. et al. Laser machining of structural ceramics – A review // Journal of the European Ceramic Society. – 2009. – V. 29. – P. 969–993.
4. Maisterrena-Epstein R., Camacho-López S. Nanosecond laser ablation of bulk Al, Bronze, and Cu: ablation rate saturation and laser induced oxidation // Superficies y Vacío. – 2007. – V. 20(3). – P. 1–5.



Королькова Галина Владимировна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра высшая школа светового дизайна, группа № В4280
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: galinakorol.93@gmail.com

УДК 628.974.8

ИЗУЧЕНИЕ ВОСПРИЯТИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ ФОРМЫ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ СВЕТЕ

Г.В. Королькова
Научный руководитель – Н.В. Быстрянцева

Основной проблемой светового дизайна городской среды в настоящее время можно назвать отсутствие взаимодействия работы архитектора и светотехника, т.е. при создании освещения не учитывается тип тектонической системы объекта. Для сохранения тектоники сооружения при искусственном освещении необходимо исследовать его параметры, которые представлены нормируемыми характеристиками – яркостью и яркостными контрастами. Существующие нормы регламентируют

количественные показатели и, частично, качественную составляющую освещения без учета концептуальной части световой среды, из-за чего возможна дисгармония общего облика города, и, вследствие этого, создание зрительного дискомфорта для человека. В данной работе изложены результаты статистического исследования по оценке качества освещения систем стеновой конструкции при различном распределении яркости на поверхности. Методика эксперимента разработана на основе проведенных ранее исследований взаимодействия света и ордерной архитектуры А.Г. Батовой. Проведен анализ восприятия тектоники стеновых конструкций в зависимости от формы поверхности, размера светового пятна, направления светового потока и вертикального яркостного градиента. Проверена гипотеза о максимальной тектоничности сооружения при естественном освещении при помощи компьютерного моделирования искусственного освещения с аналогичными показателями светлоты поверхности.

Для определения максимально тектоничного образа системы стеновой конструкции было проведено статистическое исследование на основе разработанного ряда изображений с тремя видами поверхностей: прямолинейной, криволинейной и двумя прямолинейными поверхностями, расположенными под углом друг к другу. Сравнение проводилось по трем параметрам: вертикальный градиент освещения, направление светового потока (снизу, сверху и фронтально), и горизонтальный градиент освещения (размер светового пятна). Значения освещенности для вертикального градиента выбирались, исходя из действующего Свода правил (СП), регламентирующего искусственное освещение. В нем указаны значения соотношений минимальной к максимальной освещенности в пределах освещаемой зоны при неравномерном заливающем освещении, которые должны лежать в границах от 1:10 до 1:30 [1]. Выбранные значения градиента: 1:7 (меньше указанной области), 1:20 (принадлежит указанной области) и 1:70 (больше указанной области). Также исследовалось визуальное искажение пространства на примере двух плоскостей, расположенных под углом друг к другу. Для этого использовались большие яркостные контрасты (из-за особенностей строения глаза «контраст между деталью и фоном считается большим при » [2]) между двумя плоскостями, т.е. , и , и малый яркостной контраст, близкий к нулю.

Для проведения статистического исследования был проведен опрос, в котором приняли участие 24 человека в возрасте от 18 до 47 лет, профессий, не связанных со световым дизайном и архитектурой. Работа с графическим материалом проводилась методом парного сравнения по модели шкалирования Терстоуна, разработанного для определения объективизированных характеристик восприятия на основе субъективных оценок. Данный метод позволяет осуществлять субъективное шкалирование характеристик стимула, не имеющих однозначной физической интерпретации. Суть метода заключается в следующем: исследователь подбирает ряд объектов-стимулов (в данном случае стимул – одно предъявляемое изображение, ряд – набор стимулов, объединенных логической последовательностью в зависимости от проверяемой гипотезы), испытуемым предлагается сравнить каждый ряд по заданным характеристикам, при этом стимулы предъявляются парами, и требуется выбрать наиболее подходящий к представленному утверждению вариант. Ряд сравнения определялся в соответствии с формой поверхности и типом освещения. Эксперимент ведется до тех пор, пока все стимулы не будут сравнены между собой. Сравнение производилось по трем параметрам, ключевым для понятия тектоники стеновых конструкций: «прочность», «монолитность» и «устойчивость», максимально тектоничным считался объект с наибольшими показателями по всем параметрам; само понятие «тектоника» в тексте не фигурировало.

На основании метода парных сравнений по полученным в ходе опроса результатам определяются частоты предпочтений одного стимула другому, из которых формируется исходная матрица ответов. В дальнейшем происходит переход к матрице вероятностей предпочтения одного стимула другому путем деления элемента каждой ячейки на число участвующих в эксперименте, затем осуществляется перевод в значения стандартного отклонения нормальной кривой и заносится в матрицу оценок. Полученный результат дает значение стимула на шкале интервалов, по которой возможно сделать вывод о том, на сколько единиц каждый стимул сильнее/слабее остальных.

Первый ряд стимулов призван установить допустимые градации яркости по высоте сооружения для сохранения тектоничного образа конструкции, второй ряд стимулов – направление светового потока, третий – наличие/отсутствие яркостных контрастов. Каждый ряд создавался для трех типов архитектурных форм, т.е. в общей сложности сравнение проводилось для 9 групп.

Для первого элемента архитектуры в виде двух прямолинейных плоскостей, расположенных под углом друг к другу предполагалось, что более тектоничным будет восприниматься: направление света сверху вниз, средний градиент яркости по высоте и отсутствие яркостных градаций по горизонтали. Согласно результатам матрицы оценок составлена шкала интервалов, приведенная на рисунке. Отсюда можно сделать вывод, что гипотеза подтвердилась частично. Более устойчивым признана наименьшая градация яркости по вертикали (стимул А), направление светового потока сверху вниз (стимул А), монолитной и прочной – средняя контрастность по вертикали (стимул Б), фронтальное направление света (стимул В). Гипотеза про отсутствие контрастности по горизонтали подтвердилась. Отсюда, более тектоничными в своих рядах признаны: фронтальное направление светового потока, средняя градация яркости по вертикали (1:20), также установленная в СП, и отсутствие световых пятен по горизонтали.

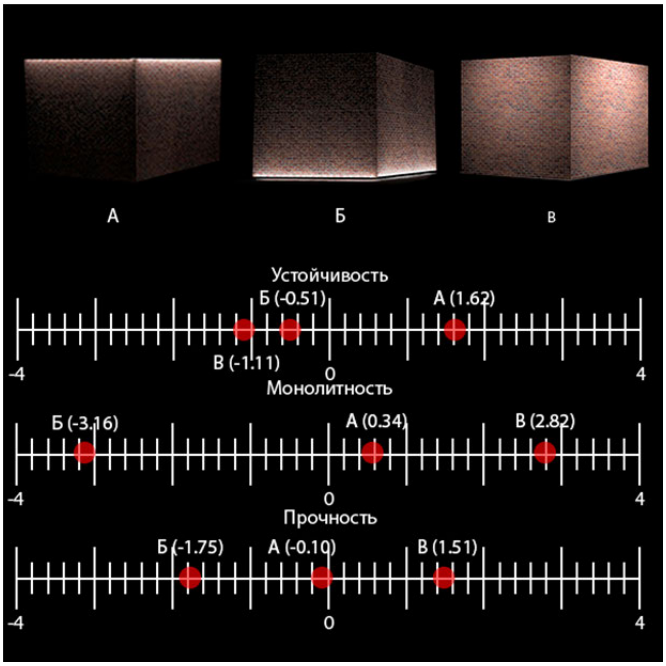


Рисунок. Шкала интервалов для направления светового потока на двух прямолинейных плоскостях, расположенных под углом друг к другу

Однако по шкале «нравится – не нравится» большинство испытуемых отдают предпочтение максимальной градации яркости по вертикали и направлению света

сверху. Причиной несовпадения визуального впечатления о максимально тектоничной системе и субъективной оценки может служить различие в настройках экранов компьютеров, на которых проводилось тестирование.

Аналогичные исследования проводились для криволинейной и прямолинейной поверхностей. Для криволинейной поверхности предполагалось, что наиболее тектоничным будет восприниматься: направление света снизу вверх; средний градиент яркости по высоте; отсутствие яркостных градаций по горизонтали. Согласно результатам опроса наиболее тектоничным для криволинейных поверхностей является: фронтальное направление света, минимальный градиент яркости по высоте, т.е. равномерное заливающее освещение, и отсутствие яркостных градаций по горизонтали. По шкале «нравится – не нравится» наибольшее предпочтение отдается направлению снизу вверх, что и ожидалось получить в результате опроса о тектоничности такого типа структуры, так как данный тип освещения создает визуальный эффект увеличения высоты объекта.

Гипотезой для прямолинейной поверхности служило: направление света сверху вниз, средний градиент яркости по высоте, отсутствие яркостных градаций по горизонтали. Данная гипотеза полностью подтвердилась. По шкале «нравится – не нравится» оценка испытуемых совпала с полученными в ходе опроса результатами, поэтому данную часть исследования можно считать наиболее объективной.

Согласно полученным результатам, можно сделать вывод о том, что каждая конкретная архитектурная форма имеет свой подход к созданию тектонически верно воспринимаемого объема при искусственном освещении.

В дальнейшем проверялась гипотеза о том, что тектоника здания наилучшим способом проявляется при естественном освещении, и повторение естественного света в ночное время максимально подчеркнет структуру и конструкцию сооружения. В качестве исследуемого объекта выбран вход в корпус Университета ИТМО, расположенный в Центральном р-не г. Санкт-Петербурга на ул. Ломоносова, д.9А, представляющий собой систему взаимодействующих друг с другом на разных планах (передний/задний, объект/фон) прямолинейных плоскостей. Первый этап исследования для проверки гипотезы заключался в изучении восприятии формы здания при естественном освещении для дальнейшего переноса дневных яркостных соотношений в характеристики ночного освещения. Визуальную оценку в яркостные параметры возможно перевести с помощью понятия светлоты (субъективно воспринимаемой яркости участка поверхности, отнесенной к субъективной яркости поверхности, воспринимаемой как белая). Для перевода светлоты (субъективного параметра) в яркость (объективный параметр) возможно использовать график, построенный на основе закона Вебера–Фехнера: , где – приращение светлоты; – приращение яркости; *k* – коэффициент пропорциональности, зависящий от яркости адаптации.

Соотношения светлот поверхностей фасада при диффузном свете (принятым за максимально тектоничный) составляют =15:40:25:25:10:5. Если за яркость адаптации принимать яркость неба, которая составляет примерно =2500 кд/, то приблизительное соответствующее соотношение яркостей =408:808:554:554:331:100 кд/. Соответствующее соотношение яркостей при яркости адаптации темного неба – =0,2:3:0,6:0,6:0,1:0,05 кд/. Данные значения можно считать приблизительными, так как значение светлоты – субъективный параметр, определяемый с большой погрешностью.

Для уточнения данных для создания искусственного освещения была создана модель здания и промоделировано его естественное освещение с помощью программного обеспечения DIALux. Минусом данной методики можно считать то, что модель является «идеальной», т.е. отсутствует учет теневой картины от

близлежащих домов, деревьев и т.п. Исходными данными для расчета являются: географическая долгота 30,2, широта 59,55 нахождения объекта и ориентация на север (отклонение северного направления от оси *Y*) – 18, модель неба – облачное небо. Соотношение средней яркости по поверхностям при естественном освещении =555:1641:640:1202:688:538 кд/, соответствующие им значения при искусственном освещении – =0,8:15,4:1:9,6:2,1:0,8 кд/. Данные значения невозможно в точности повторить искусственным светом, используя прием заливающего освещения (из результатов статистического исследования заливающее освещение является наиболее тектоничным для данной формы).

По полученным данным было смоделировано искусственное освещение, аналогичное естественному. Полученные яркостные соотношения приблизительно составляют =1:20, что соответствует визуально укороченному пространству, соответственно, форма здания искажается и тектоника принудительно «разрушается».

Согласно проведенному исследованию, подражание естественному освещению искусственным не всегда создает визуально тектоничную картину, так как объемное пространство имеет множество плоскостей, и в таком случае на восприятие объема большое влияние имеет зрительная память. При создании светового образа сооружения требуется учитывать его геометрию, соблюдая контраст между передним и задним планами, сохраняя визуальное впечатление тектоничности. Аналогичные методики исследования возможно применять для проверки тектоничности образа любых систем стеновой конструкции при искусственном освещении. Полученные результаты могут являться основой для изучения восприятия сооружений других типов при искусственном освещении.

Литература

1. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – Введен 20.05.2011. – М.: Мин-во регион. развития РФ, 2011. – 69 с.
2. Лицкевич В.К., Макриненко Л.И., Мигалина И.В. и др. Архитектурная физика: учеб. для вузов / Под ред. Н.В. Оболенского. – М.: Архитектура-С, 2007. – 448 с.

Малышев Алексей Сергеевич
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: vasilij.isakov@list.ru

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАКЕТА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТРЕХ УГЛОВЫХ КООРДИНАТ

А.С. Малышев
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Коняхин

Разработан трехкоординатный автоколлиматор, позволяющий измерять трехмерную угловую деформацию объекта. Для подтверждения возможности создания такого прибора разработана его физическая модель и программа для проведения экспериментов. Для проверки работоспособности разработанной системы был проведен ряд экспериментальных исследований и сделаны выводы о перспективах практического использования системы.

Ключевые слова: оптико-электронная углоизмерительная система, автоколлиматор, угловая деформация, тетраэдрический отражатель.

Современные задачи, касающиеся угловых измерений, включают множество способов оценки пространственного положения объекта. Наиболее востребованные области использования углоизмерительных устройств это:

– измерение угловых перемещений частей и блоков крупногабаритных сооружений;
– контроль в реальном масштабе времени деформаций и прогибов нагруженных элементов промышленных и транспортных сооружений: нефте- и газопроводов, фундаментов реакторов, плотин, мостов, и т.д.;
– измерение угловых деформаций при контроле состояния моделей новых конструкций.

Целью работы являлось исследование с последующим проектированием оптико-электронной системы для измерения трех углов поворота объекта автоколлимационным методом, а также разработка экспериментального образца для подтверждения возможности реализации такой системы. По результатам аналитического обзора серийно выпускаемых автоколлимационных устройств было выяснено, что все серийно выпускаемые автоколлиматоры имеют схожую схему функционирования, представленную на слайде, и умеют измерять один либо два угла деформации объекта и в основном используют в качестве контрольного элемента плоское зеркало. На рис. 1 представлено взаимное расположение автоколлиматора и контрольного элемента.

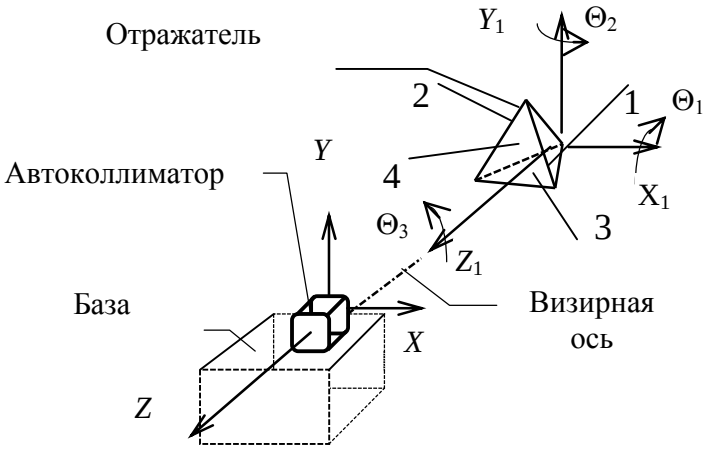


Рис. 1. Взаимное расположение автоколлиматора и контрольного элемента

Автоколлиматор располагается на жесткой базе, а контрольный элемент (КЭ) на контролируемом объекте. Если использовать в качестве КЭ плоское зеркало, то в плоскости анализа приемника оптического излучения (ПОИ) будет одно изображение марки, по которому можно будет определить максимум два угла деформации объекта.

Таким образом, для разработки трехкоординатной углоизмерительной системы в качестве КЭ был выбран тетраэдрический отражатель, выполненный в качестве стеклянной призмы. Такой отражатель имеет отступление от 90° на одном из своих углов между гранями. Передняя грань выполнена в виде полупрозрачного зеркала. Пучок, выходящий из автоколлиматора, частично отразится от передней грани, и образует в плоскости анализа ПОИ изображение 1. Пучок, прошедший в отражатель разделится на два пучка, выходящий под углом дельта к оси исходного пучка и эти два пучка образуют изображения 2 и 3. Анализируя перемещения этих изображений, измеряется трехмерная угловая деформация контролируемого объекта. Начальному положению систем координат автоколлиматор и КЭ соответствуют следующие

условия: $OZ \| OZ_1$, $OX \| OX_1$, $OY \| OY_1$. Углы эквивалентных поворотов есть $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3$, именно их измеряет автоколлиматор. Любой произвольный поворот объекта состоит из трех поворотов вокруг осей *OX*, *OY* и *OZ*. Способ установки системы координат, демонстрируемый на рис. 1, является стандартным и по нему устанавливаются названия для угловых деформаций относительно определенных осей для удобства их описания. Таким образом, повороты вокруг осей *OX* и *OY* будут определяться измеряемыми коллимационными углами, а поворот вокруг оси *OZ* – углом скручивания [1].

Была разработана структурная схема трехкоординатного автоколлиматора (рис. 2).

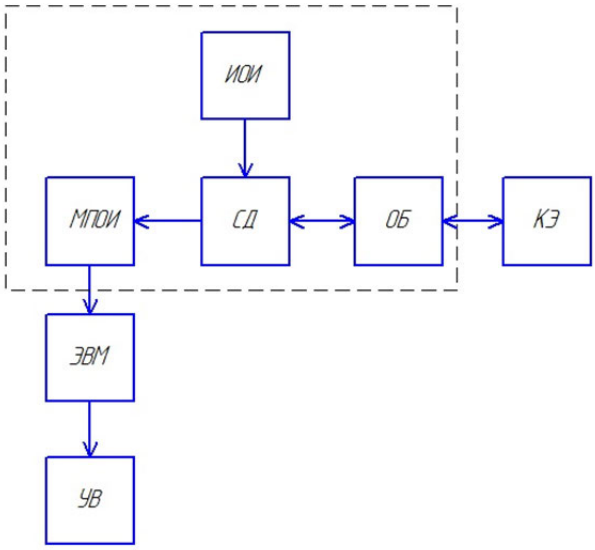


Рис. 2. Структурная схема оптико-электронного трехкоординатного автоколлиматора

Она включает в себя источник оптического излучения (ИОИ), светоделитель (СД), объектив (ОБ) и матричный приемник оптического излучения (МПОИ), установленные в блоке автоколлиматора. Контрольный элемент (КЭ) установлен на контролируемом объекте. Данные с МПОИ поступают на соответствующее вычислительное устройство (ЭВМ), обрабатываются и поступают на устройство вывода (УВ) [2].

В качестве ИОИ был выбран инфракрасный диод с мощностью излучения 13 мВт, а в качестве МПОИ была выбрана ПЗС-матрица с размером пиксела 6,45×6,45 мкм.

По результатам габаритно-энергетического расчета ПОИ имеет достаточную чувствительность для захвата изображений всех трех пучков согласно разработанной структурной схеме, а ИОИ имеет достаточную яркость для работы на указанной в техническом задании (ТЗ) дистанции работы.

Была разработана математическая модель работы тетраэдрического отражателя, в которой исследовалась методическая погрешность при работе данным видом отражателя. Была получена зависимость величины методической погрешности от величины измеряемой угловой деформации. Таким образом, при измерении углов более одного градуса методическая погрешность для коллимационных углов будет более 1 мин, а для угла скручивания может достигать 10 мин. Чтобы избежать этого, с помощью математической модели были вычислены точные алгоритмы для расчета итоговой угловой деформации, которые позволяют производить измерения без влияния методической погрешности [3].

Составляющие суммарной погрешности: погрешность, вносимая шумами ПЗС-матрицы, погрешность изготовления отражателя, погрешность АЦП, погрешность вследствие отклонения фокусного расстояния от номинального значения. Суммарная

погрешность для угла скручивания 1,83 мин, а для коллимационных углов – 0,34 угл. с, что удовлетворят требованиям ТЗ.

Была разработана физическая модель трехкоординатного автоколлиматора для проведения экспериментов. Структура оригинальной установки может быть описана с помощью структурной схемы, представленной на рис. 2. Блок, обведенный пунктирной линией, представляет собой автоколлиматор с соответствующими параметрами: объектив с фокусным расстоянием 100 мм, фотоприемная ПЗС-матрица SONY с пикселем 8×8 мкм, излучающая марка есть полупроводниковый диод с мощностью 10 мВт. Контрольный элемент (отражатель) закреплен на подвижной платформе, позволяющей задавать необходимые для проведения эксперимента углы поворота отражателя. В качестве ЭВМ и УВ использовался персональный компьютер с установленной программой MATLAB и специально разработанным программным обеспечением (ПО). В макете был предусмотрен блок управления мощностью светодиода и специальная плата для снятия и передачи сигнала на ПК с ПЗС-матрицы [4].

Изображение готового к работе макета представлено на рис. 3, а.

а б

Рис. 3. Разработанный программно-аппаратный комплекс (макет) для автоколлимационных измерений (а); блок-схема разработанного алгоритма для проведения экспериментов (б)

В макете была предусмотрена юстировка системы в реальном времени по положению изображений автоколлимационной марки.

На рис. 3, б представлена блок-схема разработанного в MATLAB алгоритма для проведения экспериментов.

На первом этапе осуществлялся захват группы кадров с соответствующим положением изображений марки автоколлиматора. На последующих этапах производится цифровая обработка полученных изображений, после сегментации по типу измеряемой угловой деформации производится вычисление центров изображений, усреднения значений по группе и запись накопленной статистики – далее переход к следующей группе кадров с другим расположением изображений марки автоколлиматора [5].

С помощью разработанного алгоритма была частично решена проблема наложения изображений друг на друга, а также решена проблема перепутывания изображений по типу измеряемой угловой деформации [5].

До основных экспериментов была произведена калибровка макета по плоскому зеркалу, которая показала, что для выбранной дистанции с соответствующим шагом подвижки для задания угловой деформации абсолютная погрешность составляет

1,7 угл. с. На основе предварительных экпериментальных данных была выполнена доработка макета и внесены поправки в разработанный алгоритм [6].

Были получены зависимости погрешности измерения от величины измеряемого угла. Максимальная абсолютная погрешность измерения коллимационного угла по оси *OX* для заданной угловой деформации составляет 2,789 угл. с. Максимальная абсолютная погрешность измерения коллимационного угла по оси *OY* для заданной угловой деформации составляет 2,768 угл. с. Измерения коллимационных углов производились в диапазоне от 0 до 5 мин, с шагом подвижки для задания угловой деформации 1 угл. с.

Результаты эксперимента, по измерению угла скручивания, следующие – относительная погрешность измерения угла скручивания 0,441 угл. мин, а максимальная абсолютная погрешность 3 угл. мин. Измерения угла скручивания производились в диапазоне от 0 до 4°, с шагом подвижки для задания угловой деформации 1 угл. мин [7].

Была разработана конструкция трехкоординатного автоколлиматора. Объектив размещался таким образом, чтобы чувствительная поверхность МПОИ и марка находились в его передней фокальной плоскости.

Таким образом, разработана оптоэлектронная система для трехкоординатных угловых измерений. Выведены точные алгоритмы работы микропроцессора прибора, что позволяет производить измерения без влияния методической погрешности. Разработан и создан макет с соответствующим ПО для проведения экспериментов. Проведены эксперименты в режиме трехкоординатного автоколлиматора, подтверждена возможность его практической реализации. В результате исследований на компьютерной модели установлены пределы практической применимости упрощенного алгоритма трехкоординатных автоколлимационных измерений. Экспериментальные исследования на физической модели автоколлимационного угломера подтвердили правильность выбора в качестве КЭ тетраэдрического отражателя, позволяющего использовать для измерения коллимационных углов пучок, отраженный от передней грани тетраэдра. Подтверждена возможность реализации трехкоординатного автоколлиматора с анализом изображений рабочей марки в единой плоскости анализа.

Литература

1. Джабиев А.Н., Коняхин И.А., Панков Э.Д. Автоколлимационные углоизмерительные средства мониторинга деформаций. – СПб.: СПбГИТМО(ТУ), 2000. – 197 с.
2. Коняхин И.А., Малышев А.С. Исследование возможности реализации автоколлиматора для трехкоординатных измерений // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 2. – С. 147–150.
3. Малышев А.С. Исследование контрольного элемента для трехкоординатного автоколлиматора // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. – 2014. – С. 106.
4. Malyshev A., Konyakhin I.A., Hoang V.P. Autocollimation sensor for measuring the deformation of objects and modules containing environmentally hazardous substances // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9899. – P. 98991Y25.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
6. Малышев А.С. Автоколлимационный сенсор для измерения деформаций объектов и модулей, содержащих экологически опасные вещества // Сб. трудов III

Международной научно-практической конференции «Sensorica-2015». – 2015. – С. 96–97.

7. Малышев А.С. Экспериментальное исследование углоизмерительной установки с тетраэдрическим контрольным элементом // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/3343/3343.pdf, своб.

Маруев Иван Андреевич
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: ivshturm@mail.ru

УДК 681.78

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

И.А. Маруев
Научный руководитель – к.т.н. А.В. Пантюшин

В работе рассматривалась распределенная система контроля пространственного положения объектов. Были разработаны принцип функционирования, а также конструкции основных устройств системы. Кроме того, были представлены результаты исследования погрешностей системы [1–3].

Современные предприятия для сохранения конкурентоспособности, вынуждены постоянно сокращать издержки. Одним из путей для сокращения издержек является уменьшение времени, затрачиваемого на метрологические операции. Особенно это актуально для самолетостроения, где значительная часть времени тратится в основном на стыковку крупногабаритных частей фюзеляжа. Внедрение универсального метрологического обеспечения для внутрицехового позиционирования позволяет увеличить количество операций в единицу времени. Это может быть достигнуто за счет использования распределенных систем, непрерывно определяющих геометрические параметры и взаимное расположение нескольких контролируемых объектов. К сожалению, существующие измерительные системы и комплексы не обладают высокой производительностью в совокупности с возможностью контроля большого количества объектов одновременно. Для решения данной проблемы было сформулировано техническое задание и проведен аналитический обзор существующих разработок.

На основе аналитического обзора существующих технических решений были сформулированы основные требования, определяющие выбор структурной схемы разрабатываемой оптико-электронной системой контроля (ОЭСК).

Структурная схема распределенной ОЭСК, содержит не менее одного датчика пространственного положения и не менее четырех сканирующих устройств. Таким образом, реализуется вычисление пространственных координат объектов с помощью стационарного сканирования рабочего пространства. Обобщенная структурная схема ОЭСК представлена на рис. 1.

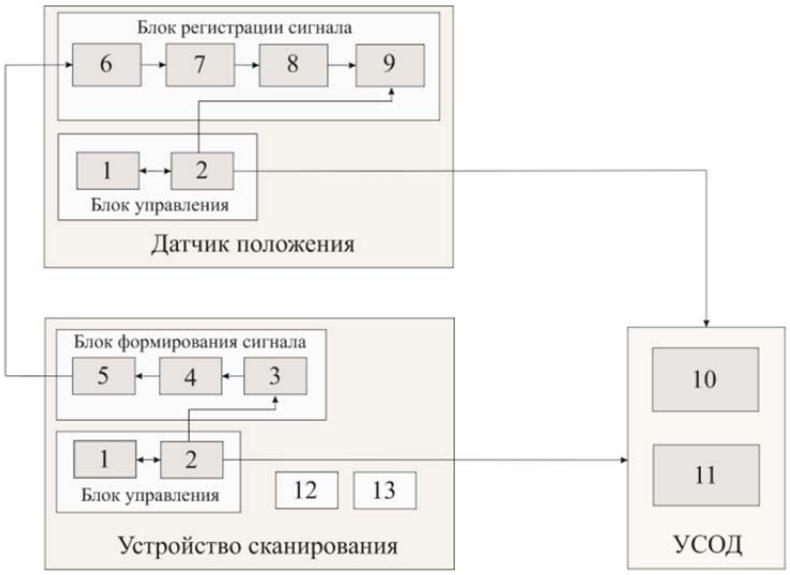


Рис. 1. Структурная схема системы

Функционирование данной системы основано на принципе определения пространственных координат объекта с помощью спутников GPS. В предлагаемой системе аналогами спутников являются устройства сканирования. Управляющий сигнал генерируется в блоке управления устройства сканирования с помощью ЦПУ 2 и таймера 1.

Блок формирования сигнала источник оптического излучения (ИОИ) 4 передает управляющий сигнал на датчик положения с помощью устройства управления 3 и оптической системы 5.

Блок регистрации сигнала состоит из приемника оптического излучения (ПОИ) 6, преобразователя сигнала 7, активного фильтра 8 и демодулятора 9. Данный блок производит декодирование, после чего сигнал обрабатывается ЦПУ 2 датчика и передается на устройство синхронизации и обработки данных (УСОД). Определение дальности до каждого устройства сканирования производится с помощью сравнения показаний таймеров 1. УСОД синхронизирует сканирующие устройства и датчик положения, а также выводит полученные значения координат с помощью устройства ввода и вывода информации (УВВИ) 11.

Количество устройств сканирования определяется математическим описанием оптико-электронной системы для заданных габаритов, а также дистанцией осуществления контроля.

Для сканирования рабочего пространства системой используется не менее четырех сканирующих устройств. В процессе сканирования каждое сканирующее устройство передает управляющий сигнал на датчик положения, содержащий уникальный идентификатор сканирующего устройства и уникальный двоичный код. С помощью встроенного таймера датчик положения вычисляет расстояния до каждого сканирующего устройства. При этом пространственные координаты данных устройств известны. При измерении расстояний предполагается, что датчик положения будет находиться на поверхности сферы радиусом, равным расстоянию от сканирующего устройства до датчика положения.

Таким образом, согласно методу трилатерации, задача определения пространственных координат сводится к поиску точки пересечения четырех сфер, так как данная конфигурация необходима для однозначного определения искомых координат. На рис. 2 показана упрощенная схема функционирования системы.

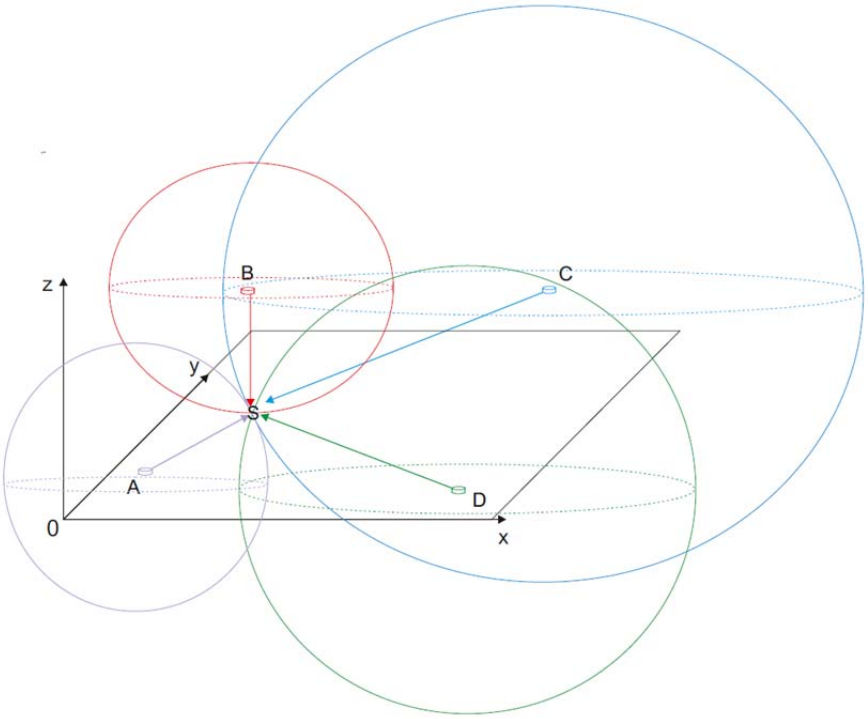


Рис. 2. Функционирование системы

На рис. 2 буквами *A*, *B*, *C*, *D* обозначены сканирующие устройства, осуществляющие передачу управляющих сигналов на датчик положения *S*. Соответственно, координаты датчика *S* определяется точкой пересечения четырех сфер, центры которых – координаты *A*, *B*, *C*, *D*.

Принимая во внимание, что точка, имеющая координаты датчика $(x_д, y_д, z_д)$ является точкой пересечения четырех сфер, радиусы которых равны R_i (как показано на рис. 2), определена система уравнений (1):

$$\begin{cases} R_A^2 = x_s^2 + y_s^2 + z_s^2 \\ R_B^2 = (x_s - x_B)^2 + (y_s - y_B)^2 + (z_s - z_B)^2 \\ R_C^2 = (x_s - x_C)^2 + (y_s - y_C)^2 + (z_s - z_C)^2 \\ R_D^2 = (x_s - x_D)^2 + (y_s - y_D)^2 + (z_s - z_D)^2 \end{cases}. \quad (1)$$

В ходе разработки конструкции стенда были последовательно рассмотрены следующие компоненты:

– конструкция сканирующего устройства;
– конструкция датчика положения;
– устройство синхронизации и обработки данных.

Общий вид модели представлен на рис. 3.

Монтажные кабели 5 и 6 соединяют сканирующие устройства 1 с устройством синхронизации и обработки данных 3. Датчик 2 соединяется с устройством 3 с помощью монтажного кабеля 4.

Установка устройства синхронизации произвольна и ограничена параметрами, указанными на чертеже общего вида.

Система располагается внутри цехового или любого другого промышленного помещения. Ориентация блоков произвольна и определяется в зависимости от выполняемых задач, исходя из предельных параметров положения, указанных в чертеже общего вида.

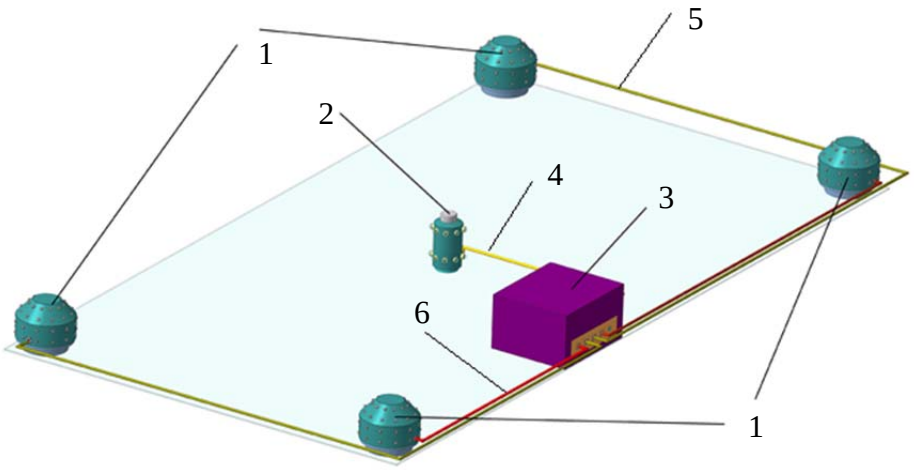


Рис. 3. Общий вид распределенной системы контроля

На рис. 4, а, б представлена конструкция сканирующего устройства.

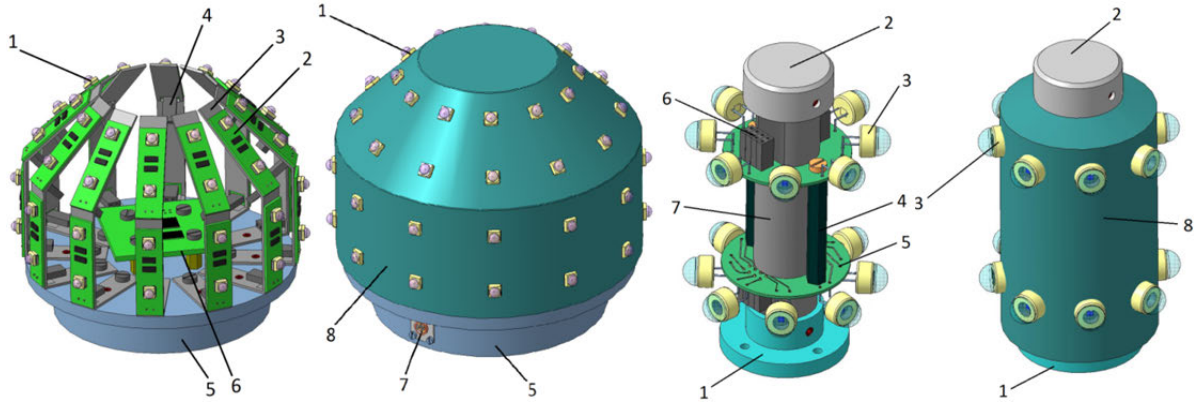


Рис. 4. Сканирующее устройство (а, б); конструкция датчика положения (в, г)

Источники оптического излучения 1 крепятся к плате 2 с помощью пайки. Плата 2 соединена с планкой 3 клеем БФ-2 ГОСТ. Планки 3 крепятся к платформе 5 двенадцатью винтами М3×10 ГОСТ 1491-80 и двенадцатью стопорными винтами М3×10 ГОСТ. Разъем 7 крепится к корпусу 8 четырьмя винтами М3×20 ГОСТ 1491-80.

Подключение ИОИ осуществляется с помощью гнезд 4.

Соединение сканирующего устройства с устройством синхронизации осуществляется через разъем 7.

На рис. 4, в, г представлена конструкция датчика положения.

Крышка 2 соединена с трубкой 7 стопорным винтом М3. Трубка 7 крепится к основанию 1 стопорным винтом М3. Платы 5 крепятся к трубке 7 с помощью двух стоек 4 и четырех винтов М3×6 ГОСТ 1491-80. Приемники оптического излучения 3 крепятся к плате 5 с помощью пайки. Соединение приемников 3 с микроконтроллером осуществляется с помощью гнезд 6, закрепленных на плате 5 с помощью пайки. Основание 1 имеет возможность крепления на произвольную поверхность четырьмя винтами М3×20 ГОСТ 1491-80.

В рабочем состоянии датчик располагается внутри защитного корпуса 8.

Для определения зависимости погрешности координат датчика Δ_i от погрешности определения временных интервалов Δt была разработана математическая модель в среде MATLAB. Зависимости, представленные на графике (рис. 6) получены в результате корректировок координат датчика пятью итерациями.

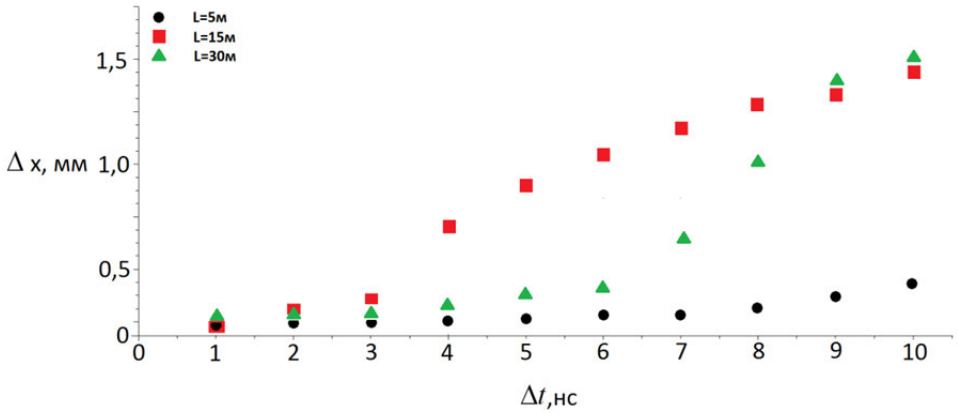


Рис. 5. Зависимость погрешности определения координаты датчика Δ_X от погрешности определения временных интервалов Δt

В ходе работы был проведен аналитический обзор оптико-электронных систем, предназначенных для определения пространственного положения объектов. В результате анализа были сформулированы основные требования к разрабатываемой системе, показано, что наиболее перспективными являются системы позиционирования типа «indoor GPS». На основе проведенного обзора и патентного поиска была разработана структурная схема оптико-электронной системы. Таким образом, были определены основные составляющие ОЭСК, а также требования к габаритно-энергетическим параметрам на основе сформулированного принципа функционирования. Кроме того, было представлено описание конструкции ОЭСК. В описании рассмотрены основные функциональные составляющие датчика, устройства сканирования и устройства синхронизации данных. Разработан чертеж общего вида ОЭСК. На основе сформулированных требований к параметрам системы, был произведен габаритно-энергетический расчет ОЭСК. В ходе расчета была определена мощность ИИ и осуществлен выбор ИОИ. Разработаны чертежи оптических схем датчика положения и сканирующего устройства.

На основе результатов математического описания, а также описания функционирования было проведено исследование математической модели системы и анализ влияния первичных погрешностей на точность определения координаты объекта. Были получены зависимости погрешности определения координат объекта от погрешности определения временных интервалов. Также была исследована зависимость погрешности определения координаты объекта от числа сканирующих устройств.

Показано, что погрешность определения координат объекта уменьшается при введении дополнительных сканирующих устройств и увеличивается при увеличении погрешности определения временных интервалов. Диапазон погрешности составляет от 0,01 мм до 1,5 мм, что удовлетворяет сформулированным требованиям. Кроме того, было предложено одновременное использование большего числа сканирующих устройств и высокоскоростных источников и ПОИ. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение различных факторов погрешности в оптико-электронной системе и методов корректировки пространственных координат.

Литература

1. Lou P. et al. Fundamental analysis for indoor visible light positioning system // Proc. of Com-munications in China Workshops. – 2012. – P. 59–63.
2. Zirari S., Canalda P., Spies F. WiFi GPS based combined positioning algorithm. In Wireless Communications, Networking and Information Security. – 2010. – P. 684–688.

3. Maruev I.A., Verezhinskaia E.A., Pantyushin A.V. The model of the optoelectronic positioning system of industrial equipment // SPIE Photonics Europe. – 2016. – P. 98891F–98891F-8.

Мироненко Маргарита Эдуардовна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: margarita@mironenko.xyz

УДК 536.2.08

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИСИЛОКСАНОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

М.Э. Мироненко
Научный руководитель – к.т.н., доцент Д.П. Волков

В работе были проведены исследования теплоемкости и теплопроводности фторсилоксанового полимера с различным наполнителем. Особенность этих полимеров состоит в высокой стойкости к воздействию различных масел и топлив, наряду с широким температурным диапазоном. Образцы с различным объемным содержанием наполнителей изготовлены «НИИ Синтетического каучука». Исследования проводились на измерителях ИТ-С-400 и ИТ-λ-400 и установке дифференциального сканирующего калориметра (ДСК) в диапазоне температур 50–200°С [1].

Основной **целью работы** являлось исследование влияния температуры и концентрации наполнителей на теплоемкость фторсилоксанового компаунда.

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

Таблица 1. Исследуемые компаунды

№ образца	Полимер	Растворитель, масс. % от веса полимера	Отвердитель, масс. % от веса полимера	Наполнитель, масс. % от веса полимера
22	НФС-100	–	0,30 (230–19)	–
23	НФС-100	–	0,50 (230–19)	–
27	НФС-100	0,7 (этилацетат)	0,50 (230–19)	50 (КЖ)
24	НФС-100	1,5 (этилацетат)	0,50 (230–19)	100 (КЖ)
26	НФС-100	2,3 (этилацетат)	0,50 (230–19)	200 (КЖ)
25	НФС-100	5 (этилацетат)	0,50 (230–19)	300 (КЖ)
№ образца	Полимер	Растворитель, масс. % от веса полимера	Отвердитель, масс. % от веса полимера	Наполнитель, масс. % от веса полимера
30	НФС-100	2 (этилацетат)	0,50 (230–19)	15 (стеклосферы)

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

Исследования теплопроводности проводились на измерителе ИТ-λ-400 в диапазоне температур 25–175°С. В основу работы измерителя положен динамический метод монотонного разогрева. Работа измерителя и вывод расчетных формул подробно рассмотрены в работе [2]. Образцы изготавливались в виде дисков диаметром 15 мм и высотой около 3 мм; предел допускаемой основной погрешности измерения теплопроводности составил ± 10%.

Температурная зависимость коэффициентов теплопроводности подобных материалов сложным образом зависит от объемного содержания наполнителя и отношения его теплопроводности к теплопроводности связующего. Влияние наполнителя в значительной мере определяется тем, образует ли он непрерывную фазу или фазу с изолированными включениями. В частности, при малых содержаниях наполнителя теплопроводность компаунда не сильно отличается от теплопроводности связующего.

Значения коэффициентов теплопроводности образцов с различными наполнителями в зависимости от их объемного содержания приведены на рис. 1 и в табл. 2.

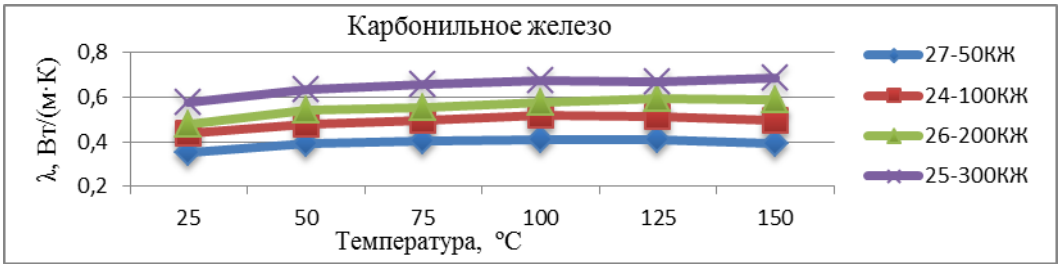


Рис. 1. Зависимость теплоемкости от температуры: образцы № 24–27. КЖ (карбонильное железо) и СФ (стеклосферы)

Таблица 2. Теплопроводность образцов со стеклосферами

t, °С	Теплопроводность λ, Вт/(м·К)			
	Образец № 30 15%	Образец № 31 30%	Образец № 28 50%	Образец № 29 100%
25	0,253	0,232	0,258	0,207
50	0,279	0,255	0,284	0,233
75	0,289	0,26	0,291	0,241
100	0,300	0,267	0,304	0,257
125	0,301	0,266	0,314	0,264
150	0,310	0,257	0,316	0,256

Из данных, приведенных на рис. 1 и табл. 2 следует, что добавка карбонильного железа, позволяющего уменьшить вязкость связующего, увеличила теплопроводность образца примерно на 78%.

С ростом температуры наблюдаем одинаковый незначительный характер возрастания теплопроводности в серии с карбонильным железом. Введение

стеклосфер уменьшило теплопроводность композиций на 37%, при этом отмечается стабильность поведения материала при высоких температурах.

Для измерения теплоемкости проведены испытания на измерителе ИТ-С-400 в диапазоне температур 50–200°С. В основу работы установки положен метод динамического калориметра в режиме монотонного нагрева. Для исследования теплоемкости образцы выполнялись в форме цилиндров диаметром 15 мм и высотой 9 мм. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3 и на рис. 2.

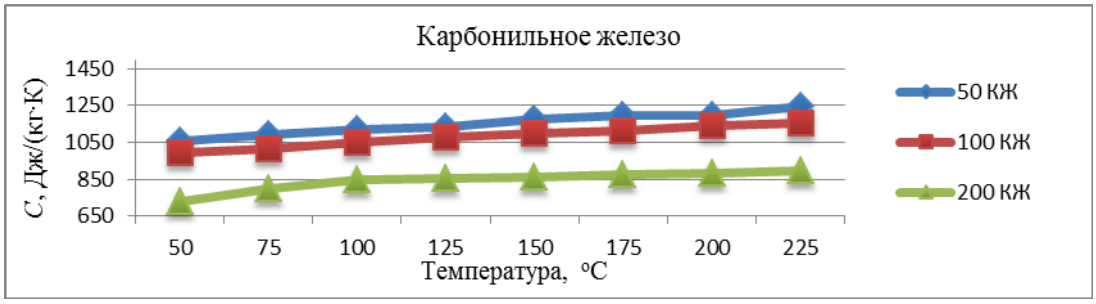


Рис. 2. Зависимость теплоемкости от температуры: Образцы № 24, 26, 27

Таблица 3. Теплоемкость образцов со стеклосферами

t, °С	Теплоемкость, С, Дж/(кг·К)			
	Образец № 30 15%	Образец № 31 30%	Образец № 28 50%	Образец № 29 100%
50	1000	1110	1156	1175
75	1129	1138	1187	1198
100	1184	1152	1229	1200
125	1248	1192	1267	1214
150	1298	1227	1278	1248
175	1311	1278	1305	1267
200	1346	1293	1337	1315
225	1378	1310	1457	1351

Чистые образцы основания НФС-100 показали наибольшее значение теплоемкости, при этом разное количество отвердителя не оказывает влияние на значения теплоемкости.

С ростом температуры теплоемкость образцов с карбонильным железом и стеклосферами возрастает.

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

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3.

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

Детальный анализ показал, сходство характера зависимости у отдельной группы. Увеличение карбонильного железа в образцах, приводит к уменьшению теплоемкости [3, 4].

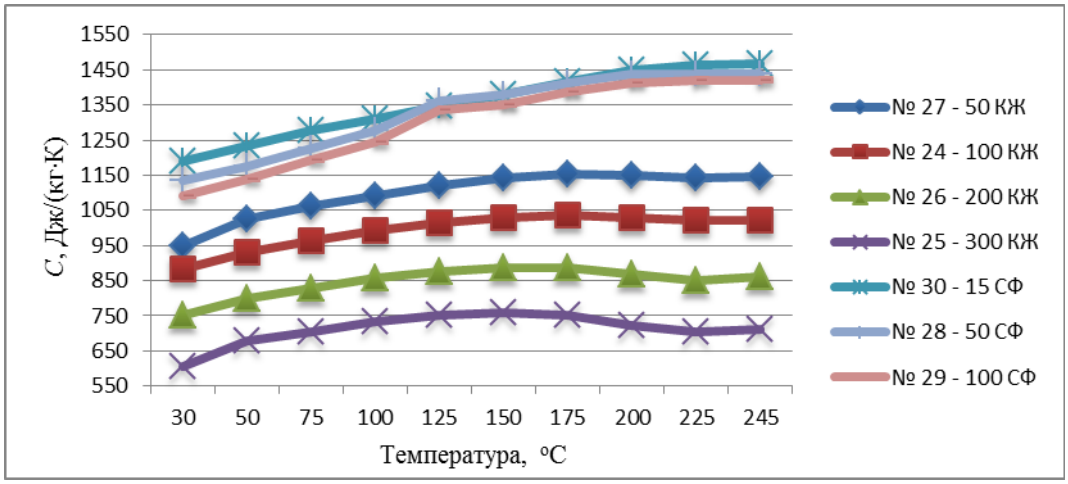


Рис. 3. Зависимость теплоемкости от температуры.
КЖ (карбонильное железо) и СФ (стеклосферы)

Теплоемкость композиций со стеклосферами имеет линейный вид, но увеличение концентрации неоднозначно сказывается на значении теплоемкости. Такая особенность присуще химической составляющей образцов. При повышении температуры помимо перераспределения вторичной решетки, возможно химическое взаимодействие структуры стеклосфер со структурой основания НФС-100, чего не наблюдается при комнатных температурах.

Для более полного анализа значений теплоемкости провели расчет значений при комнатной температуре.

Расчет проводился по аддитивной формуле:

$$C = C_1 m_1 + C_2 m_2, \quad (1)$$

где C_1, m_1 – теплоемкость и массовая концентрация соответственно для связующего основания полимера; C_2, m_2 – теплоемкость и массовая концентрация соответственно для наполнителя.

Значения теплоемкости и сравнение с экспериментом приведены в табл. 4.

Таблица 4. Расчетные значения теплоемкости

Образец №	Расчетное значение C, Вт/(м·К)	Экспериментальное значение C, Вт/(м·К)	Погрешность
27	939	948	1%
24	813	883	8%
26	687	751	8%
25	628	606	4%
30	1176	1190	1,1%
31	1171	1112	5,3%
28	1166	1134	2,8%
29	1158	1092	6%

Обобщая результаты работы, отметим следующее:

1. теплоемкость и теплопроводность чистого полимера и композиций на его основе с ростом температуры увеличивается;
2. с увеличением концентрации карбонильного железа теплоемкость композиций уменьшается, а теплопроводность увеличивается. Увеличение концентрации стеклосфер не оказывают существенного влияния на значения теплоемкости и теплопроводности;

3. величины теплоемкостей материалов, полученные на приборе ИТ-С-400 и на установке ДСК, имеют близкие значения;
4. при сопоставлении расчетных и экспериментальных значений теплоемкости, наблюдается хорошая сходимость, и погрешность не превышает 8%.

Литература

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

Норко Вадим Евгеньевич
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: evg5789@mail.ru

УДК 681.78

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В.Е. Норко
Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с. А.Н. Чертов

Разработана методика анализа цвета, рельефа и дефектности поверхности металлических и неметаллических объектов, позволяющая одновременно и бесконтактно измерять данные параметры. Для реализации данной методики был сформирован макет оптико-электронной системы анализа параметров и написан комплекс программного обеспечения для него. Для проверки работоспособности разработанной методики был проведен ряд экспериментальных исследований и сделаны выводы о перспективах практического использования методики.
Ключевые слова: оптико-электронная система анализа параметров поверхности, цвет, рельеф, дефектность.

Основными параметрами поверхности любого объекта являются цвет, рельеф и дефектность. Анализируя их, можно судить об этом объекте, о возможном материале из которого он сделан, о качестве его изготовления. Потребитель в первую очередь обращает внимание как объект на вид, исходя из этого, он чаще всего выбирает – брать или не брать данный предмет, производитель данного объекта заинтересован в том, чтобы потребитель взял именно его товар, и стремится к жесткому контролю качества изделия. На данный момент существует потребность в системах контроля качества нанесения разнообразных видов покрытий (красочных, лакокрасочных, маркирующих, защитных и тому подобных) на различные объекты (как

металлические, так и неметаллические). Все существующие системы позволяют контролировать только один параметр, также, к примеру, наиболее распространенным методом анализа рельефа является щуповой. Это контактный метод, что является серьезным недостатком ввиду того, что в процессе анализа может быть повреждена поверхность исследуемого объекта. Разрабатываемый метод позволит одновременно и бесконтактно анализировать три параметра (цвет, рельеф, дефектность) поверхности объектов.

Целью работы являлось исследование возможности создания методики анализа цвета, рельефа и дефектности поверхности объектов спектрофотометрическими методами и соответствующей оптико-электронной системы.

В ходе работы был проведен аналитический обзор по теме исследований, в ходе которого были проанализированы существующие методы анализа параметров поверхности объектов, таких как цвет, рельеф и дефектность. Было выявлено, что на данный момент не существует приборов для одновременного анализа цвета, рельефа и дефектности поверхности объектов. Наиболее применяемым методом анализа цвета является спектрофотометрический, ввиду легкости обработки получаемых данных и достаточной точности данного метода [1]. Щуповой метод часто применяем при анализе рельефа поверхности, но обладает недостатком: он является контактным методом, что может привести к порче поверхности объекта при его исследовании. При анализе дефектов чаще всего применяется импульсный ультразвуковой метод из-за того, что он позволяет анализировать дефекты, как на поверхности объекта, так и в его глубине без предварительной подготовки.

Проведены патентные исследования, результатом которых стал вывод о том, что разрабатываемая методика не попадает под действие других патентов и обладает полной патентной чистотой.

Была разработана структурная схема оптико-электронной системы анализа параметров для работы с отраженным излучением, представленная на рис. 1.

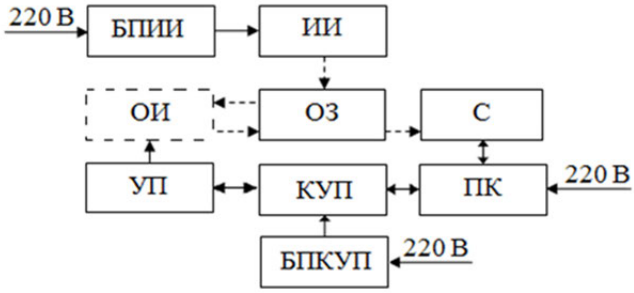


Рис. 1. Структурная схема оптико-электронной системы анализа параметров поверхности

Оптическое излучение от источника излучения (ИИ), питаемого от блока питания источника излучения (БПИИ), с помощью оптического зонда (ОЗ) направляется на объект исследования (ОИ). Перемещение объекта осуществляется с помощью устройства перемещения (УП), которое управляется контроллером устройства перемещения (КУП), питаемого блоком питания контроллера устройства перемещения (БПКУП). Отраженное от поверхности объекта излучение по ОЗ попадает в спектрометр (С), а затем в персональный компьютер (ПК), питаемый напряжением 220 В, где происходит обработка данных, получаемых со спектрометра.

По результатам энергетического расчета была выведена формула яркости источника излучения:

$$L_{\gamma\lambda} = \frac{\sqrt{\overline{V_ш^2}}\cdot æ^I}{S_{инт\,\nu}\cdot 683\cdot æ_г\cdot æ^{II}\cdot \tau_{Зонд}\cdot \pi\cdot \sin^2\sigma_A}, \quad (1)$$

где $\overline{V_{ш}^2}$ – напряжение шума; $æ^I$, $æ^{II}$ – коэффициенты использования потока излучения; $S_{инт}$ – интегральная чувствительность; $æ_г$ – коэффициент полезного действия глаза; $\tau_{Зонд}$ – коэффициент пропускания оптического зонда; σ_A – передний апертурный угол.

И рассчитана минимальная яркость источника излучения, необходимая для получения сигнала на приемнике, она равна 0,015.

Был спроектирован макет оптико-электронной системы анализа параметров (ОЭС АП) в среде AutoCAD, который состоит из двух моторизованных линейных трансляторов 8MT167-100 компании Standa; контроллера для линейных трансляторов; блока крепления источника излучения; спектрометра 8MT167-100; установочного блока для оптического зонда; оптического зонда; блока изолирования оптического излучения кварцевой лампы [2].

Стоит выделить в данной установке установочный блок для оптического зонда, который был спроектирован под разрабатываемый макет.

Данный блок состоит из зажима, зажимного винта, двух стержней и установочной балки.

Зажим представляет собой металлический брусок с отверстием для оптического зонда и двумя резьбовыми отверстиями для крепления к установочной балке.

Зажимной винт предназначен для надежной фиксации оптического зонда в отверстии зажима.

Два металлических стержня предназначены для фиксации установочной балки в неподвижном положении над исследуемым объектом.

В установочной балке находятся два отверстия диаметром 6 мм для соединения с двумя стержнями, два резьбовых отверстия М6 для соединения с зажимом и одно отверстие диаметром 8 мм для оптического зонда.

На моторизованных линейных трансляторах, соединенных между собой, устанавливается объект исследования, и путем движения обеих подвижек сканируется вся поверхность объекта. Оптический зонд остается неподвижным во время всего эксперимента. Для предотвращения зацепов подвижек друг об друга между ними устанавливается стальная пластина толщиной 10 мм и фиксируется четырьмя винтами, для управления трансляторами используется контроллер.

Блок перемещения состоит из двух моторизованных линейных трансляторов, стальной пластины и контроллера трансляторов.

Был разработан алгоритм анализа трех параметров поверхности объектов: цвет, рельеф и дефектность, особенностями данного алгоритма являются:

– возможность анализа всех параметров одновременно;
– запись результатов анализа в файл и вывод результата анализа на экран в виде карт поверхности;
– задание начальной и конечной точек измерения, а также шага измерения, что позволяет проводить измерения параметров поверхности, как всего объекта, так и какого-либо его фрагмента;
– алгоритм анализа цвета позволяет получить значение координат цвета в нескольких цветовых пространствах одновременно (sRGB, CMYK, HSV).

Описание алгоритма работы установки. Алгоритм начинается с выбора начальной и конечной точек измерения, а также шага измерения, потом происходит снятие и запись спектров отражения для каждой точки.

Алгоритм анализа рельефа поверхности заключается в выделении значения интенсивности отраженного излучения на длине волны 980 нм для всех исследуемых точек поверхности. Проходит поэтапное вычитание значения интенсивности для первой точки из значений интенсивностей для всех остальных точек. Затем

происходит представление полученного результата в виде трехмерной поверхности, которая представляет собой форму поверхности исследуемого объекта.

Алгоритм анализа цвета поверхности заключается в выделении значений интенсивности отраженного излучения на длинах волн от 380 нм до 730 нм для всех исследуемых точек поверхности. Для каждой исследуемой точки происходит расчет координат цвета в цветовое пространство CIEXYZ методом взвешенных ординат. Происходит пересчет координат цвета из пространства CIEXYZ в цветовые пространства sRGB, CMYK и HSV. Затем происходит представление полученного результата в виде цветовой карты поверхности.

Алгоритм анализа дефектности поверхности заключается в выделении границ на изображении поверхности исследуемого объекта и последующем визуальном анализе. Для этого изображение цветовой карты поверхности преобразуется в полутоновое изображение, затем для повышения общей яркости изображения проводится гамма-коррекция. Для повышения резкости изображения применяется фильтр повышения резкости. И наконец, происходит непосредственное выделение границ на изображении и представление полученного результата на карте дефектов поверхности.

На этом заканчивается работа алгоритма.

Для реализации данного алгоритма был разработан комплекс программного обеспечения, состоящий из программы управления установкой в среде LabVIEW и программы анализа полученных данных в среде MATLAB.

Разработанная программа в среде LabVIEW предназначена для измерения спектров отражения с поверхности исследуемых объектов [3]. Особенностью разработанной программы является то, что она позволяет менять основные элементы собранной модели, не внося изменений в программу.

При запуске программы появляется инструкция, в которой разъясняется, как проводить исследования.

При нажатии на вкладку «Измерения» осуществляется переход в соответствующую часть программы. В ней находятся четыре вкладки: «Измерение темновых шумов», «Измерение яркости источника», «Калибровка яркости» и «Измерение спектров отражения». Первоначально пользователь попадает во вкладку «Измерение темновых шумов». Посредством вращения ручки выставляется количество измерений шумов, определяется темновой шум спектрометра.

Перейдя во вкладку «Измерение яркости источника» и вращая ручку «Время интегрирования», добиваются ситуации, чтобы сигнал не уходил в насыщение – для правильной работы спектрометра.

Затем пользователь осуществляет переход во вкладку «Калибровка яркости», где посредством нажатия на кнопку «СТОП» осуществляется калибровка яркости источника по источнику типа D_{65} и вывод откалиброванного изображения спектра яркости источника.

Перейдя во вкладку «Измерение спектров отражения», задаются координаты начала и конца движения трансляторов *X* и *Y*, а также шаг их движения. Вследствие чего происходит сканирование объекта, установленного на подвижки. На экране виртуального прибора во время работы будут выводиться изображения спектров отражения от поверхности исследуемого объекта в каждой точке сканирования, а также прогресс выполнения сканирования.

Разработанная программа в среде MATLAB предназначена для расчета и построения цветовой карты поверхности, карты рельефа поверхности относительно базовой точки, а также построения карты дефектов поверхности [4].

Преимуществами разработанной программы в среде MATLAB для обработки результатов сканирования поверхности исследуемого объекта являются:

– определения координат цвета в 4 различных цветовых пространствах (CIE XYZ, sRGB, CMYK и HSV);
– визуальное представление цветовой карты, карты рельефа поверхности и карты дефектов поверхности.

Недостатком разработанной программы является визуальный анализ дефектов поверхности исследуемого объекта.

Всю программу можно поделить на 4 части:

1. определение размера исследуемого массива данных;
2. расчет координат цвета в системах sRGB, CMYK и HSV, а также представление цветовой карты поверхности;
3. расчет разности интенсивностей отраженного излучения относительно начальной точки сканирования и построение карты рельефа поверхности;
4. построение карты дефектов поверхности путем выделения границ на исследуемом объекте.

Определение размера исследуемого массива данных. Исходя из того, что в исходном массиве для каждой исследованной точки есть 4 столбца данных (1 – столбец длин волн; 2 – столбец значений интенсивности; 3 – столбец значений параметра x; 4 – столбец значений параметра y), в части кода, отвечающей за определение размера массива данных, происходит поэтапное сравнение значений всех параметров x до того момента, когда x_N не станет меньше x_{N-1}, что позволит определить количество элементов в строке, и затем, зная общее количество элементов в массиве и количество элементов в строке, вычисляется количество элементов в столбце.

Расчет координат цвета в системах sRGB, CMYK и HSV, а также представление цветовой карты поверхности. Для начала программа производит расчет координат цвета в пространстве CIEXYZ методом взвешенных ординат, затем проводит пересчет координат из CIEXYZ в sRGB и из sRGB в CMYK и HSV. Далее имея три массива данных по координатам R, G и B, проводится поэлементное деление всех значений на 255, так как в среде MATLAB координаты цвета нормированы к единице, а координаты в массивах к 255.

Затем происходит наложение трех массивов значений координат цвета друг на друга и получается цветовая карта поверхности.

Расчет разности интенсивностей отраженного излучения относительно начальной точки сканирования и построение карты рельефа поверхности: для начала программа выделяет строку со значениями интенсивностей на длине волны 980 нм.

Затем рассчитываются разности интенсивностей отраженного излучения относительно начальной точки сканирования, и потом значение интенсивности отраженного излучения для первой точки обнуляется. Все данные при этом записываются в матрицу.

Затем вычисляются размеры матрицы.

Далее формируются массивы **X** и **Y**, которые определяют координаты узлов прямоугольника, задаваемого векторами **x** и **y**. Этот прямоугольник задает область определения функции от двух переменных, которая затем будет использована для построения 3D-поверхности.

Затем выводится на экран сетчатая поверхность формы исследуемой поверхности, определенная на множестве значений массивов **X** и **Y**.

Построение карты дефектов поверхности путем выделения границ на исследуемом объекте. Для начала происходит считывание файла с изображением

объекта, полученным при выполнении построения цветовой карты. Затем происходит преобразование исходного цветного изображения в полутоновое.

Далее в целях повышения общей яркости изображения проводится гамма-коррекция.

Затем для повышения резкости изображения применяется фильтр повышения резкости.

После выполнения предыдущего действия происходит непосредственное выделение границ с помощью фильтра Канни и дальнейшего вычитания полученного результата из исходного выражения для выделения границ на изображении черным цветом.

Для проверки работоспособности разработанного алгоритма был сначала сформирован макет ОЭС АП поверхности состоящий из: спектрометра Ocean Optics USB4000, с детектором TCD1304AP, чувствительным в области от 200 до 1100 нм, что соответствует исходным данным; кварцевой лампы мощностью 50 Вт и спектральным диапазоном в видимой и ближней инфракрасной областях спектра; блока питания кварцевой лампы; двух линейных моторизованных трансляторов 8MT167-100 компании Standa, для осуществления перемещения объекта; контроллера для данных трансляторов; оптического зонда компании Ocean Optics и держателя для оптического зонда.

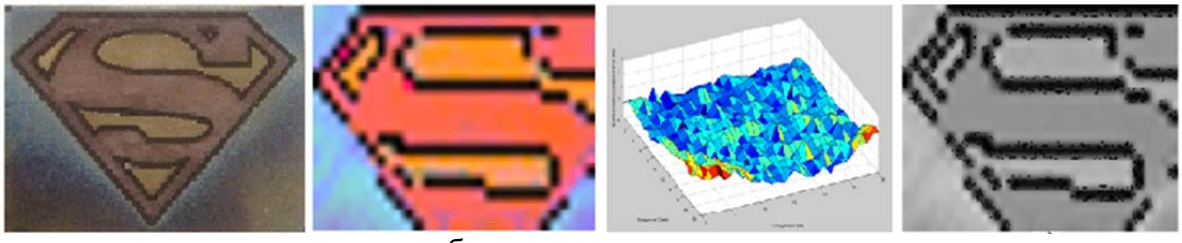
На трансляторах, соединенных между собой, устанавливается объект исследования, и путем движения обеих подвижек сканируется вся поверхность объекта. Оптический зонд остается неподвижным во время всего эксперимента. Для предотвращения зацепов трансляторов друг об друга, между ними устанавливается стальная пластина толщиной 10 мм и фиксируется четырьмя винтами.

Затем с помощью макета был проведен ряд экспериментальных исследований.

Для начала был составлена методика экспериментальных исследований, включающая в себя: выбор объектов исследований; снятие спектров отражения с поверхности выбранных объектов размером 30×20 мм с шагом в 1 мм с помощью ранее написанной программы управления установкой в среде LabVIEW; обработка полученных данных и построение цветовой карты поверхности, карты рельефа поверхности относительно базовой точки и карты дефектов поверхности с помощью написанной программы обработки данных в среде MATLAB; анализ полученных результатов.

В качестве исследуемых образцов в качестве металлических объектов были взяты две пластины с нанесенными на них цветными изображениями, а также обладающие рельефом, а в качестве неметаллического объекта – пластиковая чаша с отверстиями и цветными пластиковыми винтами.

На рис. 2 представлены результаты экспериментальных исследований одного из образцов.



а б в г

Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований металлической пластины с нанесенным цветным изображением буквы *S*: исходный объект (а); цветовая карта (б); карта рельефа поверхности (в); карта дефектов поверхности (г)

Анализ цветовой карты показал идентичность цвета образца и полученной карты. По карте рельефа поверхности относительно базовой точки был сделан вывод о том, что поверхность исследуемого образца имеет небольшие неровности, а к нижним краям имеет большие выпуклости. Визуальный анализ карты дефектов поверхности исследуемого образца позволяет говорить о наличии незначительных дефектов на границах выгравированной буквы *S*.

В результате экспериментальных исследований были просканированы поверхности трех образцов, по итогам работы программы обработки данных был сделан вывод о том, что эксперимент с образцом номер 1 можно считать успешным, так как для него построилась цветовая карта, максимально похожая на оригинал. Карта профиля поверхности в целом похожа на реальную карту рельефа образца номер 1, а для образца номер 2 результаты эксперимента также признаны относительно успешными, несмотря на крайне малое полученное разрешение цветовой карты – цвет, рельеф и дефекты поверхности передались правильно. Для образца номер 3 эксперимент признан успешным ввиду точной передачи цвета, рельефа и дефектов поверхности исследуемого объекта.

Проведено технико-экономическое обоснование исследований, в результате которого была рассчитана сметная стоимость, она составила примерно 480000 руб., а также был сделан вывод о том, что разработка обладает научным, техническим, научно-техническим, организационным эффектами, но в то же время ее социальный эффект весьма спорный.

Система, реализующая разработанную методику, найдет применение в области анализа характеристик поверхности объектов (как плоских, так и с рельефной поверхностью), при контроле качества нанесения покрытий на различные поверхности, для репродуцирования произведений искусства. Разработанная система после проведения ряда экспериментальных исследований, направленных на проверку ее работоспособности, доказала свою пригодность для анализа цвета, рельефа и дефектов поверхности объектов как металлических, так и неметаллических объектов. К числу достоинств стоит отнести возможность анализа всех трех параметров одновременно без необходимости проводить дополнительные экспериментальные исследования для анализа разных параметров. К числу недостатков разработанной системы можно отнести: большую зависимость от мощности используемого компьютера; очень долгую процедуру сканирования поверхности; несовершенство программного обеспечения при сканировании больших поверхностей; потребность в высокой квалификации оператора в области дефектоскопии, в виду того что карта дефектов поверхности представляет собой карту границ объектов, находящихся на поверхности исследуемого образа, ввиду того, что для каждого объекта дефекты разные, а требовалось разработать универсальную систему анализа. Несмотря на отмеченные недостатки, разработку данной системы можно признать успешной ввиду того, что по большей части все недостатки связаны с ее принципом функционирования и никак не влияют на точность измерения параметров. Все недостатки можно устранить, используя другую элементную базу и привлекая к работе специалиста в области дефектоскопии.

Литература

1. Домасев М.В., Гнатюк С.П. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.
2. Норко В.Е., Чертов А.Н. Особенности конструкции разрабатываемой оптико-электронной системы анализа параметров поверхности объектов // Сб. трудов IX Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика-2015». – 2015. – С. 521–522.

3. Тревис Дж. LabVIEW для всех. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 544 с.
4. Кетков Ю.Л., Кетков А.Ю., Шульц М.М. MATLAB 7: программирование, численные методы. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752 с.

Нугуманова Динара Рамизовна
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра технологии приборостроения, группа № Р4277
Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение
e-mail: November_Sky_@list.ru

УДК 621.7.08

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИНИАТЮРНЫХ ЛИНЗ

Д.Р. Нугуманова
Научный руководитель – к.т.н., доцент С.Д. Васильков

В настоящее время актуальными являются исследования по контролю оптических параметров полимерных изделий точного приборостроения [1]. В настоящей работе автор рассмотрел возможность проведения контроля оптических параметров полимерных миниатюрных линз, изготовленных методом литья под давлением.

Целью работы являлись разработка и исследование методики контроля оптических параметров миниатюрных линз. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:
– определение способов контроля оптических параметров полимерной линзы;
– разработка последовательности этапов контроля параметров линзы;
– разработка методики контроля оптических параметров полимерной миниатюрной линзы;
– проведение исследований по контролю оптических параметров на основании разработанной методики.

Объектом исследования являлись полимерные миниатюрные линзы – две выпукло-вогнутые диаметром 2,3 мм и одна выпукло-вогнутая с одной стороны и вогнуто-выпуклая с диаметром 2,7 мм, которые являются системой миниатюрного объекта.

Контроль оптических параметров состоит из нескольких этапов, которые включают в себя:
– выбор объектов контроля;
– определение параметров и способов контроля;
– выбор и подготовка оборудования;
– измерение оптических параметров объекта исследования согласно разработанному алгоритму;
– фиксация результатов в протокол измерений;
– проведение сравнительного анализа полученных результатов посредством математических функций;
– определение оптимальных значений результатов;
– оценка погрешностей;

– оценка метода контроля оптических параметров и целесообразность использования разработанного метода для контроля оптических параметров полимерных миниатюрных линз.

В связи с тем, что объект исследования имеет малые размеры, то появляется необходимость в использовании специального оборудования, которое может обеспечить необходимую точность измерения при контроле оптических параметров. Наиболее важными параметрами в исследовании были выбраны следующие: показатель преломления и радиус кривизны поверхности линз.

Для проверки заданных и необходимых параметров, исходя из возможностей, для измерения показателя преломления был сделан выбор в пользу рефрактометра ИРФ-454, радиуса кривизны поверхности – контактно-щуповой профилометр Hommel Tester T8000. Данное оборудование выбрано в лабораториях кафедры ОТиМ, и кафедры ТПС на базе материально-технического обеспечения Университета ИТМО.

Преимущества измерения показателя преломления на рефрактометре ИРФ-454 заключаются в простом использовании и обслуживании прибора. Затраты времени на проведение эксперимента небольшие. Основная погрешность прибора составляет 100 мкм, что удовлетворяет точности измерения полимерных миниатюрных линз. Преимущества измерения радиуса кривизны на профилометре заключается в универсальности и высокой точности измерений.

Следует отметить, что линзы, изготавливаемые литьем под давлением, ограничивают использование контактных методов контроля измерений, если только не использовать их при выборочном контроле (в случае, когда единицу продукции, входящую в одну или в несколько отобранных партий, подвергают контролю).

На этапе разработки методик были определены условия и требования к организации и проведению лабораторных измерений: для удобства была введена шифровка исследуемых образцов; алгоритмы проведения работ представлены в виде блок-схем, обеспечивающих простоту проведения лабораторных работ; составлена форма для заполнения – протокол измерений.

Важным является соблюдение температурных режимов в процессе измерения, так как из-за теплового расширения материала изменяется радиус кривизны и толщины линз, т.е. форма линзы может меняться [2]. Аналогичные изменения могут произойти и с показателем преломления, поскольку увеличение температуры способствует уменьшению показателя преломления. Вместе с тем с неравномерным распределением температуры изделия возникают термонапряжения, которые также влияют на показатель преломления. В связи с этим необходимо соблюдать температурный режим при измерении в диапазоне от +18 до +22°С.

Измерение показателя преломления основаны на явлении полного внутреннего отражения. Источником излучения служит лампа накаливания. Показатель преломления определяется по отношению к среде – воздух при длине волны (λ) желтой линии натрия (589,6 нм). По полученным результатам был построен график значений n_D (рис. 1).

По диаграмме видно, что значения показателя преломления варьируются в диапазоне от 1,5705 до 1,5720. Как показал расчет среднеквадратического отклонения, для тридцати измерений отклонение составляет 382 мкм. Средняя погрешность по всем линзам равна 0,0753%. Доверительный интервал для полученных усредненных значений составляет n=1,5711±0,000019 (n=1,571). Это доказывает, что данный метод измерения применим для контроля показателя преломления полимерных миниатюрных линз.

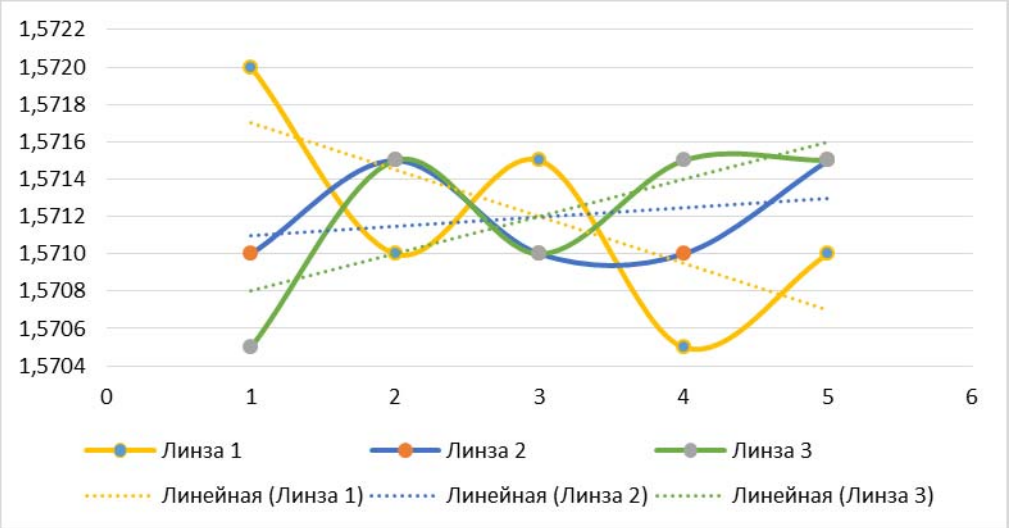


Рис. 1. Значения n_D для трех линз объектива

Показатель преломления зависит от длины волны падающего света и температуры [3]. В связи с этим автор хочет отметить рекомендации, на которые необходимо обратить внимание при проведении подобных измерений:

– должно выполняться неравенство $n_{\text{линза}} < n_{\text{к. жидкость}} < n_{\text{призма}}$, т.е. контактная жидкость должна иметь n меньший, чем n призмы, но больше, чем у линзы;
– контактная жидкость не должна быть агрессивной по отношению к термопласту, рекомендуемые контактные и иммерсионные жидкости указаны в ГОСТ 19927-74;
– важно поддерживать постоянную температуру при проведении измерений, так как ее увеличение влечет за собой уменьшение значения показателя преломления [4, С. 6];
– при проведении эксперимента не должно быть пузырьков и включений между линзой и поверхностью рефрактометра.

Измерение радиуса кривизны были выполнены контактным методом контроля. Измерения проводились с двух сторон линз, в количестве трех раз, каждый раз поворачивая линзу приблизительно на угол 120°. Для профиля была выбрана длина пути 14 мм. Для проведения расчетов использовался табличный процессор MS Excel, в котором был разработан алгоритм расчетов и построения точечных диаграмм, представленный в виде формы заполнения, где входными данными являются значения профиля поверхности, а выходными – значение радиуса кривизны и точечная диаграмма. Значения профиля по трем направлениям относительно оси линзы были усреднены. Для наглядности были построены точечные диаграммы значений профиля и окружности ближайшей сферы сравнения, как показано на рис. 2.

Средние значения радиуса кривизны для трех линз составляют: $R_{1кр}$=5,7457 мм; $R_{2кр}$=5,6788 мм; $R_{3кр}$=3,2244 мм. Средняя погрешность измерений составляет 0,45%. В процессе измерения профиля поверхности линз подобных размеров могут возникнуть трудности с базированием, так как исследуемые образцы имеют малый размер и изготавливаются из полимерного материала. Для изделий подобного рода требуется специальная оснастка, которая позволит уменьшить погрешность базирования при измерениях радиуса кривизны на профилометре. Следует отметить, что на погрешность измерений также влияет и размер самого щупа, а точнее, толщина измерительной иглы. В этом случае необходимо ссылаться на размер изделия, чем меньше линза, тем данный метод будет затруднителен для определения радиуса кривизны и, следовательно, погрешность измерений будет высока. Здесь возникает потребность в бесконтактном методе контроля, например, используя оптический профилометр можно добиться

нанометровой точности измерений, где нет ограничения по размеру иглы щупа, так как вместо него происходит облучение линзы светом.

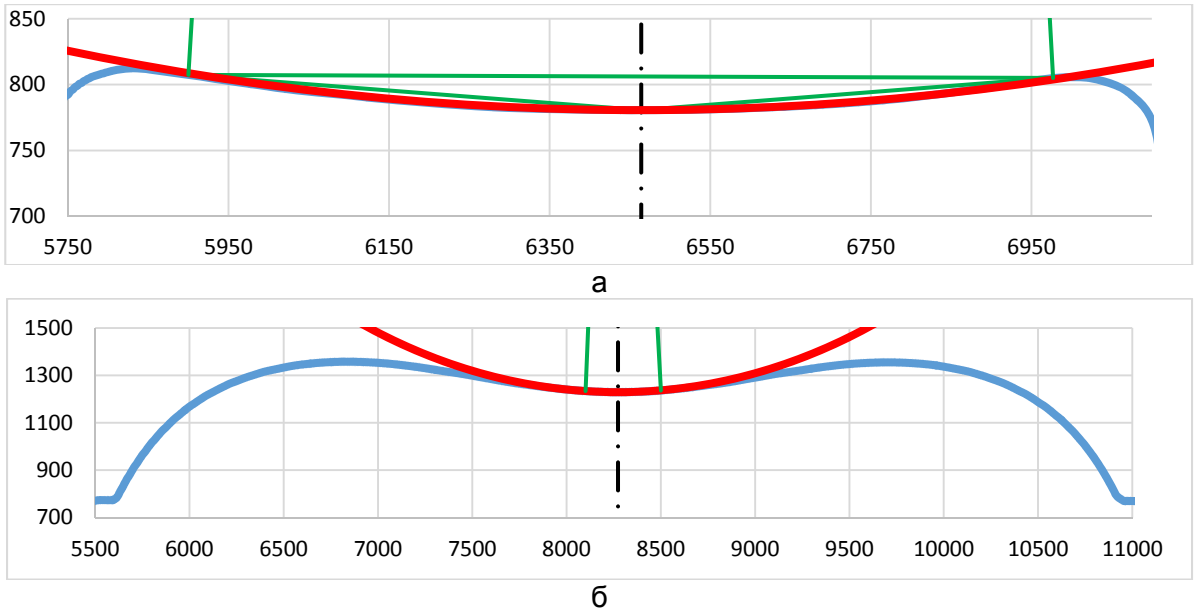


Рис. 2. Пример профиля и рассчитанные значения радиуса ближайшей сферы сравнения для сферической (а) и асферической (б) поверхности

Сравнивая полученное измеренное значение с требуемым, согласно чертежу линзы, можно выявить и оценить производственные дефекты пресс-формы, вызванные износом с течением времени, в результате чего она теряет свою первоначальную форму, а следовательно, и кривизну, заданную первоначально. Это может служить сигналом для необходимости замены пресс-формы. Полученные данные помогают оценить качество поверхности и выявить отклонения, вызванные не соответствующим подбором параметров в процессе литья под давлением.

Заключение. Основными результатами работы стали анализ существующих методов контроля параметров линз; разработка схемы методики контроля оптических параметров полимерной миниатюрной линзы, а именно показателя преломления и радиуса кривизны поверхности линзы; проведены соответствующие лабораторные исследования; проведен сравнительный анализ. Результаты измерений доказали возможность использования вышеописанных методов для контроля оптических параметров миниатюрных линз. В качестве направлений дальнейшего развития работы могут быть обозначены: проектирование специальной оснастки, для минимизации погрешности базирования при измерении радиуса кривизны, а также возможности автоматизации процесса измерения показателя преломления и радиуса кривизны. С развитием технологий становится возможным разработать методы контроля оптических параметров полимерных линз с использованием прогрессивного оборудования, позволяющего проводить контроль выпускаемых полимерных линз, снижая процент внешнего воздействия и переходя на бесконтактные методы контроля.

Литература

1. Пирогов А.В., Васильков С.Д., Савченко В.П. Контроль качества оптических изделий из термопластичных полимерных материалов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 8. – С. 61–64.
2. Серова В.Н. Полимерные оптические материалы. – Казань: КГТУ, 2015. – 540 с.

3. Sultanova N., Kasarova S., Nikolov I. Optical Polymers in the Design of Polymer and Hybrid Optical Systems // Second Bulgarian National Congress in Physics. – 2013. – P. 258–264.
4. Refractive Index and Dispersion // Advanced Optics SCHOTT AG. – 2015. – C. 6.

Нуштаева Светлана Владиславовна
Год рождения: 1992
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, группа № Р4212
Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия
e-mail: nushtaevasw@gmail.com

УДК 004.855.5

МЕТОДЫ РЕДУЦИРОВАНИЯ ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ В ИГРОВЫХ ПРОГРАММАХ

С.В. Нуштаева
Научный руководитель – д.т.н., профессор И.А. Бессмертный

Многие игровые программы относятся к классу задач поиска на дереве решений и вследствие этого имеют экспоненциальную сложность [1]. В качестве инструмента для редуцирования сложности поиска предполагается использовать хорошо зарекомендовавший себя в других задачах прецедентный подход. Его основная идея заключается в том, что использование созданной в процессе обучения базы прецедентов позволит вообще отказаться от спуска по дереву решений. Также предложенный метод не подразумевает создания сложных алгоритмов. За счет этого будет обеспечено радикальное сокращение сложности задачи. Прецедентный подход также позволит строить самообучающиеся алгоритмы. **Целью работы** являлось создание универсального подхода к разработке игровых программ.

Для сокращения размерности дерева решений используют либо эвристики [2], которые не обладают свойством переносимости, а значит, являются бесполезными при применении в других задачах, либо алгоритмы, реализующие массовую обработку фактов методами реляционной алгебры, который сокращает размерность задачи всего лишь на 2–3 порядка [3]. В работе [4] на задаче поиска путей на графе был апробирован метод случайных блужданий, который продемонстрировал, что с его помощью можно найти все пути быстрее, чем поиск в ширину находит одно решение.

Требуется разработать такой метод, при котором проблема экспоненциальной сложности решается на основе прецедентного подхода с помощью воспроизведения механизма интеллектуальных навыков в виде прецедентов – сохраненных результатов предыдущих рассуждений.

В данной работе было предложено использовать антропоморфный прецедентный подход как накопление и обобщение интеллектуальных навыков, который хорошо себя зарекомендовал в других задачах [5]. Основной идеей является использование результатов предыдущих игр для выбора очередного хода. Данный подход является универсальным, не зависит от специфики конкретных задач и достаточно широко используется человеком.

Для проверки работоспособности и эффективности применения антропоморфного прецедентного подхода к игровым программам были проведены

эксперименты с использованием игры «Крестики-нолики». Для постановки экспериментов была написана программа игры «Крестики-нолики» с размерностью поля 3×3 в программной среде SWI-Prolog. Следует заметить, что текст программы не содержит ни единого алгоритма, который бы искал выигрышную стратегию. Основная идея проведения экспериментов заключалась в том, что использование запомненных выигрышных комбинаций для выбора хода позволит вообще отказаться от спуска по дереву решений. За счет этого будет обеспечено радикальное сокращение сложности задачи. Эксперимент заключался в том, чтобы обучить машину исключительно на основе статистики предыдущих игр, не прибегая к созданию алгоритмов.

Чтобы провести оценку результативности и эффективности проведенного обучения, использовались следующие способы:

– чередование 10 обучающих игр с 10 контрольными играми;
– чередование 20 обучающих игр с 10 контрольными играми;
– чередование 50 обучающих игр с 50 контрольными играми.

В таблице продемонстрированы результаты проведения экспериментов. «*Win*» показывает количество выигрышей, «*Loss*» – количество проигрышей. Результативность машины *R* в каждой серии игр вычислялась по следующей формуле:

$$R = (w - l)/n,$$

где w – число выигрышей машины в серии; l – число проигрышей машины; n – число игр в серии. Ничейные результаты не учитывались.

Таблица. Результаты проведения экспериментов

Количество игр	эксперимент 1			эксперимент 2			эксперимент 3			эксперимент 4		
	Win	*Loss*	*R*	*Win*	*Loss*	*R*	*Win*	*Loss*	*R*	*Win*	*Loss*	*R*
10	7	2	0,5									
20	1	5	–0,4									
30	6	2	0,4	7	2	0,5				7	3	0,4
40	3	4	–0,1									
50	5	4	0,1				8	2	0,6			
60	4	3	0,1	7	3	0,4	7	2	0,5	8	0	0,8
70	4	3	0,1				8	1	0,7			
80	3	2	0,1				7	1	0,6			
90	5	3	0,2	8	2	0,6	7	1	0,6			
100	2	2	0	9	1	0,8						

Пустые ячейки в таблице предполагают, что на данном этапе проведения игр производилось обучение машины, и результаты не учитывались. В некоторых случаях машина логического вывода давала сбой при попытке обучить нескольким стратегиям создания выигрышной ситуации с какой-либо позиции при начале игры.

Для наглядности результаты экспериментов объединены в график, представленный на рисунке.

В первом эксперименте обучение машины происходило следующим образом: чередовались 10 обучающих игр с запоминанием выигрышных комбинаций, проведенных случайным образом, и 10 игр без запоминания выигрышных позиций, где человек выбирал ход осознанно. В представленном графике можно увидеть, что данный способ обучения оказался непродуктивным, так как машина игнорировала более быструю возможность выигрыша, используя в качестве хода запомненный неэффективный сценарий. Результат в конце эксперимента достиг величины 0,2. Это означает, что число выигрышей больше числа проигрышей на 20%.

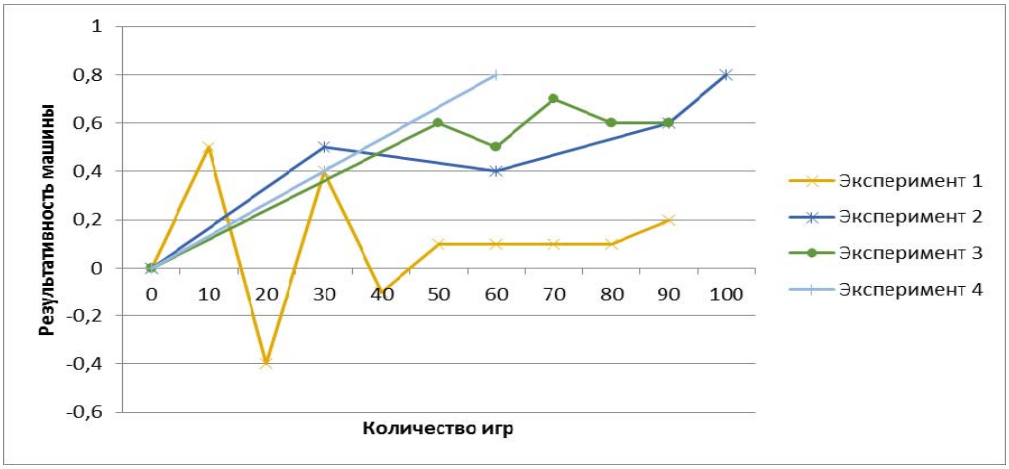


Рисунок. Результативность машинного обучения

При проведении второго эксперимента, машина обучалась человеком, пытающимся выиграть на протяжении 20 игр с запоминанием выигрышных комбинаций. Далее производился контроль проведенного обучения в течение 10 игр, где человек ходил случайным образом. Машина, используя накопившиеся в процессе своего обучения знания, играет гораздо эффективнее. К концу эксперимента превышение числа выигрышей составляет 80%.

В третьем эксперименте также создавалась база прецедентов на основе выигрыша человека, однако обучение происходило на протяжении 50 игр. Для чистоты эксперимента, при проведении 50 контрольных игр запоминание выигрышей не производилось. Максимальное превышение выигрышей над проигрышами составило 70%.

Четвертый эксперимент производился аналогичным образом, что и второй, но машину обучали самым эффективным, с точки зрения стратегии игры, ходам: т.е. начинать игру с ходов 2:2, 1:1, 3:3, 1:3, 3:1, которые чаще других могут привести к выигрышу. Такой способ обучения оказался самым эффективным, так как показал наилучшие результаты на более ранних этапах.

Таким образом, предложенный подход продемонстрировал работоспособность и достаточно быстрый выход на превышение выигрышей над проигрышами. Использование машинного обучения с помощью прецедентного подхода является универсальным и может использоваться в других задачах без разработки алгоритмов, реализующих выигрышные стратегии.

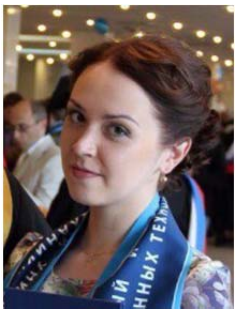
Можно сказать, что представленные выше результаты исследования позволяют утверждать, что сформулированная проблема экспоненциальной сложности в игровых программах была решена предложенным методом. Цель – создание универсального подхода к разработке игровых программ – достигнута.

Проведенное исследование доказало эффективность антропоморфного прецедентного подхода. Этот подход можно применить для игрового поля любой размерности вплоть до бесконечного пространства. Для увеличения результативности можно найти применение симметрии доски, т.е. использовать зеркальное отображение выигрышной позиции на игровом поле. Если создать самообучающийся алгоритм, то можно вообще не тратить время на обучение машины. Таким образом, можно просто запустить в работу программу, которая сама обучит себя всеми возможными способами.

Литература

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 1410 с.

2. Бессмертный И.А. Методы поиска информации в продукционных системах // Изв. вузов. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – № 6. – С. 56–59.
3. Бессмертный И.А., Катериненко Р.С. Метод ускорения логического вывода в продукционной модели знаний // Программирование. – 2011. – Т. 42. – № 4. – С. 76–80.
4. Бессмертный И.А., Булыгин К.А. Многоагентный подход к решению задач неинформированного поиска // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2011. – № 4(74). – С. 98–102.
5. Бессмертный И.А., Королёва Ю.А. Способ организации фактов в базах знаний, ориентированный на создание и использование прецедентов // Труды межд. конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT'14. – 2014. – С. 245–250.



Одинцова Людмила Николаевна
Год рождения: 1991
Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра финансового менеджмента и аудита, группа № U4220
Направление подготовки: 38.04.02 – Менеджмент
e-mail: 9062733124@mail.ru

УДК 336.011

АНАЛИЗ И РЕАЛИЗАЦИЯ ФИНАНСОВО-КРЕДИТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА

Л.Н. Одинцова
Научный руководитель – д.э.н., профессор Н.И. Усик

Актуальность темы настоящей работы заключалась в том, что разработка и реализация финансово-кредитных технологий в деятельности коммерческих банков на современном этапе является основным критерием повышения устойчивости и эффективности функционирования банков в Российской Федерации [1].

Вопросы повышения устойчивости и эффективности функционирования банков в России всегда находились и находятся в центре внимания, ведь состояние экономики Российской Федерации, ее стабильность и поступательный характер во многом зависят от динамики развития банков Российской Федерации.

Целью работы являлось проведение анализа финансово-кредитных технологий в деятельности банка и рассмотрение способов их реализации.

Исходя из поставленной цели, сформулированы и решены следующие задачи:
– провести теоретико-методологическую реконструкцию проблем финансово-кредитных технологий в деятельности банков;
– определить сущность и рассмотреть классификацию финансово-кредитных технологий в деятельности банков;
– провести анализ финансово-кредитных технологий в деятельности банков и рассмотреть способы их реализации;
– проанализировать финансово-кредитные технологии публичное акционерное общество (ПАО) «Сбербанк России»;
– представить предложения по совершенствованию финансово-кредитных технологий в ПАО «Сбербанк России».

Научная новизна работы заключалась в следующем:
– уточнено определение понятия «финансово-кредитная технология банка»;

– предложена классификация «финансово-кредитных технологий банка»;
– выявлены проблемы, препятствующие использованию финансово-кредитных технологий в деятельности банков, с целью их дальнейшего разрешения и повышения устойчивости и эффективности банковской деятельности в России;
– разработан ряд предложений по совершенствованию финансово-кредитных технологий ПАО «Сбербанк России».

Периоды развития финансово-кредитных технологий банков можно сопоставить с периодами развития науки и техники (таблица).

Таблица. Взаимосвязь периодов развития науки, техники и банковской деятельности [1]

Наука	Техника и технологии	Банковская деятельность и банковские технологии
До XVI – XVII в. Преднаука	До XVII в. Ремесленная деятельность	До XVII – XVIII в. Добанковский период
XVII – XIX в. Классическая наука	XVII в. – 1-я половина XX в. Классическая инженерная деятельность	XVIII – 1-я половина XX в. Классический период
1-я половина XX в. Неклассическая наука	1940–1970-е годы Системотехническая деятельность	1950–1980-е годы Неклассический период (системного развития)
Со 2-й половины XX в. Постнеклассическая наука	С 1970-х годов Социотехническое проектирование	С 1980-х годов Постнеклассический период (социоэкономической интеграции)

Само понятие «финансово-кредитная технология банка» появилось в деловой практике относительно недавно, еще 10–15 лет назад его просто не существовало.

Существующие же исследования по данному вопросу, скорее всего, проводились в рамках общих исследований по вопросам банковской деятельности и не носили специального характера, или сводились к анализу отдельных технологий банковской деятельности.

Определений данного понятия в литературе встречается не очень много, а имеющиеся показывают, что единого общепризнанного подхода к пониманию «финансово-кредитной технологии банка» нет.

Проанализировав имеющиеся в научной литературе определения данного понятия можно предположить, что финансово-кредитная технология банка – это результат банковской деятельности, передаваемый клиенту в виде совокупности банковских услуг, выполненных работ, объекта интеллектуальной собственности, который создается и реализуется для удовлетворения потребностей клиента банка.

Существует два подхода к раскрытию содержания финансово-кредитных технологий банка:
– продуктовый (делает акцент на продукт, который анализируется как описание определенной технологии, регламентных процедур, которые разработаны банком);
– операционный (рассматривает технологии как совокупность банковских методов, способов и приемов организации деятельности банков).

Финансово-кредитные технологии банка могут быть классифицированы по таким признакам, как сущность, причины зарождения, степень новизны, масштаб действия, функциональное содержание, характер новизны.

Выявлен ряд проблем, которые препятствуют использованию финансово-кредитных технологий банков, а именно:

– финансовая неграмотность населения;
– финансовые проблемы региональных банков;
– проблемы эффективности;
– проблемы организации и управления процессом внедрения и реализации финансово-кредитных технологий;
– возрастание и появление новых рисков.

На современном этапе развития экономики приоритетным направлением для банков является разработка и реализация инновационных финансово-кредитных технологий, которые позволяют банку быть ближе к клиентам, выходя за пределы банковских офисов.

Одной из инновационных финансово-кредитных технологий банков является дистанционное банковское обслуживание, которое включает в себя активно развивающиеся технологии «интернет-банк» и «мобильный банк» (рисунок) [2].

Рисунок. Виды дистанционного банковского обслуживания

Разработка и внедрение инновационных финансово-кредитных технологий банка включает в себя 4 основных этапа.

На 1-м этапе происходит сбор и обработка информации о состоянии рынка, выявляется потребность в инновационных финансово-кредитных технологиях.

На 2-м этапе разрабатывается сама технология, проходит обучение сотрудников работе с данной технологией, разрабатывается план внедрения технологии, внедрение технологии, проводятся испытания качества технологии среди клиентов.

На 3-м этапе организовывается план продвижения технологии и само продвижение технологии, а также ее продажа клиентам.

На 4 этапе оцениваются результаты реализации технологии [3].

Финансово-кредитные технологии банка могут быть реализованы путем персональных продаж или через Интернет.

В ходе выполнения работы был проведен анализ финансово-кредитных технологий ПАО «Сбербанк России», который является крупнейшим банком Российской Федерации и стран СНГ.

В ходе проведенного анализа выявлено, что Сбербанк активно разрабатывает и внедряет в свою деятельность инновационные финансово-кредитные технологии и вкладывает огромные средства на их развитие, уделяя большое внимание данному вопросу.

В своей деятельности Сбербанк использует множество инновационных финансово-кредитных технологий банка, но не все они являются совершенными. На

рынке банковских услуг есть и другие банки, которые предоставляют своим клиентам более совершенные инновационные финансово-кредитные технологии.

Проанализировав инновационные финансово-кредитные технологии банков-конкурентов, Сбербанку предложены следующие рекомендации.

Для упрощения получения клиентом дебетовых и кредитных карт:

– возможность оформления карт через Интернет;
– возможность доставки карты клиенту с помощью курьерской службы;
– возможность отслеживания стадии обработки заявки состояния через Интернет.

Для совершенствования технологий интернет-банка можно внедрить:

– технологию оценки уровня затрат на те или иные услуги, товары или платежи путем представления списаний денежных средств с пластиковой карты в графическом виде, разбитые по категориям;
– технологию «подписка»;
– технологию «лимиты»;
– возможность управления инвестиционным портфелем через интернет-банк.

Также сбербанку можно предложить внедрить следующие технологии:

– виртуальный помощник, который сможет распознавать голос и напечатанный текст запроса и искать ответы в имеющейся базе данных. Такая технология должна помочь людям, которым сложно самостоятельно освоить интернет-банк;
– биометрические банкоматы, которые позволят повысить уровень безопасности проводимых операций, упростить процедуру выполнения операции, а также даст возможность в дальнейшем отказаться от использования банковских карт, так как информация по счету будет доступна по биометрическим данным клиента.

В заключение можно сделать следующие выводы:

– разработка и реализация финансово-кредитных технологий в деятельности банков является одним из критериев повышения устойчивости и эффективности функционирования их деятельности;
– современные банки сталкиваются с целым рядом проблем, препятствующих разработке и реализации финансово-кредитных технологий (финансовая неграмотность населения; финансовые проблемы региональных банков; проблемы эффективности; проблемы организации и управления процессом внедрения и реализации финансово-кредитных технологий; возрастание и появление новых рисков;
– современным коммерческим банкам в своей деятельности необходимо делать акцент на разработку и внедрение инновационных финансово-кредитных технологий банка в свою деятельность.

Литература

1. Дубинин М.В. Банковские технологии: сущность, история развития и перспективы // Финансы и кредит. – 2007. – № 34(274). – С. 57–63.
2. Кривушкина К.С., Белоконская Е.Г. Интернет-банкинг в России: проблемы и перспективы развития // Сб. научных трудов вузов России «Проблемы экономики, финансов и управления производством». – 2013. – № 34. – С. 167–172.
3. Закшевский В.Г., Пашута А.О. Теоретические аспекты инновационных банковских продуктов на современном этапе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 3(46). – С. 214–220.

Павлов Андрей Сергеевич
Год рождения: 1992
Факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, группа № Р4237
Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление
e-mail: a.s.pavlov@email.su

УДК 512:517.962:62.50

АНАЛИЗ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ И СТОХАСТИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ С РАЗНОТЕМПОВЫМИ СТРУКТУРНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

А.С. Павлов
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Ушаков

В результате синтеза систем управления с использованием цифровой схемотехники разработчик приводит исходную непрерывную систему к дискретному виду с требуемым интервалом дискретности. При работе с многоканальной системой может возникнуть ситуация, когда требуется использовать разный интервал дискретности для различных каналов. В результате появляется проблема комплексной оценки работы всей системы, так как для корректного математического описания единой системы необходимо приводить систему к одному интервалу дискретности. **Цель работы** – разработка алгоритмической базы анализа детерминированных и стохастических дискретных систем с разнотемповыми структурными компонентами. В работе рассмотрены и решены следующие проблемы: проблема анализа процессов в многоканальных дискретных системах с различными интервалами дискретности сепаратных каналов; проблема анализа процессов, моделируемых регулярными конечными цепями Маркова с различными временами пребывания в состояниях. В обоих случаях предполагается наличие свойства кратности таких интервалов.

Установлено, что, несмотря на усложнение современных технологических ресурсов, являющихся основной прикладной областью применения современной теории управления, проблема оценки качества процессов, спроектированных дискретных многоканальных систем, даже в условиях равных интервалах дискретности сепаратных каналов остается открытой. К сказанному надо добавить, что основная часть специалистов по разработке и эксплуатации систем управления, которая выросла на практике использования одноканальных систем, чьи показатели качества имеют скалярную природу, естественным образом стремятся получить основные показатели многоканальных систем также в скалярной форме. В математической постановке получение скалярных оценок качества дискретных многоканальных систем сводится к скаляризации векторных процессов по их выходу и ошибке. Наиболее употребляемой скаляризирующей функцией является норма, а одним из методов анализа – последующее эллипсоидное покрытие векторных процессов [1]. Для его использования необходимо прийти к линейной алгебраической задаче

$$\boldsymbol{\eta}(k) = \mathbf{N}(k) \cdot \boldsymbol{\chi}(k), \boldsymbol{\eta}(k) = \mathbf{N}(k) \cdot \boldsymbol{\chi}(k), \quad (1)$$

где $\mathbf{N}(k)$ – критериальная матрица; $\boldsymbol{\eta}(k)$ и $\boldsymbol{\chi}(k)$ – выходной и преобразуемый вектора. Переходя в (1) к евклидовым нормам, получаем оценочное неравенство вида:

$$\alpha_{\min}\left\{\mathbf{N}(k)\right\} \le \frac{\left\|\boldsymbol{\eta}(k)\right\|}{\left\|\boldsymbol{\chi}(k)\right\|} \le \alpha_{\max}\left\{\mathbf{N}(k)\right\}, \forall k, \quad (2)$$

где $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$ – максимальное и минимальное сингулярные числа матрицы $\mathbf{N}(k)$. Учитывая (1) и (2) становится возможным построение мажоранты и миноранты исследуемой векторной характеристики векторных процессов.

В случае наличия в структуре системы элементов, работающих с разным интервалом дискретности (в рассматриваемом случае это экстраполяторы нулевого порядка), анализ заметно усложняется. Необходимо перейти к единому интервалу дискретности. Наиболее часто экстраполятор представляют в виде передаточной функции, полученной по импульсной характеристике. Такое представление неудобно при работе в пространстве состояний. Для упрощения его заменяют на задержку. Так, например, в [2] предлагается заменять экстраполятор с интервалом дискретности Δt на задержку $\frac{\Delta t}{2}$. В [3] предлагается переход к большему интервалу дискретности и замене импульсного элемента с меньшим интервалом на сумму из несинхронных параллельных импульсных элементов. Такое представление громоздко, сложно при составлении конечной модели и является устаревшим. В конечном итоге наиболее распространенным методом получения модели экстраполятора является его замена на элемент задержки $\frac{\Delta t}{2}$. Такой метод был представлен в виде применения приема расширения размерности системы в [4] при переходе к меньшему интервалу дискретности, основываясь на теории фильтров. При таком представлении возникает ошибка между состояниями исходной и эквивалентной моделью. В ходе работы было получено следующее оценочное неравенство:

$$\left\|\varepsilon(\tau)\right\| \le \left\| \left(e^{\mathbf{A}\frac{\Delta t}{r}} - I \right) \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{B} \cdot \frac{\pi}{\Delta t} \right\| \cdot \sum_{i=1}^{r-1} \left(\left\| e^{\mathbf{A}\Delta t\left(\frac{r-1-i}{r}\right)} \right\| \cdot \left\| \left(-\tau + i\frac{\Delta t}{r} \right) \right\| \right), \qquad (3)$$

где τ – величина задержки; $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$ – матрицы описания системы; Δt – интервал дискретности; r – кратность интервала дискретности. Выражение (3) обладает минимумом при $\tau = \frac{\Delta t}{2}$ (рис. 1).

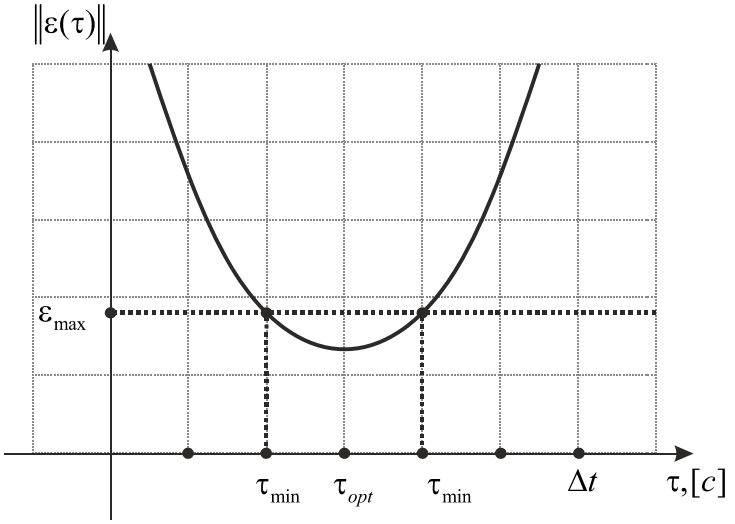


Рис. 1. Ошибка перехода к меньшему интервалу дискретности

Учитывая специфику дискретных систем, становится возможным использовать следующее утверждение.

Утверждение 1. Дискретная система, полученная в результате агрегирования экстраполятора нулевого порядка с интервалом дискретности Δt и непрерывной

системой, имеет эквивалентное представление в виде дискретной системы, полученной в результате агрегирования экстраполятора нулевого порядка с меньшим интервалом дискретности $\Delta t_r = \dfrac{\Delta t}{r}$ и непрерывной системой, с введением на входе цепочки из $\dfrac{r}{2}$ дискретных элементов задержки при четном r и из $\dfrac{r-1}{2}$ дискретных элементов задержки при нечетном r.

Получить нулевую ошибку можно воспользовавшись представлением экстраполятора нулевого порядка в виде совокупности экстраполятора и нестационарной дискретной системы первого порядка (рис. 2) с интервалом дискретности $\Delta t_r = \dfrac{\Delta t}{r}$ вида

$$\begin{aligned}
&\mathbf{x}_z(k+1) = \mathbf{x}_z(k) + v_z(k)\left(\mathbf{u}(k) - \mathbf{x}_z(k)\right)\\
&\mathbf{u}_z(k) = \mathbf{x}_z(k) + v_z(k)\left(\mathbf{u}(k) - \mathbf{x}_z(k)\right) \quad ,\\
&v_z(k) = \begin{cases} 1, k = 0, r, 2r... \\ 0, k \neq 0, r, 2r... \end{cases}
\end{aligned} \tag{4}$$

где $\mathbf{x}_z(k)$ – вектор состояния системы; $\mathbf{u}(k)$, $\mathbf{u}_z(k)$ – вход и выход системы; $v_z(k)$ – нестационарная функция.

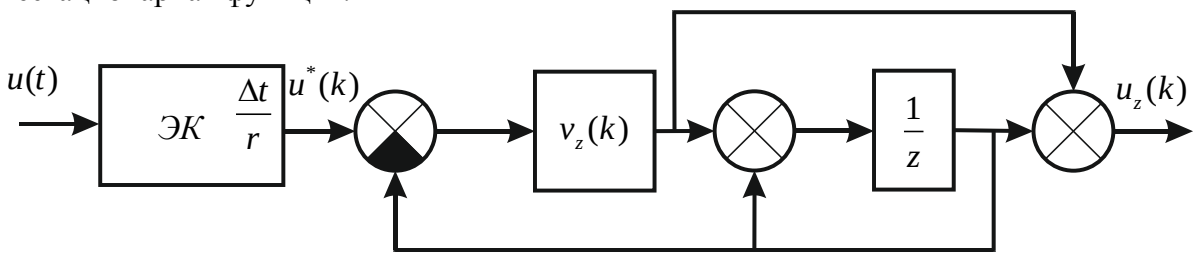


Рис. 2. Функциональная схема экстраполятора нулевого порядка в виде совокупности экстраполятора с меньшим интервалом дискретности и дискретной нестационарной системы

На представлении (4) становится возможным получение системы с меньшим интервалом дискретности для цифровых систем.

$$\begin{aligned}
&\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} 1 - v_z(k) & 0_{1\times n} \\ v_z(k+1)\mathbf{B} & v_z(k+1)(\mathbf{A} - I) + I \end{bmatrix}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \begin{bmatrix} v_z(k) \\ 0_{n\times 1} \end{bmatrix}\mathbf{u}(k) \quad ,\\
&\mathbf{y}(k) = \begin{bmatrix} \mathbf{D}\left(1 - v_z(k)\right) & \mathbf{C} \end{bmatrix}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{D}v_z(k)\mathbf{u}(k)
\end{aligned} \tag{5}$$

где $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ – вектор состояния системы; $\mathbf{u}(k)$, $\mathbf{y}(k)$ – вход и выход системы; $v_z(k)$ – нестационарная функция; $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{D}$ – матрицы описания исходной системы. Такое представление позволяет получить точную модель системы с единым интервалом дискретности, в структуре которой имеются цифровые подсистемы, например управляющие и исполнительные устройства.

В качестве иллюстративного примера рассмотрена многоканальная нестационарная система, функциональная схема которой представлена на рис. 3. Нестационарность системы заключена в нестационарных связях, представляемых периодическими коэффициентами $\gamma_i(k)$, $i = \overline{1,4}$.

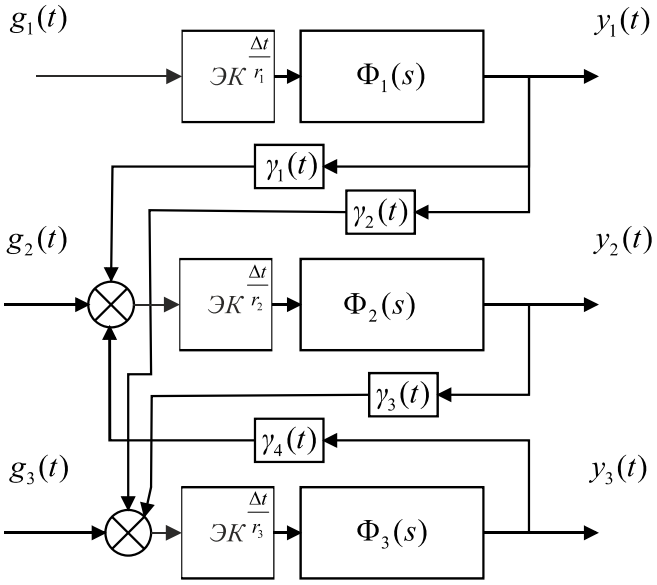


Рис. 3. Многоканальная нестационарная система с включением экстраполяторов с разным интервалом дискретности

На основании утверждения 1 становится возможным получение дискретной модели системы с единым интервалом дискретности и построение оценочных покрытий основных характеристик системы. Пример таких характеристик представлен на рис. 4.

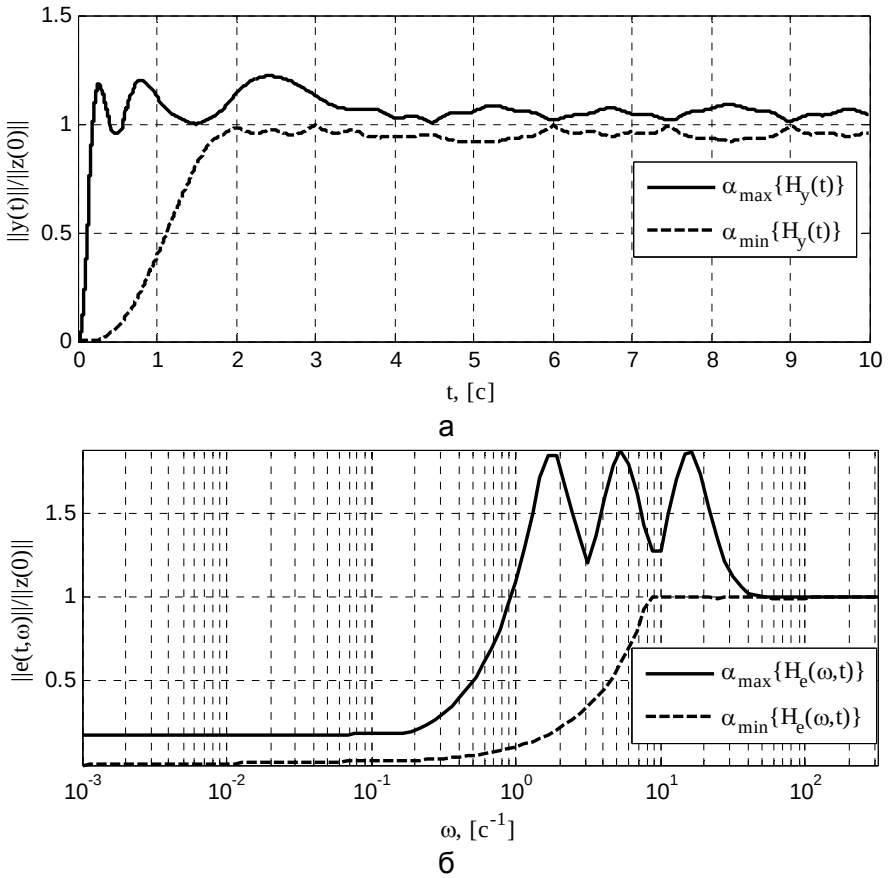


Рис. 4. Мажоранта и миноранта эллипсоидного покрытия: переходных процессов при нулевых начальных условиях (а); ошибки отработки гармонического воздействия (б)

Помимо детерминированных систем существуют стохастические, представленные в данной работе в виде цепей Маркова, нашедшие применение в теории управления и ее областях. В большинстве случаев используются дискретные регулярные цепи. Тем не менее, есть ситуации, когда при работе с дискретными процессами приходится иметь дело с непрерывными цепями. В этом случае удобнее всего получить эквивалентное представление такой цепи в дискретном виде. Здесь становится возможным применение аналогичного приема расширения размерности: для анализа стохастических дискретных систем с разнотемповыми структурными компонентами методами анализа дискретных цепей достаточно заменить состояния, работающих с большим интервалом дискретности на цепочки из состояний с меньшим интервалом. Пример такого перехода представлен на рис. 5.

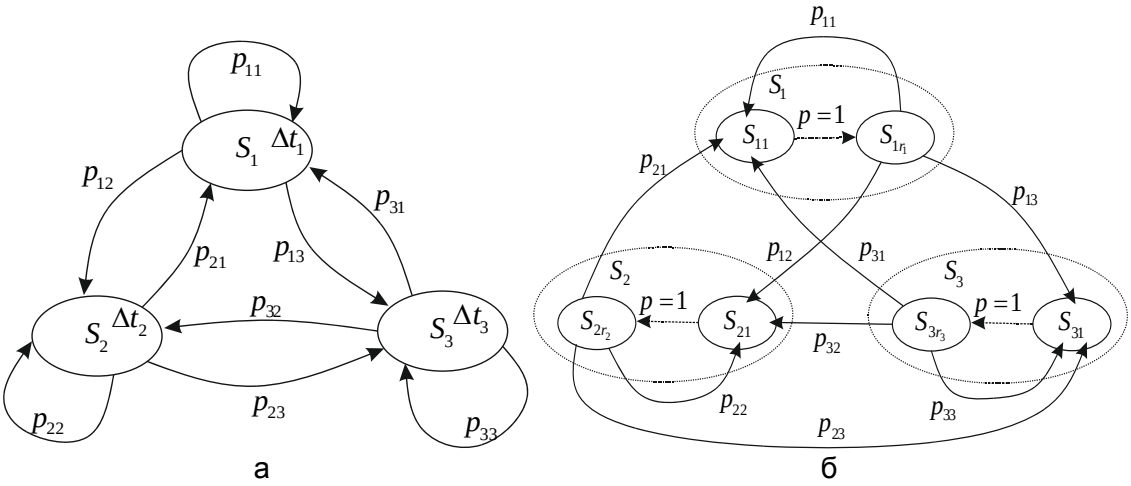


Рис. 5. Пример расширения размерности цепи Маркова: непрерывная цепь Маркова с тремя состояниями (а); эквивалентная дискретная цепь Маркова (б)

В конечном итоге в работе были решены поставленные задачи. Показан метод анализа многоканальных нестационарных дискретных систем с единым интервалом дискретности, основанный на использовании сингулярного разложения. При рассмотрении интегральной модели одноканальной дискретной системы показана точность метода перехода к эквивалентной системе, основанного на вводе цепочки из элементов задержки. Найдено эквивалентное представление цифровых систем с меньшим интервалом дискретности, заключающееся в переходе к нестационарной дискретной системе. Был найден способ получения эквивалентной дискретной цепи Маркова для непрерывной цепи, заключающийся в использовании приема расширения размерности исходной цепи.

Литература

1. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. – М.: Мир, 1980. – 280 с.
2. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.
3. Ту Ю. Цифровые и импульсные системы автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1964. – 698 с.
4. Дударенко Н.А., Полякова М.В., Ушаков А.В. Контроль вырождения дискретных многоканальных систем с кратными интервалами дискретности // Автометрия. – 2012. – № 5. – С. 66–73.

Полухин Андрей Тимофеевич
Год рождения: 1992
Факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, группа № Р4215
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника
e-mail: xalki34@mail.ru

УДК 004.3

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПОМЕЩЕНИЙ

А.Т. Полухин
Научный руководитель – д.т.н. профессор А.В. Демин

Избыточное тепло в помещении является одним из главных вредных выделений. Рассчитывая отопление для зданий необходимо составлять уравнение теплового баланса, в котором будут учтены все виды подводимого и рассеиваемого тепла.

Поступающее тепло состоит из таких составляющих, как тепло, выделяемое людьми, оборудованием, солнечной радиацией, электроэнергией, трением механизмов. А также необходимо учитывать тепло испарения паров от жидкостей, твердение и тепло от кристаллизирования остывающего металла.

В промышленности исследуя новые технологии или изучая малоизвестную область, приходится сталкиваться с теплопоступлениями, не контролируемыми по времени. В связи с этим приходится проводить специальные тестовые испытания на работающем предприятии. Во время испытаний замеряют расходы воздуха, энтальпию приточного и удаляемого из помещения воздуха.

Для поддержания хороших климатических условий в производственном помещении микроклимат необходимо поддерживать на нужном уровне, осушать, увлажнять, регулировать скорость подачи воздуха, нагревать и охлаждать, в целом поддерживать необходимый уровень тепла и влажности на должном уровне. Система отопления необходима в помещениях для обеспечения тепла в холодный период года. Также бывает необходимость отвечать тепловым требования технологического процесса. Решая задачу отопления в помещениях, необходимо рассчитывать теплосопротивление ограждающих конструкций и теплоотдачу обогревающих устройств так, чтобы они соответствовали требуемым тепловым условиям в обслуживаемой зоне, учитывая расчеты низких температур в самый суровый период зимы [1].

Нормальная тепловая обстановка в помещении зависит от теплозащитных свойств ограждений, расположения обогревателей, интенсивности источников поступления и рассеивания тепла [2, 3].

Для того чтобы определить дефицит или избыток теплоты и свести тепловой баланс помещения, нужно учитывать все вышеперечисленные теплопоступления и потери теплоты. По дефициту теплоты можно понять нужно ли устройства отопления в помещении, и в каком количестве. Избытки теплоты ассимилируются хорошей вентиляцией. Более точное определение мощности системы отопления позволяет посчитать баланс расходов теплоты для расчетного холодного периода года:

$$Q_{от} = \Delta Q = Q_{огр} + Q_{вен} \pm Q_{быт}, \quad (1)$$

где $Q_{огр}$ – потери тепла через наружные ограждения; $Q_{вен}$ – расход тепла на нагревание поступающего в помещение воздуха; $Q_{быт}$ – технологические или бытовые выделения, или расход теплоты.

При условиях, когда возникает наибольший дефицит тепла, составляется баланс расходов тепла. В производственных зданиях производят расчеты в периоды с наименьшими тепловыделениями. Для гражданских помещений учитывают теплопоступления от людей, освещения, бытовых источников [4].

С помощью дифференциального уравнения можно описать анализ регулирования температуры воздуха в помещении. Для моделирования данного процесса необходимо представить обогреваемое помещение, как однородное тело с одинаковой температурой во всех его точках, данное упрощение позволит облегчить расчеты.

Тепло Q, подводимое в помещение, расходуется на нагревание помещения $Q_{пом}$ и на компенсацию потери тепла через ограждающие конструкции $Q_{ок}$, рассмотрим формулу:

$$Q = Q_{пом} + Q_{ок}. \quad (2)$$

В единичный момент времени, подводимая энергия $Qd\tau$ в помещение, расходуется на прогревание помещения, на значение dt°С.

$$G_{пм} \cdot c_{пм} dt \quad (3)$$

и на покрытие расхода энергии через ограждающие конструкции

$$k_{ок} \cdot F_{ок} \cdot \Delta t_{в} d\tau. \quad (4)$$

Получим дифференциальное уравнение теплового баланса обогреваемого помещения:

$$Qd\tau = G_{пм} \cdot c_{пм} dt + k_{ок} \cdot F_{ок} \cdot \Delta t_{в} d\tau. \quad (5)$$

Преобразуем полученное уравнение:

$$Qd\tau = G_{пм} \cdot c_{пм} \frac{dt}{d\tau} + k_{ок} \cdot F_{ок} \cdot \Delta t_{в} \frac{d\tau}{d\tau}. \quad (6)$$

и получим

$$\frac{Q}{k_{ок} \cdot F_{ок}} + t_{н} = T_{пм} \frac{dt}{d\tau} + t_{в}, \quad (7)$$

где Q – тепловая энергия, которая постоянно подводиться в помещение; $T_{пм}$ – постоянная времени обогреваемого помещения:

$$T_{пм} = \frac{G_{пм} \cdot c_{пм}}{k_{ок} \cdot F_{ок}}. \quad (8)$$

Из данного уравнения получим передаточную функцию обогреваемого помещения:

$$W(p)_{пм} = \frac{\frac{Q}{k_{ок} \cdot F_{ок}} + t_{н}}{T_{пм} \cdot p + 1}. \quad (9)$$

На основании изложенного можно сделать следующие выводы: процессы нагревания и охлаждения помещения также зависят и от массы помещения, точнее от массы воздуха, которой необходимо передать тепло. Присутствует так называемая постоянная времени, которая указывает, на сколько инертно тепло в самом помещении. Чем больше воздушная масса и теплоемкость ограждающей конструкции и меньше теплопроводность наружных конструкций, стен, перегородок, перекрытий, тем выше этот показатель.

Вторым показателем сохранения тепла в помещении является температура наружного воздуха. Чем она выше, тем медленнее будет остывать помещение [5].

Рассмотрим другой вариант более разумного использования энергии тепла, заключающийся в использовании двухфазного режима отопления. Вначале рассчитаем тепловую энергию, которая потребляется помещением в течение суток без переключения на фазу ожидания:

$$Q_1 = \int_0^{24} R_{ист} \left(T_{ист} - T_1 \right) dt = \int_0^{24} 2,6 \cdot \left(53 - 22 \right) dt = 1934,4 \text{ ккал/с}.$$

Затем посчитаем тепловую энергию, потребляемую помещением в том случае, когда в течение первой фазы работает режим нагревания (первое стационарное состояние), а затем в течение остальных 12 ч работает вторая фаза. При этом рабочую температуру будем считать 22°С, температуру ожидания –11°С.

$$Q_2 = \int_0^{12} R_{\text{ист}} \left(T_{\text{ист}} - T_1\right) dt + \int_{12}^{24} R_{\text{ист}} \left(T_{\text{ист}} - T_1\right) dt = \int_0^{12} 2,6 \cdot \left(53 - 22\right) dt + \int_{12}^{24} 2,6 \left(32 - 11\right) dt =$$

$$= 744 + 655,2 = 1399,2 \text{ ккал/с}.$$

Приведенные расчеты показывают, что экономия будет составлять 27%.

Выводы

1. Данная математическая модель очень хорошо показывает, как ведут себя тепловые процессы в различных помещениях, есть возможность использовать ее для отдельных сооружений или для обобщенного количества помещений.
2. Анализ результатов данного эксперимента позволяет найти реальные коэффициенты теплового контура, определить теплоемкость перекрытий, стен, теплоотдачу отопления, потери лучистого тепла, через окна и двери.
3. Для нахождения всех тепловых характеристик помещения использовалось моделирование теплового баланса. Благодаря смоделированной ситуации удалось создать стационарное состояние, тепла стен, перекрытий, воздушной температуры в помещении, и рассмотреть поведение системы при остывании и нагревании помещения.
4. Благодаря моделированию тепла можно увидеть ситуации, где есть возможность сэкономить на затратах обогревания помещения, рассмотреть различные варианты регулирования температуры в помещении.
5. Разработанная математическая модель подходит как для реализации алгоритма теплоснабжения зданий, так и для отдельных помещений, также возможно использование программного обеспечения в АСУ.

Благодаря проведенному анализу был разработан алгоритм и программа работающая по данному алгоритму. Которая способна моделировать в реальном времени ситуацию теплового баланса производственного помещения. Анализировались реальные данные, которые в последующем использовались для сравнения с моделированными данными, полученными из данной системы.

Проводились эксперименты с однофазным и двухфазным режимом отопления. Благодаря анализу этих режимов стало видно, на сколько выгодно и целесообразно использовать каждый режим в производстве. Их положительные и отрицательные стороны отчетливо видны при длительном использовании.

Литература

1. Сасин В.И., Бершидский Г.А., Прокопенко Т.Н., Швецов Б.В. Действующая методика испытания отопительных приборов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pkf-sk.ru/articles.php?id=365, своб.
2. Парыгин А.Г., Волкова Т.А., Куличихин В.В. О энергонезависимости и надежности тепловых пунктов // Энергетик. – 2013. – № 3. – С. 41–43.
3. Самарин О.Д., Гришнева Е.А. Повышение энергоэффективности зданий на основе интеллектуальных технологий // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 5. – С. 12–14.
4. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – Введен 01.01.2004. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 89 с.

5. Низовцев М.И., Терехов В.И., Чепурная З.П. Влияние физических параметров на радиаторные коэффициенты регистраторов расхода тепла отопительных приборов // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. –2005. – № 5. – С. 36–40.

Серёжников Дмитрий Сергеевич
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4236
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: dsloker@yandex.ru

УДК 004.421 + 654.912.81

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕШЕХОДОВ НА ПЕРЕХОДЕ

Д.С. Серёжников
Научный руководитель – д.т.н., профессор В.В. Волхонский

По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в результате дорожно-транспортного происшествия (ДТП) в мире погибает около 270 тыс. пешеходов. Уровень смертности среди пешеходов на российских дорогах в 4 раза выше, чем в Европе и Азии. Каждый третий наезд на пешехода осуществлялся на пешеходном переходе. Водители были виноваты в 86% всех случаев наездов. Очевидно, что проблема ДТП с участием пешеходов неразрывно связана с транспортной проблемой. Пешеходы являются наиболее массовыми участниками дорожного движения и, вступая на пешеходный переход, человек считает себя защищенным, но на самом деле это не всегда так. Решение проблемы наездов на нерегулируемых переходах требует целого ряда инвестиций и новых наработок в области обеспечения безопасности. Как мы видим, уже сейчас автомобильные компании создают особые алгоритмы для автоматизации торможения при обнаружении пешехода, однако этого не достаточно. Необходимо, чтобы государство начало более активно защищать и разрабатывать новые методы защиты пешеходов. Уже сейчас перед многими переходами устанавливают искусственные неровности, наносятся шумовые полосы. Эти средства помогают принудительно уменьшить скорость движения транспортного средства (ТС) но, к сожалению, они очень быстро изнашиваются, приходят в негодность и перестают исполнять свою задачу. Светоотражатели и специальные небольшие мигающие табло, хоть и решают проблему, но не достаточно, к тому же имеет место недостаточное оснащение пешеходов [1–8].

Ниже приведены основные причины ДТП с участием пешеходов.

– Невнимательность и спешка. Пешеходы забывают или пренебрегают элементарным правилом, которое гласит, что необходимо осматривать проезжую часть. Опаздывая или спеша на работу или учебу, люди перебегают дорогу в совершенно неожиданных местах.
– Незнание правил и наказание. Штрафы за нарушение ПДД пешеходами мало по сравнение со штрафами для водителей, к тому же сотрудники ГИБДД часто игнорируют нарушения со стороны пешеходов.
– Неправильная оценка дорожной ситуации.
– Проблемы со слухом или зрением.

– Растерянность. Люди не могут быстро сориентироваться при возникновении опасной ситуации на дороге и спланировать последующие действия.
– Разговоры по телефону. Данная причина характерна не только для пешеходов, но и для водителей. Разговор по телефону или наушники отвлекают от происходящего вокруг.
– Склонность к суициду.
– Нетрезвое состояние.

На рис. 1 показана статистика наездов на пешеходов на переходах.

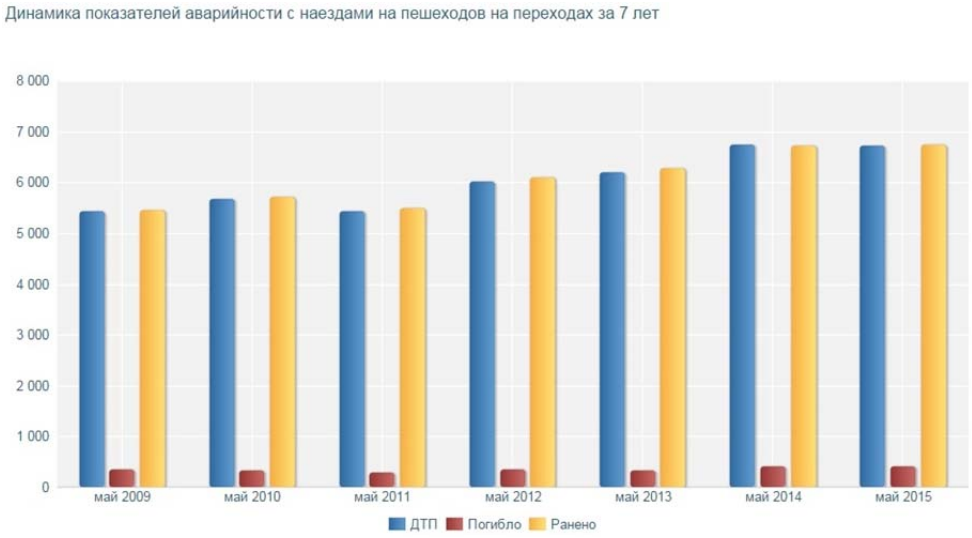


Рис. 1. Количество ДТП с наездами на пешеходов на пешеходных переходах и динамика показателей аварийности за 7 лет

В данной работе ставились следующие задачи:

– выполнить анализ существующих решений по обеспечению безопасности на переходе;
– разработать принципы построения телевизионной системы наведения (ТВСН) с функциями видеоаналитики;
– выполнить анализ работы создаваемого алгоритма и написать принцип работы;
– произвести расчеты для глобальной привязки и размера видеоархива;
– разработать алгоритм работы и реализовать его часть в виде программы;
– осуществить подбор основного оборудования.

В первой части работы была произведена разработка структурной схемы, а именно описание модели, расстановка камер, расчет соотношения расстояний, тормозной путь и его расчет, структурная схема и оповещение.

В описании модели составлялась простейшая модель для расчета высоты установки, угла наклона, а также коэффициента «расстояния – строка».

На рис. 2 представлена схема с расположением телевизионной камеры.

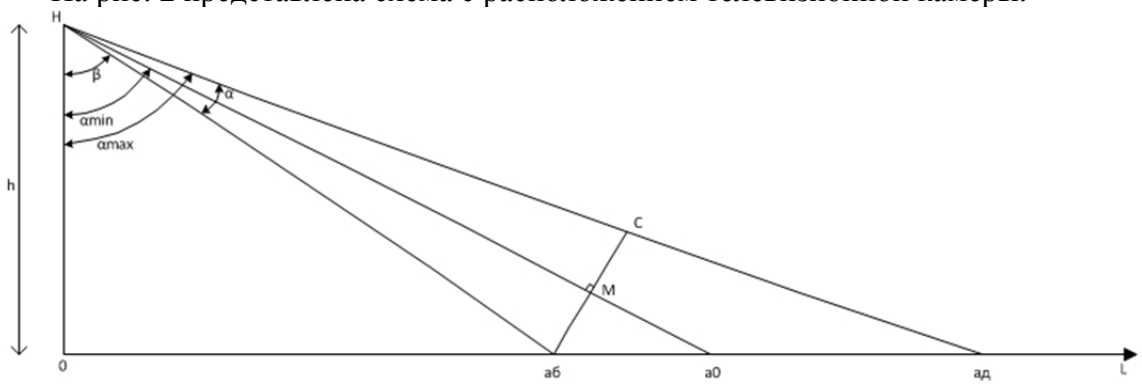


Рис. 2. Привязка к глобальным координатам

Далее следует расположение камер относительно пешеходного перехода (рис. 3), для полного контроля пешеходного перехода на двухполосной дороге.

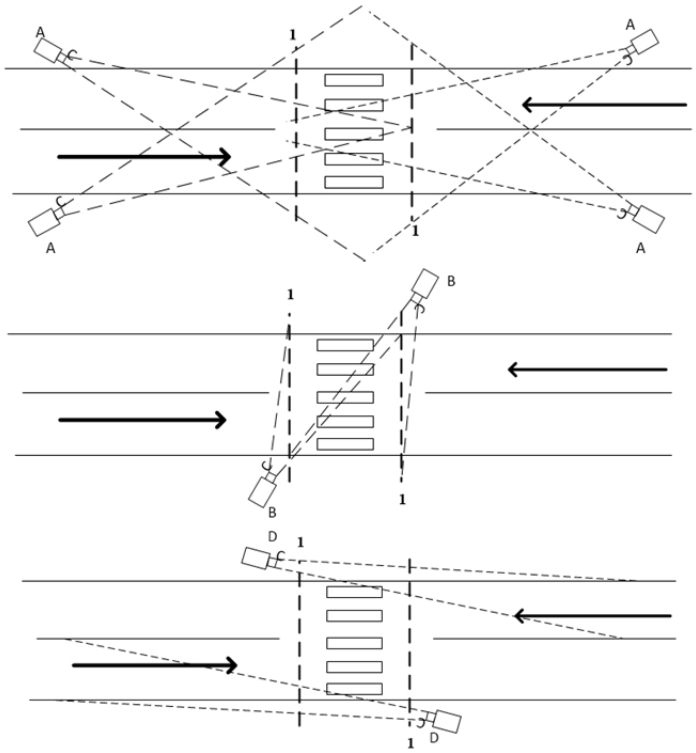


Рис. 3. Расположение камер относительно пешеходного перехода

Также в части расстановки камер присутствует модель перекрестка.

Следующая часть – это расчет соотношения расстояния на дороге и расчет тормозного пути. Ниже приведена схема для определения составляющих остановочного пути (рис. 4).

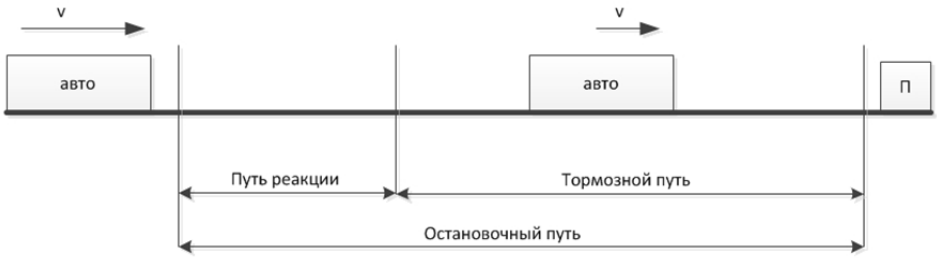


Рис. 4. Остановочный путь

Далее в работе представлена базовая структурная схема (рис. 5).

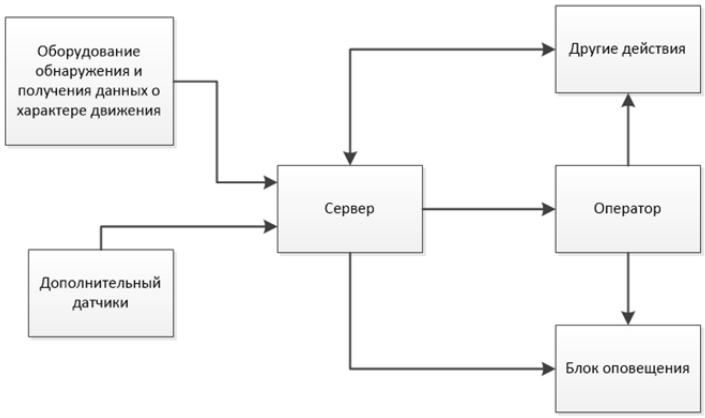


Рис. 5. Базовая структурная схема системы

Для оповещения необходимо было выбрать знак, который бы предупреждал и водителя, и пешехода, усиливал их внимание. Был выбран предупреждающий знак 1.33 «Прочие опасности» к Правилам дорожного движения Российской Федерации, так как он лучше привлекает внимание пешехода.

Следующая глава – разработка, описание работы алгоритма и части программы.

Реализация программы на языке Python с использованием библиотеки OpenCV. Использовался Python, так как это язык с большим количеством достоинств, для графического интерфейса – фреймворк Tkinter, идущий вместе с Python, его не нужно отдельно устанавливать. Для слежения хорошо подходит OpenCV, использовалась версия 2.2. Для подключения камер необходимо составление библиотек, а также предоставления доступа. Ниже приведена ее часть.

```
class Tracker(object):
 "Simple object tracking class"
 def __init__(self):
 self.grey = None
 self.point = None
 self.WIN_SIZE = 10
 def target(self, x, y):
 "Tell which object to track"
 # It needs to be an array for the optical flow calculation
```

Оборудование. Были выбраны камеры модели Q1615-E фирмы Axis. Для камер обнаружения ТС (рис. 3) необходимы телескопические объективы с малым углом зрения. Это позволит как можно раньше обнаруживать ТС и вычислять его параметры. Лучше всего подойдут вариофокальные объективы с фокусным до 90 мм. Был выбран объектив Kowa LMVZ990A-IR.

В качестве опор для размещения предполагалось использование стойки для дорожных знаков.

Следует также установить дополнительные датчики температуры и влажности. Сезон и время можно определить автоматически на сервере при обработке, а датчики влажности и температуры стоит установить на дорожное полотно.

Система оповещения – визуальная, а именно используются информационные табло из светодиодов.

Целью работы была разработка автоматической ТВ системы обеспечения безопасности пешеходов на переходе.

В ходе работы были рассмотрены нормативно-правовые акты, регулирующие безопасность на переходе, было рассмотрено, что происходит на самом деле на дорогах общего пользования. К сожалению, в настоящее время принимаемые меры для обеспечения безопасности пешеходов на переходе не достаточны эффективны. Разработанная система использует сложный алгоритм, позволяющий моделировать траектории человека и ТС. В случае если по расчетам программы, траектории пересекают, должно включаться оповещение как для пешехода, так и для водителя. Если возникают спорные моменты, то алгоритм сам выведет нужную информацию для оператора, чтобы тот принял решение, которое для программы показалось спорным. Для системы было подобрано оборудование: ТВ камеры, объективы, сервер для обработки данных и хранения видеоданных. Общая стоимость проекта для нерегулируемого пешеходного перехода на двухполосной дороге составила 1123740 руб. Также к полностью составленному алгоритму была разработана часть программы, написанная на языке Python с использованием библиотек OpenCV.

По результатам работы можно сказать, что основной минус данной системы – это высокая стоимость оборудования и соответственно монтажа. Также не исключены

ошибки, так как до сих пор функции видеоаналитики дают слишком большую погрешность в обнаружении и оценки параметров движения.

Литература

1. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 23.07.2016) «О Правилах дорожного движения» (вместе с «Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения»).
2. ГОСТ Р 52766-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования. – Введен 01.07.2008. – М.: Стандартинформ, 2008. – 43 с.
3. СП 59.13330-2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. – Введен 01.01.2013. – М.: Минстрой России, 2015. – 50 с.
4. ГОСТ Р 52289-2004. Технические средства организации дорожного движения. Правила изменения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Введен 01.01.2006. – М.: Стандартинформ, 2006. – 70 с.
5. ГОСТ Р 52605-2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения. – Введен 01.01.2008. – М.: Стандартинформ, 2007. – 24 с.
6. ГОСТ Р 52875-2007. Указатели тактильные наземные для инвалидов по зрению. Технические требования. – Введен 01.01.2009. – М.: Стандартинформ, 2008 – 15 с.
7. ГОСТ Р 52765-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Классификация. – Введен 01.07.2008. – М.: Стандартинформ, 2007. – 18 с.
8. Кодекс РФ об административных правонарушениях (КоАП РФ 2015, с изменениями с 13 мая 2016 года).

Синельщикова Екатерина Михайловна
Год рождения: 1993
Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра информатики и прикладной математики, группа № Р4215
Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика
и вычислительная техника
e-mail: sinel.katya@gmail.com

УДК 004.855.5

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СИНТАКСИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ СПОНТАННОЙ РЕЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Е.М. Синельщикова
Научный руководитель – к.ф.н., доцент Л.Ю. Ковригина

Нерешенной к настоящему времени задачей является полный синтаксический анализ спонтанной речи [1]. При обработке спонтанной речи процедуры ее анализа в настоящее время в подавляющем большинстве систем сводятся к поиску ключевых слов, фраз и их последующему анализу, но не производится глубокого анализа синтаксических и семантических структур. Однако полномасштабная обработка

спонтанной речи является крайне востребованной из-за активного развития интеллектуальных систем, на вход которых поступает именно спонтанная речь: сюда относятся диалоговые системы, некоторые системы голосового управления, и прочие системы (слежения, мониторинга). Характерной особенностью спонтанной устной речи являются нарушения плавного развертывания речевого потока – так называемые речевые сбои [2], разрывные и несогласованные синтаксические конструкции и ряд других явлений, которые ошибочно анализируются парсерами, разработанными для нормативной письменной речи. Это обосновывает актуальность разработки синтаксического анализатора русской спонтанной речи. Существует два основных подхода к созданию баз правил синтаксического анализа: ручное составление правил – трудоемкий и длительный процесс, обеспечивающий высококачественный анализ выявленных особенностей синтаксиса спонтанной речи, и автоматический поиск правил, реализуемый с помощью методов извлечения грамматик [3]. В настоящей работе рассматривается один из методов автоматического извлечения грамматик (grammar inference), а именно метод извлечения вероятностной контекстно-свободной грамматики (Probabilistic Context-Free Grammar, PCFG) с учителем. **Целью работы** являлась разработка алгоритма извлечения синтаксических конструкций спонтанной речи для русского языка с помощью вероятностных контекстно-свободных грамматик с целью получения данных о качестве работы указанного класса алгоритмов и их пригодности для поставленной задачи. Материалом изучения методов извлечения грамматики является русская спонтанная речь. Спонтанная речь не так хорошо структурирована, как письменная, ее нельзя разделить на предложения, поэтому для сегментации спонтанной речи учеными было предложено понятие элементарной дискурсивной единицы (ЭДЕ) [4]. Помимо сегментации спонтанной речи, проблемой является извлечение синтаксических конструкций. Существующие парсеры, занимающиеся обработкой естественных языков, не справляются с задачей обработки корпусов спонтанной речи. Структура предложений и составляющих спонтанной речи отличается от структуры нормативного письменного языка. Это означает, что правила грамматики, применяемые к письменному языку, не применимы для спонтанной речи. Существует большое количество алгоритмов для поиска зависимостей нетерминалов и терминалов в предложении (правил грамматики). Выделяются два типа таких алгоритмов:

– алгоритмы извлечения грамматики без учителя;
– алгоритмы извлечения грамматики с учителем.

Алгоритмы извлечения грамматики без учителя используют корпус спонтанной речи в виде текста, размеченного на ЭДЕ, в котором каждому слову присвоен соответствующий терминал (произведен морфологический анализ). Для алгоритмов этого типа не требуется синтаксически размеченный корпус. Эти алгоритмы наиболее сложны и дают наименьшую точность, но не требуют дополнительных затрат времени на разметку текста, из чего следует, что данные алгоритмы можно использовать на больших объемах обучающих корпусов. Примерами таких алгоритмов являются ADIOS, UnsuParse, Inductive CYK, PCFG. Алгоритмам извлечения грамматики с учителем на вход подается синтаксически размеченный корпус. Данные алгоритмы дают большую точность, чем алгоритмы с учителем, так как используют размеченный корпус и используют большее количество информации о данных, на которых происходит обучение алгоритма, однако, требуют больше времени на подготовку данных, чем алгоритмы без учителя. Примерами алгоритмов такого вида являются Taboo search, PCFG, HPSG, SLCFG.

В работе были решены следующие задачи:

1. подготовка и обработка входных данных (корпус спонтанной речи);

2. разработка алгоритма формирования списка правил грамматики и списка их вероятностей на основе корпуса спонтанной речи, представленного в виде списка размеченных на синтаксические конструкции ЭДЕ, записанных в виде последовательности меток частей речи;
3. разработка алгоритма синтаксического анализа спонтанной речи с использованием полученного списка правил грамматики и их вероятностей.

Подготовка и обработка данных для обучения грамматики состоит из следующих этапов:

1. транскрибирование спонтанных монологов;
2. разделение текста на ЭДЕ;
3. назначение каждому слову соответствующего терминала (морфологический анализ);
4. разметка ЭДЕ на синтаксические конструкции, т.е. объединение терминалов и (или) нетерминалов в нетерминалы (синтаксическая разметка);
5. увеличение выборки с помощью методов бустрэппинга.

Морфологический анализ заключается в назначении каждому слову соответствующего терминала и производится автоматически с помощью морфоанализатора Mystem [5]. Список обозначений терминалов: A – прилагательное, ADV – наречие, CONJ – союз, NUM – числительное, PART – частица, PR – предлог, S – существительное, V – глагол. Список обозначений нетерминалов: NP – именная группа, VP – глагольная группа, PP – предложная группа, AdvP – группа наречия, AdjP – группа прилагательного, Sent – клауза. Пример (рис. 1):

(но ((такой отдых)NP (я(точно(не люблю)VP)VP)VP)VP)Sent

(CONJ ((APRO S)NP (SPRO (ADV (PART V)VP)VP)VP)VP)Sent

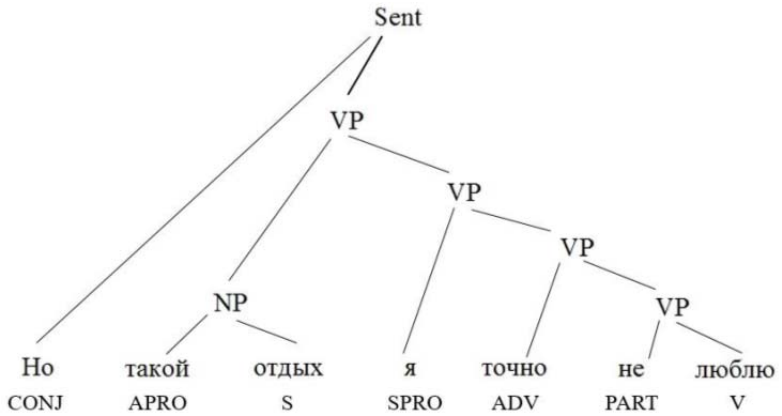


Рис. 1. Дерево разбора предложения

Всего вручную было размечено 1000 ЭДЕ. С помощью бустрэппинга выборка была увеличена до 50 000 ЭДЕ. Формирование списка правил грамматики производится с помощью вероятностного алгоритма без учителя в PCFG, который подсчитывает количество различных зависимостей для каждого нетерминала на основе полученных в предыдущем пункте размеченных данных и указывает вероятность раскрытия каждого нетерминала в определенную последовательность. Рассмотрим работу алгоритма на примере.

На входе:

(S (ADV V)VP)VP

(CONJ ((PR (A S)NP)PP V)VP)VP

На выходе:

VP→S VP 25%

VP →ADV V	25%
VP →CONJ VP	25%
VP →PP V	25%
PP →PR NP	100%
NP →A S	100%

Алгоритм синтаксического анализа спонтанной речи с помощью вероятностной контекстно-свободной грамматики принимает на вход список неразмеченных ЭДЕ, имеет на выходе список размеченных ЭДЕ и состоит из следующих пунктов:

1. морфологический анализ входных данных с помощью программы Mystem;
2. извлечение меток частей речи из результатов п. 1, формирование списка ЭДЕ, в котором слова заменены метками частей речи соответственно;
3. извлечение синтаксических конструкций из списка ЭДЕ, содержащего метки частей речи, с использованием вероятностных правил грамматики; замена меток частей речи словами из списка ЭДЕ, поданного на вход алгоритма соответственно.

Рассмотрим работу алгоритма на примере:

«Как мне ни расписывают красоты»

1. как{как=ADVPRO=} мне{я=SPRO,ед,1-л=пр|=SPRO,ед,1-л=дат} ни{ни=PART=} расписывают{расписывать=V,пе=непрош,мн,изъяв,3-л,несов} красоты{красота=S,жен,неод=вин,мн|=S,жен,неод=род,ед|=S,жен,неод=им,мн}
2. ADVPRO SPRO PART V S
3. (ADVPRO (SPRO ((PART V)VP S)VP)VP)Sent
4. (как (мне ((ни расписывают)VP красоты)VP)VP)Sent

Алгоритм извлечения синтаксических конструкций проиллюстрирован на рис. 2.

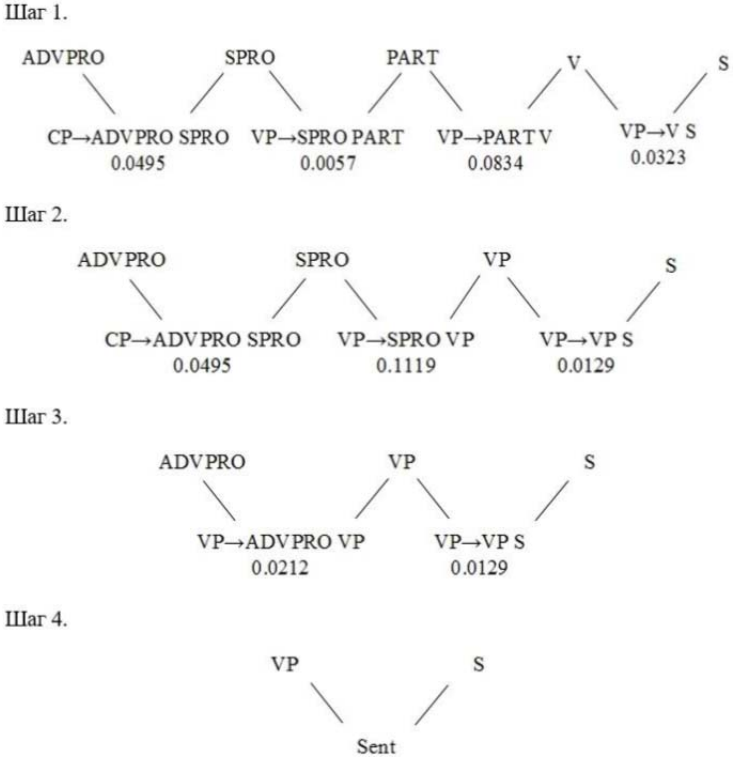


Рис. 2. Пример работы алгоритма извлечения синтаксических конструкций

На шаге 1 для каждой пары A B рядом стоящих терминалов из списка правил, приведенном в приложении B, выбирается правило C→AB, содержащее данные терминалы, с максимальной вероятностью. Для ЭДЕ, представленной в виде последовательности 5 терминалов, можно выделить 4 пары смежных терминалов, т.е. имеется 4 правила. Из этих правил также выбирается правило с наибольшей

вероятностью, после чего согласно этому правилу пара терминалов объединяется в нетерминал. На следующем шаге выполняются те же действия с учетом добавленного нетерминала. На шаге 3 происходит то же самое. На шаге 4 последняя оставшаяся пара сущностей объединяется в Sent (клауза).

В ходе работы были выполнены следующие подзадачи:

1. написан алгоритм извлечения последовательностей меток частей речи для списка размеченных ЭДЕ, полученного программой Mystem;
2. написан алгоритм формирования списка правил грамматики и списка вероятностей правил;
3. написан алгоритм синтаксического анализа спонтанной речи с использованием полученного списка правил грамматики и вероятностей;
4. сделана оценка качества работы алгоритма синтаксического анализа спонтанной речи.

Точность качества работы алгоритма оценивается в 72%, что является хорошим результатом для алгоритма обработки спонтанной речи.

Литература

1. Encyclopedia of Artificial Intelligence // Entry Natural Language Understanding. – P. 660–677.
2. Подлесская В.И., Кибрик А.А. Рассказы о сновидениях: корпусное исследование устного русского дискурса. – М.: Языки славянских культур, 2009. – 736 с.
3. Потапова Р.К. Речевое управление роботом: лингвистика и современные автоматизированные системы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КомКнига, 2005. – 328 с.
4. Кибрик А.А., Подлесская В.И. Проблема сегментации устного дискурса и когнитивная система говорящего // Сб. научных трудов. – 2006. – С. 138–158.
5. Mystem – технологии Яндекса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tech.yandex.ru/mystem/, своб.

Соколова Анастасия Андреевна
Год рождения: 1993
Факультет систем управления и робототехники,
кафедра технологии приборостроения, группа № Р4277
Направление подготовки: 12.04.01 – Приборостроение
e-mail: egoinitium@gmail.com

УДК 004.94; 537.533.33; 691.175

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОАБЕРРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МИНИАТЮРНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ЛИНЗЕ

А.А. Соколова
Научный руководитель – к.т.н., доцент С.Д. Васильков

Процесс моделирования оптических приборов и систем с учетом изменения оптических свойств под влиянием тепловых деформаций играет все более важную роль в оптическом проектировании. Мощные источники излучения и миниатюризация приборов вызывают рост тепловой нагрузки на оптические элементы. Ценовое давление приводит к частому использованию недорогих полимерных линз. Из-за особенностей свойств полимеров тепловые эффекты гораздо сильнее влияют на оптические свойства приборов и могут значительно ухудшить их качество [1].

Целью работы являлась оценка влияния теплового воздействия, в частности, вызванного поглощением излучения, на деформацию миниатюрной полимерной линзы и величину возникающих в системе аберраций. В качестве инструмента исследования используются средства компьютерного моделирования: система оптического проектирования ZEMAX и программный комплекс конечно-элементного анализа OOFELIE с модулем Multyphysics.

Исходя из цели работы и исходных данных, основными задачами в данной работе являлись:

- оценка влияния свойств материала на величину термоаберраций;
- определение основных этапов расчета термоаберраций оптических систем с помощью средств компьютерного моделирования;
- расчет термоаберраций оптической системы при помощи моделирования в ZEMAX и OOFELIE с учетом нагрева излучением;
- анализ деформаций поверхности и изменение величин термоаберраций оптической системы с учетом и без учета температурных деформаций.

В настоящее время исследуются и используются различные варианты расчета, контроля и устранения аберраций, вызванных изменением температуры (далее термоаберрации). Первое направление – это использование численных методов без применения специальных средств моделирования, является самым ранним и часто используемым, однако требует глубоких знаний математического аппарата и оптических законов. Оценка аберраций подразумевает проведение большого количества расчетов и сравнение их с экспериментальными данными. Второе направление связано с компенсацией температурных влияний. Если изменение условий эксплуатации или концепции оптической системы невозможно или не рекомендуется, то уменьшение термоаберраций достигается другими методами: регулированием температуры, смещением оптических элементов и т.п.

Идея третьего направления по контролю аберраций заключается в использовании средств компьютерного моделирования. Только при использовании совокупности программных комплексов полученный результат является в большей степени корректным. Наибольший интерес представляет интегрированный процесс разработки, в результате которого на выходе получается взаимосвязанный анализ. В данной работе был использован последний описанный подход – анализ термоаберраций в оптической системе при помощи взаимосвязанного компьютерного моделирования. Из сравнения различных программных комплексов для проектирования оптических систем и для конечно-элементного анализа определяющим фактором выбора является возможность автоматического взаимодействия между системами ZEMAX и OOFELIE.

При использовании оптических приборов приходится иметь дело с реальной оптической системой. В идеальной системе изображение строится по законам параксиальной оптики [2, С. 50]. Реальная оптическая система имеет конечные поперечные размеры и нарушения гомоцентричности пучков. Ход реального и идеального луча отличается – возникают аберрации. Термоаберрации возникают вследствие теплового воздействия на оптические компоненты. Во-первых, оптические компоненты под действием температуры испытывают линейное расширение, которое приводит к увеличению их линейных размеров, фокусных расстояний и фокальных отрезков. Во-вторых, в оптических средах из-за температурного воздействия происходит изменение показателей преломления, что ведет к изменениям фокусных расстояний и отрезков. Данное воздействие учитывается с помощью коэффициента теплового расширения и термооптического коэффициента. Коэффициент теплового расширения полимерных оптических материалов выше, чем у оптических стекол

приблизительно в 10 раз. А термооптический коэффициент не только значительно выше, но имеет отрицательный знак. По законам геометрической оптики такая разница может привести к намного большим величинам аберраций для полимерных линз [3, С. 24], что обосновывает проведение взаимосвязанного анализа даже при использовании небольших мощностей.

При работе в ZEMAX в данной работе использовались два режима трассировки лучей: последовательный и непоследовательный. Последовательный ход луча означает следование лучей от поверхности к поверхности в определенном порядке. Непоследовательный ход луча означает, что лучи следуют только по физически возможному пути, пока не достигнут какой-либо поверхности. В первом режиме работы производится проектирование и анализ изображающих оптических систем, во втором режиме работы при помощи трех видов объектов (линза, детектор, источник) записывается информация о поглощенном потоке энергии оптического излучения в объеме оптического элемента. Далее эта информация будет использоваться в качестве параметров тепловой нагрузки в OOFELIE.

При работе в системе конечно-элементного анализа OOFELIE процесс моделирования делится на пять этапов. Первый этап – геометрическое моделирование. Второй этап – определение исходных данных для решения задачи. Данные включают в себя используемые типы элементов, свойства материалов, граничные условия и внешние нагрузки. При определении типов элементов задается тип полинома для описания деформации поверхности и задается связь с ZEMAX: поверхности оптического элемента в OOFELIE связываются с соответствующими поверхностями в ZEMAX. На третьем этапе генерируется конечно-элементная сетка. Дополнительным шагом этого этапа является активация для расчета параметра GRIN (распределение показателя преломления в зависимости от температуры). Четвертый этап – запуск CAE-решателя. Пятый этап – постпроцессорная обработка, используется для визуализации и обработки результатов. В работе реализуется цепочка ZEMAX – OOFELIE – ZEMAX. Изначально в ZEMAX проектируется система с желаемыми характеристиками, после расчета в OOFELIE система в ZEMAX обновляется и анализируется с учетом экспортированных деформаций.

Исходные данные. Схема микроскопа с тремя полимерными линзами диаметром 2 мм. Так как основное тепловое влияние приходится на первую линзу, то исследоваться будет выделенная вокруг нее область (рисунок). Аберрации, возникающие после первой линзы (до деформации), компенсируются системой из оставшихся линз. После деформации возникает некоторая разница в величине аберраций в сравнении с исходными, которая не компенсируется.

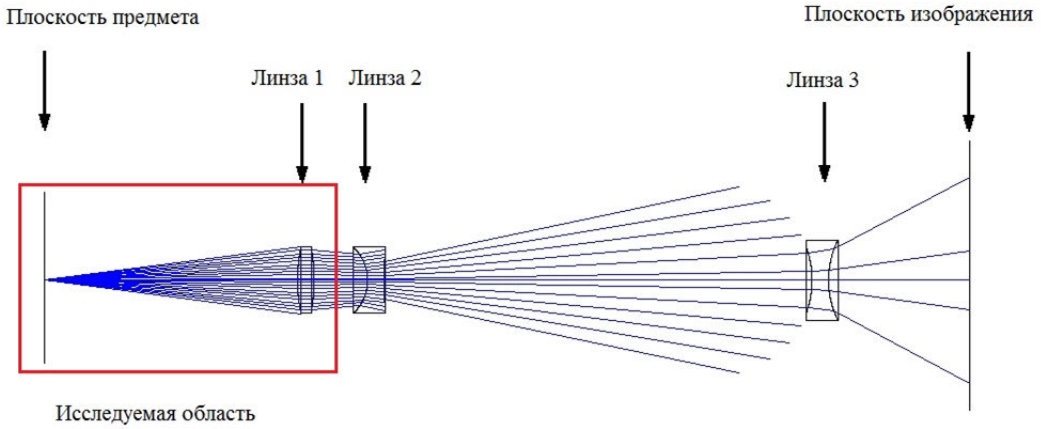


Рисунок. Оптическая схема микроскопа

Материал линзы (сферической и асферической формы) поликарбонат Makrolon LED2245 (сравнивается со стеклом марки NBK-7). Работа производится на длине волны 0,532 мкм (показатель преломления 1,59). Допуск на поверхности N=5 (1, 25 мкм). Мощность источника излучения 1 Вт и 100 Вт. Дополнительно проектируется технологическая кайма (поликарбонат) диаметром 6 мм и часть корпуса (алюминиевый сплав Д16) толщиной 1 мм и длиной 3 мм. Результаты максимальной деформации оптической поверхности представлены в табл. 1. Результаты величин, характеризующих аберрации оптической системы представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 1. Максимальная деформация оптической поверхности в мкм $\times 10^{-3}$

Вид линзы	1 Вт	100 Вт
Полимерная сферическая линза	4,34	431,13
Стеклянная сферическая линза	0,0097	0,971
Полимерная асферическая линза	4,32	427,11
Стеклянная асферическая линза	0,0097	0,969

Таблица 2. Величины, характеризующие аберрации оптической системы при мощности 1 Вт

	Изменение в % для сферической линзы (полимер/стекло)	Изменение в % для асферической линзы (полимер/стекло)
Фокусное расстояние, мм	0,003/0	0,003/0
СКВ пятна рассеяния, мкм	0,018/0	0,333/0
Максимальная попер. аберрация, мкм	0,03/0	0,66/0
Максимальная волновая аберрация	0/0	0/0

Таблица 3. Величины, характеризующие аберрации оптической системы при мощности 100 Вт

	Изменение в % для сферической линзы (полимер/стекло)	Изменение в % для асферической линзы (полимер / стекло)
Фокусное расстояние, мм	0,49/~0	0,32/~0
СКВ пятна рассеяния, мкм	1,5/~0	37,6/~0,16
Максимальная попер. аберрация, мкм	3,5/~0	64,9/~0
Максимальная волновая аберрация	1,6/~0	13,8/~0

Деформации поверхностей сферической и асферической форм для полимерных и стеклянных линз находятся в пределах допуска. Для стекла во всех четырех случаях изменения в величине аберраций практически не наблюдаются. Для полимерной линзы в сравнении со стеклянной изменения существенны и достигают максимального изменения в 64% для излучения мощностью 100 Вт. Сдвиг радиуса в положительном направлении, размер пятна рассеяния и значение поперечной аберрации – данные показатели увеличиваются с увеличением мощности.

Заключение. Результаты работы позволяют оценить влияние тепловых эффектов на оптические и механические свойства линзы оптического прибора. Выделение и обобщение основных этапов расчета аберраций оптических систем с помощью средств компьютерного моделирования позволит применять данный алгоритм к подобным задачам. В процессе исследования были изучены и описаны последовательный и непоследовательный режимы работы в системе ZEMAX, позволяющие анализировать аберрации и регистрировать поглощение в линзе.

Смоделированные данные подтверждают теоретическое исследование: для полимерных оптических компонентов происходят большие по величине изменения величин деформаций и аберраций в сравнении со стеклянными, что обосновывает необходимость точной оценки влияния нагрева на стадии проектирования в технологической подготовке производства, поскольку увеличенные значения аберраций могут быть некомпенсированными для конечного изображения. При практическом применении смоделированные результаты необходимо соотнести с требованиями к оптическому прибору. В случае несоответствия требованиям, полученные данные могут быть использованы различными участниками процесса проектирования для уменьшения негативного теплового воздействия.

Литература

1. Bonhoff T., Busing L., Stollenwerk J. Modeling of optical aberrations due to thermal deformation using finite element analysis and ray-tracing // Proc. SPIE 9626, Optical Systems Design 2015. – 2015. – P. 96261V-1–10.
2. Родионов С.А. Основы оптики. Конспект лекций. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2000. – 167 с.
3. Schaub M.P. The design of plastic optical systems. – Bellingham, Washington USA: SPIE, 2009. – 216 p.

Солодченко Евгения Григорьевна
Год рождения: 1991
Естественнонаучный факультет, кафедра промышленной экологии, группа № А4232
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: j.solodchenko@mail.ru

УДК 504.062.2

ВЫБОР СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА

Е.Г. Солодченко
Научный руководитель – к.т.н., доцент О.И. Сергиенко

Образование отходов агропромышленного комплекса ежегодно составляет более 43,1 млн т, в то время как налаженная система их переработки в настоящее время отсутствует. Вместе с тем отходы сельского хозяйства, в том числе свеклосахарного производства, представляют собой ценное сырье, которое может служить источником энергии и товарной продукции. Необходимость переработки сельскохозяйственных отходов подтверждается действующими нормативно-правовыми актами, такими как Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации [1], введенным продовольственным эмбарго, государственными программами развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции с учетом инновационного фактора [2].

Целью исследования являлся выбор способа утилизации отходов свеклосахарного производства для малого предприятия на основе критериев экологической, экономической и ресурсной эффективности, определяемых в

жизненном цикле полезной продукции или услуги, получаемых при переработке и утилизации отходов.

Выполнен обзор существующих способов утилизации и определено, что образующиеся отходы свеклосахарного производства можно повторно использовать как с получением энергии, так и с получением товарной продукции.

Изучены продукционные системы для оценки жизненного цикла получаемой услуги (энергии) или товарной продукции с применением методики сценарного анализа. Определены границы продукционной системы и проведено имитационное моделирование. В качестве исследуемых выбраны следующие сценарии утилизации отходов:

– размещение на свалке;
– размещение на полигоне твердых бытовых отходов, обустроенном системой отвода биогаза;
– ускоренное анаэробное сбраживание;
– переработка свекловичного жома с образованием пектина.

Для каждого из сценариев выполнен инвентаризационный анализ жизненного цикла (ИАЖЦ) с целью выявления экологических аспектов, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты ИАЖЦ

№	Метод утилизации	Категория воздействия			
		Потенциал глобального изменения климата, 10^7 г CO_2-экв.	Потенциал образования фотохимического смога, 10^4 г экв. этана	Потенциал закисления почв, 10^3 ион H^+	Потенциал эвтрофикации, 10^5 г O_2-экв.
1	Размещение на свалке	2,36579	2,807	0,71894	1,753
2	Размещение на специализированном полигоне	17,98006	21,33	5,82098	14,301
3	Ускоренное анаэробное сбраживание	21,4008	5,558	23,95985	58,72
4	Переработка с получением пектина	0	0	0	0

По результатам расчетов ИАЖЦ минимальное экологическое воздействие из рассмотренных способов оказывает производство пектина, однако этот способ требует определенных ресурсов для получения товарной продукции.

Проведена оценка входных материально-энергетических потоков в жизненном цикле продукции или услуги с применением методики MIPS-анализа [3], результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты MIPS-анализа

№	Способ утилизации	Абиотические ресурсы, кг/ед. изм.	Биотические ресурсы, кг/ед. изм.	Почва, кг/ед. изм.	Вода, кг/ед. изм.	Воздух, кг/ед. изм.
1	Размещение на свалке	7,49	0,00	0,00	51,60	0,17
2	Размещение на специализированном полигоне	7,49	0,00	0,01	51,60	0,17

№	Способ утилизации	Абиотические ресурсы, кг/ед. изм.	Биотические ресурсы, кг/ед. изм.	Почва, кг/ед. изм.	Вода, кг/ед. изм.	Воздух, кг/ед. изм.
3	Ускоренное анаэробное сбраживание	7,49	0,00	0,01	51,60	0,17
4	Переработка с получением пектина	758859,60	0,00	565,78	8328334,57	682591,77

Получение пектина создает возможности для развития малого бизнеса и создания новых рабочих мест, и поэтому является наиболее привлекательным способом с экономической и социальной точек зрения для устойчивого развития сельского хозяйства.

Разработана технологическая схема и произведен подбор необходимого оборудования для производства пектина.

Значительное потребление ресурсов для получения пектина и инвестиционные затраты требуют выполнения технико-экономического обоснования предлагаемого способа переработки согласно разработанной технологической схеме. Сумма чистой годовой экономии с учетом реального и экологического эффекта составляет 43,776 млн руб. и получена за счет экономии платы за негативное воздействие на окружающую среду в части размещения отходов свекловичного жома; предотвращения экологического ущерба почвам; получения дохода от реализации пектина.

Экономические показатели предлагаемого метода утилизации свекловичного жома:

- чистый дисконтированный доход (NPV) 99 116,058 тыс. руб.
- простой период окупаемости (*Т*ок) 1–2 года
- реальная процентная ставка (*r*) 20%
- общие инвестиции (*I*) 44250,36 тыс. руб.
- чистая годовая экономия (*B*) 43776,45 тыс. руб.
- динамический период окупаемости (*Т*дин) 1,66 лет
- индекс доходности 2,24
- внутренняя норма рентабельности 30%
- срок службы проекта 10 лет

Расчетный выход пектина составляет 24,2 т при переработке 1000 т свежего свекловичного жома влажностью 93%.

Готовая продукция (пектин) применяется в фармацевтической промышленности в качестве добавки в медицинские препараты для смягчающего или усиливающего действия, для производства оболочек капсульных медикаментов; в косметической промышленности в качестве стабилизаторов для гелей, кремов и аналогичной продукции; а также в кондитерской промышленности с целью производства конфет, десертов, пастилы, мармелада и прочих желейных изделий. Ориентировочная потребность в пектине составляет около 2–4 г на 1 человека [4], таким образом, ежегодная потребность в нем для жителей России составляет около 110 тыс. т в год. В связи с отсутствием заводов по производству пектина в Российской Федерации предприятия, использующие пектин, в настоящее время закупают его за рубежом, в частности, в Китае, США, Германии, Дании и других странах. Закупочная цена составляет в среднем 2300 тыс. руб. за 1 т [5].

Литература

1. Указ Президента РФ от 30 января 2010 г. № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
2. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 23.06.2014 № 495 (ред. от 26.01.2016) «О государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие промышленности, инновационной деятельности и агропромышленного комплекса в Санкт-Петербурге» на 2015–2020 годы».
3. Ritthoff M., Holger R., Christa L. Calculating MIPS: resource productivity of products and services // Wuppertal Spezial. – 2002. – V. 27e. – P. 52.
4. Донченко Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов. – М.: ДеЛипринт, 2000. – 225 с.
5. Пектин [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kazan.flagma.ru, своб.

Стародубов Роман Игоревич
Год рождения: 1993
Факультет инфокоммуникационных технологий, кафедра сетевых и облачных технологий, группа № К4215
Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: pomatu@gmail.com

УДК 004

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ДОСТАВКИ КОНТЕНТА И ТИХОЙ УСТАНОВКИ ПРИЛОЖЕНИЙ В ОПЕРАЦИОННУЮ СИСТЕМУ ANDROID

Р.И. Стародубов
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.Б. Титов

В настоящее время многие компании выделяют много времени и ресурсов на брендирование своих продуктов и рекламирование своей компании через свои же продукты. На рынке android-устройств брендирование заключается в том, что на android-устройства устанавливаются собственные приложения поставщика или просто ссылки на сайты и сервисы поставщика [1–6].

Данная задача возникает, в основном, у создателей прошивок для устройств. Следует заметить, что раньше никто даже не рассматривал возможность поддержания приложений последней версии. В основном, у производителей и поставщиков программного обеспечения (ПО) была задача внедрить определенное маркетинговое ПО в смартфоны и планшетные персональные компьютеры (ПК) в целях рекламы как собственных сервисов, так и сторонних.

Все существующие в настоящее время решения представляют собой либо уже встроенные в прошивку пакеты приложений, либо предложения доустановить дополнительные приложения после первичной настройки. О поддержании приложений, обновленных до самой свежей версии, контролю обеих, размещения ярлыков на веб-страницы речи не идет. При такой конфигурации это невозможно технически.

1. Внедрение приложений в «/system/app». Это стандартный метод, применявшийся со времен появления первых смартфонов. Внутрь прошивки в системную папку /system/app встраиваются необходимые пакеты. /system/app – это стандартная директория в ОС Android, в которой находятся системные приложения.

Пользовательские приложения размещены в /data/app. По дизайну ОС Android /data/app по умолчанию – пустая после установки прошивки. Иначе говоря, разработчик прошивки может встраивать необходимые ему приложения только в системную папку.

2. Post-configuration wizard оффлайн-версия. Внутрь прошивки встраивается пакет post-configuration wizard, который после первичной конфигурации устройства предлагает установить «неподдерживаемые производителем приложения». Если пользователь согласен – приложение распаковывает из себя пакет с приложениями и последовательно устанавливает.
3. Post configuration wizard онлайн-версия. В данном способе использована та же идея, что и в прошлом, за небольшим исключением – приложения не распаковываются изнутри установщика, а подгружаются из сети Интернет. Это решает проблему расходования двойного объема в памяти устройства, но требует наличия сети Интернет и расходует интернет-трафик, если используется подключение к Интернету сотового оператора. Преимущество еще заключается в том, что приложение качает последние версии с сайта производителя. Но проблема обновления приложений все еще не решена. В данном случае самая последняя версия софта будет получена либо вручную через Android Market, либо при сбросе настроек устройства.

Дизайн безопасности системы Android сделан таким образом, что приложение не может быть установлено без ведома пользователя. При установке приложения пользователь должен проверить списки разрешений, которое приложение запрашивает, нажать кнопку «Установить» или «Обновить» для установки приложения.

Концепция разрешений и ручной установки приложений заложена в саму суть ОС Android. Тихая установка приложений – установка приложений без ведома пользователя, что противоречит дизайну ОС Android. Сделать тихую установку приложений – значило бы найти серьезный изъян в безопасности. Единственный известный ранее способ тихой установки приложений – помещение apk файлов в /system/app или /data/app при наличии root прав.

Однако встроенные приложения типа Android Market не используют root доступа, при этом обеспечивают тихую установку и удаление приложений. Это означает, что способ тихой установки приложений все-таки есть, но чтобы не создавать брешь в безопасности – этот способ доступен только системным приложениям, идущим в комплекте с прошивкой и находящимся в /system/app.

В API не было найдено функций для тихой установки приложений, но было найдено особое разрешение INSTALL_PACKAGES_PERMISSION. Данное разрешение выдается только системным приложениям.

В ходе выполнения работы был найден способ тихой установки приложений, на основе данного способа была создана и внедрена работающая система по доставке контента на ОС Android (таблица).

Таблица сравнения предложенного метода с альтернативными решениями

	Предложен-ный метод	Внедрение приложения в /system/app	Post configuration wizard	Post configuration wizard через интернет
Тихая установка приложений	Да	Да *	Да	Да
Требуется интернет	Да	Нет	Нет	Да
Занимает место в памяти устройства	Нет	Да	Да**	Нет

	Предложен-ный метод	Внедрение приложения в /system/app	Post configuration wizard	Post configuration wizard через интернет
Возможность работы без root прав	Да	Да	Да	Да
Кросс-платформенность (в пределах android)	Да	Да	Нет	Нет
Возможность отложенной настройки	Да	Нет	Нет	Нет
Возможность обновления контента	Да	Нет	Нет	Нет
Манипулирование ярлыками	Да	Нет	Нет	Нет
Возможность обновления модуля	Да	Нет	Нет	Нет
Расширяемость	Да	Нет	Нет	Нет
Требуются особые знания для внедрения приложения в прошивку	Нет	Нет	Да	Да
Требуется модификация структуры android	Нет	Нет	Да	Да
Автоматическая поддержка новых версий android	Да	Да	Нет	Нет
Возможность для пользователя отказаться от системы впоследствии	Да	Нет	Нет	Нет
Возможные претензии от Google при лицензировании из-за модификации системы	Нет	Нет	Да	Да

* – уже установлены;
** – в два раза больше места.

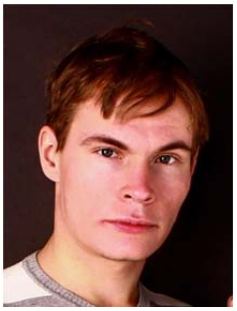
Таким образом, видно явное преимущество предложенного в работе метода над другими.

Поставленные задачи по разработке модуля управления android устройствами с тихой установкой приложений выполнены. Предложенный способ тихой установки приложений внедрен и успешно работает. Все запрошенные поставщиками опции реализованы.

Данный проект на данный момент оказался востребованным такими компаниями, как: Best Buy, Insight, QVC, Sears Holding, Target, Tiger Direct, Walmart.

Литература

1. Страница официального магазина приложений для устройств, работающих под управлением операционной системы Android [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store, своб.
2. Электронная статья «Активировано 900 миллионов Android-устройств» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chezasite.com/android/aktivirovano-900-millionov-andr-60199.html, своб.
3. Gargenta M. Learning Android. – O'Reilly Media, 2011. – 268 p.
4. Официальная страница проекта «Android» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://source.android.com/devices/tech/dalvik/index.html, своб.
5. Ehringer D. The dalvik virtual machine architecture» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://davidehringer.com/software/android/The_Dalvik_Virtual_Machine.pdf, своб.
6. Forman I.R., Forman N. Java Reflection in Action. – Manning Publications, 2004. – 300 p.



Степашкин Иван Сергеевич
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра световых технологий и оптоэлектроники, группа № В4238
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника

УДК 53.087.45+681.7.08

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРРЕФЛЕКТОРА АНТЕННЫ П-2500

И.С. Степашкин
Научный руководитель – д.т.н. профессор И.А. Коняхин

Для безотказного и долговечного функционирования антенны радиотелескопов (РТ) типа РТ-70 (рис. 1), служащего для исследований в миллиметровом диапазоне длин волн, необходимо соблюдать предъявляемые высокие требования к качеству параболической поверхности основного зеркала (ОЗ) (среднее квадратическое отклонение точек поверхности от теоретического параболоида не более 0,05 мм), стабильности взаимного расположения ОЗ и контррефлектора (КР) (соответственно 0,08 мм). Однако такие факторы, как многотонный вес и температурные изменения, приводят к нежелательным смещениям элементов конструкции РТ:

– нарастающим линейным смещениям точек поверхности ОЗ, достигающим в краевой зоне величины 30 мм;
– смещению КР относительно оси ОЗ на величину до 60 мм.

Для достижения требуемых параметров отражающих элементов РТ в настоящее время используются системы адаптации поверхности ОЗ и подстройки положения КР, оснащенные электромеханической системой коррекции возникающих деформаций [1].

Для реализации поставленной задачи – осуществления измерения положения объекта в пространстве, была разработана оптико-электронная система для определения пространственного положения КР антенны радиотелескопов типа РТ-70, использующая метод триангуляции.

Рис. 1. Радиотелескоп РТ-70

В результате проведения предварительных исследований была предложена схема реализации системы с оптимальным по критерию минимизации общей погрешности измерения положения компонентов зеркальной системы РТ 70 размещением всех приемных элементов оптико-электронной системы (ОЭС) (рис. 2, а) на жестком элементе конструкции – опорном кольце (ОК) в вершине ОЗ [1].

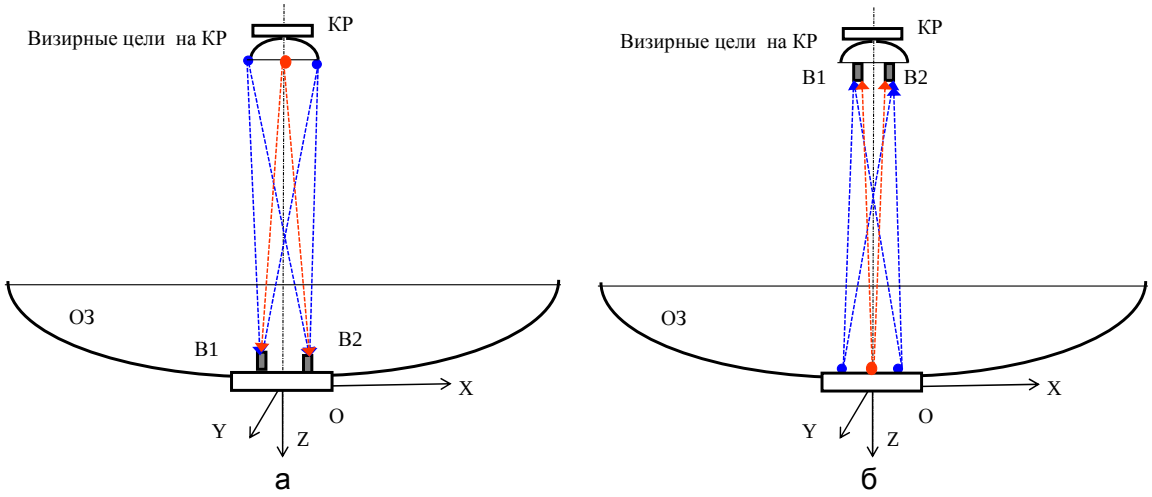


Рис. 2. Схема размещения видеокамер оптико-электронных измерительных каналов (а) и в обновленной схеме (б). В1,В2 – видеокамеры подсистемы ИПКР

Однако в процессе дальнейших исследований, выяснилось, что предложенная система подвержена засветкам со стороны внешних источников излучения, что значительно снижает точность измерений определения положения объектов в пространстве, поэтому была предложена другая модель, предусматривающая другую компоновку элементов.

В приведенной схеме (рис. 2, б) используется отличная от изначальной (рис. 2, а) конструкция, предусматривающая размещение видеокамер приемного блока непосредственно на КР антенны, а инфракрасные излучатели – на зеркале. В измененной системе также используется система измерения положения контррефлектора (ИПКР), измерительные каналы которой служат для измерения трех пространственных координат контролируемой точки (на поверхности КР). Система измерения положения КР определяет координаты визирных целей, размещенных в контрольных точках, соответственно, ОЗ и КР (обозначены синим цветом), относительно опорного кольца как промежуточной базы.

Оптико-электронная измерительная система использует метод триангуляции или «угловой засечки» [2].

Оптико-электронный измерительный канал (ОЭИК), реализующий метод «угловой засечки», включает две видеосистемы, центры входных зрачков объективов которых смещены друг относительно друга на некоторое базовое расстояние *B*, равное диаметру опорного кольца (рис. 3).

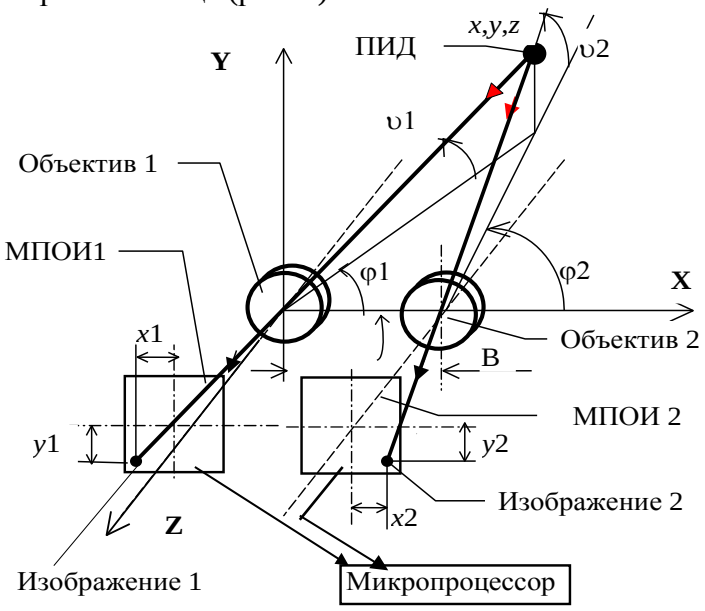


Рис. 3. Схема работы триангуляционного оптико-электронного координатора

Координатная плоскость *XOZ* приборной системы координат полагается совпадающей с плоскостью опорного кольца. Видеосистемами измеряются углы визирования υ_1, υ_2 точечного источника излучения (визирной цели в виде полупроводникового излучающего диода (ПИД), расположенного в контрольной точке на ОЗ или КР) в вертикальной плоскости, и углы φ_1, φ_2 между базовой линией (ось *OX*) и направлением на источник излучения в горизонтальной плоскости. Координаты визирной цели определяются из следующих выражений:

$$x = \frac{B\mathrm{tg}(\pi-\varphi_2)}{\mathrm{tg}(-\varphi_1)+\mathrm{tg}(\pi-\varphi_2)}\ \varphi_1 = \varphi_1 + \mathrm{arctg}(x_1/f),$$

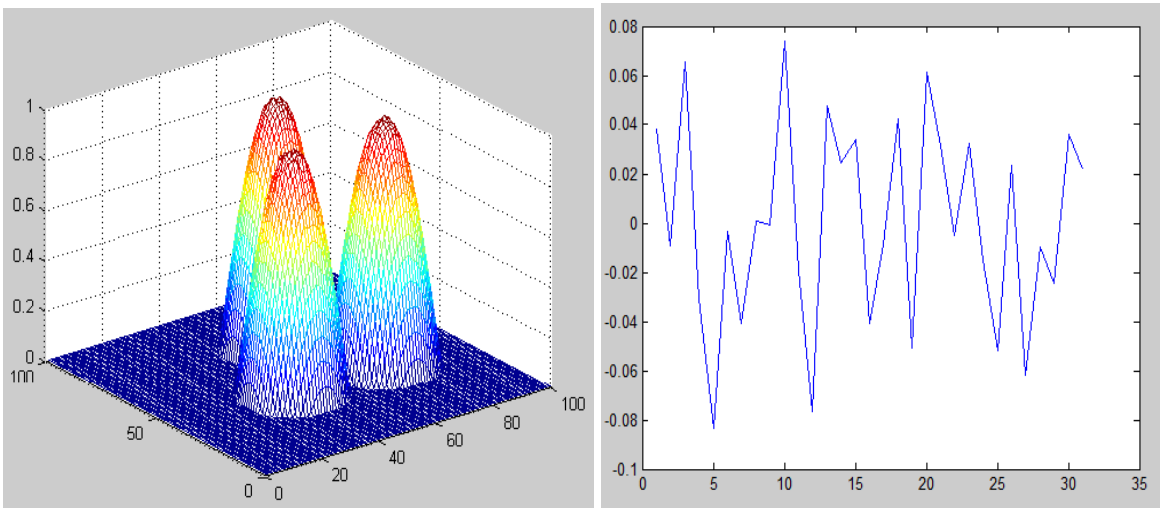
$$y = 0{,}5\sqrt{x^2+z^2}\mathrm{tg}(\vartheta_1) + 0{,}5(\sqrt{z^2+(B-x)^2}\mathrm{tg}\vartheta_2.$$

После измерения координат трех контрольных точек по известным выражениям определяются угловые и линейные отклонения КР от номинального положения [3].

На основании приведенных математических законов оценки пространственного положения объекта было произведено математическое моделирование процессов, происходящих на ПЗС-матрице фотоприемного блока в пакете MATLAB. Изображение светящегося объекта строится на матричном анализаторе принимающей системы. При перемещении светящегося объекта происходит перемещение формируемого изображения на матричном анализаторе. Перемещения изображения, измеренного принимающей системой (в данном случае матричным анализатором – микропроцессором), являются мерой измеряемого перемещения объекта. Также при изменении яркости светящегося объекта происходит изменение облученности в формируемом изображении. Общая энергия в изображении определяется измерительной системой и является мерой яркости светящегося объекта [4, 5]. Полученная трехмерная модель представлены на рис. 4, а.

На рис. 4, б представлен график случайной погрешности измерения координат изображения визирной цели (по оси ординат), полученный в результате экспериментов на компьютерной модели для 33 положений изображения на площадке матричного фотоприемника. Из полученных данных следует, что среднее

квадратическое значение погрешности измерения координат визирной цели не превышает 0,08 мм [6].



а б

Рис. 4. Трехмерная модель полученного изображения на матрице (а); график погрешности определения центра изображения визирной цели на тестовой модели (б)

Вывод. Согласно результатам математического моделирования погрешность измененной измерительной системы не превысила 0,08 мм, что подтверждает возможность практической реализации, а также улучшения метрологических характеристик полученной схемы оптико-электронной системы измерения положения контррефлектора радиотелескопа с требуемыми параметрами.

Литература

1. Коняхин И.А. Исследование оптико-электронной системы измерения деформаций элементов в конструкции радиотелескопа миллиметрового диапазона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.telephototech.ru/kat_podr.php?stid=9&st_gr_id=5, своб.
2. Коняхин И.А. Исследование оптико-электронных систем измерения деформаций компонентов зеркальной системы полноповоротного радиотелескопа РТ 70 (Суффа) миллиметрового диапазона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.telephototech.ru/kat_podr.php?stid=18&st_gr_id=5, своб
3. Корн Г.А., Корн Т.М. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973. – 832 с.
4. Степашкин И.С., Коняхин И.А. Разработка оптико-электронной системы определения положения контррефлектора антенны П-2500 // XI Международная конференция «Прикладная оптика-2014». – 2014. – Т. 1. – С. 238.
5. Степашкин И.С. Проектирование и оптимизация конструкции оптико-электронной системы контррефлектора антенны П-2500 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/3835/proektirovanie_i_optimizaciya_optiko-elektronnoy _ sistemy_kontrreflektora_antenny_p-2500.htm, своб.
6. Konyakhin I., Stepashkin I., Petrochenko A. System of the optic-electronic sensors for control position of the radio telescope elements // Proc. SPIE 9899. – 2016. – P. 989934.

Сухих Яна Юрьевна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра лазерных технологий и лазерной техники, группа № В4215
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: afuerra@gmail.com

УДК 621.373.826

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫХ ЦЕНТРОВ В СРЕДАХ НА ОСНОВЕ ФОТОХРОМОГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ МНОГОФОТОННОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Я.Ю. Сухих
Научный руководитель – к.ф.-м.н., ст.н.с С.В. Гагарский

Работа посвящена исследованию многофотонной записи флюоресцентных центров в светочувствительных соединениях хромонов. Измерены пороговые значения интенсивности, необходимые для записи, в фемто- и наносекундном диапазоне длительностей на различных длинах волн. Рассмотрены некоторые аспекты фототрансформации соединений хромонов. Исследованы спектры люминесценции и устойчивость флуоресцирующих изомеров к воздействию возбуждающего излучения. Показано, что существует несколько флуоресцирующих изомеров молекул хромонов.

Фотохромогенные соединения на основе светочувствительных молекул хромонов являются перспективными материалами для применения в информационных технологиях, маркировке и иных областях. Такие соединения при воздействии излучения ультрафиолетовой области спектра преобразуются из исходного не люминесцирующего состояния А в стабильную форму С через короткоживущее состояние В (рис. 1). У полученной в результате преобразования формы С появляется полоса поглощения в спектральной области 400–500 нм. При воздействии излучением в этой области спектра, преобразованные молекулы хромонов люминесцируют [1].

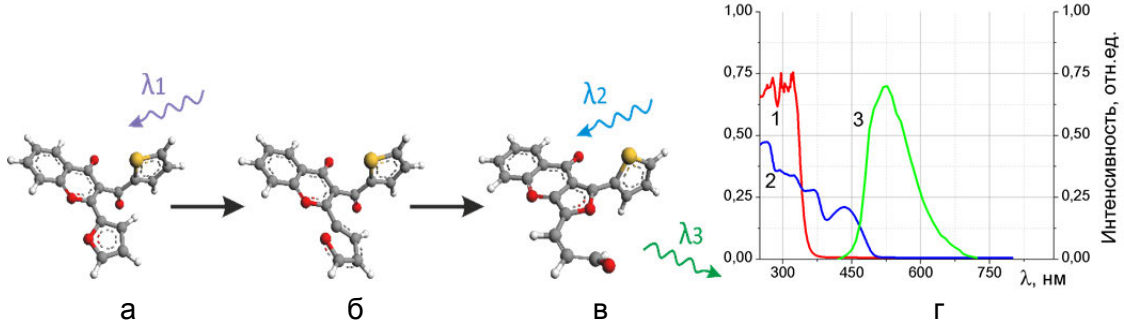


Рис. 1. Превращение молекулы из класса хромонов из исходного состояния (а), через промежуточное состояние (б) в люминесцирующее состояние (в) и соответствующие спектры: исходный спектр поглощения (1); спектр молекулы в трансформированном состоянии (2); спектр люминесценции (3)

Исследование этих соединений интересно как с точки зрения изучения их фундаментальных свойств, так и для прикладных задач разработки систем оптической записи и хранения информации [2].

В качестве образцов в экспериментах использовались тонкие (5–7 мкм) полиметилметакрилатные пленки с 5% содержанием молекул хромонов, нанесенные методом спин-коатинга на стеклянные подложки толщиной 150–200 мкм. В образцах

была произведена однофотонная и двухфотонная запись люминесцентных меток в виде прямоугольных паттернов, которые затем наблюдались в микроскоп. Для регистрации профиля интенсивности записанных меток и их спектра люминесценции использовался конфокальный лазерный сканирующий микроскоп LSM-710.

В качестве источника импульсов наносекундной длительности для создания люминесцентных центров в образцах, служил компактный неодимовый минилазер с самоинжекцией в режиме активной модуляции добротности на кристалле RKTP [3], с длиной волны генерации 1064 нм и возможностью преобразования во вторую и третью гармонику. Установка обеспечивает генерацию импульсов длительностью около 2 нс миллиджоульного уровня энергии на одной продольной и поперечной модах при килогерцовой частоте повторения импульсов.

Для однофотонной записи люминесцентных меток в хромонах использовалась конфигурация установки с третьей гармоникой (355 нм). Для двухфотонной записи использовалась конфигурация с удвоением частоты и вынужденным комбинационным рассеянием преобразованием в кристалле нитрата бария. Источником наносекундных импульсов большей длительности (5–7 нс) являлся твердотельный Nd:YVO лазер с преобразованием во вторую гармонику 532 нм, с диодной накачкой и активной модуляцией добротности.

Установка для записи люминесцентных меток импульсами фемтосекундной длительности позволяла получать импульсы длительностью от 80 до 100 фс с поперечным профилем близким к Гауссову и перестраивать длину волны в диапазоне от 530 нм до 620 нм. Энергия в импульсе регулировалась от сотен пДж до 300 нДж. Установка также дает возможность выделять отдельный импульс из последовательности и контролировать энергию в каждом импульсе.

Установлено, что минимальные пороговые значения плотности мощности, необходимой для двухфотонной записи люминесцентных изображений в пленке ПММА с исследуемым соединением KSR15 при использовании импульсов длительностью около 7 нс с длиной волны 532 нм, составляют порядка 0,4 ГВт/см^2, что соответствует пиковой плотности энергии 2,8 Дж/см^2.

Пороги двухфотонной записи на удвоенной частоте (532 нм) и второй стоксовой компоненте (598 нм) Nd:YAG лазера для импульсов длительностью 2–2,5 нс, составили порядка 1 ГВт/см^2.

Для импульсов длительностью 120 фс с центральной длиной волны 600 нм, пороговое значение пиковой плотности энергии составило 690 мкДж/см^2 и соответствующее значение пиковой интенсивности около 5 ГВт/см^2. Пороговая плотность мощности для разрушения содержащихся в пленки соединений около 5,5 ГВт/см^2. При перестройке длины волны возбуждающего фемтосекундного импульса в диапазоне 530–600 нм при длительности 80 фс, запись не удалась, фототрансформация молекул во флюоресцирующее состояние не наблюдалась.

В работе [4] на примере соединений из класса диарилэтенов показано, что такие особенности могут быть связаны с особенностями динамики многофотонного возбуждения молекулы. Аналогичные процессы могут иметь место и для соединений хромонов. В связи с этим представляет интерес проведение более детальных теоретических и экспериментальных исследований с помощью методик сверхбыстрой спектроскопии для определения оптимальной временной структуры записывающего лазерного импульса.

При анализе полученных спектров люминесценции для двухфотонной записи излучением с длиной волны 532 нм и длительностью импульса около 10 нс (рис. 2, а), отмечено смещение пика в длинноволновую область с увеличением длины волны возбуждающего излучения. Для однофотонной записи (рис. 2, б) при аналогичных длинах волн возбуждения люминесценции, подобного явления не наблюдается.

Спектры люминесценции приведены для различных параметров записывающего излучения при возбуждении длиной волны 405 нм (рис. 2, в). Как видно, при двухфотонной записи появляется люминесценция в области 440 нм, которой нет при однофотонной записи. Стабильное проявление отличий в спектрах люминесценции при одинаковых условиях возбуждения люминесценции для различных параметров записывающего излучения свидетельствует о том, что существуют две или более различных люминесцентных форм исследованных соединений.

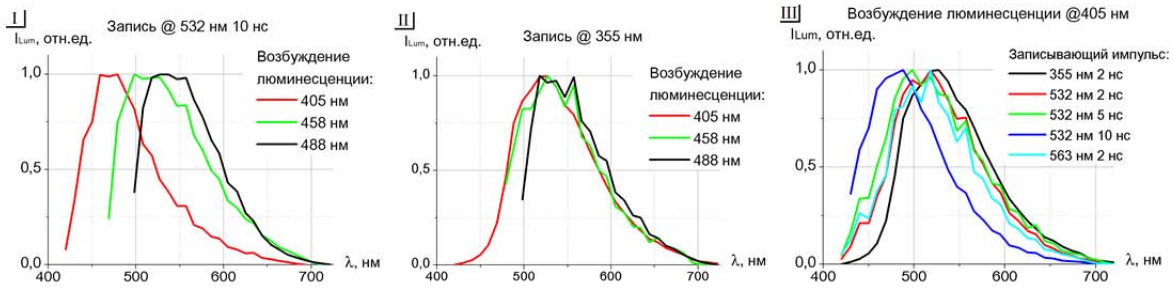


Рис. 2. Спектры люминесценции соединения хромонов для различных длин волн возбуждения и параметров записывающего импульса

При многократном сканировании некоторой области образца излучением возбуждающего люминесценцию лазера, наблюдается стирание люминесцентного сигнала (рис. 3, а). Для ощутимого проявления этого эффекта требуются высокие значения экспозиции, так для длины волны 488 нм снижению сигнала в 2 раза соответствует экспозиция порядка 0,25 кДж/см^2 (рис. 3, б). При этом уменьшается как сигнал люминесценции записанной метки, так и сигнал от паразитного фонового излучения [5]. Это говорит о том, что записанные метки устойчивы к излучению на считывающей длине волны и процедура считывания может проводиться практически неограниченное число раз.

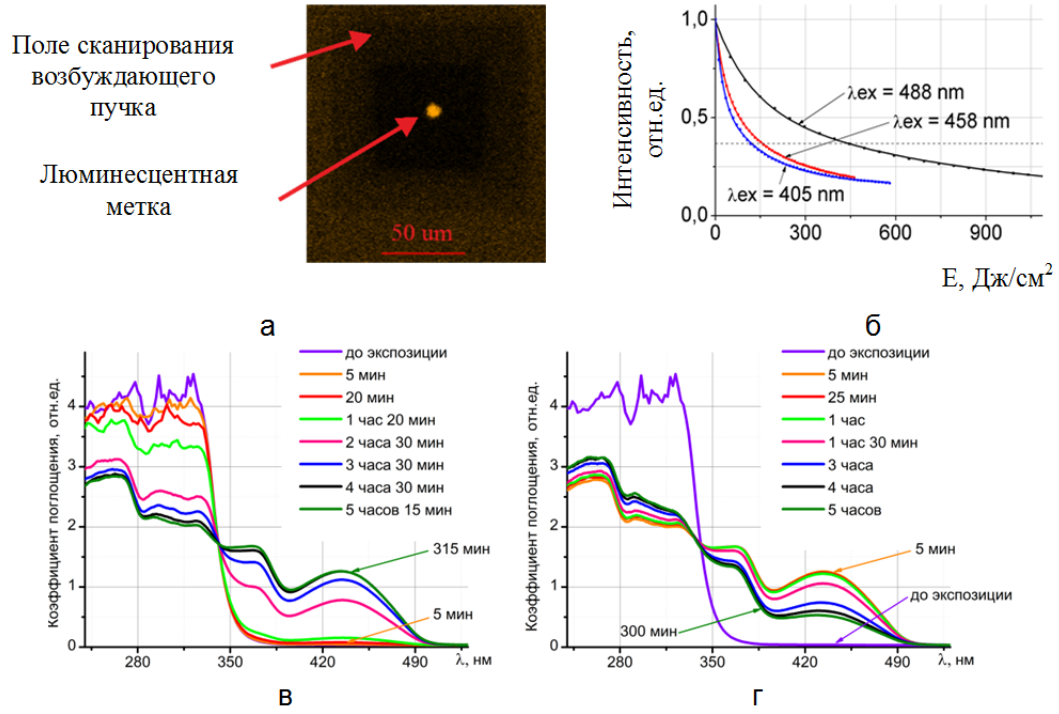


Рис. 3. Стирание люминесцентного сигнала в образцах хромонов (а); зависимость сигнала люминесценции от экспозиции для различных длин волн возбуждения люминесценции (б); спектры поглощения молекул хромонов в растворе на этапе 1 (в); спектры поглощения молекул хромонов в растворе на этапе 2 (г)

Для более детального изучения этих особенностей была измерена динамика изменения спектра поглощения раствора соединения KSR 15 в толуоле в процессе фототрансформации. На первом этапе раствор засвечивался ультрафиолетовой частью излучения ртутной лампы (300–313 нм) до момента насыщения изменений в спектре поглощения (рис. 3, в). На этом этапе происходит преобразование молекул хромонов в люминесцирующую форму.

На второй стадии эксперимента засветка проводилась в область светоиндуцированной полосы поглощения излучением с длиной волны 436 нм (рис. 3, г). Люминесценция сопровождалась изменением спектра поглощения раствора, при этом поглощение в диапазоне длин волн 250–350 нм увеличивалось, а в области, наведенной на первом этапе полосы поглощения (350–500 нм), уменьшалась. Примерно через 5 ч процесс изменения спектра поглощения достиг насыщения, при этом раствор продолжал люминесцировать. Таким образом, можно предположить, что при воздействии излучением с длиной волны 436 нм только некоторые из флуоресцентных форм молекул хромонов подвержены фотоиндуцированной трансформации. Попытка повторно засветить раствор ультрафиолетом (300–313 нм) результатов не дала, что свидетельствует о том, что фотоиндуцированная трансформация молекул хромонов в флуоресцентной форме является фотодеградацией, а не обратным преобразованием в исходную форму А.

Выводы. В работе была исследована возможность применения органических соединений класса хромонов в качестве светочувствительных центров для создания многослойных оптических дисков. Рассмотрены основные люминесцентные свойства молекул класса хромонов и фотохромов. Определены сечения поглощений различных соединений молекул хромонов.

Для исследования особенностей фотопреобразования молекул хромонов в образцах была произведена запись люминесцентных меток лазерными импульсами фемто- и наносекундного диапазона длительностей на различных длинах волн. Определены пороговые значения интенсивности, необходимые для двухфотонной записи и пороги разрушения материала пленки. Измерены спектры люминесценции записанных меток.

Было показано, что существует несколько возможных путей фотоизомеризации молекулы, о чем свидетельствует стабильное проявление отличий в спектрах флуоресценции при одинаковых условиях возбуждения люминесценции для различных параметров записывающего излучения. При этом эффективность преобразования в различные изомеры может существенно зависеть от параметров записывающего импульса, однако этот вопрос требует более детального рассмотрения.

Можно утверждать, что по крайней мере один из люминесцирующих изомеров подвержен стиранию при воздействии возбуждающего люминесценцию излучения, данный эффект соответствует фотодеградации флуоресцирующих молекул. Для различных длин волн возбуждения люминесценции были измерены зависимости ослабления люминесцентного сигнала от экспозиции.

Есть основания полагать [4], что для эффективного фотопреобразования молекул хромонов во флуоресцирующую форму в результате двухфотонного поглощения, предпочтительно использование либо импульсов пикосекундного диапазона или пары более коротких импульсов, разделенных некоторым временным интервалом. Определение этого интервала, наряду с уточнением оптимального спектрального диапазона являются направлением дальнейшего исследования.

Литература

1. Barachevsky V.A., Kobeleva O.I., Valova T.M., Ait A.O., Dunaev A.A., Gorelik A.M., Grebennikov E.H. Light-sensitive organic systems and multilayer polymer structures for optical recording media // SPIE Photonics Europe. – 2010. – P. 772225–772225-8.
2. Левченко К.С., Яровенко В.Н., Барачевский В.А. Новые светочувствительные материалы с фотоиндуцированной флуоресценцией для оптической памяти // Сб. тезисов докладов Всероссийской конференции по органической химии. – 2009. – С. 259.
3. Гагарский С.В., Сухих Я.Ю., Быханова Е.В., Галиуллина К.И., Елисеева В.С., Сергеев А.Н. Компактный килогерцовый одночастотный Nd:YAG-лазер с самоинжекцией и активной модуляцией добротности на кристалле RKTP // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 3. – С. 144–147.
4. Ward C.L., Elles C.G. Cycloreversion Dynamics of a Photochromic Molecular Switch via One-Photon and Sequential Two-Photon Excitation // The Journal of Physical Chemistry A. – 2014. – V. 118. – № 43. – P. 10011–10019.
5. Сергеев А.Н. Разработка минилазеров для исследования записи информации в светочувствительных материалах нелинейно-оптическими методами : дисс. … канд. техн. наук : 05.27.03. – СПб., 2014. – 102 с.

Тепляков Андрей Владимирович
Год рождения: 1981
Факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, группа № М4220
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: andtep@yandex.ru

УДК 004.93

РЕАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО ТРАНСКРИПТОРА В ДВИЖКЕ СИНТЕЗА РЕЧИ TTS ДЛЯ КЛАССИЧЕСКОГО АРАБСКОГО ЯЗЫКА

А.В. Тепляков
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент С.В. Рыбин

Вопрос синтеза арабской речи в последнее время вызывает повышенный интерес, как со стороны научного сообщества, так и разных силовых ведомств, в связи происходящими в мире геополитическими и экономическими событиями. В системах синтеза арабского языка практическое развитие и применение получили транскрипторы, основанные, преимущественно, на словарном методе, которые достаточно трудоемки и, при этом, не всегда дают высокую точность. Примеров реализации транскриптора классического арабского языка с использованием статистического метода в современной науке зафиксировано еще не было.

Задача преобразования орфографической формы слова в соответствующее наиболее вероятностное произношение очень важна для систем синтеза и распознавания речи. Основная сложность ее реализации состоит в том, что для многих языков орфографическое написание слов может быть давно канонизировано, но вследствие развития самого языка произношение этих слов со временем

изменилось, и уже мало соответствует написанию. Степень такого несоответствия зависит от языка. Некоторые языки, например, такие как испанский, финский или суахили, имеют более или менее прямое соответствие между письменной формой и используемой звуковой системой. Такие языки можно сравнительно легко транскрибировать в звуки с помощью простых правил транскрипции. Соответствие между орфографическими и звуковыми системами не является очевидным для английского и французского языков; для таких языков транскрипция на основе правил сама по себе является сложной задачей, так как большая часть слов читается в противовес фонетическим правилам [1].

Что касается классического арабского языка, то здесь соответствие между орфографической и звуковой системой достаточно очевидно: арабские буквы (графемы) достаточно легко транскрибировать в звуки (фонемы). Однако следует учесть, что краткие гласные в арабском языке передаются на письме с помощью огласовок, т.е. надстрочных и подстрочных знаков, которые на практике употребляются лишь для обозначения произношения арабских слов в словарях и священных книгах, а в остальных случаях полностью игнорируются.

В синтезе речи существует три подхода, которые в настоящее время используются для преобразования «графема-фонема»:

1. словарный метод, который основан на хранении максимальной информации о каждой морфеме в лексиконе;
2. метод, основанный на наборе правил, которые разрабатывает эксперт-лингвист для конкретного языка, учитывая все фонетические особенности; одновременно с правилами составляется лексикон исключений (для случаев, когда правила не применяются);
3. статистический метод – сравнительно новый метод, получивший активное развитие в последнее время в области речевых технологий [1].

Транскриптор, реализованный на основе словаря, предполагает хранение в лексиконе максимального количества фонологической информации. В большинстве случаев, морфемы используются вместо слов для сокращения размера такого лексикона. Произношение слов генерируется из морфем с использованием комплексных правил, включающих флективные, производные и составные морфо-фонемные правила, которые описывают, как фонетическая транскрипция морфем изменяется, когда они соединяются в слова. Метод составления словаря был описан в работах Кокера и Аллена и др. [2]. Практические решения транскрипторов английского языка на основе словарей получили свою реализацию в системах синтеза MITALK TTS и AT&T TTS [2]. Несмотря на высокую точность транскриптора на базе словаря, нужно учитывать, что, во-первых, создание словаря требует много человеческих ресурсов, а во-вторых, словарь не будет работать для новых слов (тех, что не попали в словарь).

Метод, основанный на наборе правил преобразования слов в произношение, широко используется в синтезе речи. Он содержит в себе набор правил от «буквы-до-фонемы» и словарь исключений (для учета слов, которые читаются по своим собственным правилам). Здесь остается, и, в некоторой степени, даже усугубляется проблема больших трудозатрат, большая часть которых связана с необходимостью поиска и дальнейшего привлечения специалистов-лингвистов в сфере конкретного языка. К тому же, не все языки легко подвергаются такому описанию (в английском языке, например, очень многие слова читаются в противовес общим фонетическим правилам) [2].

Существуют три относительно новых подхода к статистическому анализу данных: произношение по аналогии (PbA), методы, основанные на стохастической теории и принципе ближайшего конкурента, а также методы, основанные на нейронных сетях. Наибольшей популярностью в последнее время пользуется метод

произношения по аналогии. В нем применяются фонологические знания, имплицитно содержащиеся в словаре и их соответствующие произношения. Примером применения метода произношения по аналогии являются работы Дедина и Нусбаума, Айвана, Дампера и Истмонда, Багшоу и Марганда и Дампера [3]. Основная идея этого метода состоит в произношении нового слова из схожих частей известных слов и соответствующих произношений. Таким образом, произношение нового неизвестного слова собирается за счет сопоставления подпоследовательностей этого нового слова с последовательностями известных слов в словаре. Выдвигается гипотеза частичного произношения для каждой совпавшей подпоследовательности из фонологического базиса, и эти частичные произношения соединяются [3].

Принимая во внимание особенности всех известных авторам методов транскрибирования, а также имеющиеся в их распоряжении средства и методы исследования, был выбран статистический подход, как наиболее перспективный применительно к построению арабской транскрипции.

Основной **целью исследования** являлась реализация транскриптора с применением статистического метода для движка синтеза классического арабского языка. Основные задачи, которые были поставлены в рамках исследования:

1. выбор оптимальной модели G2P-преобразования;
2. формирование набора исходных данных;
3. лингвистическая предобработка материала;
4. выбор системы транскрипции;
5. разработка и реализация алгоритма расстановки ударений;
6. оценка точности работы статистического транскриптора.

Средняя точность статистического транскрибирования на уровне слов для сложных (с точки зрения правил преобразования) языков составляет примерно 80%. Для простых языков – около 90% и более. Точность транскрибирования на уровне отдельных фонем для сложных языков – около 90% и выше, а для простых – 95% и выше. Результат на некоторых языках может быть улучшен за счет комбинирования моделей [3]. Важно отметить, что комбинирование дает прирост точности, особенно в тех случаях, когда исходных данных мало.

Наиболее перспективными подходами к статистическому транскрибированию являются подходы на базе WFST (Weighted Finite State Transducers) графов (система Phonetisaurus) и на базе графонов и *n*-грамного моделирования (система Sequitur) [4].

Для реализации транскриптора на классическом арабском языке был выбран статистический метод. При этом учитывались следующие особенности:

– достаточно сжатые сроки для разработки алгоритма по переводу арабской графемы в фонему;
– отсутствие арабского лексикона, необходимого по объему (более 3000 словоформ).

Арабский язык легко поддается транскрибированию, так как в нем практически нет исключений. Были выбраны компоненты реализации транскриптора: построение G2P-модели, задача обучения, система транскрибирования, декодирование.

Для исследований и экспериментов была использована база данных ELRA на классическом арабском языке. Данный звуковой корпус содержит файлы голосов двух дикторов, говорящих на египетском диалекте арабского языка, мужчины и женщины 35 и 27 лет, соответственно, которые были записаны в студии звукозаписи одновременно на 2 канала, микрофон и ларингограф. Общая длительность записанного материала составляет более 10 часов вместе с транскрипцией. Фонетическая транскрипция в этой базе была представлена в виде SAMPA (Speech Assessment Methods Phonetic Alphabet). Для работы над синтезом SAMPA была переведена в МФА (IPA), и только потом в латинские символы (табл. 1).

Таблица 1. Перевод символов (фонем) SAMPA в символы для транскриптора TTS/ASR

Phonemic Symbol SAMPA	Example word	SAMPA Transcription	Arabic grapheme	IPA symbol	TTS/ ASR	Comments
Consonants						
Plosives						
b	بر	**bar**	ب	/b/	b	
t	تمر	**t**amr	ت	/t/	t	
d	دار	**d**a:r	د	/d/	d	
t`	طالب	**t`**a:lib	ط	/tˤ/	th	
d`	ضرر	**d`**arar	ض	/dˤ/	dh	
k	كلب	**k**alb	ك	/k/	k'	Всегда мягкая
g	جميل	**g**ami:l	ج	/d͡ʒ ~ g/	dg	Всегда мягкая
q	قال	**q**a:la	ق	/q/	q	
?	سأل	sa**?**ala	ء	/ʔ/	C	hamsa
p	برس	**p**aris	ب	/b/	b	

В результате проведенного исследования был выработан алгоритм подготовки данных для этапа транскрипции, а также разработан и реализован алгоритм автоматической расстановки ударений. Для создания собственного алгоритма использовались материалы, взятые из разных источников. Автоматический алгоритм расстановки ударений работает совместно с транскриптором.

Поскольку база ELRA уже включала в себя размеченные файлы, которые сопровождались фонетическими транскрипциями, то это дало возможность использовать ее в качестве дальнейших экспериментов. Причем, исходные тексты озвученных фраз имели два варианта: без «огласовок», т.е. без обозначенных гласных, и нормализованный вариант с «огласовками», т.е. с обозначенными гласными.

В процессе экспериментов исходные данные разбивались на тренировочную выборку (90% от базы) и тестовую выборку (10%), которая не участвовала в обучении и использовалась только для оценки точности. В оценке качества использовались метрики PACC (Phoneme Accuracy – % верных фонем), WACC (Word Accuracy – % верных слов без единой ошибки) и PhrACC (% верных фраз без единой ошибки) [5].

Как видно из табл. 2 огласованная модель показала наилучший результат на огласованном материале на своей тестовой выборке – PACC 99,90±0,042% и WACC 99,50±0,23%. Из этого можно сделать вывод о том, что огласованные слова имеют прямое соответствие с огласованными транскрипциями.

Таблица 2. Результаты экспериментов с использованием огласованной модели

База для обучения	База для теста	PACC,%	WACC,%	PhrACC,%
Огласованные слова	Огласованные слова	99,904±0,04	99,496±0,23	–
Огласованные фразы	Огласованные фразы	99,388±0,05	–	83,816±0,9
Огласованные фразы	Огласованные слова	83,068±0,03	24,778±0,13	–
Огласованные фразы	Неогласованные фразы	76,9	–	15,5
Огласованные фразы	Неогласованные слова	53,672	0,158	–

Модель, обученная только по отдельным неогласованным словам, показала на тесте (табл. 3) не такой высокий результат, как в случае огласованных текстов. В среднем, каждое второе слово было с ошибкой – PACC 88,67±1,13% и WACC 54,35±2,29%. Модель по фразам в целом показала достаточно неплохой результат –

PACC 93,03±0,3% и PhrACC 28,328±2,15%.

Таблица 3. Результаты экспериментов с использованием неогласованной модели

База для обучения	База для теста	PACC,%	WACC,%	PhrACC,%
Неогласованные слова	Неогласованные слова	88,67±1,13	54,35±2,29	–
Неогласованные фразы	Неогласованные фразы	93,03±0,29	–	28,33±2,15
Неогласованные фразы	Неогласованные слова	80,83±0,15	28,98±0,3	–
Неогласованные фразы	Огласованные фразы	98,59	–	72,98
Неогласованные фразы	Огласованные слова	89,242±0,15	44,648±0,28	–

Проанализировав плохие результаты огласованной фразовой модели на огласованных словах и допустимые результаты неогласованной фразовой модели на всех тестах, была реализована смешанная модель и протестирована на раздельных тестах. Для этого все тренировочные данные (огласованные слова, неогласованные слова, огласованные фразы, неогласованные фразы) соединили в одну цепочку, а тесты оставили разделенными. Результаты эксперимента приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты экспериментов на смешанной базе для обучения

База для обучения	База для теста	PACC,%	WACC,%	PhrACC,%
Смешанная база	Огласованные слова	93,83	67,69	–
Смешанная база	Огласованные фразы	99,04	–	78,08
Смешанная база	Неогласованные фразы	94,03	–	40,77
Смешанная база	Неогласованные слова	90,02	78,08	–

Каким видно, такой способ добавил точности при транскрибировании неогласованных данных, и вполне приемлемо сработал на огласованных фразах и словах.

В результате проведенных исследований и экспериментов был реализован статистический транскриптор с учетом особенностей арабского языка, в работе которого используется смешанная модель. Транскриптор включает подготовку данных, построение модели, обучение модели, транскрибирование и декодирование. Был разработан и реализован фонемный алгоритм автоматической расстановки ударений для арабского языка.

По результатам экспериментов точность транскрибированных арабских текстов составила примерно 90%.

Для проведения MOS (Mean Opinion Score) оценки транскриптора были привлечены носители языка из разных стран (Египет, Сирия, Тунис). Для них были подготовлены тексты: около 50 фраз на разные темы, все фразы были огласованы лингвистом-арабистом, чтобы избежать неточностей при прочтении. Результаты оценки арабской синтезированной речи, проведенной носителями языка, представлены в табл. 5.

Таблица 5. MOS-оценка синтезированной арабской речи

ГОЛОС	ARABIC
Средняя оценка	3,4
Отношение числа слов с ошибками к числу фраз	1,6
Качество интонации (1–плохо...5–отлично)	3,5
Дрожание голоса (1–сильно...5–нет)	2,9
Плавность произношения звуков (1–очень грубо...5–плавно)	3,4
Эмоции соответствуют смыслу текста (1–не соответствуют…5–точно соответствуют)	3,9

ГОЛОС	ARABIC
В целом понравилось или не понравилось (0–не понравилось, 1–понравилось)	0,5

Литература

1. Чистиков П.Г., Таланов А.О., Захаров Д.С., Соломенник А.И. Технология синтеза естественной речи с использованием базы данных небольшого объема // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 4(92). – С. 83–90.
2. Соломенник А.И., Чистиков П.Г., Рыбин С.В., Таланов А.О., Томашенко Н.А. Автоматизация процедуры подготовки нового голоса для системы синтеза русской речи // Изв. вузов. Приборостроение. – 2013. – № 2(56). – С. 29–33.
3. Захаров Д.С., Рыбин С.В. Статистические методы формирования фонетических транскрипций // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/839/839.pdf, своб.
4. Матвеев Ю.Н., Шулипа А.К. Анализ возможности применения методов машинного обучения на основе многообразий в задачах распознавания дикторов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2014. – № 2(57). – С. 70–76.
5. Рыбин С.В. Методы оценки качества алгоритмов классификации // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 3. – С. 60–62.

Трушкина Анна Владимировна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: avtrushkina@corp.ifmo.ru

УДК 535-45

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПО ПЛОЩАДКЕ МАТРИЧНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ

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

Цифровые камеры, использующие в качестве фоточувствительного элемента ПЗС- или КМОП-матрицу, на сегодняшний день применяются практически во всех областях, имеющих дело с получением, обработкой или анализом изображения. К таким устройствам относятся, например, фотоаппаратура, системы безопасности, портативная и мобильная техника, а также приборы для проведения научных исследований и промышленных применений. При использовании матричных приемников оптического излучения (МПОИ) в измерительных системах целесообразно учитывать различные влияющие факторы, способные повлиять на качество измерений, для минимизации систематических и случайных погрешностей. Чаще всего точность снимаемого с МПОИ сигнала исследуется с точки зрения

отношения сигнал/шум. Существуют исследования по влиянию каждого из типов шумов в отдельности и способов их учета, минимизации или устранения на инструментальном уровне или в процессе обработки измерений. Однако ошибки измерений при использовании матричных сенсоров могут возникать не только из-за шумов. Часто при точных измерениях необходимо учитывать сложность многослойной структуры пикселя. Этот фактор и его влияние на результат измерений практически не исследуются. Между тем в отдельных случаях, например, при проведении измерений в поляризованном свете, он может вызывать ошибки измерений.

Целью исследования являлось изучение поляризационных свойств МПОИ и влияния изменения их пространственного положения в оптической схеме на инструментальную погрешность измерительных приборов.

Поляризационная чувствительность у фотоприемников на основе изотропных полупроводников возникает в случаях, когда фоточувствительный элемент установлен под углом к оси падающего пучка лучей [1]. В этом случае коэффициент пропускания границы раздела сред воздух (или, в случае МПОИ, электрод) – кристалл фотоприемника описывается выражением вида

$$T = \frac{n_2 \cos\varepsilon''}{n_1 \cos\varepsilon}\left(t_s^2 \cos^2\alpha_{in} + t_p^2 \sin^2\alpha_{in}\right) = T_s^2 \cos^2\alpha_{in} + T_p^2 \sin^2\alpha_{in},$$

где ε – угол падения излучения на границу раздела сред; ε'' – угол преломления; T_s и T_p – коэффициенты пропускания для излучения, поляризованного перпендикулярно и параллельно плоскости падения излучения соответственно; α_{in} – азимут поляризации падающего излучения; t_s и t_p – коэффициенты пропускания взаимно ортогональных компонент вектора Джонса, которые находятся по формулам Френеля [2]:

$$t_s = \frac{2n_1 \cos\varepsilon}{n_1 \cos\varepsilon + n_2 \cos\varepsilon''}, t_p = \frac{2n_1 \cos\varepsilon}{n_2 \cos\varepsilon + n_1 \cos\varepsilon''}.$$

Фототок определяется следующим выражением:

$$i\left(\lambda, \varepsilon, \alpha_{in}\right) = \Phi'' \frac{e\eta\beta\lambda}{hc} = \Phi \frac{e\eta\beta\lambda}{hc} T\left(\varepsilon, \alpha_{in}\right) = \Phi \frac{e\eta\beta\lambda}{hc}\left[T_p\left(\varepsilon\right)\sin^2\alpha_{in} + T_s\left(\varepsilon\right)\cos^2\alpha_{in}\right],$$

где e – заряд электрона; η – квантовая эффективность фотоприемника; β – коэффициент разделения пар носителей заряда; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме; λ – длина волны излучения.

Таким образом, чувствительность МПОИ характеризуется двумя величинами: к излучению, поляризованному в плоскости падения (s_p), и в плоскости, перпендикулярной плоскости падения (s_s). Нормированные зависимости чувствительности от угла падения рассчитываются по следующим формулам:

$$s_p\left(\varepsilon\right) = \frac{n_2 \cos\varepsilon''}{n_1 \cos\varepsilon} t_p^2, s_s\left(\varepsilon\right) = \frac{n_2 \cos\varepsilon''}{n_1 \cos\varepsilon} t_s^2.$$

Основным параметром поляризационно-чувствительного фотоприемника является эффективная поляризационная чувствительность, которая является разностью p- и s-компонент:

$$\Delta s\left(\varepsilon\right) = s_p\left(\varepsilon\right) - s_s\left(\varepsilon\right).$$

Амплитуда сигнала пропорциональна этой величине, следовательно, она зависит от показателей преломления и поглощения кристалла фотоприемника, квантовой эффективности фотоприемника, от угла падения и длины волны излучения. Таким образом, для учета изменения сигнала на МПОИ в связи с изменением его ориентации относительно падающего поляризованного излучения целесообразно рассчитать

распределение поляризационной чувствительности в зависимости от угла падения излучения на каждый пиксель.

Методика расчета основана на матричном формализме Джонса [3]. Пиксель представляется как совокупность границ раздела изотропных сред, при прохождении каждой из которых излучение претерпевает преломление. Матрица Джонса для каждого отдельного пикселя МПОИ имеет следующий вид:

$$\mathbf{M}_{MPD} = \mathbf{M}_R(\alpha_6)\mathbf{M}_5\mathbf{M}_R(\alpha_5)\mathbf{M}_4\mathbf{M}_R(\alpha_4)\mathbf{M}_3\mathbf{M}_R(\alpha_3)\mathbf{M}_2\mathbf{M}_R(\alpha_2)\mathbf{M}_1\mathbf{M}_R(\alpha_1),$$

где $\mathbf{M}_i$ – матрицы границы раздела сред; $\mathbf{M}_1$ – воздух-микролинза; $\mathbf{M}_2$ – микролинза-светофильтр (красный, зеленый или синий); $\mathbf{M}_3$ – фильтр-электрод (поликристаллический кремний Si:H); $\mathbf{M}_4$ – электрод-диэлектрик (диоксид кремния SiO_2); $\mathbf{M}_5$ – диэлектрик-фотоприемник (Si (p/n)); $M_R(\alpha_i)$ – матрицы поворота системы координат, к которой описывается излучение при преломлении.

Изменение угла падения излучения на входную поверхность фотоприемника вызывает изменение общего коэффициента пропускания системы, которое, в свою очередь, вызывает поворот плоскости поляризации. Поскольку коэффициенты пропускания для изотропных границ раздела сред являются вещественными величинами, выходное излучение будет поляризовано также линейно, а изменение азимута определяется из следующего выражения:

$$\Delta\alpha_{out} = \arctan\frac{\tan(\alpha_1 - \alpha_{in})\left[1-\left(t_p/t_s\right)\right]}{1+\left(t_p/t_s\right)\tan^2(\alpha_1-\alpha_{in})}.$$

Таким образом, для расчетов необходимо знать ориентацию систем координат, в которых описывается входное и выходное излучение, а также показатели преломления кремния, диоксида кремния, поликремния и цветных фильтров.

Для реализации вышеописанной методики разработана программа с помощью средств среды LabVIEW. Программа имеет три режима работы, соответствующие освещению параллельным, сходящимся и расходящимся пучком линейно поляризованного излучения (ЛПИ). При освещении матрицы параллельным пучком ЛПИ распределение выходных характеристик по фоточувствительной площадке будет равномерным и зависящим только от параметров пропускания цветных фильтров.

Алгоритм для расходящегося и сходящегося пучков отличен тем, что угол падения излучения на каждый отдельный пиксель будет различным и зависеть от координаты (u_i, v_j) пикселя $a_{i,j}$ относительно центра матрицы. Координаты (u_i, v_j) рассчитываются из следующих соотношений:

$$u_i = h\left[i-\frac{1}{2}(m-1)\right], i = 0,1,...,m$$
$$v_j = h\left[j-\frac{1}{2}(n-1)\right], j = 0,1,...,n,$$

где h – размер стороны пикселя.

Для расчета поляризационной чувствительности МПОИ в расходящемся пучке необходимо знать расстояние до источника излучения, а также размер пикселя.

Для расчета поляризационной чувствительности МПОИ в сходящемся пучке нужно также знать размер изображения источника излучения на выходе фокусирующего объектива.

Для верификации результатов расчетов был разработан лабораторный стенд, макет которого показан на рис. 1.

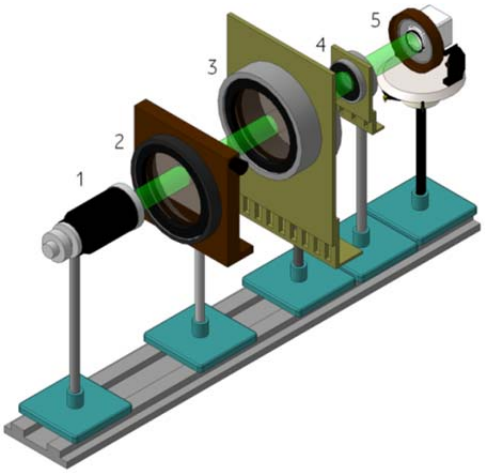


Рис. 1. Макет лабораторного стенда

Схема построена по принципу Стокс-поляриметра, основными компонентами которого являются источник оптического излучения с коллиматорным объективом, создающим параллельный пучок излучения 1, поляризатор 2, анализатор 3, четвертьволновая пластинка 4, и КМОП-матрица 5.

Исследования проводились для двух длин волн 532 и 640 нм, источниками излучения являлись излучающие диоды видимого диапазона спектра. Исследуемый матричный приемник оптического излучения – КМОП-матрица OV5620. Интегральная чувствительность используемого приемника и пороговая освещенность были рассчитаны с учетом коэффициентов пропускания компонентов, измеренных с помощью волоконного спектрометра.

Экспериментальная часть исследования состояла из двух этапов – настройки и юстировки системы и собственно эксперимента. Настройка системы включает в себя установку взаимного положения осей пропускания поляризатора и анализатора, так, чтобы при согласованном положении наблюдалось максимальное пропускание, а при скрещенном – полное гашение. Кроме того, необходимо установить главную ось фазовой пластинки таким образом, чтобы она преобразовывала линейно поляризованное излучение в циркулярно-поляризованное. Процесс эксперимента заключается в снятии шести значений сигнала для различных относительных положений осей поляризационных элементов. Затем, после проведения эксперимента, другая программа, реализованная на языке Python2.7, рассчитывает вектор Стокса для каждого пикселя:

$$\begin{aligned} S_0 &= I_0 \\ S_1 &= I_0 - I_{90} \\ S_2 &= I_{45} - I_{-45} \\ S_3 &= I_l - I_r \end{aligned},$$

где I_k – значения сигнала; I_0 – при согласованном положении поляризатора и анализатора; I_{90} – при скрещенном положении; I_{45} – при расположении осей пропускания поляризатора и анализатора под углом 45°; I_l – при аналогичном положении осей и наличии в схеме ФП; I_{-45} – при расположении осей пропускания поляризатора и анализатора под углом –45°; I_r – при аналогичном положении осей и наличии в схеме фазовой пластинки.

Затем параметры Стокса пересчитываются в азимут поляризованного излучения:

$$\alpha = \frac{1}{2}\arctan\frac{S_2}{S_1}. \quad (1)$$

Эти действия выполняются отдельно для красного, зеленого и синего каналов.

Результатом проведения эксперимента являются полученные распределения изменения азимута поляризованного излучения по чувствительной площадке приемника. В данной работе входной азимут поляризации излучения изменялся от 0° до 90° с шагом 15°, а угол падения излучения на плоскость приемника составлял 0°, 1° и 3°. Экспериментально доказано, что при нормальном падении излучения на плоскость приемника поляризационные эффекты отсутствуют. В случае если приемник расположен под углом к оси падающего пучка лучей, минимальные изменения азимута наблюдаются в крайних точках исследуемого диапазона входного азимута поляризации – 0° и 90°, а максимальные при 45°. Распределение, полученное с помощью лабораторного стенда, не является распределением столь равномерным, как полученное расчетным методом, что может быть связано с условиями эксперимента. Более строгие условия эксперимента и максимально возможное исключение случайных факторов улучшат полученные данные. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими показано на рис. 2.

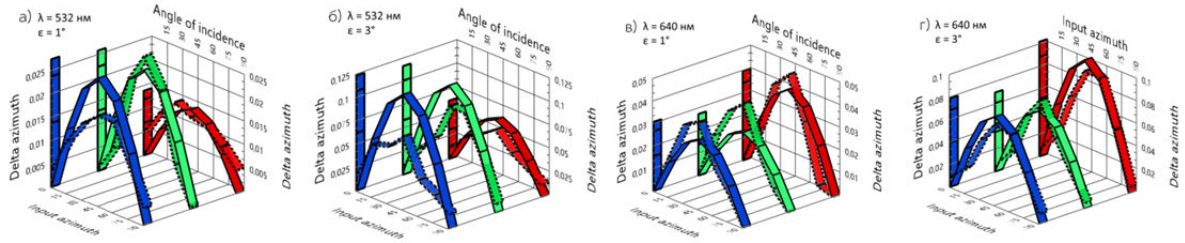


Рис. 2. Сравнение теоретических и экспериментальных данных

Из графиков на рис. 2 видно, что абсолютные значения изменения азимута, полученные теоретическим и экспериментальным методами, существенно различаются. Это может быть связано как с исходными данными для расчетов, некоторые из которых были получены из справочников и литературы. В идеале необходимо знать показатели преломления материалов, из которых изготовлена исследуемая матрица OV5620. Кроме того, влияние поляризационных и других оптических элементов схемы не учитывалось. При малых углах падения излучения на плоскость приемника (ε=1°) теоретические и экспериментальные значения отличаются в 5–7 раз, что может быть связано с недостаточной чувствительностью исследуемой матрицы, не позволяющей зафиксировать столь малые изменения. Несмотря на это, характер теоретический и экспериментальной зависимостей сходится, что указывает на правильность разработанной математической модели и работы алгоритма.

Результаты работы могут использоваться при изучении распределения поляризационных свойств излучения, отраженного от объекта или прошедшего через него. В частности, при неинвазивных исследованиях поляризационных свойств оптически неоднородных структур, например, биотканей. Ранее исследовались поляризационные параметры излучения, отраженного от образца куриной грудки с целью определения параметров поляризации, зависящих от свежести образца [4]. В этих результатах не учтено распределение поляризационных параметров по площадке приемника. Чтобы его учесть, необходимо провести дополнительный расчет.

Прежде всего, необходимо из результирующего вектора Стокса вычислить азимут поляризации по выражению (1), и тангенс угла эллиптичности:

$$\tan e = \frac{1}{2}\arcsin\frac{S_3}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}.$$

Затем следует перейти от вектора Стокса к вектору Джонса, что удобно сделать через поляризационную переменную:

$$\Gamma = \frac{\tan\alpha + i\tan e}{1 - i\tan\alpha\tan e}.$$

Тогда вектор Джонса определяется выражением

$$\mathbf{E}_{\mathbf{D}obj} = \sqrt{\frac{S_0}{1+|\Gamma|^2}}\begin{pmatrix}1\\ \Gamma\end{pmatrix}.$$

Теперь можно разделить вектор Джонса на известную матрицу Джонса приемника:

$$\mathbf{E}_{\mathbf{D}obj} = \mathbf{M}^{-1}_{\text{МПОИ}} \cdot \mathbf{E}_{\mathbf{D}out}.$$

Полученный вектор Джонса содержит информацию только об объекте исследования, что позволит определить параметры поляризации, зависящие от свежести образца:

$$a_{obj} = \frac{1}{2}\arctan\left[\frac{2A_X A_Y}{A_X^2 - A_Y^2}\cos\left(\varphi_Y - \varphi_X\right)\right]$$

$$e_{obj} = \tan\left\{\frac{1}{2}\arcsin\left[\frac{2A_X A_Y}{A_X^2 + A_X^2}\sin\left(\varphi_Y - \varphi_X\right)\right]\right\}.$$

В этих выражениях A_X, A_Y и φ_X, φ_Y – амплитудные и фазовые составляющие компонент вектора Джонса:

$$\mathbf{E}_{\mathbf{D}obj} = \begin{bmatrix}\mathbf{E}_{\mathbf{D}X}\\ \mathbf{E}_{\mathbf{D}Y}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}A_X e^{i\varphi_X}\\ A_Y e^{i\varphi_Y}\end{bmatrix}.$$

Таким образом, в ходе работы были рассмотрены теоретические вопросы возникновения поляризационной чувствительности в МПОИ. Разработана модель пикселя МПОИ как оптической системы сложной структуры, а также методика расчета на ее основе.

Составлены алгоритмы расчета поляризационной чувствительности МПОИ, освещаемого параллельным и непараллельным пучком, определены необходимые для расчетов данные. Разработана программа в среде LabVIEW, выполняющая расчет по этим алгоритмам. Разработан лабораторный стенд, выбраны его компоненты, проведен габаритно-энергетический расчет схемы. Разработана методика постановки эксперимента, включающая в себя два этапа – настройку и юстировку системы и собственно эксперимент. Составлены алгоритмы обработки видеоизображения.

Проведено экспериментальное исследование МПОИ в параллельном пучке для двух длин волн (λ=532 и 640 нм), азимутов входного ЛПИ, измеряющихся от 0° до 90° с шагом 15° и углов падения на МПОИ ε=1° и 3°. Абсолютные значения Δα, полученные с помощью эксперимента, коррелируют с соответствующими рассчитанными значениями. Показан пример практического использования полученных результатов.

Научная новизна работы состоит в исследовании внутренней структуры пикселей МПОИ и влияния каждой ее составляющей на состояние поляризации излучения, а также в разработке алгоритмов расчета поляризационной чувствительности МПОИ и учетом режима их освещения.

Полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы для метрологической аттестации ПЗС- или КМОП-детекторов с точки зрения

поляризационной чувствительности, а также для учета влияния структуры фотоприемников на результаты измерений. Это позволит повысить точность измерений при их проведении в поляризованном свете.

Литература

1. Trushkina A.V., Ryzhova V.A., Denisov V.M., Korotaev V.V. Distribution of polarization sensitivity on the arbitrarily oriented matrix photodetectors // Proceedings of SPIE. – 2016. – V. 9899. – P. 98992G.
2. Панков Э.Д., Коротаев В.В. Поляризационные угломеры. – М.: Недра, 1992. – 240 с.
3. Tompkins H.G., Irene E.A. Handbook of ellipsometry. – William Andrew Inc., New York, 2005. – 851 p.
4. Трушкина А.В., Рыжова В.А. Поляризационные методы в исследовании оптически неоднородных сред // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 3. – С. 176–180.

Фастова Наталья Игоревна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4207
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: Fastova.nata@yandex.ru

УДК 681-78

РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Н.И. Фастова
Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Г. Ишанин

Данная работа посвящена проектированию и исследованию оптико-электронного прибора для измерения коэффициента теплового излучения образцовых источников оптического излучения. С помощью такого прибора можно будет производить аттестацию любого количества источников, имея всего лишь один эталонный излучатель типа черное тело. Также разрабатываемый прибор будет работать в лабораторных и цеховых условиях.
Ключевые слова: черное тело, коэффициент теплового излучения, термостабилизация.

Введение. Для всех оптико-электронных приборов (ОЭП) (пирометров, приемников и образцовых источников оптического излучения) необходимо производить паспортизацию. Для этого чаще всего используют образцовые излучатели типа черное тело (ЧТ), так как они являются уникальными источниками излучения. В настоящее время известны многие разработки черных тел, их классификация очень разнообразна. В основном, они различаются по температурным диапазонам, диаметру отверстия, габаритам и типу охлаждения. Но самой важной характеристикой таких излучателей является коэффициент теплового излучения, так

как зная его, можно рассчитать все требуемые значения параметров излучения и погрешности аттестации ОЭП.

Но в настоящее время на рынке не представлены приборы, предназначенные конкретно для измерения данного коэффициента, таким образом, разработка такого прибора является актуальной.

Целью работы являлась разработка ОЭП для измерения коэффициента теплового излучения образцовых излучателей оптического излучения.

Для достижения поставленной цели, необходимо выполнение следующих задач: провести обзор известных схем устройств; изложить физические основы, заложенные в принцип действия прибора; разработать структурную схему прибора; выполнить габаритно-энергетический расчет прибора; разработать и описать оптическую схему прибора; выполнить расчет погрешностей и надежности прибора; разработать конструкцию прибора и приемного узла прибора; разработать технологический процесс сборки и приемного узла прибора; выполнить расчет экономической эффективности прибора.

За эталон ЧТ принято потому, что его спектральная плотность энергетической светимости может быть подсчитана теоретически по формуле *М*. Планка с любой степенью точности [1]: $M_{e\lambda T}(\lambda T) = C_1\lambda^{-5}(e^{c_2/\lambda T} - 1)^{-1}$, где $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-6}$ [Вт/ м^2]; $C_2 = (1,4388 \pm 0,0007) \cdot 10^{-2}$ [$M \cdot$ К] при λ [м].

Черные тела не существуют в природе, однако можно создать излучатели, свойства которых будут приближены к свойствам ЧТ. В настоящее время на рынке представлен широкий выбор образцовых излучателей типа ЧТ. Полости могут быть выполнены различной формы, например, конической, цилиндрической или сферической. Также могут использоваться различные материалы, такие, как сталь, алюминий, медь. Такие материалы обладают хорошей теплопроводностью для получения постоянной температуры по всей полости ЧТ.

В данной работе были рассмотрены модели образцовых излучателей типа ЧТ, классификация которых очень разнообразна. Сравнительные характеристики, рассмотренных моделей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики моделей черных тел

Модель ЧТ	Температурный диапазон	Диаметр апертуры	Коэффициент теплового излучения	Тип охлаждения
M345X-LC		38 мм	0,98	Элементы Пельтье
CLARREO	–170–80°C	–	0,99	Жидкий азот
30/900/2500	900–2500°C	До 30 мм	0,99	Вода
TCID-100	0–100°C	От 1 мм до 10 мм	0,998	Элементы Пельтье

В результате исследования можно выделить основные характеристики, по которым классифицируют эталонные излучатели. В зависимости от назначения ЧТ, можно выбрать различные температурные диапазоны, тип охлаждения и размер апертуры. Но основной характеристикой черных тел является коэффициент теплового излучения, который должен быть для всех моделей близким к 1. Среди рассмотренных моделей также представлено черное тело TCID-100, которое было разработано на кафедре ОЭПиС Университета ИТМО. Оно состоит из блока управления температурой, диафрагмы и излучателя. Конструкция данного излучателя была разработана и представлена на рис. 1 [1].

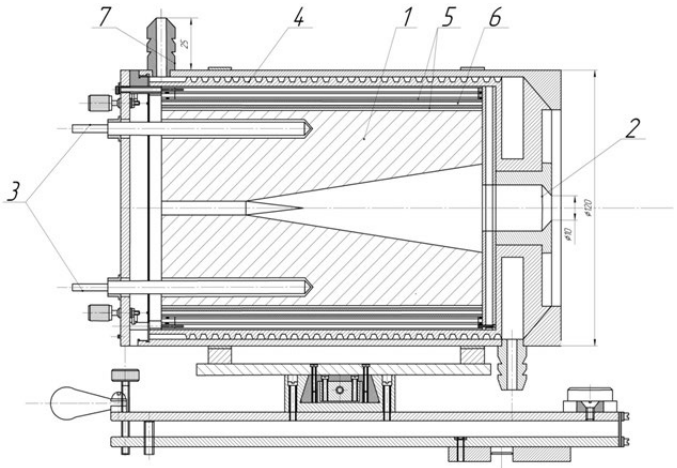


Рис. 1. Конструкция излучателя черного тела TCID-100: 1 – излучатель из красной меди; 2 – диафрагма; 3 – термопары; 4 – канавки для охлаждения; 5 – изоляция слюды; 6 – термостабилизирующая обмотка, 7 – штуцер

Для термостабилизации температуры излучателя и диафрагмы используются термоэлектрические элементы на эффекте Пельтье. Излучающей поверхностью ЧТ являются прямой и обратный (при вершине) конусы, выполненные из красной меди. Красная медь является хорошим проводником тепла, что позволяет получить высокую однородность температуры излучающей полости. Обратный конус (малой длины) также способствует выравниванию температуры излучающей полости [2].

Был посчитан коэффициент теплового излучения для черного тела TCID-100 по формуле для конической поверхности [3]:

$$\varepsilon_{эфф} = 1-\rho\frac{D^2/4l^2}{1+D^2/4l^2} = 1-0{,}99\frac{12^2/4\cdot140^2}{1+12^2/4\cdot140^2} \approx 0{,}998,$$

где D − выходной диаметр конуса; l − длина конической поверхности; ρ − коэффициент отражения поверхности конуса.

В работе предложена следующая методика измерения коэффициента теплового излучения образцовых источников оптического излучения: измеряется яркость эталонного источника (черного тела), а затем сравнивается с яркостью исследуемого источника. При этом измерительное устройство поочередно направляется на эталонный и исследуемый источники. На основе того была разработана структурная схема прибора.

Был выполнен энергетический расчет системы, в результате которого необходимо было рассчитать диаметр входного зрачка и пороговый поток. Для этих значений должны были выполняться следующие условия:

1. $A_{реал.} > A_{теор.}$ для диаметра входного зрачка;
2. $\Phi_{пр.реал.(873^oK)} > \Phi_{пр.теор.(873^oK)}$ для потока излучения.

Диаметр входного зрачка $A_{реал.}$ был посчитан с учетом затемнения оправы 2-го зеркала и с учетов виньетирования. Поток излучения был посчитан с учетом влияния атмосферы по методу Эльдера–Стронга. В результате расчетов необходимые условия были выполнены, следовательно, можно сделать вывод, что сигнал будет воспринят.

В качестве оптической системы был выбран объектив Кассегрена, который позволяет создать длиннофокусную систему в сравнительно небольших габаритах. Результаты габаритного расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты габаритного расчета

r_1	$-r_2$	f'	d
–240 мм	–310 мм	213 мм	52 мм

Неизбежно возникновение минусов. Центральное экранирование возрастает до 50%, вместо нормы в 30%, но это малосущественно, так как данный прибор дает сравнительную характеристику между двумя излучателями, а зная все параметры оптики, можно рассчитать доли прошедшего и задержанного потока с точностью более 95%.

Чтобы определить работоспособность разрабатываемого прибора, необходимо рассчитать и оценить погрешности прибора. Одной из основных погрешностей является неточное воспроизведение температур ЧТ, и чтобы оценить данную погрешность были проведены измерения с черным телом TCID-100. Была измерена температура излучателя цифровым термометром и встроенными шкалами излучателя, результаты измерений представлены на рис. 2.

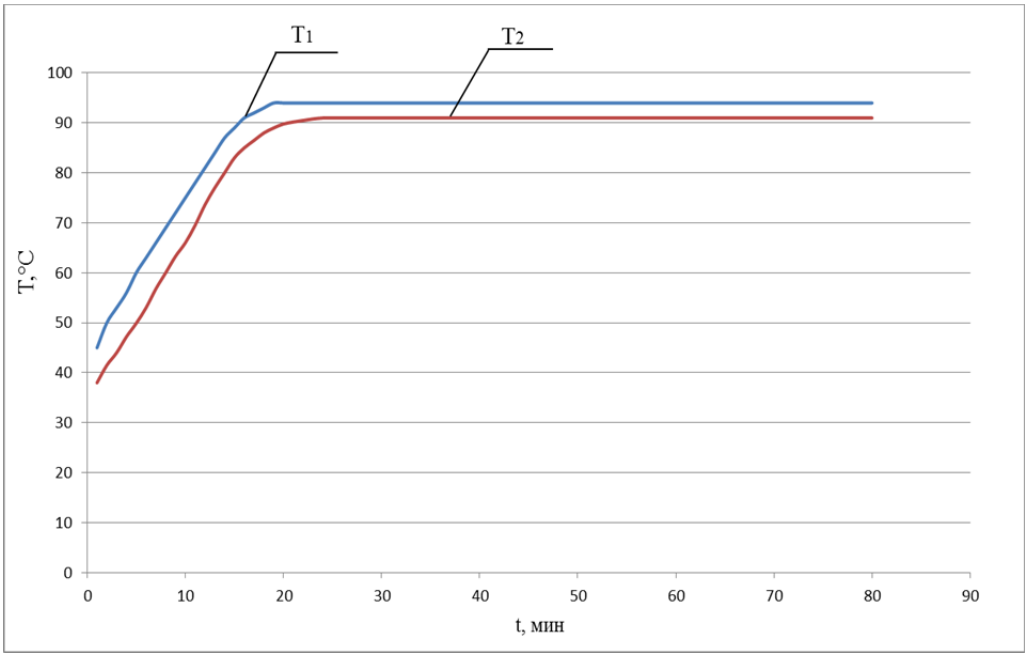


Рис. 2. График зависимости температуры от времени: T_1 – это измеренная внутренняя температура конуса образцовым термометром ДТ-610В; T_2 – установка температуры по внутренней шкале блока регистрации

Была посчитана погрешность установки температуры по шкале прибора относительно образцового излучателя, которая составила:

$$\Delta\delta = \left|\frac{91-94}{94}\right| \cdot 100\% \approx 3\% .$$

Погрешности установки и измерения температуры по внутренней шкале блока регистрации излучателя черного тела TCID-100 для всего диапазона измерений (X) рассчитывается по среднему значению температуры T_2:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum X_i}{N} = 80,9$$

и СКО

$$\delta = \sqrt{\sum (X_i - T_{\text{ср}})^2 / N} = 19,8,$$

где индекс i соответствует моменту времени измерения; N – количество сеансов измерений.

Тогда средняя погрешность составляет:

$$\Delta\delta = \delta / \sqrt{N} = 2,9 .$$

Как видно из полученных результатов, погрешность получается большой. Это можно объяснить близким расположением термопар к термостабилизирующей нагревательной обмотке, которая работает то на нагревание, то на охлаждение [4].

Также была рассчитана суммарная погрешность прибора, которая составила 1,5% от реального потока и суммарная погрешность, включающая погрешность ЧТ, вольтметра, приемника, и погрешность, обусловленная нестабильностью электрической схемы. Суммарная погрешность составила 5,8%. По условию задания чувствительность к разности яркостей должна составлять 2%. В результате расчетов получили $\delta M_{eT}^{0} = 8{,}2\%$. Так как 5,8%<8,2%, значит можно сделать вывод, что прибор данной конструкции сможет обеспечить требуемую точность. Еще одним важным качеством системы является надежность. При расчете надежности оцениваются параметры всех элементов входящих в ОЭП ЧТ. В результате расчетов было определено среднее время работы системы (312 ч) и вероятность отказа через определенное время (85%). При необходимости увеличения среднего срока службы, нужно использовать резервирование элементов и выбирать двигатель с большим сроком службы.

Была разработана конструкция прибора, которая включает в себя источник излучения и приемный узел. Также предусмотрены направляющие подвижки, позволяющие направляться на отверстие ЧТ. Оптико-электронный прибор для измерения коэффициента теплового излучения образцовых источников оптического излучения предназначен для работы в лабораторных условиях и поэтому конструкция его должна быть удобной и простой в обращении. В приемном узле важным является соблюдать расстояния между зеркалами и вторым зеркалом и приемником оптического излучения. Это осуществляется с помощью юстировочных колец. Данная конструкция позволяет просто и точно собрать зеркальный объектив, обеспечить базовые расстояния между зеркалами и расстояние от второй поверхности до приемной площадки приемника. А также простоту в обращении и легкую, при необходимости, замену деталей, что определяет ремонтопригодность данной сборки.

Заключение. В данной работе были проведены исследования и разработан оптико-электронный прибор для измерения коэффициента теплового излучения. Научной новизной данной работы является то, что разрабатываемый прибор позволит проводить аттестацию образцовых излучателей типа ЧТ относительно государственного эталона ЧТ, которые используются для паспортизации приемников оптического излучения, пирометров, радиометров, определения спектральных коэффициентов пропускания монохроматоров и ОЭП различного назначения. Дополнительно конструкция ОЭП позволит измерять коэффициент теплового излучения различных источников в лабораторных и цеховых условиях.

Литература

1. Фастова Н.И., Ишанин Г.Г. Образцовые излучатели для паспортизации сенсоров // Сб. трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica-2014». – 2014. – С. 68–70.
2. Ишанин Г.Г., Козлов В.В. Источники оптического излучения. Учебное пособие для вузов. – СПб.: Политехника, 2009. – 415 с.
3. Ишанин Г.Г., Фасова Н.И. Критический обзор образцовых излучателей типа черное тело // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. – 2013. – Вып. 2. – 143 с.
4. Ишанин Г.Г., Фастова Н.И. Образцовые излучатели для паспортизации сенсоров // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 7. – С. 550–554.

Феткуллова Дарья Дамировна
Год рождения: 1993
Факультет пищевой биотехнологии и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4227
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: daniyac@inbox.ru

УДК 637.1

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СУХИХ МОЛОЧНЫХ КАШ ДЛЯ ГЕРОДИЕТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

Д.Д. Феткуллова
Научный руководитель – ст. преподаватель М.С. Белозерова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615872 «Биотехнология поликомпонентных продуктов питания функционального и специального назначения».

В связи с увеличением количества людей пожилого возраста в структуре населения России, все более актуальным становится разработка продуктов для данной категории, с учетом изменяющихся потребностей организма в пожилом возрасте [1].

Целью работы стала разработка технологии и рецептуры сухих молочных каш для геродиетического питания на основе сухого обезжиренного молока, полбяных хлопьев и муки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать рецептуру продукта в соответствии с требованиями геродиетического питания; выбрать рациональную массовую долю вносимых компонентов на основании исследования их влияния на показатели качества готового продукта; подобрать оптимальные условия восстановления сухих молочных каш для геродиетического питания; определить показатели качества готового продукта; произвести подбор наполнителей для придания продукту вкуса, предпочтительного для широкого круга потребителей и расширения ассортимента продукции; рассчитать энергетическую, биологическую и пищевую ценность разработанного продукта.

На начальном этапе проводилось изучение основных принципов для создания геродиетического питания, медико-биологических требований, с целью подбора компонентов для составления рецептуры.

В работе использовались: сухое обезжиренное молоко, полбяные хлопья и полбяная мука.

Полба была выбрана в связи с тем, что ее увеличение приводит к повышению количества тирозина, который при ограниченной доле белка способствует увеличению продолжительности жизни, и количества серосодержащих аминокислот, которые вместе с глутаминовой кислотой и микроэлементами: магнием, марганцем, медью, цинком, селеном относятся к алиментарным геропротекторам с антиоксидантными свойствами [2].

При разработке технологии сухой молочной каши использовался способ производства, который включает в себя получения сухой молочной основы, которая смешивается с сухими растительными компонентами.

Одной из основных задач исследования являлось изучение качества исследуемых образцов продуктов различного компонентного состава с целью определить рациональные массовые доли растительных ингредиентов в рецептурах

молочных каш для геродиетического питания, а также исследовать зависимость органолептических показателей продукта от режимов технологической обработки, с целью выбора рекомендуемого способа приготовления каши потребителями в домашних условиях.

На основании геродиететики и потребностей организма в пожилом возрасте, вырабатывался продукт со следующим соотношением вносимых компонентов: 50:50, 70:25, 80:20. Разработка рецептуры была нацелена на повышение белковой составляющей суточного рациона пожилых людей, без ущерба органолептических показателей.

Для приготовления исследуемых образцов проводили смешение молочного и растительного компонентов в указанных соотношениях. Перед оценкой показателей качества данных образцов проводили их восстановление, добавляя воду в количестве, равном суммарной массе компонентов смеси. Образцы заваривались кипятком (при температуре 90–95°С), и выдерживались в течение 5–10 мин. Результаты органолептической оценки исследуемых образцов представлены в табл. 1.

Таблица 1. Органолептическая оценка образцов молочных каш

№ п/п	Компонентный состав, %			Органолептические показатели		
	СОМ*	Полбяная мука	Вода	Вкус и запах	Цвет	Консистенция
1	50	50	100	Чистый, свойственный полбе, слабо-сладкий, с привкусом горечи	Молочно-белый	Жидкой сметаны
2	70	25	100	Чистый, свойственный полбе, слабо-сладкий, с привкусом горечи	Молочно-белый	Жидкая
3	80	20	100	Чистый, свойственный полбе, сладкий, с небольшим, слабовыраженным привкусом горечи	Молочно-белый	Излишне жидкая
4	80	20	60	Чистый, свойственный полбе, сладкий, с небольшим, слабовыраженным привкусом горечи	Молочно-белый	Густая

* СОМ – сухое обезжиренное молоко

В связи с тем, что образец под № 3 с соотношением СОМ и полбяной муки 80:20 обладал излишне жидкой консистенцией, было принято решение уменьшить количество воды – полученные данные также приведены в таблице выше.

Все исследуемые образцы обладали консистенцией, несвойственной консистенции каши.

Основываясь на результатах полученных исследований органолептических показателей образцов каши, содержащих в качестве растительного компонента полбяную муку, было принято решение ввести в состав еще один компонент, для улучшения консистенции и внешнего вида продукта – овсяные хлопья.

В соответствии с требованиями геродиетического питания, потребляемый белок должен содержать белок как растительного, так и животного происхождения. Исходя из этого, в дальнейшем, при составлении рецептуры исходили из соотношения

молочного и растительного компонентов 1:1. Таким образом, при добавлении овсяных хлопьев, с целью сохранения указанного соотношения, в смеси уменьшали количество полбяной муки, замещая ее овсяными хлопьями. Вносили массовую долю овсяных хлопьев, равную 70% от общего количества растительного компонента в смеси, для получения требуемой консистенции каши. Образцы данного компонентного состава подготавливались для проведения исследований аналогично способу, описанному выше.

Было принято решение, в дальнейшем снизить содержание молочного компонента до 35%, для придания желаемой консистенции каши, но, в связи с тем, что данная рецептура, с внесением овсяных хлопьев, не обеспечивает рекомендуемое для геродиетического питания повышения количества белка, было принято решение заменить овсяные хлопья на полбяные, с целью сохранения достигнутого результата по показателям качества, также приблизив состав белковой составляющей продукта к требуемому в суточном рационе для пожилых людей.

При проведении исследований, с одной стороны, варьировали массовую долю компонентов смеси, с другой стороны, меняли режим тепловой обработки, с целью подбора оптимального режима восстановления сухих каш. Изменение температуры воды при восстановлении было связано с тем, что в серии предварительных опытов, при исследовании органолептических показателей продукта, содержащего СОМ, полбяную муку и полбяные хлопья, консистенция продукта соответствовала заданным параметрам – консистенции каши привычной для потребителя (табл. 2).

Таблица 2. Органолептическая оценка образцов с полбяными хлопьями

Вариант	Компонентный состав, %				Органолептические показатели			Температурный режим, °С
	СОМ	Полбяные хлопья	Полбяная мука	Вода, мл	Вкус и запах	Цвет	Консистенция	
Опыт 1	50	35	15	50	Чистый молочный, со вкусом, свойственным пшеничной каше, без посторонних запахов с сладким привкусом	Молочный, с характерными зерновыми вкраплениями	Густая, однород-ная, вязкая	74
Опыт 2	50	35	15	100	Чистый молочный, со вкусом, свойственным пшеничной каше, без посторонних запахов со сладким привкусом	Молочный, с характерными зерновыми вкраплениями	Очень густая, однородная, сильно вязкая	Довести до кипения
Опыт 3	35	50	15	100	Чистый молочный, со вкусом, свойственным пшеничной каше, без посторонних запахов и привкусов	Молочный, с характерными зерновыми вкраплениями	Густая, однородная, вязкая	72

Вариант	Компонентный состав, %				Органолептические показатели			Температурный режим, °С
	СОМ	Полбяные хлопья	Полбяная мука	Вода, мл	Вкус и запах	Цвет	Консистенция	
Опыт 4	25	65	10	100	Чистый молочный, со вкусом, свойственным пшеничной каше, без посторонних запахов и привкусов	Молочный, с характерным и зерновыми вкраплениям и	Густая, однородная, вязкая	Довести до кипения

Сухую молочную кашу подвергали двум способам термической обработки – заваривали кипятком или добавляли воду с температурой 23±1°С, что соответствует комнатной температуре (данная температура выбрана исходя из приготовления каш потребителем в домашних условиях). Первый способ не дал желаемого результата, хлопья не заваривались до кашеобразного состояния, было принято решение, в качестве окончательного варианта режима восстановления, рекомендовать первоначальный способ термической обработки сухой молочной каши для геродиетического питания.

В результате проведенных экспериментальных исследований была выбрана следующая рецептура продукта, включающая в себя 25% СОМ, 65% полбяных хлопьев и 10% муки из полбы, позволяющая получить продукт с требуемыми органолептическими показателями и соответствующая потребностям организма людей в возрасте от 60 до 74 лет (пожилой) и от 75 (старческий возраст).

Выбран режим восстановления разработанной сухой молочной каши: в сухую смесь добавить воду с температурой 23±1°С и полученный продукт довести до кипения. Рекомендуемое соотношение воды и сухих компонентов – 1:1.

Сухие молочные каши характеризуются характерным привкусом, присущим для полбы, в связи с этим для уменьшения вкуса зернового компонента и возможности производства большего ассортимента продукции был произведен подбор различных вкусовых наполнителей (курага/чернослив, дробленый арахис, конфитюр на фруктозе со вкусами вишня, абрикос, инулин).

1. На основании изучения требований геродиетического питания обоснован компонентный состав сухой молочной каши, включающий СОМ, полбяные хлопья и полбяную муку, характеризующийся повышенной биологической ценностью белкового компонента.
2. Определен оптимальный температурный режим восстановления разработанной сухой молочной каши. Также определено рекомендуемое соотношение воды и сухих компонентов – 1:1.
3. Выбрано оптимальное соотношение растительного и животного компонентов в смеси, равное 75:25.
4. Установлено, что биологическая ценность белковой составляющей каши составляет 72,4%, энергетическая – 345,4 ккал, что составляет 17,3% от суточной нормы для людей в возрасте от 60 лет и более.
5. Произведен подбор наполнителей.

Литература

1. Дзахмишева З.А., Дзахмишева И.Ш. Функциональные пищевые продукты геродиетического назначения // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–9. – С. 2048–2051.
2. Химический состав пищевых продуктов / Под ред. М.Ф. Нестерина и И.М. Скурихина. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 247 с.

Чиняева Анастасия Олеговна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: kettaru@mail.ru

УДК 536.212.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

А.О. Чиняева
Научный руководитель – к.т.н., доцент В.А. Кораблев

В подводной лодке важна каждая деталь. И электрические кабели, пронизывающие ее буквально вдоль и поперек, требуют к себе особо пристального внимания. Неправильно рассчитанный тепловой режим для кабеля и следующая за ним эксплуатация при недопустимых температурах может угрожать живучести подводной лодки, жизням людей, выполнению боевой задачи.

В ряде литературных источников [1–3] при расчете теплового режима кабеля за теплопроводность медной жилы берется значение теплопроводности меди. На самом деле жила кабеля состоит из медных проволок, так называемых стренг. Очевидно, что такое допущение требует более детального рассмотрения.

Целью работы являлось исследование теплового режима кабелей при высоких тепловых нагрузках и различных граничных условиях.

Для определения теплопроводности медных жил кабеля был собран образец, состоящий из скрученных жил, зажатых винтом между двух пластинок из алюминиевого сплава Д16. В пластинах были предусмотрены отверстия под термопару хромель-копель.

Сама экспериментальная установка состояла из милливольтметра и установки для определения контактных термических сопротивлений.

Образец помещался между холодным массивным основанием установки для определения контактных термических сопротивлений и предварительно нагретым металлическим ядром. При помощи милливольтметра замерялась разница напряжений на термопаре, расположенной на горячей и холодной стороне.

По полученным данным можно определить теплопроводность скрученных медных жил. Однако для этого следовало отбросить влияние на результат теплопроводности стального винта, скрепляющего конструкцию, а также пластин из алюминиевого сплава.

Теплопроводность образца без проводимости винта:

$$\lambda = \frac{(\sigma - \sigma_{винт}) \cdot \delta}{A_{меди}},$$

где σ – общая проводимость образца с медными жилами, Вт/К; σ – проводимость винта, Вт/К; δ – общая толщина, м; $A_{меди}$ – площадь участка с медными жилами, м^2.

Отбрасывается вклад в теплопроводность пластин из алюминиевого сплава:

$$\lambda_м = \delta \Big/ \left(\frac{A}{\sigma} - \frac{2\delta_{ал}}{\lambda_{ал}} \right),$$

где A – площадь пластины, м^2; $\delta_{ал}$ – толщина пластины, м; $\lambda_{ал}$ – теплопроводность пластин, Вт/(м·К).

Получено значение теплопроводности для медных жил λ=16,41 Вт/(м·К). Данное значение разительно отличается от табличного значения теплопроводности меди (387 Вт/(м·К)).

Рассмотрим математические модели. Конструкцию кабеля с жилами можно отнести к гетерогенной среде с цилиндрическими включениями в треугольной упаковке [4]. Такая форма упаковки является наиболее плотной и визуально выглядит похожей на сечения кабеля.

Формула, выведенная на основе термомеханической аналогии и концепции эффективных динамических свойств гетерогенных сред:

$$\frac{\lambda c}{\lambda^*} = 1 + \frac{(1+\gamma)(\lambda/\lambda_0 - 1)\varphi}{\lambda/\lambda_0 + \gamma},$$

где γ – фактор формы; λc – теплопроводность среды, Вт/(м·К); λ* – эффективная теплопроводность, Вт/(м·К).

Объемная концентрация включений берется из расчета для треугольной решетки круглых цилиндров:

$$\varphi = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} (d / S)^2.$$

Полученный по данной модели результат (λ=0,15 Вт/(м·К)) отличается от экспериментального на несколько порядков. Такое маленькое значение теплопроводности обусловлено тем, что в модели не учитывается проводимость в местах контакта.

В связи с этим была выбрана другая математическая модель [5], учитывающая контактную проводимость. Формула для расчета теплопроводности в этом случае:

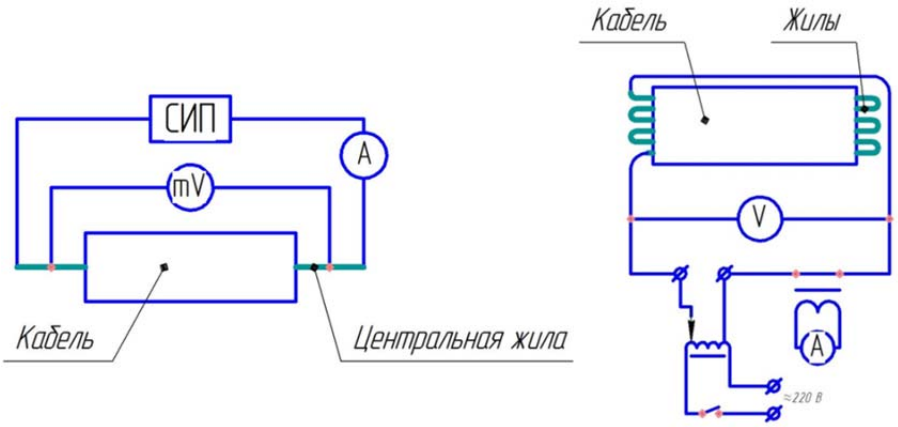
$$\lambda = \frac{\lambda_м}{2} \cdot \sqrt{y}.$$

Полученное значение теплопроводности λ=19,3 Вт/(м·К).

Таким образом, были рассмотрены две математические модели. Полученное по второй модели значение теплопроводности на 18% отличается от экспериментального.

Для проведения экспериментов по определению температуры в центре кабеля был взять кусок кабеля СМПЭВГ-100 7×2,5. Данный силовой кабель широко используется в подводных аппаратах, имеет продольную герметизацию, что позволяет удобно проводить его через корпус лодки в составе специальных приспособлений.

Схема экспериментальной установки состоит из двух контуров (рис. 1). Один контур предназначен для замера сопротивления на центральной жиле, другой контур – для пропускания по кабелю переменного тока разной величины.



а б

Рис. 1. Схема установки: I контур установки (а); II контур установки (б)

Была проведена градуировка собранной установки. В емкость с кабелем заливалась нагретая вода. Записывалась ее температура и показания вольтметра, подключенного к центральной жиле (это первый контур установки).

Градуировка выполнена в виде зависимости падения напряжения на центральной жиле кабеля при разных температурах воды и стабилизированном значении измерительного тока (700 мА).

Эксперименты на кабеле были проведены в водных условиях, что соответствовало расположению кабеля в морской воде. Также условия естественного воздушного охлаждения соответствовали местонахождению кабеля внутри подводной лодки. Таким образом, были сымитированы две самые распространенные среды, в которых может находиться электрический кабель, относящийся к подводной лодке (рис. 2).

При проведении эксперимента на воздухе при значении тока I^*=44,5 А оболочка кабеля из поливинилхлорида размягчилась, произошло короткое замыкание, и эксперимент пришлось прекратить.

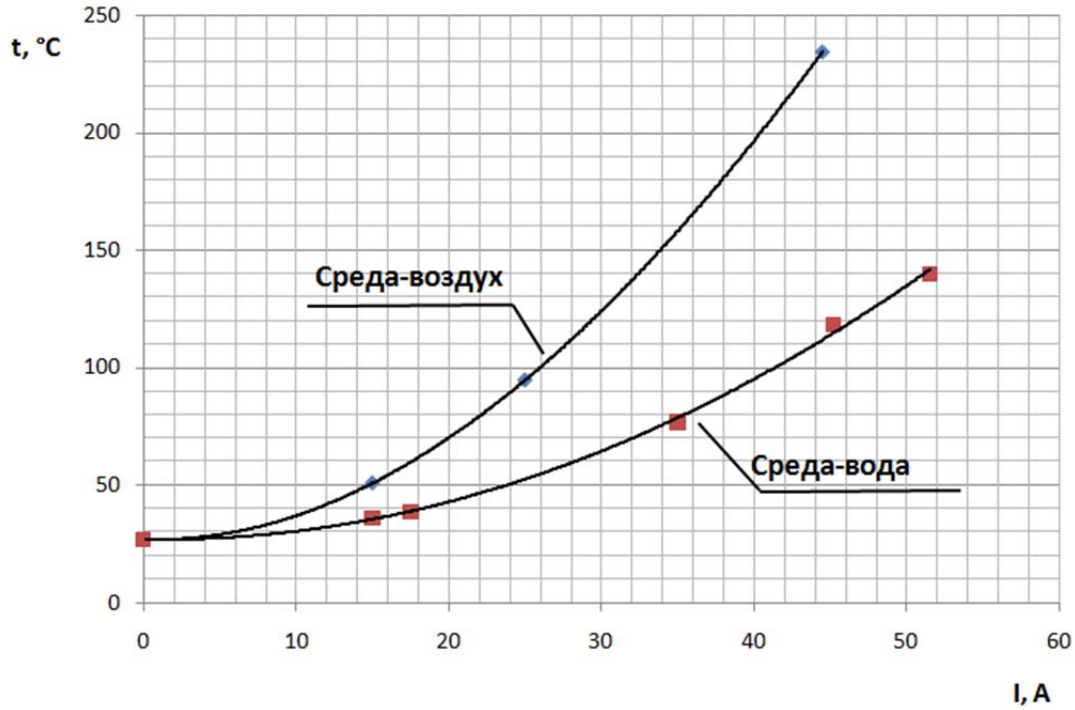


Рис. 2. Результаты экспериментов

Для расчета тепловой модели сечение кабеля представлялось несколько в другом виде, в котором оно есть на самом деле.

Шесть жил, по которым проходит переменный ток, нагревающий кабель, условно объединялись в кольцо. В центре модели, как и в сечении кабеля, находится центральная жила, для нас измерительная.

По этой модели по необходимым формулам рассчитывается температура в центре кабеля. Конечная формула для определения температуры в центре нагретого кабеля:

$$T_2 = T_3 + \frac{q_v \cdot r_2^2}{4 \cdot \lambda_3} \cdot \left[\left(\frac{r_3}{r_2} \right)^2 - 2 \cdot \ln\left(\frac{r_3}{r_2} \right) - 1 \right],$$

где T_2 – температура на внутреннем радиусе кольца из шести жил, °С; T_3 – температура на наружном радиусе кольца из шести жил, °С; r_2 – внутренний радиус кольца из шести жил, м; r_3 – наружный радиус кольца из шести жил, м; λ_3 – теплопроводность медных жил, Вт/(м·К); q_v – объемная плотность мощности, Вт/м^3.

Экспериментальные и расчетные температуры различаются на 30%. Это обусловлено допущением, в котором не учитывается влияние медных экранов вокруг каждой жилы.

Выводы

- Получены экспериментальные данные теплопроводности жилы электрического кабеля (16,41 Вт/(м·К)).
- Собрана установка для измерения средней по длине температуры в центре электрического кабеля.
- Проведены измерения температуры в центре кабеля при различной токовой нагрузке в воздушной и водной средах.
- Выбрана тепловая модель для расчета теплового режима электрического кабеля.

Полученные в ходе работы результаты позволяют утверждать необходимость уточнения значения теплопроводности жил кабеля в тепловых расчетах.

Литература

1. Зайцев Е.С., Корольков В.В., Лебедев В.Д., Можжухина В.В. Моделирование тепловых процессов в кабеле с изоляцией из сшитого полиэтилена средствами Matlab и Simulink // Конференция «Электроэнергетика». – 2011. – С. 615–622.
2. Грешняков Г.В., Ковалев Г.Г., Дубицкий С.Д. К вопросу о выборе предельно допустимых токов силовых кабелей // Кабели и провода. – 2011. – № 6(331). – С. 12–16.
3. Титков В.В. К оценке теплового режима трехфазной линии из СПЭ-кабеля // Кабель News. – 2009. – № 10. – С. 47–51.
4. Федотовский В.С., Орлов А.И. Эффективная теплопроводность анизотропных дисперсных сред, стержневых и трубных пучков // Изв. вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 4. – С. 113–120.
5. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. Справочная книга. – Л.: Энергия, 1974. – 264 с.

Читанава Саид Савельевич
Год рождения: 1992
Естественнонаучный факультет, кафедра промышленной экологии, группа № А4230
Направление подготовки: 16.04.03 – Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения
e-mail: said.chitanava@mail.ru

УДК 504.43

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВОДОПОДГОТОВКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ

С.С. Читанава
Научный руководитель – к.т.н., доцент Н.Б. Ульянов

Рациональное использование водных ресурсов является важнейшей задачей современности. Особенно это касается территорий и регионов с напряженным водным балансом.

Водные ресурсы чаще всего оцениваются по величине речного стока, в то время как ресурсы подземных вод учитываются опосредованно, через величину подземного питания рек. А между тем, технический прогресс приводит к изменению окружающей среды. Антропогенное влияние на поверхностные воды с каждым годом становится все более ощутимым. В связи с этим надежно защищенные от загрязнения питьевые подземные воды необходимо относить к стратегическим видам полезных ископаемых.

Актуальность и степень разработанности темы. Работа посвящена актуальной теме – водоподготовке воды, добываемой из подземных водоносных горизонтов для последующего использования в целях водоснабжения и производства товарной продукции – бутилированной воды. Тема является актуальной для Республики Абхазия, в которой водоснабжение населенных пунктов, в том числе и крупных городов осуществляется из поверхностных источников – немногочисленных рек.

Последние сколь-либо масштабные изыскания на эту тему проводила еще Академия наук СССР во второй половине прошлого века. На сегодняшний день наиболее примечательными являются работы таких ученых как Осия, Кокоша, Пустоварова, Лашхия и Мгеладзе и др. Работы этих ученых были в основном направлены на бальнеологическую сторону вопроса. Исходя из этого, по-прежнему остается актуальными вопросы водоподготовки подземных вод, создания стратегии развития ресурсно-питьевой базы Республики, а также создания кадастра минеральных вод Абхазии.

Целью исследования являлась разработка системы водоподготовки подземных вод Республики Абхазия на примере воды из артезианской скважины №1 г. Сухум. В соответствии с целями поставлены следующие задачи:

– исследовать воду из артезианской скважины №1 г. Сухум (полный анализ);
– на основании анализа данных предложить технологическую схему водоподготовки этой воды для промышленного розлива (бутилирования) или хозяйственно-питьевого водоснабжения;
– сформулировать стратегию развития ресурсной питьевой базы Республики.

Из всего многообразия природных богатств Абхазии, минеральные воды привлекают особое внимание. Ресурсы минеральных вод отличаются большим разнообразием химического состава и физических свойств.

Абхазия занимает одно из первых мест в мире по водным ресурсам. Среднегодовой сток рек составляет 14,3 км^2, а если добавить и подземный сток, за год составляющий 3,7 км^2, то на 1 км^2 территории страны приходится свыше 2 млн м^3 воды, что примерно в 11 раз превышает среднеевропейские показатели. На территории Абхазии выявлено около 170 источников минеральных вод. Суммарный дебит всех минеральных вод Абхазии составляет около 20 млн л в сутки [1, 2].

Исследуемый минеральный источник расположен на южном склоне Сухумской горы на территории Научно-исследовательского центра курортологии и нетрадиционной медицины АНА. Глубина скважины составляет 230 м, с дебитом на выходе 15–20 л/с.

Анализируя материалы результатов гидрохимического анализа проб минеральной воды из скважины №1 г. Сухум за 5 лет, представляется возможность проследить динамику содержания катионов и анионов в данной воде (таблица).

Таблица. Динамика катионно-анионного состава минеральной воды из скважины №1 г. Сухум

	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	Среднее
Катионы	мг/л					
Натрий+калий	25,68	45,8	39,1	22,56	22,08	31,44
Кальций	47,49	45,29	43,7	46,29	41,48	44,85
Магний	14,10	15,31	14,92	16,89	11,30	14,5
Сумма катионов	87,27	106,4	97,72	85,74	74,86	90,39
Анионы	мг/л					
Хлориды	12,20	13,9	12,54	6,69	7,75	10,61
Сульфаты	14,50	60	30,12	14	16	26,92
Гидрокарбонаты	231,86	252	241,3	244,07	198,31	233,5
Сумма анионов	263,56	329,5	283,92	264,76	222,06	272,76
pH	6,89	7,88	7,81	7,84	7,92	7,66
Общая минерализация (мг/л)	380,2	470,8	419,6	369,2	310,6	390,08

На протяжении 5 лет с 2011 по 2015 годы в минеральной воде из скважины №1 г. Сухум общее содержание катионов практически не изменялось. Незначительная динамика общего содержания катионов отмечалось за счет сходной динамики количества Натрия+Калия и Кальция, как ионов, содержание которых определяет тип минеральной воды.

Общее содержание анионов также незначительно колебалось, однако следует отметить увеличение концентрации анионов в 2012 году (329,5 мг/л) по сравнению со средними показателями для анионов (272,76 мг/л). Этот скачок общего содержания анионов можно объяснить также резким скачком содержания сульфатов в том же году. Концентрация хлоридов (в среднем 10,61 мг/л), в равной степени как и концентрации магния (в среднем 14,5 мг/л) на протяжении 5 лет практически не менялись. В силу колебаний концентрации основных катионов и анионов в минеральной воде скважины №1 г. Сухум общая минерализация воды незначительно изменяется.

Таким образом, анализ динамики содержания различных катионов ($Na+$,$K+$,Ca_2+,Mg_2+) и анионов ($HCO_3–$,$Cl–$,$SO_42–$) показал, что их содержание в минеральной воде изменялось незначительно. Содержание ионов в воде этого

источника остается относительно постоянным. Выявлено, что концентрация катионов Na+, K+, и анионов HCO_3–, на протяжении всего охваченного периода (2011–2015 гг.) не подверглась сколь либо значительным изменениям. Остается неизменным и содержание остальных ионов (за исключением сульфат ионов).

Основными ионами, определяющими тип минеральной воды, является гидрокарбонат, натрий, кальций и магний. Учитывая незначительную динамику концентрации различных ионов в минеральной воде из скважины №1 г. Сухум, при исследовании в разные годы тип минеральной воды не изменялся. Эта вода оставалась слабоминерализованной гидрокарбонатно-натриево-кальциевого-магниевого типа.

На основании результатов гидрохимического анализа воды из скважины делается заключение, что данная вода является слабоминерализованной гидрокарбонатно-натриево-кальциевого типа, с реакцией в пределах pH=6,9–7,8 без содержания специфических компонентов. Гидрохимические показатели воды соответствуют требованиям первой категории качества расфасованных вод согласно Санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества» [3].

Обладая солидным дебитом (15–20 л/с), данная скважина смело может использоваться как для промышленного розлива бутилированной воды, так и использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Водоподготовка предлагает ряд технологических процессов обработки природной воды с целью улучшения ее качества и доведения до состояния, удовлетворяющего требованиям, установленным соответствующим ГОСТом.

Обычно процесс водоподготовки включает стадии осветления, обеззараживания, умягчения, деминерализации, дегазации, добавления некоторых компонентов и т.д.

Применение того или иного способа обработки воды должно быть обоснованным.

В исследуемой нами воде нет веществ, превышающих ПДК. В связи с этим отпадает надобность в таких процессах как обезжелезивание, деманганация и удаление других нежелательных примесей и т.д. Таким образом, наиболее актуальным остается только процесс механической очистки воды и ультрафиолетового (УФ) обеззараживания. Механическая очистка осуществляется с помощью сетчатых фильтров. Это наиболее распространенный и удобный фильтр, который позволяет защитить насосное оборудование и клапана фильтров, установленных далее по технологической схеме. На сегодняшний день на рынке представлено множество наименований фильтров грубой очистки и не составляет никакого труда подобрать необходимый фильтр, зная параметры системы [4].

Одной из задач настоящей работы являлась разработка стратегии развития ресурсной базы питьевых подземных вод Республики Абхазия. Эта стратегия, прежде всего, должна определяться необходимостью обеспечения населения Абхазии питьевой водой, качество которой отвечает установленным санитарно-гигиеническим требованиям. Наличие для каждого населенного пункта надежно защищенного источника питьевого водоснабжения имеет важнейшее значение.

Общая неудовлетворенность существующим положением в этой области должна найти свое отражение в новой стратегии развития ресурсной базы питьевых подземных вод. Несомненно, воплощение в жизнь этой стратегии должна быть тесно связана с созданием кадастра минеральных вод Абхазии, которая также отсутствует. Основные положения этой стратегии:

– необходимость разработки долгосрочной государственной стратегии в области изучения недр;
– необходимость регулирования развития и использования минерально-сырьевого комплекса страны в соответствии с долгосрочной государственной стратегией, среднесрочными программами геологического изучения недр, необходимость развития системы государственного мониторинга геологической среды;
– необходимость разработки мер по созданию стратегических государственных запасов минерального сырья, в том числе запасов пресных подземных вод;
– необходимость своевременного и регулярного финансирования из средств государственного бюджета геологических исследований, в целях прогнозирования, выявления и оценки минерально-сырьевых ресурсов в малоизученных районах, обеспечения потребностей отраслей промышленности в геологической информации о недрах, а также прогнозирования геологических процессов, опасных для жизни и здоровья населения;
– необходимость контроля и оценки состояния минерально-сырьевой базы [5].

Таким образом, в ходе проведения работы были получены следующие результаты:

1. установлено стабильное качество воды из артезианской скважины №1 г. Сухум в течение 5-летнего периода. В силу глубины залегания водоносного горизонта (около 230 м), данная вода не подвержена сезонным изменениям химического состава, что наблюдается у вод поверхностного происхождения. Также следует отметить отсутствие в данной воде микрофлоры, исключающее возможность «цветения» воды;
2. данная вода на выходе из скважины уже соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества». Это, в свою очередь, избавляет от практически всех этапов дорогостоящей водоподготовки (за исключением простой фильтрации и УФ-обеззараживания), что существенно удешевляет технологию водоподготовки для данной воды, соответственно, не теряя в качестве, можно получать хорошую бутилированную воду по низкой себестоимости;
3. сформулирована стратегия развития базы питьевых подземных вод Республики Абхазия, а также даны рекомендации по созданию кадастра минеральных вод Абхазии.

Литература

1. Куфтырева Н.С., Лашхия Ш.В., Мгеладзе К.Г. Природа Абхазии. – Сухум: Абгосиздат, 1981. – 441 с.
2. Осия О.В., Джалагония Ш.Л. Питьевые минеральные воды Абхазии. – Сухум, 2002.
3. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. – Введен 01.07.2002. – М.: Минздрав России. – 40 с.
4. Фрог Б.Н., Первов А.Г. Водоподготовка. Учеб. для вузов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2014. – 512 с.
5. Боревский Б.В., Язвин Л.С., Стратегия развития ресурсной базы питьевых подземных вод на территории России // Разведка и охрана недр. – 2003. – № 11. – С. 2.

Чубчикова Анна Игоревна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: Chupachkabella@gmail.com

УДК 536.241

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.И. Чубчикова
Научный руководитель – д.т.н., профессор А.В. Шарков

Одним из известных промышленных применений науки передачи теплоты является управление тепловыми процессами в электронике. Контроль тепловых процессов электронных систем и устройств является неотъемлемой частью развития этих систем, которые являются ведущим компонентом развития мировой экономики. Управление тепловыми процессами включает в себя контроль и рассеяние теплоты, выделяющейся в процессе работы электронных устройств и систем. Проблема охлаждения электроники может быть разделена на три различные, но неотъемлемые друг от друга проблемы. Во-первых, температура платы и микросхем в целом должна оставаться на относительно низком уровне, локальные перегревы не должны превышать допустимых температур. Во-вторых, высокие тепловые нагрузки должны быть обработаны на уровне блока или модуля. Наконец, тепловая среда внутри всего устройства (стойки, станции и т.д.) должна управляться в системе и обеспечивать нормальный тепловой режим [1–5].

Целью работы являлось исследование теплового режима устройства для мониторинга окружающей среды с последующими рекомендациями по улучшению теплоотвода от теплонагруженных элементов и снижение локальных перегревов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. проведение эксперимента по измерению температур внутри аппаратуры и определение теплонагруженных элементов;
2. 3D-моделирование теплового процесса с целью выявления локальных перегревов и улучшения теплового режима устройства;
3. сопоставление результатов измерения с результатами 3D-моделирования.

В работе использовался комплексный подход решения поставленных задач, заключающийся в комбинации компьютерного моделирования тепловых процессов в устройстве для мониторинга окружающей среды и экспериментального исследования.

Объектом исследования являлось устройство для мониторинга окружающей среды, представляющее собой радиоэлектронную систему, в состав которой входят элементы из различных материалов, выполняющих различные функции, которые влияют на тепловой режим всего устройства.

Рассматриваемое устройство предназначено для мониторинга окружающей среды и обработки поступающих радиосигналов и состоит из двух частей. В верхней части находятся усилители и приемные устройства, помещенные под обтекатель из стеклопластика. Вторая часть устройства представляет собой стальную трубу, в

которой находится блок источника питания (ИП) и блок цифрового частотного дискриминатора (ЦЧД).

Параметры исследуемого устройства представлены в табл. 1.

Таблица 1. Мощности тепловыделения

Элемент	Мощность тепловыделения, Вт	Тепловой поток, Вт/м^2
ЦЧД	40	184
ИП	46	609

В представленной работе исследовался тепловой режим устройства для мониторинга окружающей среды с целью выявления теплонагруженных элементов. Измерительные датчики (термопары) устанавливались в местах предполагаемых высоких локальных перегревов. На каждый элемент устройства было прикреплено несколько датчиков в разных местах (центр, боковая грань, верх корпуса) с целью отследить неоднородность распределения температуры по корпусу и оценить среднеповерхностную температуру. Всего было выбрано 24 контрольные точки. Измерения температуры проходили при непрерывной работе устройства с выходом на стационарный тепловой режим.

По результатам эксперимента особое внимание нужно обратить именно на этот участок изделия. Так как использование принудительного воздушного охлаждения не предусмотрено условиями технического задания, то решение проблемы по снижению температуры можно достичь двумя способами:

1. обеспечение идеального контакта между блоком ЦЧД и радиатором, так как на момент исследования радиатор и блок ЦЧД не имели идеального контакта. Идеальный контакт можно достичь путем использования термопасты;
2. использование дополнительных теплоотводов на корпус устройства, с последующим выводом теплоты в окружающую среду.

Для блока ИП также необходимо осуществить дополнительный отвод теплоты на корпус устройства с последующим выводом избыточного тепла в окружающую среду, так как он является теплонагруженным элементом и находится вблизи блока ЦЧД (табл. 2).

Таблица 2. Характеристики теплоотводов

		Теплоотвод для ЦЧД	Теплоотвод для ИП
Материал		Сталь марки 12Х18Н9Т	
Толщина, м		$27\cdot10^{-3}$	$28{,}3\cdot10^{-3}$
Контактная площадь, м^2	с блоком устройства	$29\cdot10^{-3}$	$13\cdot10^{-3}$
	с корпусом устройства	$37\cdot10^{-3}$	$13{,}85\cdot10^{-3}$

Для того чтобы провести оценку вносимых предложений по улучшению теплового режима, было проведено компьютерное моделирование работы исследуемого устройства с предлагаемыми усовершенствованиями изделия.

В работе применялся метод конечных элементов, представляющий собой численный метод решения инженерных задач путем компьютерного моделирования реальных процессов.

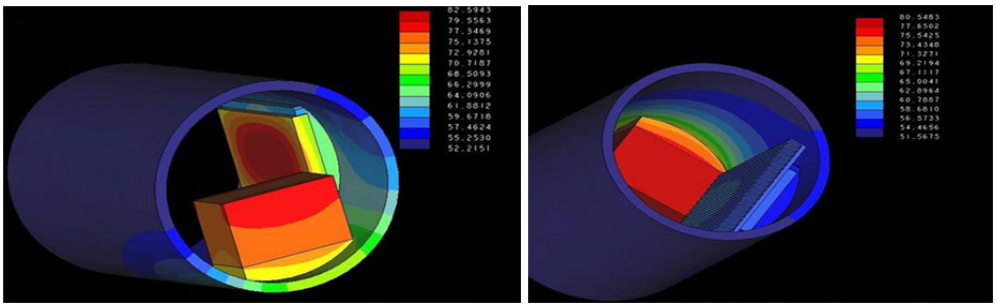
Для моделирования рассматриваемого процесса в представленной работе была использована программа Creo Simulate 2.0. Creo Simulate – система автоматизированного проектирования, предназначенная для решения задач методом конечных элементов. В состав Creo Simulate входят модули теплового и прочностного анализа.

Чтобы произвести компьютерное моделирование теплового режима рассматриваемого устройства были построены математическая, тепловая и геометрическая модели. Моделирование проводилось для двух вариантов конструкции:

1. без радиатора для блока ЦЧД;
2. с радиатором для блока ЦЧД.

Следует отметить, что моделирование проводилось для системы тел в стационарном тепловом режиме.

Результаты моделирования теплового режима представлены на рис. 1.



а б

Рис. 1. Результаты моделирования теплового процесса без радиатора для блока ЦЧД (а) и с радиатором для блока ЦЧД (б)

Анализируя температуры, полученные для блока ИП, также можно говорить о соблюдении нормального теплового режима, так как максимальное значение допустимой температуры для ИП составляет 85°С, а полученная максимальная температура при моделировании составляет не более 81°С.

Тепловой режим устройства определялся для системы тел, это позволил проследить направление теплового потока от каждого из тепловыделяющих элементов, а также определить их влияние друг на друга. В случае отсутствия радиатора блока ЦЧД, перегрев той части корпуса исследуемого устройства, где расположен блок ЦЧД, составляет 13,8 К. Также сам блок ЦЧД нагревается свыше критической температуры (около 83°С против допустимой 65°С). Со стороны блока ИП корпус исследуемого устройства имеет перегрев 21,2 К, а сам ИП – 27,8 К. Такое распределение температур свидетельствует о воздействии блоков ИП и ЦЧД друг на друга, а также на корпус устройства. По разности полученных температур между температурами на исследуемых блоках и температурами на корпусе устройства можно сделать вывод о том, что выделяемая теплота интенсивно отводится на корпус, а следовательно, теплоотводы выполняют свою задачу.

Сравнение тепловых режимов показано на рис. 2 в виде изменения перегревов составных частей исследуемого устройства над окружающей средой (температура окружающей среды оставляет 50°С).

Из представленной диаграммы видно, что установка радиатора для блока ЦЧД позволяет значительно снизить перегрев блока, но добавление радиатора в конструкцию повышает температуру воздуха внутри устройства, что приводит к возрастанию перегрева блока ИП. Увеличение перегрева блока ИП не несет за собой негативных последствий, так как температуры не превышают критической отметки.

В результате проделанной работы составлены тепловая и математическая модели исследуемого устройства, проведено экспериментальное исследование теплового режима устройства, показана возможность использования программного пакета САПР Creo Simulate для решения тепловых задач.

Сопоставление полученных опытных данных и результатов компьютерного моделирования показало удовлетворительное совпадение, что позволяет рекомендовать разработанную методику расчета для практического применения.

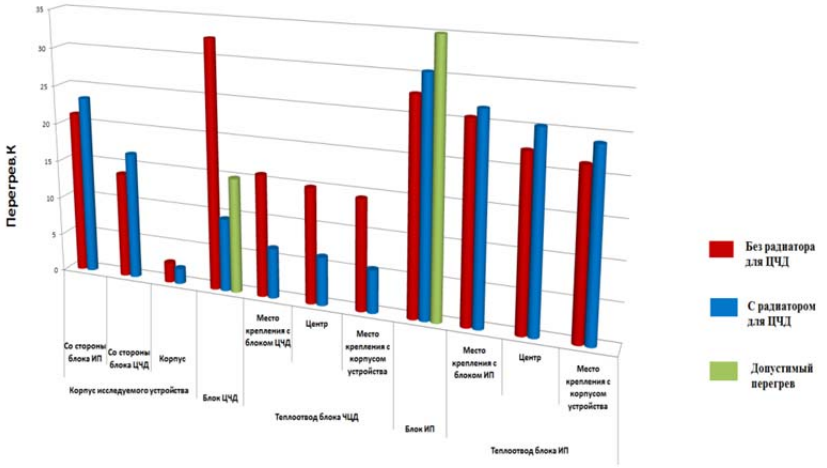


Рис. 2. Сравнительная диаграмма теплового процесса

На основании анализа полученных результатов сделан ряд рекомендаций по изменению конструкции исследуемого устройства, реализация которых позволила улучшить его технические характеристики.

Литература

1. Дульнев Г.Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. Учебник для вузов по спец. «Конструир. и произв. радиоаппаратуры». – М.: Высш. шк., 1984. – 247 с.
2. Жаднов В.В., Сарафанов А.В. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств. – М.: СОЛОН–ПРЕСС, 2004. – 464 с.
3. Гольдин В.В., Журавский В.Г., Коваленок В.И. др. Исследование тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования. Монография / Под ред. А.В. Сарафанова. – М.: Радио и связь, 2003. – 456 с.
4. Toogood R. Creo Simulate Tutorial Releases 1.0 & 2.0. – SDC Publications, 2012. – 296 p.
5. Shih R. Introduction to Finite Element Analysis Using Creo Simulation 1.0. – SDC Publications, 2011. – 424 p.

Чудакова Ксения Сергеевна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптики лазеров, группа № В4245
Направление подготовки: 12.04.05 – Лазерная техника и лазерные технологии
e-mail: chudakova.senya@mail.ru

УДК 535.333: 541.14

ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ СОЕДИНЕНИЙ ПОРФИРИНОВ С МЕТАЛЛАМИ И ГАЛОГЕНАМИ

К.С. Чудакова
Научный руководитель – к.ф.-м.н. Т.К. Крисько

В работе рассмотрено изменение эффективности образования триплетного состояния тетрафенилпорфирина (посредством измерения фотосенсибилизированного им синглетного кислорода), а также изменение его нелинейного оптического ограничения в толуольном растворе в результате внедрения в структуру тетрафенилпорфирина тяжелых атомов (галогенов и металлов).

Ключевые слова: синглетный кислород, оптическое ограничение, порфирины, тяжелый атом.

Особое место в биологических процессах окружающего мира занимают порфирины и их производные. Все более распространенное прикладное применение данных соединений связано с их уникальными свойствами, которые, безусловно, коррелируют с макроциклом порфиринов – сложной системой сопряженных связей. Большое значение имеет центральный атом: его природа, заряд и спиновое состояние, способность образовывать дополнительные координационные связи.

Интерес к искусственно созданным производным порфиринов связан с возможностью структурной модификации молекулы. Варьируя заместители на периферии макроцикла и (или) металл-комплексообразователь, можно направленно изменить свойства исходной молекулы в зависимости от поставленных задач. Все это – ресурсы для детального изучения влияния природы периферийных заместителей (а также их положения) и центрального атома на свойства порфиринов в основном и возбужденном состояниях. Очень важно, что рассматриваемые соединения и их комплексы обладают повышенной устойчивостью в основном состоянии, в форме катион- и анион-радикалов, ровно как и в фотовозбужденных состояниях.

В настоящее время актуален вопрос оптического ограничения мощного лазерного излучения, т.е. мгновенного уменьшения пропускания (в течение импульса) на входе в защищаемую оптическую систему при достаточно высоком исходном линейном пропускании. Ограничение может быть реализовано за счет различных механизмов, как за счет нелинейного поглощения, например, двухфотонного поглощения, обратного насыщенного поглощения из возбужденных состояний (наведенного поглощения сложных органических молекул), так и за счет термо- и светоиндуцированного рассеяния средой [1–5]. Нелинейные оптические свойства порфиринов и их производных очень интересны. При сопоставлении между конфигурацией молекулы и сечениями поглощения из возбужденных состояний ряда производных тетрафенилпорфирина, приведенных в литературе, можно сказать, что на данный момент нет взаимно-однозначной связи между изменением сечений поглощения возбужденных молекул и их способностью к оптическому ограничению лазерного излучения. Следовательно, необходимы дополнительные сведения об оптических и фотофизических свойствах молекул, способных к оптическому ограничению.

Объектами исследования в данной работе являлись производные тетрафенилпорфирина, различающиеся природой заместителей пара- и орто-положения мезо-фенильных групп, а также внедрением тяжелого атома в структуру вещества. В качестве заместителей использовались галогены (Br, F, I) и металлы (Zn, Ni, Pb). Все исследуемые в данной работе порфирины синтезированы и предоставлены Ивановским государственным химико-технологическим университетом и Санкт-Петербургским государственным университетом.

Среди предоставленных образцов можно выделить TPP–F_{orto} и TPP–F_{para} как наиболее привлекательных для анализа влияния на свойства производных порфиринов присоединения галогенов к кольцам пиррола в orto- и para-положениях.

Предоставленные для исследования вещества находились в порошкообразном состоянии, для дальнейших этапов исследования приготовили раствор на основе толуола C_7H_8 (так как данные комплексы являются нерастворимыми в воде). В выбранном растворителе производные

тетрафенилпорфирина достаточно хорошо растворимы, также толуол имеет окна прозрачности в аналитических областях спектра. Предложенная методика отличается высокой воспроизводимостью спектров для исследований данного характера.

Первоначально все образцы привели к единой концентрации 0,005 г/10 мл. В дальнейшем, по мере надобности уменьшали концентрацию растворов определенных образцов. Полученные растворы производных тетрафенилпорфирина хранились в темноте при комнатной температуре в герметичных пробирках до полной седиментации аморфного осадка.

Регистрация электронных спектров поглощения исследуемых растворов производилась при помощи прибора Shimadzu UV-3600 (Япония) в режиме сканирования; диапазон длин волн 200–1200 нм и шаг 1 нм. Используемый в исследованиях спектрофотометр предназначен для работы в широком спектральном диапазоне и оснащен несколькими детекторами: фотоэлектронный умножитель (для работы в ультрафиолетовой и видимой области), InGaAs и PbS (для работы в ближнем инфракрасном диапазоне). Измерения проводились в кварцевых кюветах с длиной оптического пути 1–10 мм при комнатной температуре 22±3ºС. Использовались две кюветы: образец сравнения (с растворителем, в данном случае – толуол C_7H_8) и исследуемый образец (собственно растворы производных тетрафенилпорфирина).

Для детектирования синглетного кислорода $^1O_2$ в средах существуют различные методы, которые можно подразделить на физические, химические и фотохимические.

Среди физических методов большее распространение получили метод измерения эмиссионной спектроскопии синглетного кислорода, а также метод термической линзы [6]. Первый является прямым и селективным, основан на том, что полоса с длиной волны 1269 нм (а также в отдельных случаях и 762 и 634 нм) при значительных концентрациях синглетного кислорода может фиксироваться. Данный метод позволяет обнаруживать на фоне других молекул отдельные возбужденные формы кислорода в широком интервале давлений (газовая фаза). Измерение этим методом затруднено из-за короткого времени жизни активных форм кислорода, а также из-за тушения некоторых сред в средах, которые способны к тушению синглетного кислорода.

Второй, метод термической линзы, основан на измерении тепловой энергии, высвобождающейся при дезактивации возбужденных молекул. Основное преимущество метода состоит в возможности определения абсолютных квантовых выходов генерации синглетного кислорода без применения так называемых «химических ловушек» – соединений активно взаимодействующих с синглетным кислородом. Тем не менее, регистрация синглетного кислорода этим методом возможна лишь в том случае, если время жизни $^1O_2$ много меньше времени самопроизвольной тепловой релаксации раствора (несколько десятков миллисекунд) и много больше времени жизни триплетного состояния молекул фотосенсибилизаторов (ФС).

О роли синглетного кислорода в фотодинамическом процессе можно судить непосредственно во время проведения биологического эксперимента (биохимический метод). Этот метод основан на внесении тушителей синглетного кислорода в биологическую среду, что приводит к подавлению биологической активности ФС в случае, если процесс обусловлен воздействием синглетного кислорода, а не свободных радикалов. В качестве тушителей $^1O_2$ используют каротиноиды, токоферолы, азид натрия, амины и др. Данный метод затруднителен в использовании,

так как требует проведения специальных биологических экспериментов, недоступных в рамках обычной физической лаборатории.

В случае фотохимического метода используются ФС и непосредственное возбуждение светом молекул кислорода. Существует множество химических методов для регистрации синглетного кислорода, которые основаны на разложении различных кислородосодержащих соединений, а также на применении «химических ловушек». Обычно данный метод применяют к жидкой среде, но он может быть применен и к газовой фазе, если ее пропустить через поглощающий раствор. Химические методы выделяются среди других высокой чувствительностью обнаружения $^1\Delta_g$ – состояния кислорода. Однако надежность химических методов существенно ограничивается тем, что необходимо учитывать физическую дезактивацию синглетного кислорода при взаимодействии с молекулами растворителя и «ловушки», а также невозможность оценить концентрацию $^1O_2$ в реальном времени.

Из многообразия современных методов определения синглетного кислорода в растворах производных тетрафенилпорфирина был выбран физический метод со спектрофотометрической регистрацией (рис. 1), поскольку он является прямым и очень информативным. Среда для приготовления образцов (толуол C_7H_8) была выбрана, исходя из малой константы скорости тушения синглетного кислорода в нем.

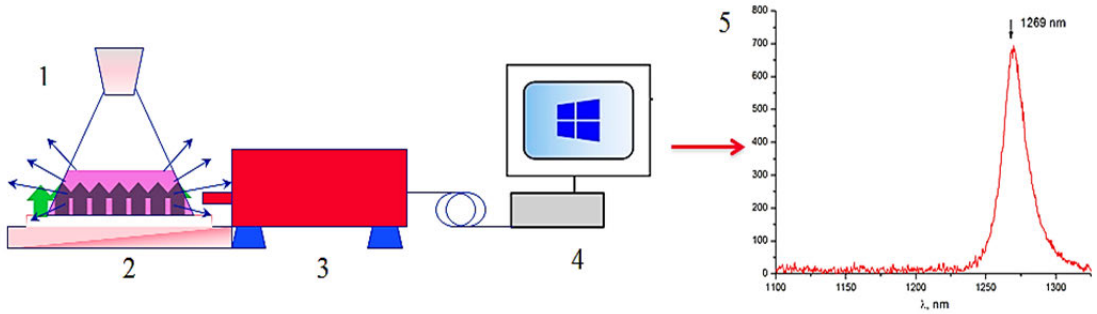


Рис. 1. Экспериментальная установка для определения синглетного кислорода в растворах производных тетрафенилпорфирина: 1 – колба Бунзена; 2 – светодиод (525 нм); 3 – инфракрасный спектрофотометр SDH-IV Solar-LS; 4 – персональный компьютер; 5 – выходные данные

Генерация синглетного кислорода при облучении растворов производных тетрафенилпорфирина определялась по наблюдению временных зависимостей сигналов люминесценции на длине волны λ=1269 нм, соответствующей максимуму спектральной полосы перехода $^1\Delta_g \rightarrow {}^3\Sigma_g^-$ молекулы O_2.

В качестве источника возбуждающего излучения использовалась светодиод с длиной волны λ=525 нм и продолжительностью импульса τ_p=2 с. Толщина слоя раствора – 8 мм. Спектрофотометрическая регистрация проводилась при помощи широкодиапазонного спектрометра SDH-IV Solar-LS.

Результаты полученных данных (табл. 1) показывают, что во всех случаях, кроме случаев внедрения свинца и никеля с бромом, добавление в структуру тетрафенилпорфирина тяжелого атома усиливало эффективность образования синглетного кислорода, что, по-видимому, связано с усилением синглетно-триплетного взаимодействия и, как следствие, более эффективным заселением триплетного уровня. Использование галогенов как в пара-, так и в орто-положениях тетрафенилпорфирина увеличивает эффективность генерации синглетного кислорода на 10–30%, причем наилучший результат показал йод, галоген с самой большой атомной массой. Положение заместителей также имеет значение. Например, для фтора в пара-положении эффективность генерации синглетного

кислорода возросла на 13%, а в орто-положении – на 28%. Что касается металлопорфиринов, то здесь результаты были неоднозначными. Так, например, внедрение цинка в порфириновое кольцо усилило сигнал синглетного кислорода на 47%, что явилось наилучшим результатом в настоящем исследовании. В то же время внедрение свинца и никеля значительно ухудшило фотосенсибилизирующие свойства тетрафенилпорфирина.

Метод *Z*-сканирования применяется для исследования нелинейных свойств оптических материалов. Он позволяет не только определить величину и знак нелинейного показателя преломления n_2, но также и коэффициент двухфотонного поглощения β. Применение данного метода оправдано тем, что согласно материалам других исследователей [7], основными механизмами ограничения в растворах порфиринов являются двухфотонное поглощение и обратно насыщенное поглощение.

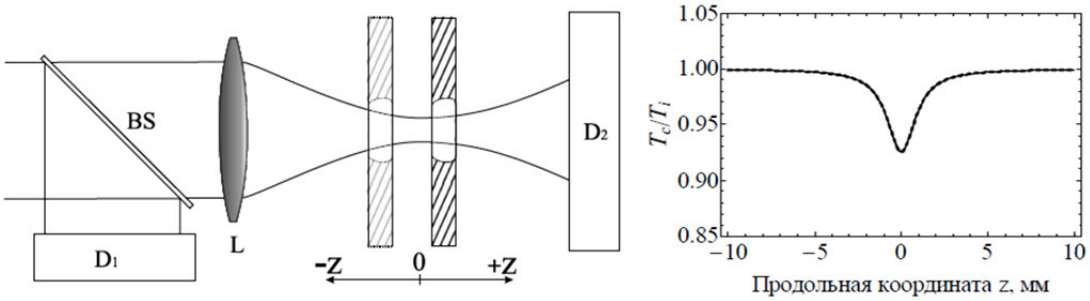
Таблица 1. Сравнение интенсивностей при генерации синглетного кислорода

Наименование образца	D_{525}	I_{max}, максимум интенсивности	I_{335}, максимум интенсивности при D_{525} =0,335	Разница между I_{335} (TPP) и I_{335} (исследуемого образца),%
TPP	0,345	470	456	0
TPP–I_{para}	0,338	603	598	31
TPP–Br_{para}	0,340	510	503	10
TPP–F_{para}	0,335	513	513	13
TPP–F_{orto}	0,335	585	585	28
TPP – Pb	0,339	223	220	–52
TPP – Zn	0,343	687	671	47
TPP – Ni-Br_{orto}	0,335	0	0	–100

Z-сканирование основано на анализе зависимости пропускания образца от его положения относительно фокальной плоскости проходящего сквозь него лазерного пучка.

Методика определения нелинейных констант довольно проста, она заключается в смещении исследуемого рабочего вещества в кювете вдоль оптической оси вблизи фокуса линзы, которая используется для формирования сходящегося гауссова пучка, и измерении мощности лазерного излучения, прошедшего через образец. Существуют модификации методики измерения, а именно с «открытой» и «закрытой» апертурами. Совместное проведение двух экспериментов позволяет определить величину и знак нелинейного показателя преломления n_2 (при «закрытой» апертуре) и вычленить вклад коэффициента двухфотонного поглощения β.

Z-сканирование с открытой апертурой используется для нахождения коэффициента двухфотонного поглощения β (рис. 2, а). При смещении исследуемого образца вдоль оси *z* с переходом через фокус может быть измерена зависимость полной прошедшей интенсивности (или пропускание образца), как функция положения образца (рис. 2, б). Измеренная зависимость симметрична относительно фокуса линзы (*z*=0 мм, наблюдается минимум пропускания). T_i – пропускание образца при малой интенсивности падающего лазерного излучения.



а б

Рис. 2. Принципиальная схема экспериментальной установки для *Z*-сканирования с открытой апертурой (а); пропускание, как функция положения исследуемого образца относительно фокуса линзы (б)

Источником лазерного излучения в экспериментальной установке служит импульсно-периодический лазер YAG:Nd^{3+} (Continuum Minilite II). Данный лазер с электрооптической модуляцией добротности и преобразованием длины волны излучения основной частоты (1064 нм) генерации в излучение второй (532 нм) гармоники, работающий в импульсно-периодическом режиме. Длительность импульса излучения по уровню 0,5–6 нс. Режимы работы лазера: импульсный (однократный) и импульсно-периодический с возможными частотами повторения импульсов: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5 и 10 Гц. Лазер используется в качестве источника, вызывающего нелинейно-оптические эффекты в исследуемых материалах, диаметр его пучка 3 мм. В качестве фотоприемников позиции использовались приборы компании Ophir Optronics PE10-SH-V2 и PE9-SH-C соответственно. Аналоговые сигналы от приемных головок передаются в аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), где они оцифровываются и через USB-интерфейс поступают в компьютер. Управление АЦП и получение от него данных производится при помощи программного обеспечения Ophir Optronics – «StarLab 1.11», установленного на компьютере.

С целью исключения влияния высших порядков нелинейности для каждого раствора тетрафенилпорфирина проводилось несколько измерений при различных интенсивностях излучения. В каждой точке сканирования данные накапливались и усреднялись по 2–3 импульсам для различных экспериментов.

Исследуемые образцы приготовлялись таким образом, чтобы их линейное пропускание составляло 70±2. Некоторые растворы не удалось привести к данному показателю в связи с недостаточным количеством сухого образца, полученного от производителя, или с достижением предельной концентрации растворения данного порфирина.

Измерения для каждого образца проводились при двух энергиях импульса 10^{-5} и $3 \cdot 10^{-5}$ Дж.

Сглаживающие кривые экспериментальных данных *Z*-сканирования строили согласно теоретическим выводам, ниже приведены основные формулы (1)–(9) для нахождения коэффициента двухфотонного поглощения [7]. Для *Z*-сканированных кривых достаточная точность была достигнута при помощи формулы, которая зависит только от коэффициента β – двухфотонного нелинейного поглощения.

$$T = (1-R)^2 e^{-\alpha L} \sum_{m=0}^{\infty} (-1)^m \frac{q_0^m}{(m+1)^{3/2}}, \quad (1)$$

в данном случае R=0 (α – линейный коэффициент поглощения рабочего вещества; L – ширина слоя рабочего вещества (в экспериментах для всех образцов L=2 мм).

Параметр q_0 можно найти из следующего выражения:

$$q_0 = \beta(1-R) I_0 L_{eff}, \quad (2)$$

где β – нелинейный коэффициент двухфотонного поглощения.

Плотность мощности входного лазерного импульса в перетяжке:

$$I_0 = \frac{E_p}{\tau_p s_p}, \quad (3)$$

где τ_p – длительность выходного импульса (в данных экспериментах τ_p=6 нс); E_p – энергия импульса.

Для нахождения параметра I_0:

$$S_p = \pi\left(\omega(z)\right)^2, \quad (4)$$

$$\omega(z) = \omega_0\sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_r}\right)^2}, \quad (5)$$

где z – координата образца по оси z относительно фокальной плоскости; z_r – длина Рэлея; ω_0 – радиус пучка в перетяжке.

Эффективная длина рабочего вещества:

$$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha}. \quad (6)$$

Преобразуем выражение (2) , используя (3)–(6):

$$q_0 = \frac{\beta E_p\left(1-e^{-\alpha L}\right)}{\tau_p \lambda \alpha z_r\left(1+\left(\frac{z}{z_r}\right)^2\right)}, \quad (7)$$

где λ – длина волны лазерного излучения (в данных экспериментах λ=532 нм).

Раскроем выражение (1), используя (2)–(7):

$$T = e^{-\alpha L}\left(1 - \frac{p_1}{2^{3/2}\left(1+\frac{z^2}{p_2^2}\right)} + \frac{{p_1}^2}{3^{3/2}\left(1+\frac{z^2}{p_2^2}\right)} - \frac{{p_1}^3}{4^{3/2}\left(1+\frac{z^2}{p_2^2}\right)} + \cdots\right), \quad (8)$$

где $p_1 = \frac{\beta E_p\left(1-e^{-\alpha L}\right)}{\tau_p \lambda \alpha p_2}$ и $p_2 = z_r$.

Коэффициент двухфотонного поглощения рассчитывали по формуле, выведенной из вышеизложенных уравнений:

$$\beta = \frac{p_1 p_2 \tau_p \lambda \alpha}{E_p(1-e^{-\alpha L})}. \quad (9)$$

Результаты вычисления коэффициента двухфотонного поглощения сведены в табл. 2, где R – коэффициент корреляции между экспериментальными и построенными по формуле (8) точками.

Анализируя полученные данные, видим, что при увеличении энергии импульса в три раза, нелинейный коэффициент двухфотонного поглощения уменьшается приблизительно в два раза. Поскольку известно [7], что в случае нелинейного ограничения излучения, проходящего преимущественно по механизму двухфотонного поглощения, нелинейный коэффициент двухфотонного поглощения не зависит от входной энергии, то можно утверждать, что в данном случае нелинейное поглощение определяется также и другими механизмами. Наиболее вероятным является добавление механизма обратного насыщенного поглощения, однако, он не играет в данном случае существенной роли, поскольку в противном случае должно было бы наблюдаться увеличение нелинейного коэффициента с ростом входной энергии. Наблюдаемое падение β с ростом входной энергии может быть связано с насыщением поглощения.

Таблица 2. Расчет параметров исследуемых веществ по результатам *Z*-сканирования

Образец	*T*	α, см$^{-1}$	*E*, μДж	β, м/ГВт	*R*	p_1	p_2	Δβ, м/ГВт
TPP–Br_{para}	69,9	0,358	10	0,888	0,89	0,815	7,905	0,068
TPP–Br_{para}			30	0,452	0,88	1,063	9,263	0,029
TPP–F_{para}	85,5	0,157	10	0,296	0,58	0,417	5,259	0,063
TPP–F_{para}			30	0,160	0,76	0,404	8,779	0,020
TPP–I_{para}	72,1	0,327	10	0,883	0,88	0,879	7,313	0,072
TPP–I_{para}			30	0,548	0,89	1,089	10,989	0,031
TPP	69,8	0,360	10	1,407	0,90	1.292	7,902	0,080
TPP			30	0,750	0,90	1,334	12,236	0,037
TPP–F_{orto}	67,7	0,390	10	1,611	0,92	1,408	8,277	0,081
TPP–F_{orto}			30	0,923	0,91	1,485	13,490	0,044
TPP–Pb	81,8	0,201	38	0,386	0,92	0,972	11,116	0,034
TPP–Zn	78,6	0,241	38	0,291	0,82	0,606	13,375	0,024
TPP–Ni-Br_{orto}	68,6	0,377	при повышении энергии импульса – пробой					

Наивысший коэффициент корреляции *R* теоретической кривой и экспериментальных данных наблюдается у образца TPP–F_{orto}, наименьший коэффициент корреляции у образца TPP–F_{para}.

Также проводили *Z*-сканирование для образца TPP–Ni-Br_{orto} при энергии $E=10^{-5}$ Дж характерная кривая для нелинейного поглощения не наблюдалась, при увеличении энергии до значения $E=3\cdot10^{-5}$ Дж наблюдали пробой.

Эффективность ограничения излучения падала в случае присоединения к исходному тетрафенилпорфирину как галогенов, так и металлов. Исключение составляет образец TPP–F_{orto}, который показал лучшие результаты, чем TPP. Внедрение металлов оказалось более существенным для нелинейного коэффициента двухфотонного поглощения, чем внедрение галогенов.

Основные выводы исследования:

1. внедрение галогенов в TPP увеличивает эффективность генерации синглетного кислорода на 10–30%, в то время как внедрение металлов приводит к неоднозначному результату (TPP–Pb и TPP–Ni-Br_{orto} имеют наименьшие выходы синглетного кислорода, в то время как TPP–Zn – самый высокий выход синглетного кислорода среди всех исследуемых образцов);
2. на примере фтор-заместителя показано, что изменение конфигурации внедрения тяжелого атома существенно (в данном случае на 15%) изменяет выход синглетного кислорода;

3. наилучший результат при генерации синглетного кислорода показал TPP с внедренным Zn, а среди галогенов – с внедренным I, галогеном с самой большой атомной массой;
4. нелинейно-оптическое ограничения исследованных порфиринов происходит в основном за счет механизма насыщения поглощения, при возможном вкладе двухфотонного поглощения и обратного насыщенного поглощения;
5. эффективность ограничения излучения падает (до 30%) в случае присоединения к исходному TPP как галогенов, так и металлов (исключение образец TPP–F_{orto}), но в случае металлов ухудшение свойств может быть более значительным, вплоть до нуля (TPP–Ni-Br_{orto});
6. присоединение фтора в orto-положении (образец TPP–F_{orto}) улучшает характеристики тетрафенилпорфирина как в отношении оптического ограничения, так и в отношении генерации синглетного кислорода. Данный образец наиболее всего интересен для дальнейшего исследования с перспективой использования его в качестве оптического ограничителя.

Литература

1. Базанов М.И., Березин Б.Д., Березин Д.Б. и др. Успехи химии порфиринов. Т. 2. – СПб.: Изд-во НИИ химии СПбГУ, 1999. – 336 с.
2. Адрианов В.Г., Базанов М.И., Березин Б.Д. и др. Успехи химии порфиринов. Т. 3 / Под ред. Голубчикова О.А. – СПб.: Изд-во НИИ Химии СПбГУ, 2001. – 359 с.
3. Sevian A., Ravikanth M., Kumar G.R. Optical limiting in short chain basket handle porphyrins // Chem. Phys. Lett. – 1996. – V. 263. – P. 241–246.
4. Sun Y.-P., Riggs J.E., Henbest K.B., Martin R.B. Nanomaterials as optical limiters // Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials. – 2000. – V. 9. – № 4. – P. 481–503.
5. Tutt L.W., Boggess T.F. A review of optical limiting mechanisms and devices using organics, fullerenes, semiconductors and other materials // Progress in Quantum Electronics. – 1993. – V. 17. – № 4. – P. 299–338.
6. Belousova I.M., Grigor'ev V.A., Danilov O.B., Kalintsev A.G., Kris'ko A.V., Mironova N.G., Yur'ev M.S. Role of light-induced scattering in the optical limitation of laser radiation on the basis of fullerene-containing media // Optics and Spectroscopy. – 2001. – V. 90. – № 2. – P. 292–301.
7. Sutherland R.L., McLean D.G., Kirkpatrick S. Handbook of Nonlinear Optics. – Second Edition. – Revised and Expanded, 2003. – 963 p.

УЧАСТНИКИ КОНКУРСОВ КАФЕДР НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ

Байболова Камшат Кызырмуратовна
Год рождения: 1991
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225с
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: b.kama.k@mail.ru

УДК 621.1.016.4

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ МАССИВНЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

К.К. Байболова
Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

Процессы теплообмена окружают нас повсюду и полностью пронизывают все сферы жизни. В современном мире все производители стремятся к уменьшению габаритов и большей мобильности своих устройств, и нередко именно теплообменные характеристики являются определяющими при выборе формы и размеров.

Особенности и условия измерений определяют и выбор измерителя температуры (ИТ), и его расположение. При этом чем быстрее меняется температура во времени, тем тоньше применяют ИТ. Абсолютно все ИТ меряют именно свою температуру, которая практически всегда отличается от температуры измеряемых объектов. Происходит это вследствие того, что каждый ИТ обладает своими теплофизическими характеристиками (ТФХ), которые далеко не всегда совпадают с таковыми у измеряемых объектов, за счет которых и искажается температурное поле. Для определения погрешности измерения решают две задачи: теплообмен тела со средой и теплообмен системы ИТ-тело с той же средой. Теоретические основы измерения нестационарных температур, оценку погрешности измерений для широкого класса задач разработал Н.А. Ярышев. Аналитические методы, базирующиеся на решении уравнений теплопроводности с использованием передаточных функций, позволили автору оценить погрешности измерения нестационарных температур [1].

В общем случае математические модели теплопереноса (ММТ) должны адекватно описывать процессы в приемниках тепловых потоков (ПТП) с учетом всех значимых особенностей: наличия элементов из разнородных материалов, армирующих и защитных слоев, контактных тепловых сопротивлений, воздушных зазоров и др.; зависимость ТФХ материалов от температуры и другие нелинейности; различные граничные условия на тыльной поверхности ПТП и т.д. ММТ должен соответствовать метод решения прямой задачи теплопроводности (ПЗТ), обладающий приемлемой точностью и вычислительной эффективностью. Кроме того, желательна общность как вида самих ММТ, так и их программного обеспечения по отношению к различным видам ПТП. Предварительный анализ показал, что подобным требованиям удовлетворяют дифференциально-разностные модели (ДРМ). Однако доказательство общности ДРМ для всех известных разновидностей ПТП, а также возможности использования их для получения динамических характеристик последних требует проведения соответствующих исследований.

В данной работе рассмотрены следующие вопросы:

1. основные особенности метода параметрической идентификации нестационарного теплопереноса в одномерных ПТП;
2. составление и подтверждение уже имеющихся дифференциально-разностных моделей различных типов ПТП;
3. оценка погрешности измерения температуры поверхности массивных тел при воздействии постоянного потока;
4. оценка погрешности измерения температуры поверхности массивных тел при теплообмене со средой, температура которой изменяется по гармоническому закону;
5. оценка погрешность измерения температуры поверхности при размещении измерителя внутри объекта.

Сопоставление полученных данных с результатами аналитического решения [1].

Измерение температуры поверхностей обычно проводится термопарами, металлическими или полупроводниковыми термометрами сопротивления. В зависимости от условий измерения осуществляется выбор ИТ и его расположение на поверхности исследуемого тела. Термометр при этом прижимается или монтируется непосредственно на исследуемой поверхности тела или располагается внутри тела. В ряде случаев чувствительный элемент может и не выходить на поверхность.

В работе рассмотрен случай измерения температуры поверхности массивного тела, когда ИТ оформлен в виде пластинки, длина и ширина которой много больше его толщины.

Поскольку любой ИТ, как бы тонок он ни был, обладает собственными тепловым сопротивлением и теплоемкостью, его температура будет отличаться от действительной температуры свободной поверхности тела. Для анализа систематических погрешностей нестационарной температуры решается две задачи:

1. теплообмен исследуемого тела с окружающей его средой;
2. теплообмен системы ИТ-тело с той же средой.

Теоретический анализ погрешности измерения значительно усложняется, если в силу специфики измерений чувствительный элемент ПТП вывести на исследуемую поверхность не удается. В этих условиях следует предпочесть такое расположение ПТП в толще тела, которое не вызвало бы резкого искажения температурного поля из-за теплоотвода по измерителю, т.е. размещать ПТП на изотермической поверхности.

Погрешности измерения температуры будут значительно меньше и проще учитываемыми при расположении ПТП по схеме, представленной на рис. 1. Если ПТП достаточно миниатюрен, то местным искажением тепловых потоков в зоне его расположения можно пренебречь и учитывать погрешность, вызванную лишь глубиной залегания δ чувствительного элемента от поверхности. Таким образом, измеряемая ПТП температура $t_э(\tau)$ будет совпадать с температурой тела $t_0(\delta, \tau)$ на глубине δ от поверхности [2].

Проведем оценку влияния глубины залегания миниатюрного ИТ на точность измерения температуры поверхности тела (таблица). Нагрев осуществляется тепловым потоком $q=10^4$ Вт/м^2. Тело выполнено из стали и огнеупорного материала.

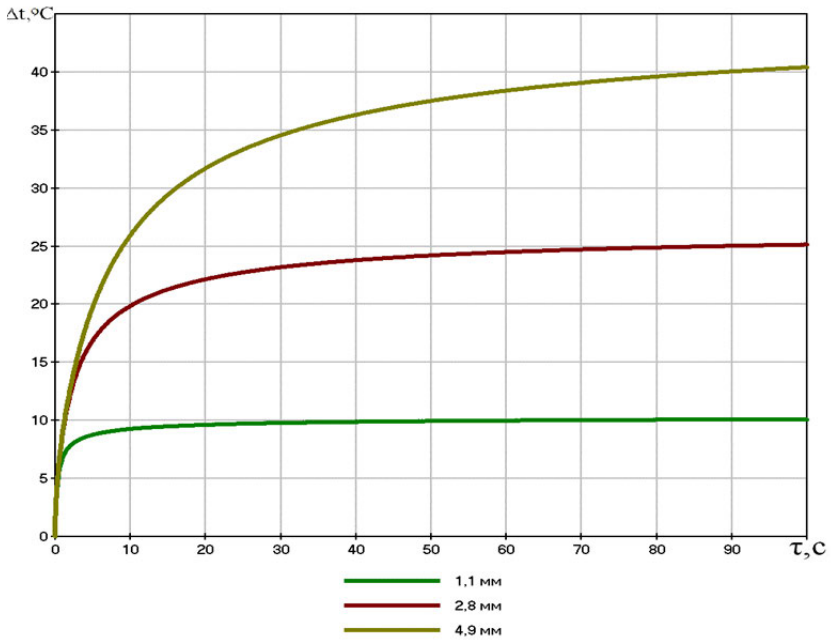


Рис. 1. Погрешность определения температуры поверхности тела из огнеупорного материала в зависимости от глубины залегания датчика

Таблица. Погрешность определения температуры поверхности стального тела в зависимости от глубины залегания датчика

δ, м	Аналитический метод	Численный метод
$1{,}1\cdot10^{-3}$	Δt=11,1 К при τ>60 с	Δt=10,1 К при τ=100 с
$2{,}8\cdot10^{-3}$	–	Δt=25 К при τ=100 с
$4{,}9\cdot10^{-3}$	–	Δt=40 К при τ=100 с

Аналитический расчет [3] показал, что погрешность измерения температуры поверхности тела при залегании датчика на глубине δ=1,1 мм составляет Δt=11,1 К, и при τ>60 с наступает квазистационарное состояние. Решение, полученное в программе Heat Identification, дает погрешность Δt=10,1 К при τ=100 с. При расположении датчика на глубине δ=2,8 мм погрешность измерения будет Δt=25 К и Δt=40 К при δ=4,9 мм при τ=60 с.

Значительное искажение поля температуры может возникнуть при расположении ПТП в канале, выходящем нормально к поверхности (рис. 2), при этом знак и значение температурной погрешности зависят от соотношения между теплофизическими свойствами ПТП и тела, радиуса ПТП, глубины его залегания, а также от характера теплового воздействия на поверхность.

В зависимости от ТФХ исследуемого тела и термоприемника можно выделить два крайних случая:

1. теплопроводность тела много больше теплопроводности ПТП (металлические стенки, ПТП помещен в канал и замазан плохопроводящим теплоту материалом);
2. теплопроводность тела значительно меньше теплопроводности материала ПТП (разнообразные теплоизоляционные защитные материалы с заложенными внутри них металлическими термопарами).

В первом случае теплопроводность ПТП можно принять равной нулю, тогда искажающее влияние его равноценно влиянию некоторой нетеплопроводной полости, расположенной внутри тела.

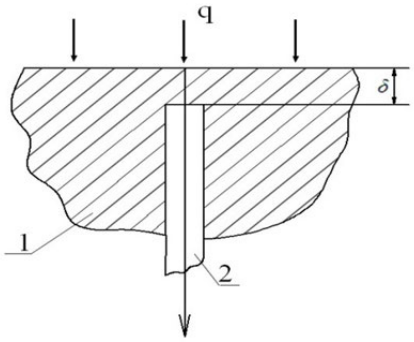


Рис. 2. Принципиальная схема системы ИТ-тело при расположении чувствительного элемента в канале, выходящем нормально к поверхности:
1 – тело; 2 – ЧЭ; δ – глубина залегания датчика

Второй случай, когда термопара, расположенная нормально к поверхности на некотором расстоянии от нее, имеет теплопроводность $\lambda_э$, значительно превышающую теплопроводность λ_0 материала основного тела. Обработка результатов выявила, что наибольшее влияние на погрешность оказывает отношение теплопроводностей $\lambda_0/\lambda_э$. Отмечается, что при интенсивных тепловых потоках, например, в условиях, когда материал подвергается абляции, погрешности измерения будут столь велики, что расположение ПТП по схеме на рис. 2 становится недопустимым [1].

Литература

1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры. – 2-е изд., перераб. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
2. Пилипенко Н.В., Гладских Д.А. Астатические датчики для определения нестационарного теплообмена // Научно-технический вестник ИТМО. Исследования и разработки в области физики и приборостроения. – 2006. – № 31. – С. 87–90.
3. Ярышев Н.А. Научная школа и школа жизни. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. – 296 с.

Вережинская Екатерина Аркадьевна
Год рождения: 1992
Факультет лазерной и световой инженерии, кафедра оптико-электронных приборов и систем, группа № В4205
Направление подготовки: 12.04.02 – Оптотехника
e-mail: katrinever@yandex.ru

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

Е.А. Вережинская
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Горбачев

В работе рассмотрена оптико-электронная система предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах, обеспечивающая контроль положения автотранспортных средств. Рассмотрен принцип работы системы, приведено уточнение компонентов блока регистрации, а также представлены результаты экспериментальных исследований.

Согласно требованиям нормативных актов [1, 2] пересечение в одном уровне автомобильной дороги с железнодорожными путями – железнодорожный переезд (ЖДП) – является одним из наиболее опасных участков дорожной сети. Совершенствование технических устройств безопасности, установленных в границах ЖДП и на подходах к ним, позволит снизить риск возникновения ДТП на железнодорожных переездах. На данный момент на территории Российской Федерации (РФ) согласно [1, 2] существуют 4 типа ЖДП: переезды общего и необщего пользования, регулируемые и нерегулируемые переезды. На регулируемых переездах общего пользования в границах переездов и на подходах к ним установлены устройства переездной сигнализации (автоматической светофорной, звуковой, микропроцессорной автоматической переездной АПС-МП), извещающей водителей АТС о подходе к переезду железнодорожного подвижного состава (ЖДПС). Эффективность использования системы АПС-МП совместно с системами автоматической светофорной сигнализации, подтверждается повсеместным внедрением на железных дорогах РФ [2]. Однако данные системы не учитывают ситуации, когда АТС находится в опасной зоне переезда (на железнодорожном полотне или между двумя крайними рельсами железнодорожного полотна) в неисправном состоянии. Поскольку недостатком систем с устройствами заграждения переездов (УЗП) является способ обнаружения объекта, заключающийся в определении положения объекта только в пределах расположения самого УЗП, и не дающий информации о нахождении объекта на участке между установленными УЗП. Если АТС находится в зоне УЗП, сигнал тревоги активен, а если АТС в связи с техническими неполадками не имеет возможности покинуть зону, тогда сигнал тревоги подает дежурный по переезду, что дополнительно включает субъективный фактор и уменьшает уровень автоматизации всей системы. Таким образом, данные системы должны входить в состав комплексной системы безопасности на ЖДП (или использоваться совместно), обеспечивающей контроль над опасной зоной переезда, регистрируя объект в данной зоне. К таким комплексным системам относятся системы предотвращения ДТП на ЖДП, описанные в патентных заявках: JP 10-341427, RU 2295470, RU 2519169 и др. Общими положительными характеристиками указанных систем является автоматизация управления в экстренных ситуациях и возможность оповещения работников железной дороги о наличие объекта в опасной зоне (машиниста). Общим недостатком можно считать срабатывание системы только в момент срабатывания автоматической светофорной сигнализации. Если АТС больше не имеет возможности покинуть опасную зону в связи с технической неисправностью, даже после оповещения работника по станции, времени на освобождение ЖДП от АТС после вызова последним спасательных или других служб, уйдет значительно больше, чем времени, необходимого для остановки машинистом поезда. Таким образом, вероятнее всего, поезд будет остановлен, а опасный участок ЖДП уже будет освобожден. В этом случае происходит вынужденная остановка поезда, приводящая впоследствии к нарушению графика движения ЖДПС.

Таким образом, в отличие от рассмотренных аналогов разрабатываемая система характеризуется следующими особенностями: детектирование объектов будет обеспечиваться не видеопроцессорной системой (применяется в большинстве рассмотренных аналогов), использующей алгоритмы распознавания объекта по видеоизображению, а системой, основанной на счете количества объектов, т.е. системой с упрощенными алгоритмами детектирования; обнаружение объекта на переезде будет происходить в режиме реального времени; система может устанавливаться, как на регулируемых переездах, так и на нерегулируемых; система может применяться для анализа загруженности ЖДП и подсчета АТС, проходящих

через тот или иной ЖДП на всей дорожной сети РФ; информация об аварийной ситуации, для более эффективного ее предотвращения или устранения, будет передаваться дежурному по станции, а не машинисту ЖДПС, с целью сокращения количества преждевременных остановок ЖДПС. Для выполнения данных условий предложено ввести в состав разрабатываемой оптико-электронной системы в общем случае 4 блока регистрации (БР), установленные таким образом, чтобы автомобиль по направлению движения проходил с правой стороны от двух блоков (рис. 1).

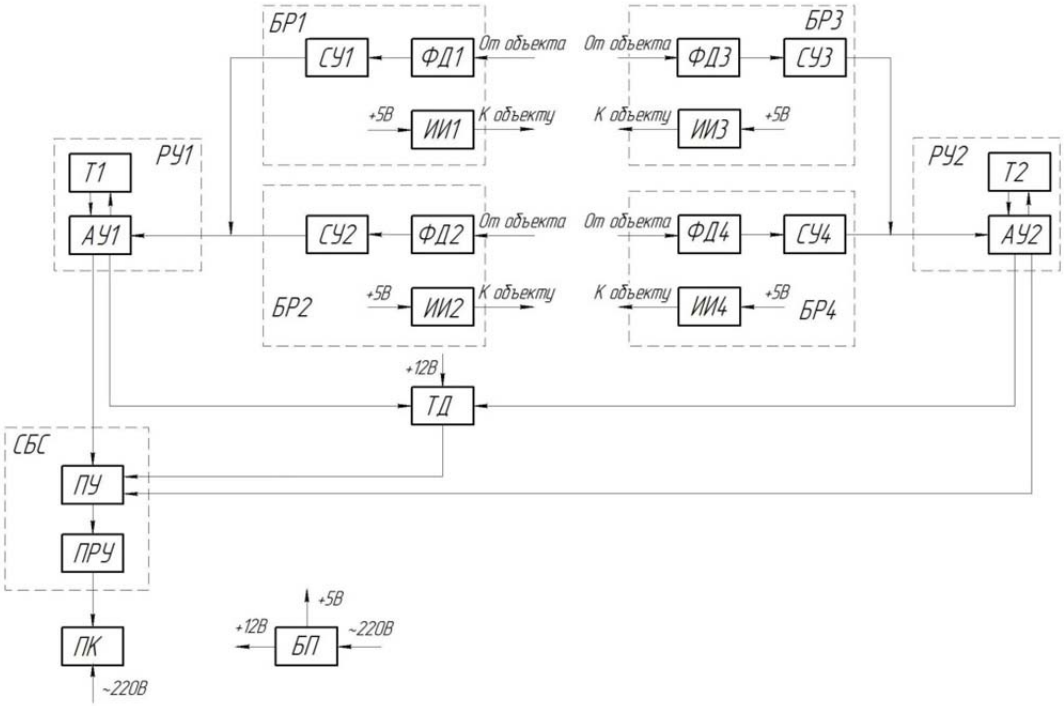


Рис. 1. Схема структурная разрабатываемой системы

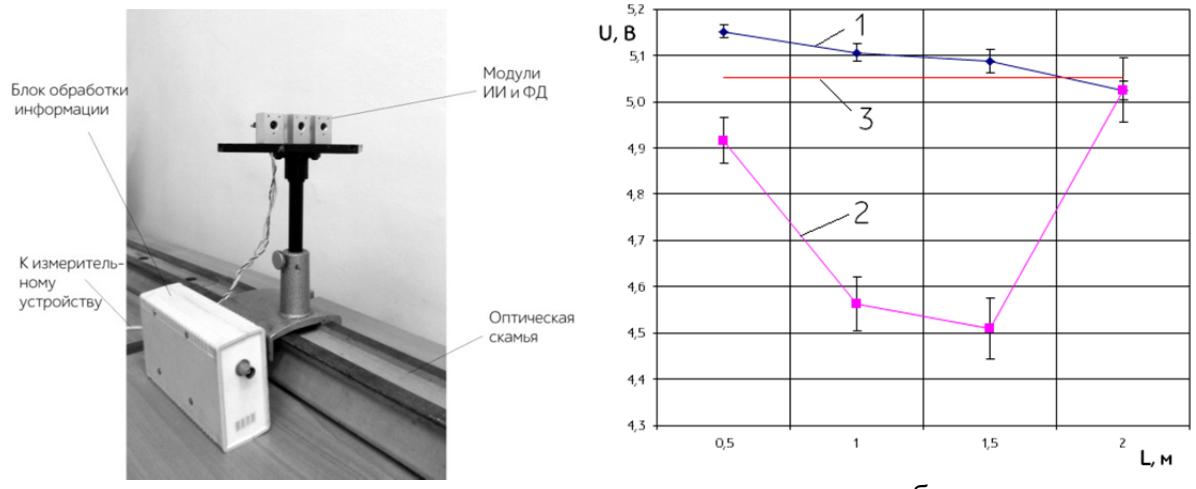
БР предназначены для регистрации прохождения объекта через ЖДП и включают в себя источник излучения (ИИ), фотодетектор (ФД) и суммирующее устройство (СУ). Решающие устройства (РУ) предназначены для анализа информации с БР и устанавливаются между двумя БР. Определенные набор сигналов с БР свидетельствуют о том, что АТС находится в опасной зоне ЖДП. В этом случае система через некоторое время выдает команды тревоги и передачи информации о ситуации на ЖДП диспетчеру по станции. Передача информации диспетчеру по станции осуществляется с помощью системы беспроводной связи (СБС).

По результатам выполненных расчетов для проведения лабораторных исследований подобраны оптические, электронные компоненты экспериментального макета системы. Компоненты передающей оптической системы – инфракрасный излучающий диод TSAL5100 (940 нм). Компоненты приемной оптической системы – фотодиод BL – L512PD, объектив DW9047, f'=16 мм, 1:2. Рассчитано базовое расстояние между компонентами, исключающее поворот компонентов относительно друг друга, равное 15 мм.

Поясним более подробно принцип функционирования блока регистрации системы [3]. Фотодетектор усиливает и фильтрует полезный сигнал. Пороговый сигнал U_m устанавливается системой с помощью устройства сравнения. Устройство сравнивает уровни всех принимаемых сигналов U_s с U_m на различных дистанциях от объекта до блока. Причем амплитуды U_m должны находиться в интервале двух крайних значений: для случая максимально яркого фона вокруг БР

и для случая работы блока в ночное время. Установка только одного порогового уровня сигнала приведет к увеличению вероятности пропуска объекта. Тем не менее, измерение только амплитуды принимаемого сигнала недостаточно для детектирования АТС на ЖДП. Так как сигнал может быть получен от неконтролируемых объектов (например, излучение может отражаться от людей или животных). Таким образом, необходимо учитывать длительность принимаемого блоком сигнала. Обнаружение объектов будет происходить после сравнения длительности принимаемого сигнала с устанавливаемыми системой ее фиксированными значениями.

В ходе разработки по данной теме был разработан макет регистрационного блока (рис. 2, а) для лабораторных экспериментов, позволяющий измерять сигналы от различных моделей объектов – металлические пластины различной формы (выпуклые, с неровностями) с различным типом покрытия (матовые, покрытия темных и светлых оттенков) на расстоянии от блока до объекта в пределах от 0,5 до 2 м.



а б

Рис. 2. Макет регистрационного блока для лабораторных исследований (а); зависимость сигнала на фотодетекторе от дистанции от объекта до блока регистрации при *E*=570 лк (1 – белый металлический объект; 2 – черный металлический объект (матовый); 3 – без объектов) (б)

Эксперименты в лаборатории были проведены для различных уровней фоновой засветки (рис. 2, б).

Из рис. 2, б видно, что сигналы отличаются от фонового уровня (кривая 3). Также можно заметить, что на расстоянии 2 м с освещенностью 570 лк для черного металлического объекта уровень сигнала (кривая 2) существенно отличается от уровней сигнала на других расстояниях. Другими словами на расстоянии 2 м в лабораторных условиях выбранный объект не полностью перекрывает угловое поле блока регистрации. В этом случае объект не детектируется фотодетектором. В реальных условиях на расстоянии 2 м автомобиль будет полностью перекрывать угловое поле зрения блока регистрации.

Таким образом, полученные результаты подтверждают возможность сравнения принимаемых сигналов с устанавливаемым пределом.

На рис. 3 показаны результаты измерений длительности сигнала от двух объектов и временные промежутки, соответствующие длительности сигнала от объекта на ФД, а также рассчитанная фиксированная пороговая длительность сигнала $t_{пор}$.

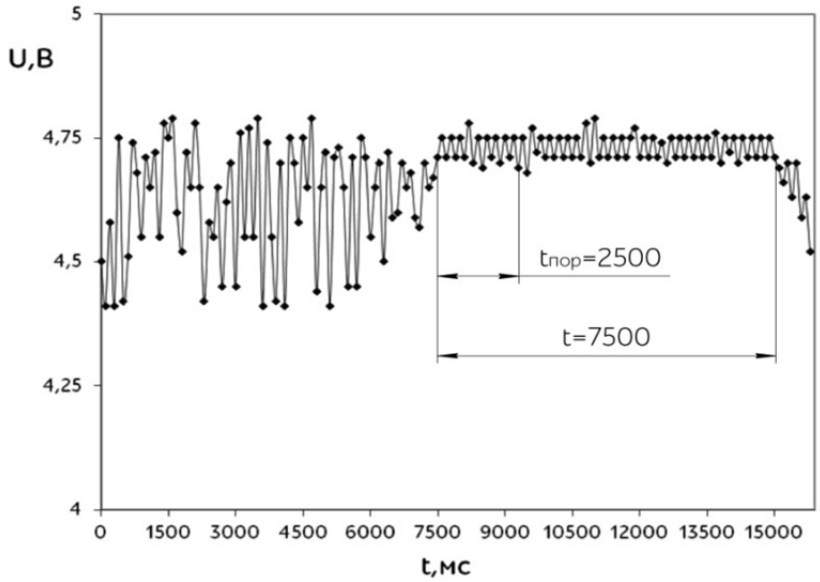


Рис. 3. Измерение длительности принимаемого сигнала на дистанции 2 м

Из рис. 3 следует, что детектирующее устройство принимает сигнал одного уровня напряжения и длительности, равной времени прохождения объекта в поле зрения модулей. Причем видно, что несмотря на дальность дистанции, модуль принимает сигнал одного уровня, при этом $t > t_{пор}$, следовательно объект будет детектирован системой.

Таким образом, предложенная оптико-электронная система контроля положения автотранспортных средств на железнодорожных переездах и способы автоматического определения положения, детектирования объектов позволят обеспечить контроль над опасной зоной переезда, при этом предоставив работникам железной дороги (диспетчеру по станции) полную информацию о возможной аварийной ситуации на ЖДП до момента срабатывания различного типа переездных сигнализаций. Практические результаты работы: обобщенная модель системы, выполняющая функции обеспечения безопасности, а также анализа потока АТС на железнодорожных переездах РФ; способ предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах, характеризующийся автоматизацией управления в экстренных ситуациях (исключающей наличие субъективного фактора), возможностью оповещения работников железной дороги о наличие объекта в зоне переезда, а также универсальностью в использовании системы (установка в пределах регулируемых и нерегулируемых переездов); схемные и алгоритмические решения для практического применения системы; конструкция основных блоков системы; экспериментальный макет блока системы для проведения лабораторных исследований.

Литература

1. Инструкция по эксплуатации железнодорожных переездов МПС России: утв. МПС РФ от 29.06.98 № 288 ЦП-566. – М.: Транспорт, 1998. – 112 с.
2. Минтранс России / Правила эксплуатации железнодорожных переездов в РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=17454, своб.
3. Verezhinskaia E.A., Gorbachev A.A., Maruev I.A., Shavrygina M.A. The model of the optical-electronic control system of vehicles location at level crossing // SPIE Optical Modelling and Design IV. – 2016. – P. 98891E–98891E.

Власов Александр Андреевич
Год рождения: 1990
Факультет инфокоммуникационных технологий,
кафедра световодной фотоники, группа № К4205
Направление подготовки: 11.04.02 – Инфокоммуникационные технологии и системы связи
e-mail: salusnetklim@yandex.ru

УДК 681.2.08

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СИГНАЛА СИСТЕМЫ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

А.А. Власов
Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Макаренко

Работа выполнена в рамках темы НИР № 610724 «Исследование путей построения системы автоматической посадки беспилотного вертолета или конвертоплана».

В настоящее время наблюдается устойчивый рост интереса к использованию беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в различных областях народного хозяйства [1]. Их применяют для решения задач картографирования, мониторинга различных инфраструктурных объектов, патрулирования территорий и многих других.

При широком применении БПЛА возникает ряд проблем, наиболее серьезной из которых является проблема осуществления безаварийной посадки на неподготовленную посадочную площадку [2], особенно в автоматическом режиме при условии полного радиомолчания. Анализ открытых источников по данной проблематике выявил несколько путей решения задач посадки:

1. осуществление посадки под руководством оператора (необходим управляющий радиоканал);
2. использование ультразвуковых или радиолокационных средств анализа поверхности;
3. осуществление посадки на подготовленную площадку либо использование пассивных методов посадки (парашюты, устройства захвата и т.д.).

Как видно, полностью задача осуществления автоматической посадки БПЛА на неподготовленную площадку в автоматическом режиме не решена. Кроме того, данная проблема усугубляется наличием у БПЛА вертолетного типа так называемой высоты невозврата (4–5 м) – высоты, при прохождении которой на снижении ЛА не может осуществить набор высоты [2]. Решение о посадке должно быть принято до прохождения этой высоты.

Для решения данной задачи предлагается оснащение автопилота БПЛА оптико-электронной системой анализа поверхности с целью обеспечения его достоверной и актуальной информацией о параметрах посадочной площадки и их изменениях. Структура указанной системы, а также место разрабатываемого устройства в ней представлены на рис. 1.

Для осуществления анализа поверхности был выбран тип испытательного сигнала – сканирующая сетка. Оптическая схема излучателя представлена на рис. 2, а. Применение методов дифракционной оптики в данном случае позволит точно рассчитывать параметры тестовой картины.

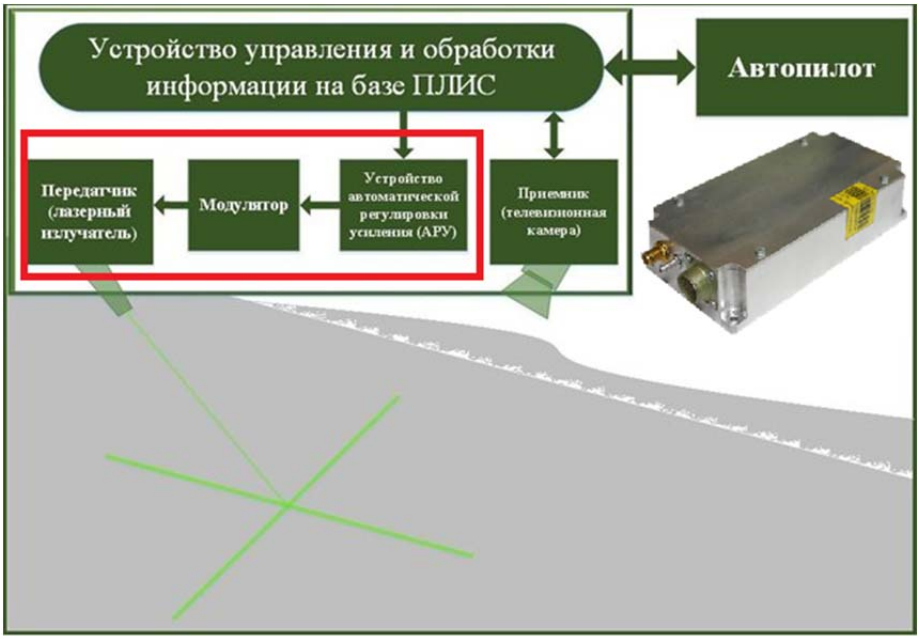


Рис. 1. Структура оптико-электронной измерительной системы и место разрабатываемого устройства в ней (обведено рамкой)

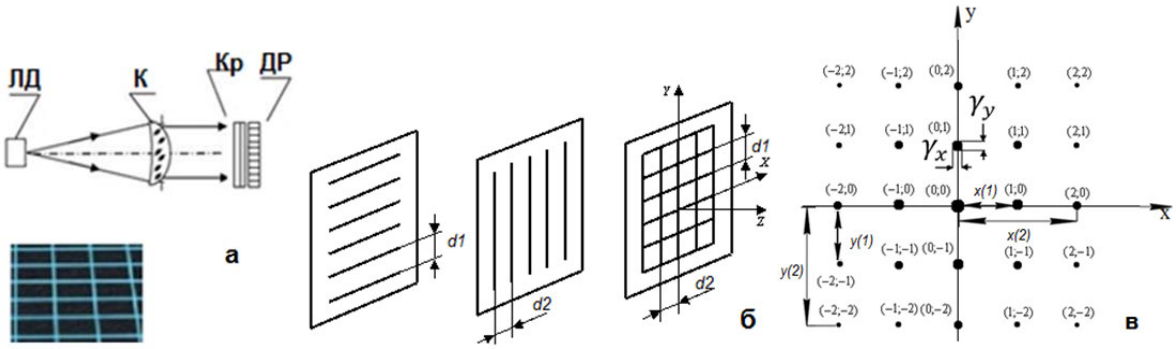


Рис. 2. Оптическая схема разрабатываемого устройства (ЛД – лазерный диод; К – коллиматор; Кр – линза-«крест»; ДР – двумерная дифракционная решетка) (а); структура двумерной дифракционной решетки (б); система координат в тестовой картине (в)

Введем понятие системы координат в тестовой картине (рис. 2, в). В ней находятся все дифракционные максимумы. Начало этой системы совпадает с центром тестовой картины, а оси ***X*** и ***Y***, совпадают с осями двумерной дифракционной решетки (рис. 2, б). Таким образом, становится возможным составить выражения для координат центров дифракционных максимумов и для их угловой ширины, для случаев нормального падения излучения на экран (1)–(2) [3] и для случаев падения излучения на экран под произвольными углами (3)–(4) [4].

$$\begin{cases} x(m_1) = h \cdot \mathrm{tg}\left(\arcsin\left(\frac{m_1\lambda}{d_1}\right)\right) \\ y(m_2) = h \cdot \mathrm{tg}\left(\arcsin\left(\frac{m_2\lambda}{d_2}\right)\right) \end{cases}, \quad (1)$$

$$\begin{cases} D_{x(m_1)} = 2h \cdot \mathrm{tg}\left(\frac{\arcsin\left[\left(m_1+\frac{1}{N_1}\right)\frac{\lambda}{d_1}\right]-\arcsin\left[\left(m_1-\frac{1}{N_1}\right)\frac{\lambda}{d_1}\right]}{2}\right) \\ D_{y(m_2)} = 2h \cdot \mathrm{tg}\left(\frac{\arcsin\left[\left(m_2+\frac{1}{N_2}\right)\frac{\lambda}{d_2}\right]-\arcsin\left[\left(m_2-\frac{1}{N_2}\right)\frac{\lambda}{d_2}\right]}{2}\right) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\begin{cases} X_{(m_1)} = \\ = P_L \cdot \mathrm{tg}\varphi_{m_1} \times \\ \times \dfrac{\sqrt{\cos^2\beta_L\left(1+\mathrm{tg}^2\Psi_{m_2}\right)+\left(\cos\alpha_L+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\varphi_{m_1}\right)^2}}{\left(\cos\alpha_L\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}+\cos\beta_L\cdot\mathrm{tg}\varphi_{m_1}+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\varphi_{m_1}\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}\right)\left(\cos\alpha_L+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}\right)}, \\ Y_{(m_2)} = \\ = P_L \cdot \mathrm{tg}\Psi_{m_2} \times \\ \times \dfrac{\sqrt{\cos^2\alpha_L\left(1+\mathrm{tg}^2\Psi_{m_2}\right)+\left(\cos\beta_L+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}\right)^2}}{\left(\cos\alpha_L\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}+\cos\beta_L\cdot\mathrm{tg}\varphi_{m_1}+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\varphi_{m_1}\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}\right)\left(\cos\beta_L+\cos\gamma_L\cdot\mathrm{tg}\Psi_{m_2}\right)} \end{cases}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} D_{x(m_1)} = \\ = \sqrt{\left(X_{(m_1;m_2)+\varphi}-X_{(m_1;m_2)-\varphi}\right)^2+\left(Y_{(m_1;m_2)+\varphi}-Y_{(m_1;m_2)-\varphi}\right)^2+\left(Z_{(m_1;m_2)+\varphi}-Z_{(m_1;m_2)-\varphi}\right)^2} \\ D_{y(m_2)} = \\ = \sqrt{\left(X_{(m_1;m_2)+\Psi}-X_{(m_1;m_2)-\Psi}\right)^2+\left(Y_{(m_1;m_2)+\Psi}-Y_{(m_1;m_2)-\Psi}\right)^2+\left(Z_{(m_1;m_2)+\Psi}-Z_{(m_1;m_2)-\Psi}\right)^2} \end{cases}. \quad (4)$$

Оценка энергетических параметров измерительной системы производилась при помощи подхода, использующегося в оптических телекоммуникациях и лазерной дальнометрии. Тестовая картина представляется как совокупность отдельных измерительных сигналов (дифракционных максимумов). Для оценки диапазона значений выходной оптической мощности источника света была составлена система уравнений оптического бюджета для каждого из таких сигналов. Оптическая мощность источника, с одной стороны, не должна вводить приемник (ТВ-камеру) в режим насыщения, а с другой – должна быть больше суммы всех оптических потерь. Виды оптических потерь представлены на рис. 3. При помощи методов дифракционной оптики становится возможным вычислить геометрические параметры и интенсивность каждого измерительного сигнала, а соответственно, и его оптическую мощность.

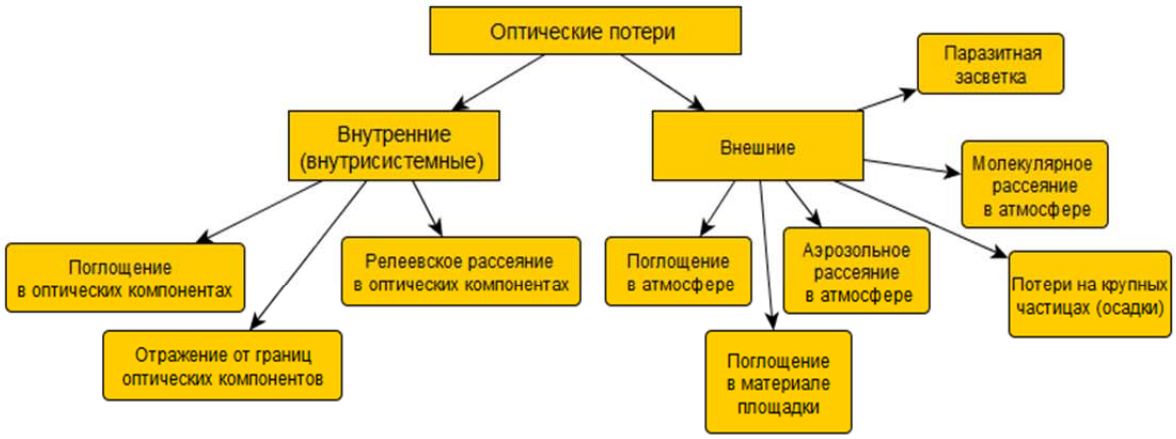


Рис. 3. Виды оптических потерь

В ходе работы произведен расчет оптического бюджета для упомянутой оптико-электронной измерительной системы. Решение системы уравнений (5) показало, что для осуществления посадки на палубу авианосца в штормовые условия с максимальным уровнем паразитной засветки необходим источник излучения мощностью 1,3 Вт. Графическое представление распределения оптической мощности в порядки дифракционной картины представлено на рис. 4.

$$\begin{cases} P_{\text{пр}\min} < P_{\text{пер}_{\min}} - \sum\alpha < P_{\text{пр}\max} \\ P_{\text{пр}\min} < P_{\text{пер}_{\max}} - \sum\alpha < P_{\text{пр}\max} \end{cases}. \quad (5)$$

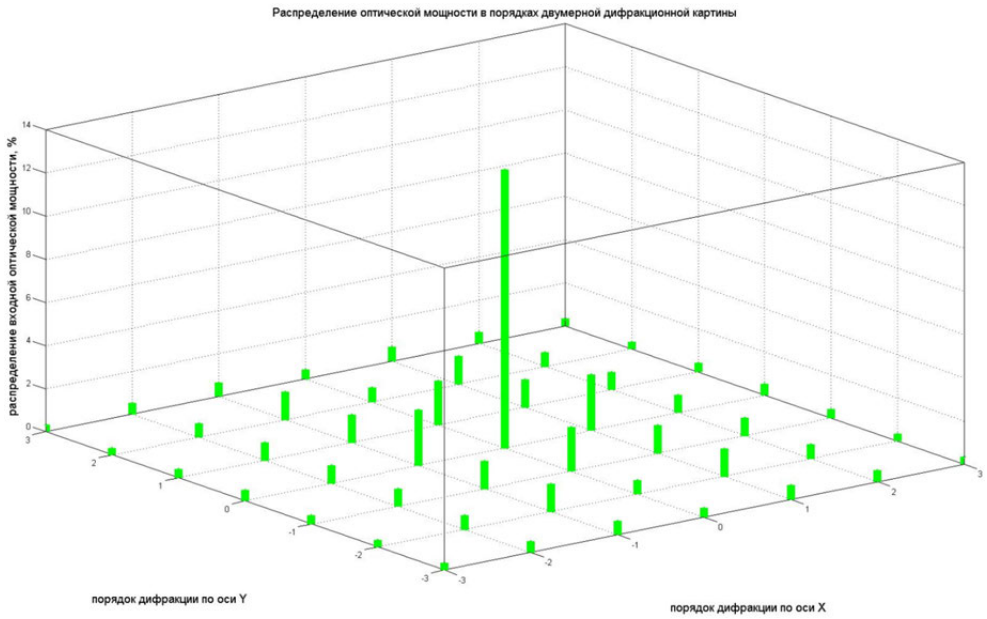


Рис. 4. Распределение оптической мощности в порядки двумерной дифракционной картины

Кроме того, был выполнен расчет просветляющих покрытий для каждого из компонентов оптической схемы. Применение просветляющего покрытия позволит более эффективно расходовать оптическую энергию системы.

Источником оптического излучения в разрабатываемом устройстве является лазерный диод – это полупроводниковый прибор, управляемый током [5]. Для регулировки выходной оптической мощности была разработана схема источника тока, управляемого напряжением. Как видно из названия, выходной ток (а соответственно, и оптическая мощность) схемы зависит от напряжения на ее входе [5]. Это напряжение регулируется при помощи цифрового потенциометра, управляемого при помощи программируемого микроконтроллера по интерфейсу SPI. Управление схемой осуществляется с компьютера по интерфейсу UART.

В ходе анализа рынка электронных и оптических компонентов были выбраны компоненты для построения макета разрабатываемого устройства.

Завершающей стадии работы стало построение макета устройства и проведение его испытаний в составе оптико-электронной системы анализа поверхности. Результаты макетирования разрабатываемого устройства представлены на рис. 5.

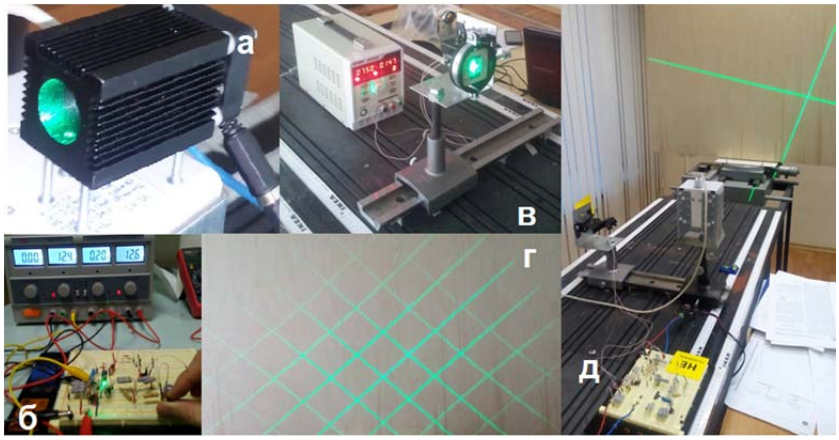


Рис. 5. Макетирование оптической схемы устройства (а, в) и электрической схемы устройства (б); оптический испытательный сигнал типа «сетка» (г); испытания устройства на испытательно-калибровочном стенде (д)

Результаты работы:

1. изучена проблематика совершения посадки ЛА различных типов;
2. предложена концепция оптико-электронной измерительной системы для совершения посадки в автоматическом режиме;
3. разработаны электрическая и оптическая схемы устройства; выполнен расчет геометрических и энергетических параметров испытательного сигнала, составлена математическая модель устройства;
4. выполнен анализ рынка электронных и оптических компонентов; изготовлен лабораторный образец разрабатываемого устройства и проведены его испытания;
5. выполнен краткий обзор опасных и вредных факторов производства при разработке и эксплуатации устройства.

Литература

1. Ghyzel P.A. Vision-based navigation for autonomous landing of unmanned aerial vehicles. – Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2000. – 115 p.
2. Тиняков Г.А. Пилотирование вертолета. Учебноепособие. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1957. – 189 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. – 8-е изд., перераб. и испр. – М.: ООО «Изд-во Оникс»: ООО «Изд-во «Мир и Образование», 2006. – 1056 с.
4. Письменный Д.Т. Конспект лекций по высшей математике. Полный курс. – М.: Айрис-пресс, 2002. – 608 р.
5. Джонс М.Х. Электроника – практический курс. – М.: Техносфера, 2006. – 512 р.

Дубицкая Елизавета Андреевна
Год рождения: 1993
Факультет технологического менеджмента и инноваций,
кафедра экономики и стратегического менеджмента,
группа № U4247
Направление подготовки: 38.04.01 – Экономика
e-mail: dubitskaya.elizaveta@gmail.com

УДК 338.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ И МЕТОДОВ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ

Е.А. Дубицкая
Научный руководитель – д.э.н., профессор О.А. Цуканова

Процесс коммерциализации результатов научно-технических исследований в России является сложным и трудоемким, на который оказывают влияние множество факторов, начиная от принципов финансирования научной деятельности и заканчивая менталитетом российских ученых. В настоящее время значительное количество научно-технических исследований остаются теоретическими моделями, не нашедшими применения на рынке. Во многих научно-исследовательских организациях нет практики коммерциализации созданных научно-технических разработок. Тем не менее, на сегодняшний день в России, в том числе в рамках программ импортозамещения, существует потребность во внедрении инновационных

технологий в производственный цикл, в коммерческой реализации инновационных разработок на рынке высокотехнологичной продукции. Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания и реализации комплекса мероприятий, направленных на увеличение результативности процесса коммерциализации с целью увеличения конкурентоспособности российской экономики в целом [1–5].

Задачами исследования являются: определение сущности и особенностей коммерциализации результатов научно-технических исследований в России; разработка системы идентификаторов процесса коммерциализации научных разработок; формирование методических рекомендаций по повышению результативности процесса коммерциализации научно-технических разработок. Коммерциализация представляет собой процесс преобразования инновационной идеи в продукт или услугу, проходящая стадии фундаментальных и прикладных исследований, опытно-конструкторских разработок, маркетинга, производства и реализации продукта на рынке с целью получения коммерческой прибыли.

Существует множество подходов, в рамках которых происходит реализация результатов научно-технических исследований с целью получения коммерческого эффекта. Среди которых необходимо выделить: проведение научно-технических исследований по заказу производственных предприятий; проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР), финансируемых государственными, международными или конкурсными программами или грантами; создание совместных наукоемких предприятий, опытных лабораторий; продажа или частичная передача прав на использование результатов научной деятельности.

В настоящее время система управления коммерциализацией научно-технической продукции (НТП) еще не получила широкого распространения и не располагает достаточным материалом для установления взаимосвязи индикаторов (показателей), характеризующих процесс коммерциализации технологии. Таким образом, актуальна проблема выявления, анализа и объединения в системы показателей, свидетельствующих о результативности коммерциализации НТП. Данные системы показателей могут быть использованы при разработке стратегии коммерциализации НТП.

Для анализа количественного влияния идентификаторов друг на друга в среднем по совокупности, их систематизации, изучения воздействия как внешних, так и внутренних факторов, решения задач прогнозирования целесообразно разработать систему показателей с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Для математического описания зависимости результативной переменной от нескольких факторных переменных используется уравнение множественной регрессии.

Динамика показателей результативности создания НТП в России за период 2000–2014 гг. может быть формализована посредством построения корреляционно-регрессионной модели, где выходной идентификатор Y – это динамика регистрации внутренних договоров о торговле лицензиями и отчуждении прав на патенты (шт).

Далее необходимо составить перечень факторов, оказывающих наибольшее влияние на выходной идентификатор Y.

Входные показатели:

- x_1 – среднемесячная заработная плата персонала, занятого исследованиями и разработками в государственном секторе (руб.);
- x_2 – публикации российских авторов в научных журналах, индексируемых в Scopus (ед.);
- x_3 – количество разработанных передовых производственных технологий (ед.);
- x_4 – внутренние затраты на исследования и разработки (руб.);
- x_5 – число организаций, выполняющих исследования и разработки (ед.);

– x_6 – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (ед.) Для построения модели необходимо провести полный множественный анализ зависимости признака Y от факторов ($x_1 \ldots x_6$). Следовательно, модель будет иметь вид:

$$Y_t = f(x_{it}). \quad (1)$$

Исходные данные для построения модели представлены в табл. 1.

Таблица 1. Динамика показателей, определяющих результативность научных исследований в России в 2000–2014 гг.

год	Y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
2000	2114	2322,9	31502	569	7669710050	4099	887729
2001	2022	3348,9	32524	543	10526073160	4037	885568
2002	2003	4552,1	32768	563	13500449190	3906	870878
2003	1973	5712,8	33618	582	16986236910	3797	858470
2004	2549	6918,4	36385	569	19603987020	3656	839338
2005	2122	8672	38914	538	23078515030	3566	813207
2006	2414	9678,8	34961	642	28880521150	3622	807066
2007	2852	14208,3	35614	653	37108032710	3957	801135
2008	2744	19561	36715	738	43107318520	3666	761252
2009	2365	22979,7	38400	757	48583433820	3536	742433
2010	2860	24792,1	39596	762	52337723390	3492	736540
2011	3207	27869,4	42928	1028	61042668060	3682	735273
2012	3035	32031	44477	1188	69986978480	3566	726318
2013	3123	34532,8	47363	1276	74979763880	3605	727029
2014	2965	38709,8	53628	1245	84752699 200	3604	732274

Примечание: таблица составлена на основании сборника Индикаторы науки [3]

Ход построения линейной многофакторной модели:

1. Измерение тесноты связи между выходным идентификатором и входными показателями. Необходимо определить тесноту связи, и выбрать факторы, оказывающие наибольшее влияние на результативный признак Y (регистрация внутренних договоров о торговле лицензиями и отчуждении прав на патенты). Для этого необходимо построить матрицу коэффициентов корреляции.

Таблица 2. Матрица парных коэффициентов корреляции

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	1	0,92	0,94	0,99	–0,64	–0,91
x_2		1	0,91	0,93	–0,61	–0,8
x_3			1	0,94	–0,48	–0,8
x_4				1	–0,63	–0,93
x_5					1	0,78
x_6						1

Множественный коэффициент корреляции считается значимым, в случае если $F_{\text{набл}} > F_{\text{кр}}$, при заданном уровне значимости $\alpha = 0{,}05$, $n = 15$, по таблице F-распределения, $F_{\text{кр}} = 0{,}514$. Анализ табл. 3 позволяет сделать вывод о значимости коэффициентов x_5 и x_6.

Результативность процесса коммерциализации определяется количеством заключенных договоров о торговле лицензиями и отчуждением прав на патенты. Проведение корреляционного анализа позволило определить факторы, оказывающие наибольшее влияние на результативность процесса коммерциализации результатов научно-технической деятельности.

Исходя из этого, принимается решение о целесообразности включения факторов x_5, x_6 в регрессионную модель.

2. Определение функции регрессии. Для построения регрессионной модели строим модель с применением метода наименьших квадратов. Уравнение регрессии будет иметь вид:

$$y_t = 5568{,}76 + 1{,}4x_5 - 0{,}01x_6. \quad (2)$$

Данному уравнению (2) можно дать следующую интерпретацию: при росте числа организаций за 1 год количество заключенных договоров о торговле лицензиями и отчуждения прав на патенты вырастет в среднем на 114% при фиксированной численности персонала, занятого исследованиями и разработками, при снижении численности персонала, занятого исследованиями и разработками за 1 год количество заключенных договоров уменьшится на 1% при фиксированном количестве числа организаций, занимающихся исследованиями и разработками.

Коэффициент детерминации (R-квадрат=0,81) близок к единице, значит, качество построенной модели достаточно высоко. Коэффициент детерминации показывает, что уравнение регрессии на 81% объясняет поведение признака и, значит, случайные отклонения составляют 19%.

Адекватность уравнения регрессии проверяется F-критерием Фишера. Расчетное значение F-статистики=26,4 при критическом значении 2,12. Так как расчетное значение превосходит критическое (26,4>2,12), то уравнение регрессии адекватно.

Табличное значение критерия Стьюдента, соответствующее доверительной вероятности $\alpha = 0{,}025$ и числу степеней свободы равному восьми ($v = n - m - 1 = 12$) составит $t_{\text{таблич}} = 2{,}179$.

Сравнив $|t_{x_t}|$ и $t_{\text{таблич}}$ в модели можно сделать вывод о значимости x_5 (2,29>2,179) и x_6 (6,078>2,179).

В модели отсутствует мультиколлинеарность переменных x_5 и x_6, уравнение регрессии значимо по тесту Фишера, по тесту Стьюдента все коэффициенты значимы и применение метода инфляционных факторов мультиколлинеарности не выявило.

Связь между факторами установлена надежно, что позволяет использовать уравнение на практике для прогнозирования динамики идентификаторов и количественной оценки их влияния друг на друга. Полученные результаты могут быть использованы при тактическом, перспективном и стратегическом управлении предприятиями, связанными с созданием НТП, фундаментальными и прикладными исследованиями. Повышение результативности процесса коммерциализации возможно при увеличении значений следующих идентификаторов: количество организаций, занятых исследованиями и разработками, заработной платы научных сотрудников, количества разработанных передовых производственных технологий (рисунок).

В результате проведенного исследования автором определены следующие направления для развития процесса коммерциализации в России:

– улучшение технологического уровня материально-технической базы науки в России, в том числе опытно-экспериментальных установок, научных приборов, опытных лабораторий;
– привлечение промышленными предприятиями научно-исследовательских институтов для выполнения совместных НИОКР;

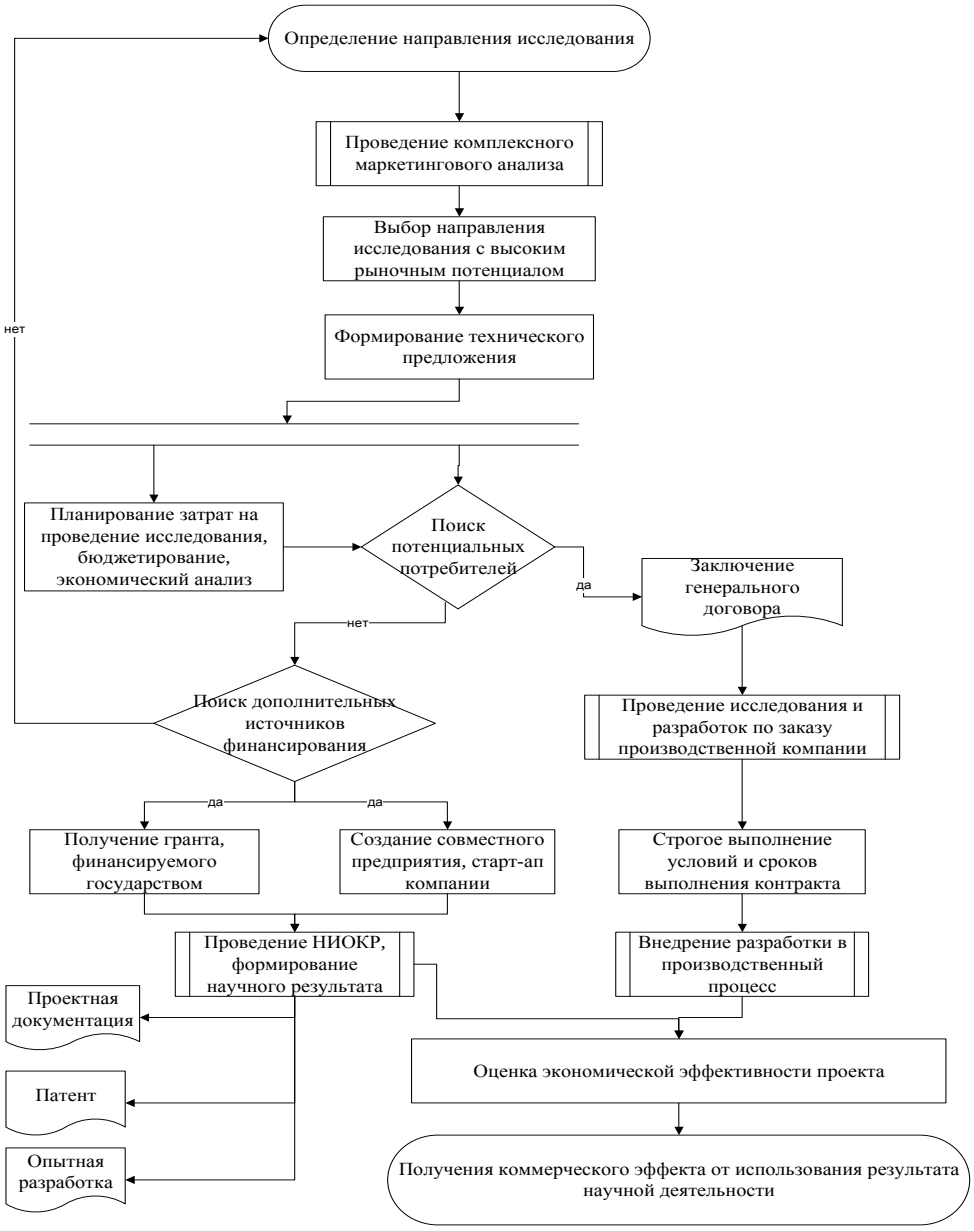


Рисунок. Алгоритм проведения коммерциализации научно-технических исследований

- внедрение на проектирующих кафедрах научно-исследовательских университетов проектных групп, занимающихся коммерциализацией созданных разработок;
- увеличение уровня финансирования НИОКР со стороны промышленных предприятий с целью увеличения конкурентоспособности продукции, увеличения стоимости активов и снижения себестоимости выпускаемой продукции;
- популяризация существующих бизнес-инкубаторов для научных сотрудников, студентов и аспирантов научно-исследовательских университетов путем проведения рекламных кампаний на научных конференциях и конгрессах;
- привлечение в науку молодых ученых и разработчиков;
- увеличение коммерческой заинтересованности разработчиков в создании конкурентоспособных научных результатов;
- увеличение количества экономических дисциплин, направленных на повышение предпринимательской активности у студентов и аспирантов, занимающихся научно-исследовательской деятельностью.

Литература

1. Федеральный закон от 23.08.1996 № 127-ФЗ (ред. от 02.11.2013) «О науке и государственной научно-технической политике» (с изм. и доп., вступающими в силу с 01.01.2014).
2. Мухопад В.И. Коммерциализация интеллектуальной собственности. – М.: Магистр; ИНФРА-М, 2012. – 512 с.
3. Городникова Н.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А. и др. Индикаторы науки: 2016: статистический сборник. – М.: НИУ ВШЭ, 2016. – 304 с.
4. Цуканова О.А., Дубицкая Е.А. Определение рациональных подходов коммерциализации результатов инновационных научных исследований в России // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5-2. – С. 451–455.
5. Цуканова О.А., Дубицкая Е.А. Проблемы коммерциализации результатов научных разработок в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1550/1550.pdf, своб.

Иванов Федор Андреевич
Год рождения: 1992
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий, кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз, группа № N4200
Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность
e-mail: teddiaps@gmail.com

УДК 004.624

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ WEB-МЕТРИК

Ф.А. Иванов
Научный руководитель – к.т.н., доцент М.Б. Будько

Поднимаемая проблема имеет высокую актуальность ввиду повсеместного использования веб-технологий и связанной с ней дисциплины веб-аналитики, позволяющей определять эффективность проводимых кампаний, направленных на улучшение количественных и качественных показателей как веб-сайта в целом, так и отдельных его страниц. Стоит отметить, что неуклонный рост объема информации, размещаемой на сайте, усложняет процесс ручной обработки информации. В связи с этим крайне важна автоматизация процесса отслеживания метрик и увязка критических изменений с некоторыми событиями, которые могли повлиять на отклонения выбранных для анализа метрик. Наиболее очевидными изменениями представляются непосредственные редакции контента, наполняющего сайт, способные серьезно повлиять на отклонения метрик от предыдущих значений. Таким образом, в рамках исследования была рассмотрена возможность автоматизации отслеживания взаимосвязи между изменениями, произведенными на веб-сайте и последующими изменениями выбранных метрик. Это позволит быстро получить даты изменений и определить тематику контента, которая пользуется наибольшей популярностью у пользователей и, следовательно, качественно влияет на рост отслеживаемых показателей. Таким образом, становится возможным оперативное определение наиболее успешного среди посетителей контента, что позволяет эффективно управлять содержимым сайта, учитывая полученные данные.

Переходя к анализу существующих продуктов, следует отметить, что в данное время на рынке программного обеспечения не имеется решения, способного выполнить поставленную задачу. Но, учитывая необходимость первоначального сбора информации о показателях метрик для последующего ее рассмотрения, стоит проанализировать имеющиеся предложения, которые позволяют осуществить вышеуказанные действия. Несмотря на большое количество доступных инструментов, наиболее используемым среди них является Google Analytics, используемый примерно на 3-х вебсайтах из 4-х. Высокая популярность инструмента была достигнута ввиду его бесплатности, а также широких возможностей и доступности API для более удобной работы. Именно Google Analytics лег в основу исследования и был использован для сбора значений метрик, которые впоследствии будут сопоставлены с изменениями, произведенными с содержимым страниц веб-сайта.

Рассмотрим последовательность работы скрипта, для функционирования которого в первую очередь требуется подключение класса GAPI, отвечающего за осуществление реализации алгоритма. Данное действие выполняется командной require 'gapi.class.php'. Затем следует определить константу 'ga_profile_id', присвоив ей значение, равное идентификатору профиля Google. Следующим этапом должно стать определение функции get_string_between($string), которая будет использоваться для получения имени поста, которое заключено в кавычки. После следует определить значения основных переменных – $VISITS_SEQ_SET (определяет количественную последовательность дней, на протяжении которой количество посетителей должно увеличиваться/уменьшаться), $BOUNCE_SET (переменная определяет критическое значение показателя отказов) и $AVG_TIME_SET (устанавливает эталонную среднюю продолжительность посещения сайта).

После определения основных переменных перейдем к получению информации из csv файла, содержащего информацию обо всех изменениях, произведенных на сайте. Для произведения операции будет использоваться функция fgetcsv, в которую передается название файла.

Среди всех изменений, произведенных на сайте, на статистику могут повлиять лишь события, связанные с модификацией содержимого постов. Такие события именуются следующим образом: 'post_created' – создание поста; 'post_updated' – внесение изменений в текст поста; 'post_trashed' – удаление поста (перемещение в корзину).

Таким образом, программа просматривает содержимое файла истории и записывает события из нулевого и второго столбцов (которые содержат информацию о дате события и его характер соответственно) в двухмерный массив. Далее происходит анализ полученного массива и в том случае, если содержимое элемента массива, определяющего тип совершенного изменения, не совпадает с приведенными выше событиями, содержащий элемент ряд массива очищается. Далее происходит закрытие файла и переиндексация массива для актуализации индексов его элементов.

Затем будет выполнена функция requestReportData и в каждый массив $date_arr, $visits_arr, $bouncerate_arr и $avgTimeOnPage_arr записаны значения даты, количества посещений, показатель отказов и средняя продолжительность посещения соответственно.

Последующий цикл выполняет задачу поиска критических показателей и записывает даты, которые являются первыми в начале процесса роста показателей посещений в массив $inc_visits_dates, а даты, которые предвещают непрерывное падение числа посетителей – в массив $dec_visits_dates.

Условия, расположенные ниже, выполняют проверку значений показателей отказов и средней продолжительности визита на превышение и недостижение установленных значений в переменных $BOUNCE_SET и $AVG_TIME_SET.

Дальнейшие действия направлены на вывод полученных значений в файл stats.html. При первом вызове функции file_put_contents выполняется запись ключевых тэгов и классов CSS, которые будут определять стиль компонентов выводимой таблицы результатов.

Последующие вызовы функции осуществят запись элементов массивов, содержащих даты критических отклонений и действий, которые были произведены с записями на сайте. Каждый блок информации будет озаглавлен поясняющей шапкой.

После каждого вызова функции выполняется проверка на существование массива с датами критических изменений. Если массива не существует, в соответствующий блок выводится информация о том, что изменений не производилось. Если же результат проверки положительный, то это говорит о существовании массива, следовательно, на веб-сайте были произведены изменения. До тех пор, пока существуют строки в двухмерном массиве, каждая итерация цикла выводит дату изменения, тип события и имя измененного поста. В зависимости от четности строки подбирается ее цвет (для удобства чтения последовательности строк).

Наконец, финальный вызов функции занесет закрывающие теги в файл и сделает его доступным для открытия в любом современном браузере. Фрагмент финального результата представлен на рисунке.

Dates of high bounce rate		
14-04-2016		
Date	Event	Post name
14-04-2016	post_created	Post #8
14-04-2016	post_trashed	Post #7
13-04-2016	post_created	Post #7
Dates of visits increase		
25-03-2016		
Date	Event	Post name
25-03-2016	post_created	Post #1
04-04-2016		
Date	Event	Post name
04-04-2016	post_created	Post #6
10-04-2016		
Date	Event	Post name
10-04-2016	post_updated	Post #1
15-04-2016		

Рисунок. Фрагмент результата выполнения скрипта

На этом разбор механизма разбора скрипта будем считать завершенным, и следует перейти к разбору степени решенности поставленных задач. Итак, в тексте работы были осуществлен разбор таких моментов, как: анализ и сравнение существующих программных решений на рынке веб-аналитики, с указанием конкретных достоинств и недостатков каждого из них, а результаты сравнения были сведены в общую таблицу для большей наглядности результатов проделанной работы; составлен перечень ключевых веб-метрик, которые могут быть использованы для определения успешности практического любого веб-сайта в конкретный момент времени; подробно рассмотрена история зарождения и становления веб-аналитики как отдельной дисциплины и трансформации в часть цифровой аналитики, актуальной в настоящее время ввиду увеличения количества мобильных устройств по отношению к традиционным настольным цифровым машинам; составлен перечень параметров и показателей, доступных для получения и последующей обработки посредством API

Google Analytics; и, наконец, описаны требования к стартовой конфигурации для запуска скрипта.

Таким образом, было получено решение поставленного вопроса – код скрипта позволяет отобразить результирующую таблицу, которая группирует даты значительных отклонений показателей вместе с недавними изменениями, что позволяет быстро отследить, что именно привело к отклонениям показателей. Список показателей, которые могут быть применены в качестве отслеживаемых, легко изменяется в зависимости от потребностей исследователя и тематики веб-сайта благодаря широким возможностям Analytics Reporting API. Таким образом, было создано универсальное настраиваемое решение, которое может использоваться для быстрого изучения предпочтений пользователей и последующей смены тематики контента, размещаемого на веб-сайте.

Следующим этапом развития идеи проекта может стать отказ от применения GAPI и использования нативных переменных Google Analytics, направленный на поддержание автономности проекта и независимости от возможных изменений способов авторизации и радикальной смены синтаксиса команд. Однако текущий вариант является более простым для понимания и не требует большого количества времени для настройки ввиду лаконичности используемого интерфейса.

Кротова Татьяна Николаевна
Год рождения: 1991
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4227
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: tatyana.krotova.91@mail.ru

УДК 637.1

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ЙОГУРТА С ДОБАВЛЕНИЕМ ЗЕРНОВОГО КОМПОНЕНТА

Т.Н. Кротова
Научный руководитель – к.т.н., ст. преподаватель М.С. Белозерова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615872 «Биотехнология поликомпонентных продуктов питания функционального и специального назначения».

Введение. Выбранная тема является в настоящее время особо актуальной, так как в связи с ухудшением показателей здоровья населения, производство обогащенных кисломолочных продуктов приобретает все большее значение.

Использование зернового сырья в качестве обогащающего ингредиента при производстве кисломолочных напитков дает возможность расширить ассортимент и придать функциональные свойства кисломолочным продуктам. Зерновые ингредиенты содержат в своем составе целый комплекс белков, липидов, углеводов, аминокислот, а также пищевые волокна и органические кислоты. Они являются ценным источником витаминов и минеральных веществ, – таких как витамины группы В и Е, кальций, магний, марганец, цинк и другие полезные вещества [1, 2]. Добавление зернового сырья в кисломолочные продукты способствует повышению их

пищевой и биологической ценности, а также придает оригинальные органолептические свойства.

Основной **целью работы** являлась разработка рецептуры и технологии йогурта с добавлением зернового компонента – полбы. В основу рабочей гипотезы положено предположение о возможности использования данной злаковой культуры для получения обогащенного продукта с лечебно-профилактическими свойствами.

В достижении поставленной цели решались следующие задачи:

1. изучение специальной литературы и составление аналитического обзора;
2. подбор рецептуры йогурта, выбор рационального способа внесения муки из полбы в йогурт;
3. разработка технологии обогащенного йогурта;
4. исследование органолептических, физико-химических показателей готового продукта;
5. исследование изменения показателей продукта в процессе хранения и определение сроков годности;
6. расчет пищевой и биологической ценности нового продукта;
7. проектирование жирнокислотного состава липидной композиции йогурта с добавлением полбы;
8. расчет технико-экономических показателей разработанного йогурта;
9. разработка проекта технической документации.

На первом этапе работы после анализа литературных источников были сформулированы цели и задачи исследования.

Далее осуществлялся выбор и исследование свойств сырья. На основании литературных источников в качестве зернового компонента для обогащения йогурта было решено использовать полбу. Эта культура относится к высокобелковым – содержание белка в ней составляет 27–37%. По сравнению с обычной пшеницей в полбе содержится в несколько раз больше магния, цинка, железа и таких витаминов, как тиамин (B_1), рибофлавин (B_2), пиридоксин (B_6), Е, РР и фолиевой кислоты (B_9). Также полба содержит фосфор, кальций, натрий, медь, селен и марганец. Полезные вещества в полбе быстро растворяются и легко усваиваются человеческим организмом [3]. Таким образом, использование полбы в качестве обогащающего компонента для кисломолочного продукта дает возможность создать новый ассортимент кисломолочных продуктов с повышенной пищевой и биологической ценностью, с оригинальными органолептическими свойствами.

На втором этапе был выбран способ внесения муки из полбы. Рассматривались два способа внесения: на этапе заквашивания и в готовый продукт. В результате эксперимента было принято решение вносить зерновой компонент до заквашивания в небольшой объем нормализованного молока, подвергнув предварительной тепловой обработке, в связи с тем, что при внесении в готовый продукт полученный йогурт имел более неоднородную консистенцию.

На третьем этапе проводились работы по определению количества вносимой добавки и органолептических показателей. В небольшой объем заквашиваемого молока вносили муку из полбы, при этом массовая доля муки составляла от 1 до 5% с шагом 1%. Контрольным образцом являлся йогурт без добавок. При увеличении массовой доли муки в йогурте наблюдалось изменение цвета от белого до более кремового, изменялась консистенция продукта, а также усиливался привкус муки. Исходя из полученных данных, наилучшими органолептическими показателями обладал образец № 5 с внесением 4% муки из полбы.

На следующем этапе было изучено влияние компонентного состава йогурта с мукой из полбы на формирование качества готового продукта.

Определили физико-химические показатели исследуемого йогурта с добавлением муки из полбы. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что полученный образец йогурта с мукой из полбы обладает повышенным содержанием питательных веществ, в частности, белков, углеводов и клетчатки, в сравнении с контрольным образцом.

На рис. 1 представлен график накопления кислотности образцов йогурта без добавок и с добавлением муки из полбы в количестве от 1 до 5%.

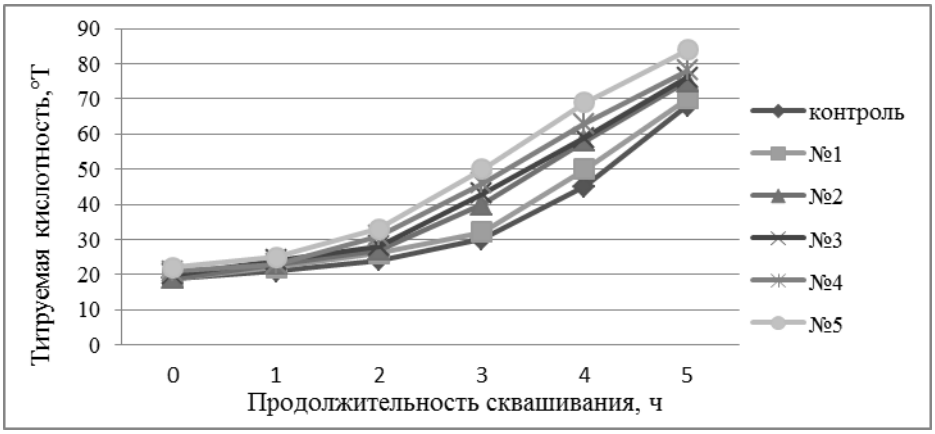


Рис. 1. График титруемой кислотности исследуемых образцов йогурта

Отмечено, что внесение в молоко муки из полбы оказывает стимулирующее действие на микрофлору закваски, которое выражается в повышении кислотообразующей способности. При этом уменьшается время сквашивания, увеличивается вязкость сгустка. Можно предположить, что это связано с высоким содержанием питательных веществ в зерновом компоненте, которые могут быть использованы микроорганизмами закваски для более интенсивного развития.

Дополнительно было изучено влияние внесения муки из полбы на влагоудерживающую способность продукта. Анализ графика синерезиса, представленного на рис. 2, свидетельствует о том, что при добавлении в йогурт при сквашивании муки из полбы в количестве 5% полученный сгусток обладает влагоудерживающей способностью в 2 раза выше, чем контрольный образец йогурта. Это можно объяснить тем, что зерно полбы состоит из двух фракций крахмальных гранул – крупных (30–50 мкм) и мелких (до 10 мкм) и обладает высокой водосвязывающей способностью [3].

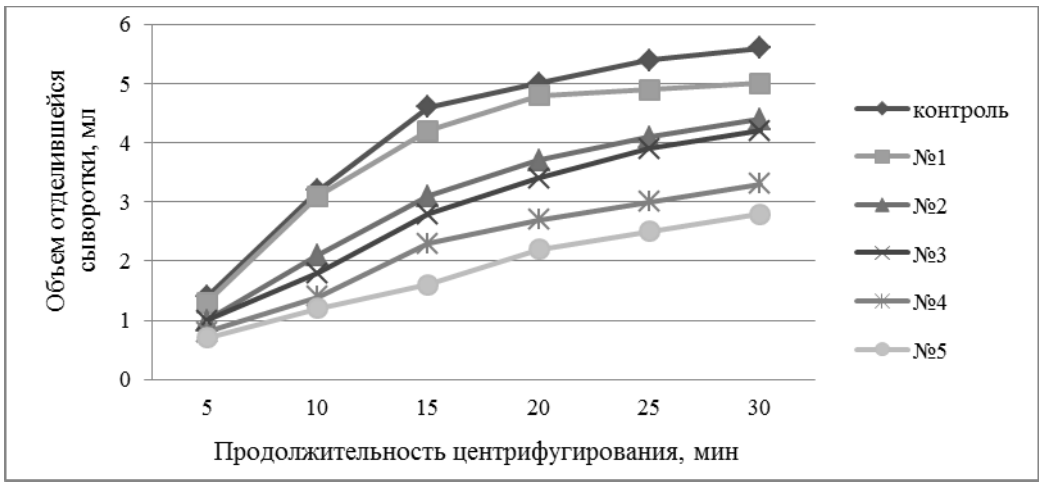


Рис. 2. Изучение влагоудерживающей способности образцов йогуртов с мукой из полбы

С целью расширения ассортиментного ряда йогуртов с мукой из полбы, а также для достижения желаемого вкуса и текстуры продукта проводили исследования по подбору различных плодово-ягодных наполнителей.

В качестве наполнителей были использованы: сахар, джемы – клубничный, черносмородиновый; мед; фруктовые пюре – яблочное, персиковое. В результате проведенного эксперимента для улучшения вкусовых характеристик йогурта с мукой из полбы было решено использовать сахар, а также различные джемы и конфитюры, например, клубничный и черносмородиновый, в количестве не более 5%. Добавление большего количества наполнителя придает продукту излишне сладкий, интенсивный вкус, при меньших концентрациях наполнителя – вкус недостаточно выраженный.

Далее были проведены исследования изменений органолептических, физико-химических, микробиологических показателей в процессе хранения. Исходя из полученных данных, можно отметить, что большей стабильностью органолептических показателей при хранении обладал образец йогурта с мукой из полбы и клубничным джемом. Характеризуя данный образец, стоит отметить, что он имел более гармоничный и выраженный вкус, потеряв лишь свою интенсивность к концу срока хранения и приобретя еле уловимый посторонний признак (кислый) и незначительное отделение сыворотки.

В процессе хранения в контрольном образце повысился показатель титруемой кислотности, что негативно сказалось на его органолептической оценке, так как преобладал кислый вкус продукта. В опытном же образце сладкий вкус за счет внесенного джема несколько смягчал вкус.

В результате проведенных исследований рекомендуемый срок хранения йогурта с мукой из полбы составляет 5 дней. При более длительном хранении в продукте значительно повышается кислотность за счет внесенной муки и происходит ухудшение органолептических показателей.

Проведен расчет биологической ценности разработанного йогурта с полбой. В результате расчета можно сделать вывод, что йогурт с добавлением полбы обладает высокой биологической ценностью и будет хорошо усваиваться организмом, а значит, его можно рекомендовать для употребления в пищу в качестве продукта профилактической направленности.

В работе выполнен расчет массовой доли жира йогурта с полбой, которая составила 2,5%. Несмотря на то, что фактически массовая доля жира в продукте с полбой та же, что и в контрольном образце, качественный состав липидной составляющей йогурта с полбой изменился. При потреблении 100 г йогурта с добавлением полбы обеспечивается необходимый уровень НЖК, составивший 74,2%. Содержание мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) составило 37,8%. Благодаря добавлению полбы в йогурте увеличилось содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), равное 7,4%, а также содержание омега-3 и омега-6 кислот (1,15 и 2,36 соответственно).

В связи с разработкой нового продукта – йогурта с мукой из полбы необходимо провести расчет технико-экономических показателей. В результате расчетов получено, что производство разработанного продукта требует несколько больших затрат по сравнению с изготовлением базового продукта, но при этом разработанный йогурт с мукой из полбы имеет повышенную биологическую ценность и является источником углеводов и белка.

Промежуточные результаты. В ходе работы была установлена возможность использования муки из полбы при производстве йогурта. Выбран рациональный режим внесения муки из полбы в нормализованную молочную смесь, определена доза

вносимой добавки, изучено изменение физико-химических показателей при сквашивании йогурта с полбой. Проведено комплексное исследование органолептических показателей полученных образцов йогуртов. Теоретически обосновано, что введение муки из полбы в рецептуру йогуртов способствует обогащению их макро- и микронутриентами. Исследована динамика органолептических и физико-химических показателей качества разработанной продукции в процессе хранения.

Основной результат. Разработана рецептура и технология йогурта, обогащенного зерновым сырьем – полбой.

Литература

1. Сарафанова Л.А. Применение пищевых добавок в молочной промышленности. – СПб.: Профессия, 2010. – 224 с.
2. Батурин А.К., Мендельсон Г.И. Питание и здоровье: проблемы XXI века // Пищевая промышленность. – 2005. – № 5. – С. 105–107.
3. Баженова И.А. Исследование технологических свойств зерна полбы (Triticumdicoccum Schrank.) и разработка кулинарной продукции с его использованием: дисс. канд. техн. наук : 05.18.15. – СПб., 2004. – 143 с.

Накибова Джамиля Закировна
Год рождения: 1990
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4225
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: Jona90@mail.ru

УДК 637.344

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ СОКОСОДЕРЖАЩИХ СЫВОРОТОЧНЫХ НАПИТКОВ

Д.З. Накибова
Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.П. Сучкова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615872 «Биотехнология поликомпонентных продуктов питания функционального и специального назначения».

Молочная сыворотка обладает особой ценностью для организма. Состав молочной сыворотки богат витаминами А, Е, С, группы В, причем содержит достаточно редкие формы витаминов B_7 и B_4. Польза холина для организма проявляется в улучшении работы мозга, усилении памяти. Богат продукт этот и минеральными солями магния, а также фосфора [1–6].

Молочная сыворотка может выступать не только, как самостоятельный продукт, но и употребляться для приготовления напитков. С ней прекрасно сочетаются ягодные и фруктовые соки.

Целью исследования являлась разработка рецептуры сокосодержащего кваса на основе молочной сыворотки.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

1. провести анализ литературных источников по теме исследования;
2. исследовать показатели качества восстановленной молочной сыворотки как основы для производства сокосодержащего сброженного напитка – кваса;
3. подобрать закваски на основе чистых культур дрожжей и молочнокислых микроорганизмов и определить дозу их внесения;
4. подобрать растительные наполнители для формирования органолептических свойств напитка и определить дозу их внесения;
5. разработать рецептуру и технологию сокосодержащего кваса на основе молочной сыворотки;
6. исследовать органолептические и физико-химические свойства готового продукта.

Квас – традиционный славянский кислый напиток, который готовят на основе брожения из муки и солода (пшеничного, ячменного) или сухого ржаного хлеба, иногда с добавлением пахучих трав, меда, вощины; также готовится на основе соков свеклы, фруктов, ягод. Одним из часто используемых компонентов является клюквенный сок. В ягодах клюквы содержится полная коллекция полезных веществ, свойственных ягодным культурам. Клюква богата сахарами, органическими кислотами, пектинами и витаминами. В ягодах встречается лимонная, бензойная, урсоловая, хинная, хлорогеновая, яблочная, олеандровая, янтарная и щавелевая кислоты, достаточно большое (относительно других ягод) количество пектинов.

При разработке продукта в качестве основы для производства квасов была выбрана восстановленная подсырная сыворотка. Сыворотку восстанавливали с содержанием сухих веществ 7,5–8%. Концентрация сухих веществ в сыворотке была несколько повышена с учетом последующего введения сока при производстве напитка.

При производстве опытных образцов кваса в качестве основного сырья использовались хлебопекарные дрожжи, сахар и концентрат квасного сусла.

В экспериментах в восстановленную подсырную сыворотку при температуре 20±2°С вносили концентрат квасного сусла (ККС) в количестве 3,2%, сахар в количестве 4% и хлебопекарные дрожжи в количестве 1, 2 и 3% и сбраживали образцы в течение 8 ч в соответствии с базовой технологией хлебного кваса.

Образец № 1 с дозой дрожжей 1% имел низкий уровень кислотности. Наблюдалось медленное нарастание титруемой кислотности. Образец № 2 с дозой внесения 2% имел невыраженный вкус, не имел специфического послевкусия, появился слабый дрожжевой запах. В образце № 3 с дозой внесения 3% появился резкий дрожжевой запах, не свойственный квасу, появилось горьковатое послевкусие.

Кислотность нарастала в образцах № 2 и № 3 более равномерно, но по органолептическим показателям они не отвечали заявленным требованиям.

На основании проведенного исследования было решено дополнительно использовать закваски КДС на чистых культурах молочнокислых бактериях. Было высказано предположение, что это может улучшить органолептические показатели готового продукта.

В каждый из исследуемых образцов было внесено по 2% закваски. При внесении 2% закваски органолептические показатели мало изменились, поэтому было решено увеличить дозу внесение закваски КДС до 3%.

Кислотность в образцах нарастала достаточно равномерно. В образцах с дозой закваски 3% процесс сбраживания протекал более интенсивно и уже через 4 ч показатель кислотности достигал значения, которое образец с дозой закваски 2% достигал за 6 ч.

Органолептические показатели кваса с применением 3% закваски значительно улучшились, появился сладковатый вкус, свойственный квасу, и исчезло горьковатое послевкусие.

На основании проведенного исследования был выбран вариант с дозой хлебопекарных дрожжей 2% и дозой внесения закваски КДС 3%.

Для придания квасу большей оригинальности и на основании традиции производства русского кваса было решено внести в состав напитка сок клюквы. Отрабатывалась доза внесения 3, 6 и 9%. В образцах с дозой 3% в квасе вкус клюквы практически не ощущался, в образцах с дозой 6% ощущался вкус клюквы, который не перебивал вкус кваса, что значительно улучшило органолептические показатели продукта. В образцах с 9% в квасе ощущался преобладающий вкус клюквы, который перебивал вкус кваса. Исходя из проведенных экспериментов, была установлена доза внесения сока клюквы в количестве 6%.

В опытных образцах к концу процесса приготовления наблюдалось появление видимого осадка, напиток был мутным и малопривлекательным на вид. Это, видимо, связано с особенностями состава и применения подсырной сыворотки. Для улучшения консистенции и придания напитку улучшенных потребительских свойств был подобран стабилизатор и экспериментальным путем определена доза его внесения. В качестве стабилизатора структуры был выбран пектин, так как он хорошо работает в кислых средах и в сокосодержащих композициях. Первоначальная доза пектина устанавливалась 2%. Полученный опытный образец имел видимый осадок. При такой дозе внесения практически ничего не изменилось в показателях продукта. Вследствие этого дозу пектина увеличили в 2 раза до 4%, и в результате в полученном образце удалось избежать появления видимого осадка. На основании этих исследований была установлена доза внесение стабилизатора пектина в количестве 4%.

На основании результатов исследования и в результате определения органолептических показателей опытных образцов, экспериментально были подобраны дозы компонентов разрабатываемого продукта, и составлена рецептура опытных образцов с соком и без него (контроль) (таблица).

Таблица. Рецептура опытных образцов разрабатываемого продукта

Компоненты	Количество вносимого компонента, кг		
	Контроль	Образец №1	Образец №2
Сыворотка	925,2	912	872
Сахар	40	40	80
Дрожжи	2,8	2,8	2,8
Сок клюквы	–	6	6
ККС	32	32	32
Пектин	–	4	4
Закваска	–	3,2	3,2
Итого	1000	1000	1000

В образце № 1 доза внесения сахара устанавливалась в количестве 4%. Квас получился мало сладким, был привкус горечи, а в образце № 2 с содержанием сахара 8%, квас получился сладковатым, без привкуса. Параллельно для сравнения вырабатывался контрольный образец кваса без вкусовых наполнителей и без сока.

Все образцы после составления смеси помещаются в термостат для брожения при температуре 20±2°С на 12 ч. По истечению заданного времени оценивались органолептические показатели образцов (рисунок).

В результате анализа органолептических показателей образцов более высокую балльную оценку получил образец № 2.

На основании результатов проведенных исследований была разработана технология сокосодержащего кваса на основе молочной сыворотки.

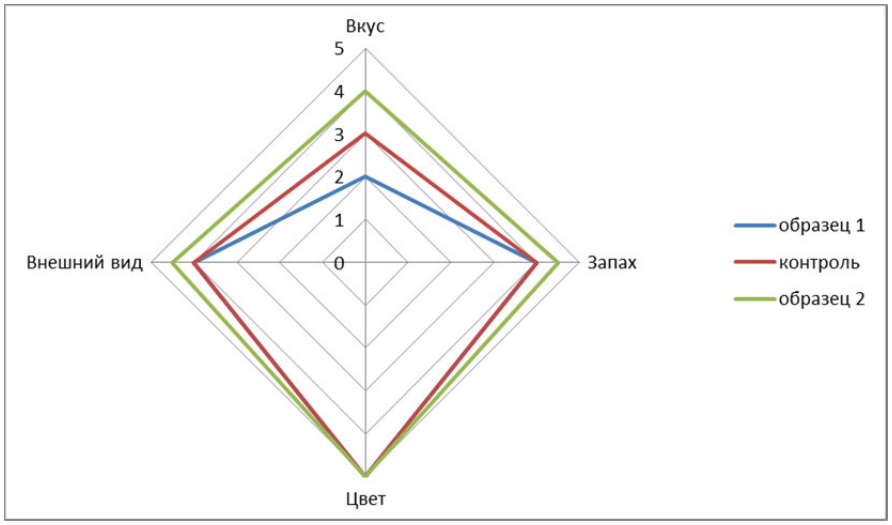


Рисунок. Профилограмма органолептических показателей опытных образцов напитка

Литература

1. Жидков В.Е. Научно-технические основы биотехнологии альтернативных вариантов напитков из молочной сыворотки. – Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000. – 143 с.
2. Залашко М.В. Биотехнология переработки молочной сыворотки. – М.: Агропромиздат, 1990. – 192 с.
3. Королев Д.А. Русский квас. – М.: Пищепромиздат, 1963. – 55 с.
4. Храмцов А.Г., Василисин С.В. Промышленная переработка вторичного молочного сырья. – М.: ДеЛи, 2003. – 99 с.
5. Храмцов А.Г. Молочная сыворотка. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
6. Храмцов А.Г. и др. Технология продуктов из вторичного молочного сырья. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 422 с.

Плотников Денис Андреевич
Год рождения: 1994
Факультет программной инженерии и компьютерной техники,
кафедра компьютерных образовательных технологий,
группа № Р4220
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии
e-mail: denispifmo@gmail.com

УДК 311.42

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КЛАССИФИКАЦИИ УРОВНЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Д.В. Плотников
Научный руководитель – к.п.н., доцент Ю.А. Жук

Одно из популярных направлений мониторинга и диагностики различных образовательных показателей – это использования методов статистического анализа для принятия решений и прогнозирования. С помощью этих методов можно выделить из больших объемов данных о студентах, которые накоплены в автоматизированных

системах вуза или получены другими способами, ранее неизвестные знания или закономерности, которые могли помочь в повышении эффективности образовательного процесса. Эти данные могут быть различными: скрытые паттерны, зависимости между параметрами, которые до этого момента не были замечены, прогнозы. Идея создания системы прогнозирования результатов обучения на основе методов машинного обучения представляется актуальной задачей.

Цель исследования: разработка модели и программного обеспечения для прогнозирования успеваемости студентов в вузе с учетом данных, накопленных за определенный период времени.

Задачи исследования:

- проанализировать имеющиеся методы классификации с использованием алгоритмов машинного обучения в образовательной сфере;
- выбрать наиболее эффективный метод для прогнозирования успеваемости студентов;
- разработать модель классификации уровня знаний студентов;
- сравнить эффективность различных алгоритмов машинного обучения для прогнозирования успеваемости студентов.

С развитием информационных технологий и упрощением процессов накапливания и обработки больших объемов информации, все больше развивается направление использования статистических методов для прогнозирования успехов. В данной работе рассмотрена одна из подзадач персонализации образования – прогнозирование успехов студента в обучении с использованием методов машинного обучения.

Ряд исследований посвящен теме поиска эффективного алгоритма для прогнозирования успехов студентов в обучении. В работе [1] португальские исследователи из University of Minho протестировали несколько алгоритмов машинного обучения, лучшие результаты показал метод RF (случайных деревьев). В исследовании [2] авторы работы сравнивали три различных алгоритма машинного обучения: наивный Байес, нейронные сети и одну из модификаций дерева решений. Все алгоритмы показали примерно равную точность классификации. Самое масштабное по количеству обработанных анкет студентов (более 21 тысячи) исследование [3] было проведено в университете Хильдесхайм (Германия), результаты, которые были получены в этом исследовании, показали, что наивный Байес дал менее эффективные показатели по сравнению с методом опорных векторов.

Таким образом, анализ некоторых исследований из области применения алгоритмов машинного обучения в прогнозировании успехов студентов показывает, что эта тема достаточно актуальна на данный момент.

Анализ исследований, связанных с использованием машинного обучения в прогнозировании результатов студентов, показал, что в среде исследователей нет определенного мнения о четком преимуществе одного или нескольких алгоритмов над остальными. Одним из направлений дальнейшего исследования данной темы можно предложить протестировать композиционные алгоритмы или бустинг для классификации уровня знаний студентов, а именно алгоритм AdaBoost, в качестве основного для построения прототипа системы прогнозирования успеваемости студентов. Этот выбор основан на предположении, что благодаря своей способности к обобщению и адаптивности этот метод покажет наилучшие результаты на образовательных данных.

У AdaBoost существует множество модификаций, которые отличаются способами перерасчета весов и коэффициентов другими критериями остановки

обучения, специализацией решения задач разного вида классификации и логистической регрессии. Часто при использовании AdaBoost в качестве слабых классификаторов стараются использовать простые, быстро обучающиеся алгоритмы [4]. В настоящей работе в качестве слабых классификаторов были выбраны: наивный Байес, нейронные сети.

В ходе работы по сбору и фильтрации данных была составлена выборка из 95 элементов. Данные были получены из двух источников. Задачу классификации можно сформулировать следующим образом: дана обучающая выборка (x_i, y_i) i=1 ,…, n; $x \in R\hat{}m$, где x_i – множество параметров каждого элемента (каждый x_i соответствует одному студенту), n(95) – количество элементов выборки, m(79) – количество параметров элемента. Выборка, включающая в себя выгрузку баллов из системы дистанционного обучения и данные, полученные в ходе анкетирования, имеет 79 параметров, по отдельности 32 параметра имеет выборка, состоящая только из данных AcademicNT, 47 параметров – данные анкетирования, $y \in \{-1, 1\}$ – значения классов, где –1 – соответствует «студент не закрыл вовремя модуль», а 1 – «студент закрыл вовремя модуль».

Задача обучения алгоритма: найти разделяющую функцию $f(x, w_\text{opt})$ из параметрического множества $f(x, w)$, которая разделяет примеры различных классов на y.

Реализация алгоритмов осуществлялась с помощью известного открытого статистического пакета (макроязыка) *R* с использованием пакетов Rminer, klaR, neuralnet, adabag.

Первым этапом исследования было обучение и тестирование алгоритма наивного Байеса и нейронной сети. После этого был реализован алгоритм AdaBoost и в качестве слабого классификатора был установлен наивный Байес. Так как точность классификации такой композиции, как было установлено, напрямую может зависеть от количества итерации обучения, проводилось определение точности классификации. В качестве показателя качества классификации была использована точность классификации ACC, которая определяется, как доля правильно классифицированных данных к общему числу всех данных. Получив количество итераций, на котором алгоритм AdaBoost с наивным Байесом показывает максимальную точность классификации – это количество использовалось для обучения AdaBoost с нейронной сетью. Так как точность классификации нейронной сети может изменяться с количеством скрытых слоев, была вычислена точность классификации алгоритма AdaBoost с нейронными сетями в качестве слабого классификатора при увеличении количества скрытых слоев. В табл. 1, 2 отображены результаты тестирования алгоритмов.

Таблица 1. Результаты тестирования AdaBoost с наивным Байесом

Итерации	10	15	20	25	30	35	40	45	50
ACC	0,814	0,897	0,906	0,921	0,924	0,924	0,920	0,914	0,909

AdaBoost с нейронной сетью в качестве слабого классификатора был протестирован с изменением количества скрытых слоев в нейронных сетях.

Таблица 2. Результаты тестирования AdaBoost с нейронной сетью

Количество слоев	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ACC	0,891	0,897	0,897	0,897	0,897	0,9	0,92	0,92	0,92	0,92

В табл. 3 изображено сравнение ACC полученных алгоритмов обученных и протестированных на двух выборках, первая, которая содержала только данные из ЦДО, вторая – с дополнительными данными, полученными с помощью анкетирования. Алгоритм AdaBoost показал себя как эффективный классификатор для работы с образовательными данными.

Таблица 3. Сравнение точности алгоритмов

Выборка	Нейронная сеть (NN)	Наивный Байес (NV)	AdaBoost + NN	AdaBoost + NV
Данные AcademicNT	0,537	0,701	0,814	0,909
Данные AcademicNT +анкетирование	0,696	0,798	0,897	0,924

В ходе исследования было установлено, что композиционный алгоритм классификации AdaBoost с наивным Байесом в качестве слабого классификатора показал себя, как наиболее эффективный алгоритм для работы с образовательными данными. Его точность классификации выше, чем у других алгоритмов.

Использование данного алгоритма позволит классифицировать не только по выбранным в данной работе классам, но и по многим другим. Например, можно использовать алгоритм для прогнозирования: сдаст ли студент определенный экзамен, будет ли продолжать обучение в магистратуре, будет ли он получить стипендию. Так же при определенном отборе данных можно использовать алгоритм для классификации студентов по признаку предрасположенности к определенным наукам или областям знаний, например, математика или физика, технические науки или гуманитарные. Также нет каких-то ограничений на использование в качестве объектов классификации целых групп вместо отдельных студентов.

В таких возможностях заложен большой педагогический и образовательный потенциал. Прогнозирующую систему можно использовать для создания системы рекомендаций преподавателям и другому персоналу, участвующему в образовательном процессе. Такие рекомендации предоставляют возможности для повышения персонализации образования и качества планирования образовательных и административных процессов.

В ходе данной работы был получен только прототип системы классификации, но после архитектурного и функционального улучшения ее можно использовать для решения практических задач. Возможно несколько реализаций данного прототипа как конечного продукта [5].

Во-первых, как отдельная утилита для классификации данных. Во-вторых, как встроенный модуль в информационную систему вуза. Учитывая гибкость применения алгоритма к различным задачам, возможна множественная реализация классификации в разных частях системы.

В ходе работы были сделаны следующие выводы:

1. на основе проведения библиографической работы выявлены наиболее эффективные алгоритмы для прогнозирования успеваемости в образовательном процессе: метод опорных векторов, нейронные сети, наивный байесовский классификатор, дерево решений, методы композиции;
2. исследование точности классификации различных алгоритмов машинного обучения показало, что композиционный алгоритм классификации AdaBoost с

наивным Байесом в качестве слабого классификатора – наиболее эффективный алгоритм для работы с образовательными данными;
3. экспериментальные исследования влияния дополнительных данных о студентах на точность классификации их успеваемости показали, что сведений, которые находятся в базах данных вузов достаточно для эффективного прогнозирования уровня знаний учащихся;
4. реализованный прототип системы прогнозирования успеваемости студентов на основе композиционного алгоритма классификации обладает большим потенциалом в области решения различных образовательных задач.

Литература

1. Acharya A., Sinha D. Early Prediction of Students Performance using Machine Learning Techniques // International Journal of Computer Applications. – 2014. – № 107(1). – P. 37–43.
2. Huebner R.A. A survey of educational data-mining research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aabri.com/manuscripts/121328.pdf, своб.
3. Olokar B.S., Deshmukh V.M. Application of Data Mining Technique for Prediction of Academic Performance of Student A Literature survey // International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. – 2014. – V. 2(12). – P. 3962–3965.
4. Мерков А.Б. Введение в методы статистического обучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.recognition.mccme.ru/pub/RecognitionLab.html/slbook.pdf, своб.
5. Schapire R.E., Freund Y., Lee W.S., Bartlett P. Boosting the margin: a new explanation for the effectiveness of voting methods // Annals of Statistics. – 1998. – V. 26(5). – P. 1651–1686.

Пятышев Евгений Игоревич
Год рождения: 1992
Факультет информационных технологий и программирования, кафедра речевых информационных систем, группа № М4220
Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы
e-mail: epyatishev41@gmail.com

УДК 004.934

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИЯЗЫЧНОЙ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАТНЫХ РЕСУРСОВ

Е.И. Пятышев
Научный руководитель – д.т.н. Ю.Н. Матвеев

В работе рассмотрены методы построения систем распознавания речи для французского и английского языков посредством инструментария Kaldi Toolkit и разработан универсальный рецепт для обучения моделей распознавания речи на произвольном европейском языке. Инструментарий Kaldi представляет собой набор программ, написанных на C++, с помощью которых можно производить построение акустических и языковых моделей. Данный инструментарий обладает открытой лицензией и простым интерфейсом. В работе представлены результаты тестирования моделей распознавания речи для различного рода данных.

Ключевые слова: распознавания речи, Kaldi Toolkit, мультиязычные системы распознавания речи.

С доисторических времен до современных средств массовой информации человек использует речь, как главное средство обмена информацией и социальных взаимосвязей. Приоритет данного способа связи между людьми находит отражение во взаимодействии между человеком и компьютером [1]. Графический интерфейс пользователя большинства компьютеров основан на легко представляемых объектах: окно, иконка, меню и указатель. Все команды ввода зависят от нажатия на кнопку клавиатуры и клика мыши, а вывод осуществляется посредством монитора. Современные компьютеры нуждаются в свойственных человеку возможностях слушать, говорить, понимать и обучаться. Речь вкупе с другими природными модальностями будет играть важнейшую роль в структуре интерфейса операционных систем. Речевые информационные системы будут внедряться в домашние, офисные, мобильные сегменты, для изменения образа нашей жизни [2].

За последние десятилетия статистические методы обработки данных показывают все более и более обнадеживающие результаты, которые, как правило, на основе моделирования речевого сигнала с использованием качественно определенных статистических алгоритмов могут автоматически извлекать знания из данных. Данный подход можно рассматривать, как задачу распознавания образов [3]. Однако при использовании статистических методов никоим образом не исключается инженерный подход к извлечению знаний [4]. При обработке данных требуется вносить в модель знания о природе распознавания речи. Таким образом, статистический и инженерный методы дополняют друг друга.

Типичная система распознавания речи состоит из компонент, изображенных на рисунке [5]. Интерфейс приложений, реализующий декодер, получает на вход результат распознавания, и, в свою очередь, может производить адаптацию всех других элементов системы.

Акустические модели включают в себя представление знаний об акустике, фонетика, типе микрофона и изменчивости среды, гендерные и диалектные различия между дикторами и т.д.

Модели языка относятся к системе знаний о том, что представляет собой возможное слово, какие слова с большей вероятностью совместно встречаются в данном языке, и в какой последовательности. Семантическую особенность системы распознавания речи пользователь может задавать также через языковую модель.

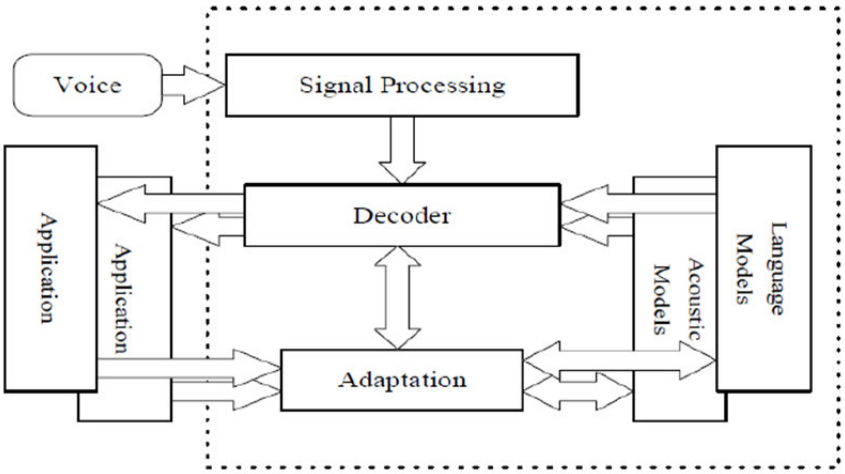


Рисунок. Стандартная схема системы распознавания речи

В задаче распознавания речи существует огромное количество проблем. В основном они связаны с характеристиками акустических систем, речевого стиля и скорости произнесения диктора, распознавания основных речевых сегментов, возможных слов, вероятных слов, неизвестных слов, грамматических вариаций слов, шумовых помех. Качественная система распознавания речи должна бороться со всеми этими неопределенностями. Акустические неопределенности различных акцентов и разговорные стили отдельных дикторов усугубляются лексической и грамматической сложностью разговорного языка, которые представлены в языковой модели.

В последние годы можно было наблюдать огромное количество программных интерфейсов (API) для распознавания речи. С одной стороны, имеются коммерческие системы, такие как AT&T Watson, Microsoft Speech Server , Google Speech API и Nuance Recognizer, Yandex SpeechKit. С другой стороны, имеется огромный набор Open-Source инструментов: Hidden Markov Model Toolkit (HTK) при совместной работе с HDecode и Julius [6], pocketSphinx, Sphinx-4, Kaldi Toolkit [7].

При выборе существующих решений стоит иметь в виду, что для коммерческих систем используется так называемый потоковый режим распознавания (streaming mode). Таким образом, как только человек начинает произносить свой запрос, первые звуки его запроса маленькими кусочками отправляются на сервис распознавания. Сервис работает в реальном времени и к моменту, когда человек уже закончил произносить свой запрос, он уже находится на сервисе и распознан. Нужно получить только результат в виде текста, как правило, это происходит очень быстро при условии хорошего интернет-соединения. Это позволяет строить голосовые интерфейсы с высокой обратной связью. Однако если ваша задача – внедрить автоматическое распознавание речи в банковскую систему безопасности, то лучше ограничиться развертыванием локальной ASR с использованием общедоступных систем на локальной машине.

Стоимость использования коммерческих инструментов зависит чаще всего от числа запросов к системе и времени использования.

В работе большее внимание было уделено инструментарию Kaldi Toolkit. Kaldi является инструментальным средством для распознавания речи, написанным на C++ и распространяющимся по лицензии Apache v2.0. Целью данного программного средства является возможность иметь современный и гибкий код, написанный на C++, который легко модифицировать и расширять. Так как лицензия Apache является популярной BSD-like лицензией, каждый человек может использовать Kaldi бесплатно и распространять его даже в коммерческих целях. С юридической точки зрения, ни один из участников проекта Kaldi не имеет особых статусных прав – это проект сообщества, а значит, не существует «законных владельцев» проекта Kaldi. Проект Kaldi включает в себя несколько важных особенностей:

1. интеграция кода с Finite State Transducers (FSTs). OpenFST toolkit используется в Kaldi как библиотека;
2. обширная поддержка линейной алгебры (BLAS, LAPACK);
3. работа от широкодоступных баз данных, таких, которые предусмотрены Консорциумом лингвистических данных (LDC);
4. использование обобщающих алгоритмов и рецептов.

Доступ к модулям, реализованных в библиотеках Kaldi, производится через вызов скриптов из командной строки, которые, в свою очередь, собраны из методов и функций, написанных на C++. Именно таким образом происходит построение и тестирование системы распознавания речи.

Каждый инструмент имеет очень специфическую функциональность и небольшой набор аргументов. Например, есть отдельные исполняемые файлы для

накопления статистики, формирования отчетов, а также для обновления GMM (Gaussian Mixture Models) на основе акустической модели с использованием максимального правдоподобия. Кроме того, из инструментов можно выстраивать целые цепочки из запусков с использованием «пайпов», что делает код приятным и понятным для чтения.

Для того чтобы избежать «гниения кода», разработчики попытались структурировать инструментарий таким образом, чтобы внедрение новой функции или опции влекло за собой только добавление нового кода и средств командной строки, а не требовало изменения старого кода инструментария.

Важнейшим преимуществом Kaldi является наличие готовых рецептов для общедоступного речевого корпуса Voxforge. Данный проект ставит перед собой цель – повышение качества речевых данных, которые будут использоваться в системах распознавания речи. В рамках проекта собраны голосовые базы данных на нескольких языках – английском, русском, немецком, итальянском, голландском, испанском французском языках. База данных свободно распространяется под GPL (General Public License) и содержит записи, разбитые на небольшие сегменты речи в оригинальной записи и транскрипции формате. Некоторые части данных содержат дополнительные маркировки, например маркировка интонации, точность сегментации и так далее. Для каждого диктора в базе Voxforge сохраняется его пол и возраст. Также диктор указывает на свои особенности в диалекте. Объем данных чистой речи для нескольких языков популярных языков: английский – 78 ч речи и более ста дикторов, русский – 10 ч речи и более двух сотен дикторов, немецкий и голандский язык – примерно 10 ч речи. Скорость наполнения базы очень высока – рост данных корпуса на английском языке составляет около 5 ч в месяц. Растет и количество поддерживаемых языков, в апреле 2007 г. база данных содержала записи только на английском языке, в 2008 г. – уже на 8 языках.

Проект совершенствует фонетические словари, приложения для обработки данных, разметки речи на речевые сегментов, используется для построения акустических моделей в системах распознавания речи CMU Sphinx, HTK и Julius. Для Julius основой акустической модели является VoxForge.org. Акустические основы служат не только для создания систем распознавания. Например, русский язык использовался для построения модели синтеза речи.

Инструментарий Kaldi широко используется для построения систем распознавания речи на английском языке. В его реализации присутствуют рецепты для обучения качественных акустических моделей на общедоступных речевых корпусах Voxforge, Librispeech. Также для английского языка существуют обученные языковые модели. Однако когда требуется построить систему распознавания для какого-либо другого языка, то появляется проблема поиска качественных обучающих данных. В данной работе на примере французского языка был описан рецепт построения системы распознавания речи с использованием Kaldi Toolkit. Данный подход был протестирован на нескольких европейских языках (испанский, английский, немецкий).

На первом этапе написания работы были рассмотрены потенциальные возможности Kaldi Toolkit [7] со стороны акустического моделирования. Для обучения использовалось 74 ч речи на английском языке из базы данных Voxforge. В качестве тестового множества использовалось 60 мин речи (5112 слов).

Последовательность построения обучения представлена в табл. 1. Можем видеть, что по мере усложнения моделей качество распознавания улучшается. К сожалению, с ростом размеров обучающих данных, скорость обучения моделей также возрастает. К примеру, для построения DNN (Deep Neural Network) модели на 74 ч речи потребовалось порядка 48 ч.

Таблица 1. Результаты тестирования моделей распознавания речи для английского языка

Модель	Word Error Rate
Монофонная (mono)	57,81%
Трифонная (tri1)	33,69%
tri1 + [LDA + MLLT] (tri2b)	31,41%
tri2b + MMI(tri2b_mmi)	22,44%
tri2b + [SAT + MMI] (tri3b_mmi)	18,88%
tri3b_mmi + SGMM(sgmm_4a)	14,53%
sgmm_4a + MMI(sgmm_4a_mmi)	13,00%
DNN(nnet_5d)	9,5%

Построение нового корпуса из аудиокниг началось с написания кроулера хостинга Librivox. Реализация выполнена с помощью языка программирования Python. В реализацию кроулера была встроена функция проверки наличия ссылки на сайт Gutenberg.org, на котором хранится большинство текстов аудиокниг, представленных в корпусе Librivox. К сожалению, данная надстройка в большинстве случаев не срабатывает, поэтому для большего числа аудиокниг текстовки требовалось подбирать в ручном режиме. В результате работы граббера удалось выгрузить порядка 500 ч неразмеченных аудиокниг с текстовками.

В результате запусков автоматической сегментации Kaldi Toolkit, с использованием базовых моделей авторам удалось получить корпус, размером 200 ч из сегментов длиной от 5 до 15 с.

Для улучшения конечного качества распознавания требовалось провести переобучение языковой модели. К уже имеющимся текстовкам с Voxforge, были добавлены текстовки отсегментированных книг (порядка 1 млн слов) и тексты архивных статей с сайта французской интернет-газеты La-croix (порядка 12 млн слов). Обучение модели происходило посредством SRI Language Modeling Toolkit.

Размер текстов для обучения языковых моделей нельзя назвать большим, однако усложнение языковой модели приводит к проблемам при декодировании результатов, а именно нехватка ресурсов оперативной памяти компьютера.

В качестве оценки результатов обучения моделей были собраны несколько тест-кейсов. На нескольких из них для сравнения приведены результаты распознавания с использование Google ASR API для французского языка (табл. 2).

Таблица 2. Сравнительный анализ систем распознавания речи

Тест-кейс	Количество слов	Количество дикторов	Out of vocabulary words	Kaldi (tri2b) WER (%)	Google API WER (%)
Аудиокниги Librivox	8500	3	10	29,17	–
Новости EuroNews.fr	8451	60	104	48,01	38,42
Подкасты	1949	10	11	38,84	15,55

В работе был представлен обзор основных методов, моделей и алгоритмов распознавания речи. Главным элементами системы распознавания речи можно называть декодер, акустическую и языковую модель. Каждый из этих элементов является алгоритмически сложным объектом. Моделирование акустических данных производилось с помощью новейших алгоритмов распознавания образов «глубинные нейронные сети» (DNN), и более устоявшихся в мире машинного обучения «скрытые

марковские модели» (HMM). Обучение языковых моделей производится посредством *n*-gram моделей и рекуррентных нейронных сетей (RNN). Авторы постарались описать только самые общие понятия, так как данная работа в большей степени ориентирована на получение практических результатов.

На следующем этапе был проведен обзор существующих инструментов и решений для построения систем распознавания речи. Авторы убедились, что существует огромный пласт технологий, позволяющих решать данную задачу. Выбор технологий нужно производить исходя из бизнес-задач. В работе была поставлена задача построения системы распознавания речи без использования платных ресурсов, поэтому программные интерфейсы и речевые базы данных далее будут использоваться только при условии отсутствия затрат на их использование. Еще одним фактором при выборе инструментов создания системы может являться фактор безопасности системы. В данной работе данный фактор не был учтен.

Последняя глава работы была предназначена для демонстрации рецепта для построения моделей распознавания речи для произвольного европейского языка. Были представлены результаты акустического моделирования для английского и французского языков. Обобщение рецепта только на европейские языки обуславливается следующим фактором – в качестве базиса используется уже реализованный рецепт Kaldi Toolkit под названием «voxforge» для построения системы распознавания речи на английском языке. Для построения транскрипций слов, необходимым условием является наличие словаря с вариациями произношения слов. В рецепте «voxforge» для английского языка по умолчанию используется G2P (Grapheme-to-Phoneme) модель, обученная на CMU-Sphinx словаре объемом порядка 134000 слов. Очевидно, что поиск такого словаря для произвольного языка может оказаться непростой задачей, поэтому рецепт ориентирован на популярные европейские языки, для которых имеется возможность получить словарь транскрипций.

Необходимым условием для реализации модели распознавания речи для выбранного языка с использованием данного рецепта является наличие данного языка в базе данных Voxforge. В базе данных Voxforge присутствуют данные для 15 языков, поэтому существует огромный потенциал для расширения мультиязычной системы распознавания, представленной в данной работе.

Стоит отметить, что качество распознавания модели для французского языка имеет потенциал для улучшения. Добиться повышения метрик качества можно за счет усложнения акустической модели. В сравнительном анализе с Google ASR использовалась стандартная трифонная модель (tri2b) на основе HMM с использованием трансформаций для адаптации к диктору (SAT) [8]. Можно убедиться, что использование DNN дает серьезный прирост качества распознавания. Стоит отметить, что именно для DNN-моделей в Kaldi имеется возможность использовать GPU (вместо CPU). Данный подход дает огромный прирост по скорости обучения, однако требует наличия мощной видеокарты и значений в работе с параллельными вычислениями CUDA (Compute Unified Device Architecture).

Литература

1. Тампель И.Б. Автоматическое распознавание речи – основные этапы за 50 лет // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 6. – С. 957–968. doi:10.17586/2226-1494-2015-15-6-957-968.
2. Дырмовский Д., Матвеев Ю., Балыкина Л. Современный рынок речевых технологий // Control Engineering Россия. – 2015. – № 1(55). – С. 18–24.

3. Kukharev G.A., Matveev Yu.N., Shchegoleva N.L. New solutions for face photo retrieval based on sketches // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2016. – V. 26. – № 1. – P. 118–128.
4. Иванько Д.В., Кипяткова И.С., Ронжин А.Л., Карпов А.А. Анализ методов многомодального объединения информации для аудиовизуального распознавания речи // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 3. – С. 387–401. doi: 10.17586/2226-1494-2016-16-3-387-401.
5. Huang X. et al. Spoken language processing: A guide to theory, algorithm, and system development. – Prentice Hall PTR, 2001. – 965 p.
6. Lee A., Kawahara T., Shikano K. Julius – an open source real-time large vocabulary recognition engine // EUROSPEECH. – 2001. – P. 1691–1694.
7. Povey D. et al. The Kaldi speech recognition toolkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://homepages.inf.ed.ac.uk/aghoshal/pubs/asru11-kaldi.pdf,своб.
8. Булгакова Е.В., Матвеев Ю.Н. Оценка надежности автоматических и экспертных методов в рамках решения задачи идентификации диктора по голосу и речи // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2015. – Т. 1. – С. 89–92.

Рейх Диана Александровна
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № B4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: direihe@gmail.com

УДК 621.1.016.4

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Д.А. Рейх
Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

Для комплексного решения задачи нерационального расходования тепловой энергии необходима разработка эффективных и удобных в практической реализации методов и устройств для определения значений основных теплофизических характеристик материалов ограждающих конструкций, таких как: теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость. На сегодняшний день разработка новых надежных и точных методов и устройств для определения важнейших теплофизических свойств является актуальной задачей в сфере строительной теплофизики. Тепловое сопротивление ограждающих конструкций является важным параметром, так как от него зависят такие эксплуатационные характеристики как микроклимат зданий, тепловые потери в зимнее время года, температура внутренней поверхности ограждения, влажностный режим ограждения, и, в конечном счете, потребление энергии системами отопления и кондиционирования, а также расходы на отопление. На данный момент наиболее распространенными являются стационарные и квазистационарные методы измерения теплофизических характеристик: с помощью

тепломера и калориметрический. Однако эти методы обладают рядом существенных недостатков и сложновыполнимых требований:

– требование продолжительного квазистационарного режима;
– общая продолжительность измерений в натурных условиях не менее 15 суток;
– громоздкое оборудование, что делает реализацию исследования сложной в жилых помещениях и др.

Определение граничных условий и теплофизических характеристик по измеренным температурам в отдельных точках исследуемого тела относится к обратным задачам теплопроводности. Для их решения в многочисленных работах предложен метод, основанный на параметрической идентификации дифференциально-разностных моделей путем минимизации функции невязки между модельными и измеренными параметрами, для чего используется рекуррентный цифровой фильтр Калмана. Такой метод дает возможность определить теплофизические характеристики ограждающих конструкций и восстановить граничные условия за короткий период относительно стационарных методов.

В качестве математической модели для описания одномерного процесса теплопереноса через ограждающую конструкцию здания при теплообмене с окружающей средой выбрана дифференциально-разностная модель. При составлении такой модели исследуемое тело разбивается на n элементарных блоков толщиной Δ. Температуры блоков образуют вектор состояния $\mathbf{T}(\tau)$. После составления уравнений теплового баланса для каждого блока, получаем систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. В случае отсутствия зависимости теплофизических свойств от температуры дифференциально-разностная модель выглядит следующим образом:

$$\frac{d}{d\tau}\mathbf{T}(\tau)=\mathbf{F}\mathbf{T}(\tau)+\mathbf{G}\mathbf{U}(\tau), \quad (1)$$

где $\mathbf{F}$ и $\mathbf{G}$ – матрицы обратных связей и управления, включающие в себя параметры системы; $\mathbf{T}(\tau)$ и $\mathbf{U}(\tau)$ – векторы состояния и управления.

Полная математическая модель помимо модели теплопереноса (1) включает также и модель измерений:

$$\mathbf{Y}_k=\mathbf{H}\,\mathbf{T}_k+\mathbf{E}_k,$$

где $\mathbf{Y}_k$ и $\mathbf{E}_k$ – векторы измерений и погрешностей в измерениях; $\mathbf{H}$ – матрица измерений.

При решении обратной задачи теплопроводности искомый тепловой поток $q(\tau)$, температура среды $t_c(\tau)$ или коэффициент теплоотдачи на поверхности тела $\alpha(\tau)$ представляется в виде обобщенного полинома $q(\tau)=\sum_{i=1}^{r} q_i\varphi_i(\tau)$, неизвестные коэффициенты которого определяется с помощью математической модели и результатов измерений, где q_i – неизвестные постоянные параметры, которые должны быть определены в результате решения обратной задачи теплопроводности; $\varphi_i(\tau)$ – система базисных функций. Данная аппроксимация граничных условий называется параметризацией обратной задачи теплопроводности.

При численном моделировании процесса теплообмена предполагается, что теплопроводность λ, плотность ρ, удельная теплоемкость c материала исследуемого тела, а также коэффициенты теплообмена поверхностей тела с окружающей средой не зависят от температуры, т.е. задача является линейной.

В результате параметризации обратной задачи теплопроводности (ОЗТ) формируется вектор искомых параметров $\mathbf{Q}=|q_i|_{i=1}^{r}$. Тогда параметрическая идентификация системы как метод решения граничной ОЗТ заключается в

нахождении его оптимальной оценки $\widehat{\mathbf{Q}}_k$, дающей минимум следующей функции невязок [1]:

$$\Phi(\mathbf{Q})=\sum_{k=1}^{N}[\mathbf{Y}_k-\widehat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q})]^T\cdot\mathbf{R}^{-1}[\mathbf{Y}_k-\widehat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q})],$$

где $\mathbf{Y}_k$ – вектор измерения температуры ПТП, включающий вектор $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ случайных погрешностей измерений [1]; $\widehat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q})$ – модельные (расчетные) значения вектора измерений в функции от $\mathbf{Q}_k$; $\mathbf{R}$ – ковариационная матрица вектора погрешностей измерений $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ с нормальным распределением; k – дискретное время, соответствующее определению $\Delta\tau_k=k\cdot\Delta\tau$.

Для получения оптимальных оценок $\mathbf{Q}_k$ используется рекуррентный алгоритм фильтра Калмана по искомым параметрам [1]. Данный алгоритм для каждого измерения выдает не только саму оценку искомого параметра, но и ковариационную матрицу ошибок, характеризующую точность этой оценки.

Перечисленные ранее методы минимизации функции невязки используются как в функциональной оптимизации, так и в параметрической идентификации, но в большинстве своем представляют собой одношаговые итерационные методы, базирующиеся на анализе всего массива данных о процессе, что является достаточно сложным для рассматриваемых ниже практических задач. В связи с этим в данной работе для минимизации функции невязки выбран многошаговый рекуррентный алгоритм цифрового фильтра Калмана. Данный алгоритм заключается в последовательном определении оптимальных оценок вектора состояния $\mathbf{X}_{k+1}$ размерности $(n\times 1)$, а также ковариационной $(n\times n)$ матрицы $\mathbf{P}_{k+1}$ ошибок оценок вектора состояния по их предыдущим значениям $\widehat{\mathrm{X}}_k$, $\mathbf{P}_k$, вектора измерений $\mathbf{Y}_{k+1}$ и вектора управления $\mathbf{U}_k$.

В качестве алгоритма минимизации функции невязки (1) используется либо расширенный фильтр Калмана [2], либо фильтр Калмана по искомым параметрам, который выглядит следующим образом [1–3]:

$$\mathbf{K}_{k+1}=\mathbf{P}_k\mathbf{H}_k^T[\mathbf{H}_k\mathbf{P}_k\mathbf{H}_k^T+\mathbf{R}]^{-1}, \quad (2)$$

$$\mathbf{Q}_{k+1}=\mathbf{Q}_k+\mathbf{K}_{k+1}[\mathbf{Y}_{k+1}-\widehat{\mathbf{Y}}_{k+1}(\mathbf{Q}_k)], \quad (3)$$

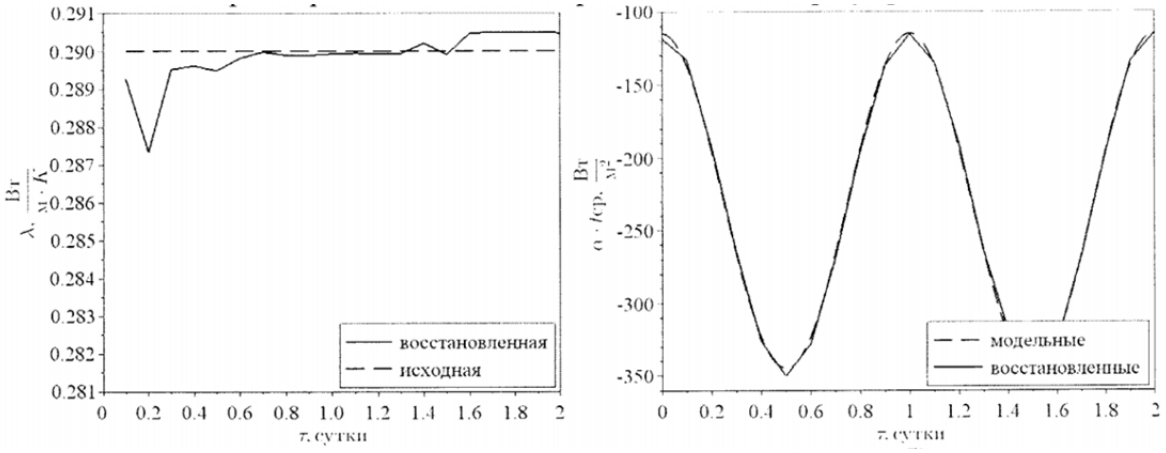
$$\mathbf{P}_{k+1}=\mathbf{P}_k-\mathbf{K}_{k+1}\mathbf{H}_k\mathbf{P}_k, \quad (4)$$

где $\mathbf{K}_{k+1}$ – весовая матрица; $\mathbf{P}_k$ и $\mathbf{P}_{k+1}$ – ковариационные матрицы ошибок оценок вектора параметров для моментов времени k и $(k+1)$ соответственно; $\mathbf{H}_k$ – матрица чувствительности измеряемой температуры к изменению искомых параметров, рассчитанная с использованием $\widehat{\mathbf{Q}}_k$.

В ряде практических задач может возникнуть необходимость одновременного определения нескольких теплофизических характеристик исследуемого объекта. Метод параметрической идентификации дифференциально-разностной модели позволяет одновременно определять теплопроводность и произведение плотности и теплоемкости в ходе одного эксперимента.

Алгоритм параметрической идентификации был реализован в программе Scilab для расчета теплового воздействия и определения теплофизических характеристик исследуемого тела. Для его проверки проведено математическое моделирование экспериментов по определению граничных условий теплообмена между исследуемым телом и окружающей средой, теплофизических характеристик тела, а также по их одновременному определению. Проведенные модельные исследования показали высокую эффективность алгоритма параметрической идентификации дифференциально-разностных моделей для широкого круга задач. В качестве примера на рис. 1 представлены результаты решения комбинированной задачи теплопроводности по восстановлению теплопроводности и уточнению граничных

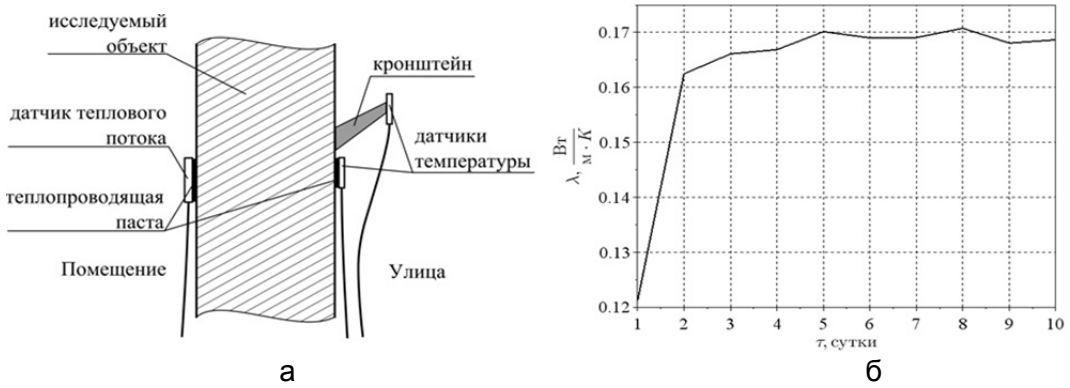
условий для однородной плоской стенки, находящейся в теплообмене с окружающей средой, температура которой меняется по гармоническому закону.



а б

Рис. 1. Результаты одновременного решения граничной и коэффициентной обратной задачи теплопроводности. Восстановление произведения коэффициента отдачи на температуру среды (а), теплопроводности (б)

Преимуществом данного метода является возможность использования оборудования, предназначенного для измерения теплового потока стационарными методами. Для проверки эффективности метода были проведены натурные исследования по определению теплофизических характеристик ограждающих конструкций. Измерения проводись при помощи прибора ИТП-МГ4.03-10 «ПОТОК». На рис. 2 приведена схема установки датчиков и результат исследования.



а б

Рис. 2. Схема измерения (а), восстановленная теплопроводность (б)

В ходе эксперимента измерялся тепловой поток на внутренней поверхности ограждающей конструкции, температура внешней поверхности ограждающей конструкции и наружного воздуха. Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности принимался равным нормативному значению $\alpha_{нар}$=23Вт/(м^2·К). Так как величина коэффициента теплоотдачи зависит от множества факторов, таких как скорость ветра, температура воздуха и поверхности ограждающей конструкции и др., предполагалось, что он известен с большой погрешностью. Для снижения влияния ошибки определения $\alpha_{нар}$ решалась комбинированная обратная задача теплопроводности по определению теплопроводности материала ограждающей конструкции и уточнению произведения $\alpha_{нар}t_{ст.нар.}$. На рис. 2, б, показана восстановленная теплопроводность. Значительные начальные колебания теплопроводности в первые 5 суток связаны с ошибкой определения начальных

условий. Результаты измерений отличаются от паспортных значений ограждающих конструкций здания не более чем на 10%.

Обоснован метод параметрической идентификации дифференциально-разностных моделей нестационарного теплопереноса в ограждающих конструкциях зданий и сооружений для определения теплофизических свойств материалов. Реализованные в программе Scilab алгоритмы позволили определять теплофизические характеристики по результатам натурных измерений в реальных условиях.

Литература

1. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии. Часть 2 // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 46. – № 10. – С. 67–71.
2. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплометрии. Часть 1 // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 46. – № 8. – С. 50–54.
3. Симбирский Д.Ф. Температурная диагностика двигателей (Плёночная термометрия и оптимальные оценки). – Киев: Техніка, 1976. – 208 с.

Тучин Спартак Михайлович
Год рождения: 1993
Факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной теплофизики и энергофизического мониторинга, группа № В4225
Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика
e-mail: xyarez@yandex.ru

УДК 621.1.016.4

СНИЖЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

С.М. Тучин
Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

В нашей стране остро стоит проблема с повышенной тратой энергоресурсов в жилищно-коммунальной сфере. Один из самых затратных аспектов ЖКХ это, разумеется, отопление. На данный момент доля отопления от всех коммунальных платежей превышает половину.

После проведения анализа состояния систем отопления было выявлено, что на них тратится приблизительно 25–35% энергоресурсов России, а также непосредственно от них около 30% уходит на прямые потери. Серьезные потери связаны не только со значительной протяженностью и неудовлетворительной изоляцией теплотрасс, износ которых по всей стране достигает 70%, но также плохой защитой от потерь тепла через подъезды зданий и отсутствие мотивации у населения к экономии тепла из-за отсутствия контроля и системы учета потребляемой тепловой энергии.

Сейчас все чаще старые теплоцентры реконструируют в современные автоматизированные тепловые пункты, что позволяет обеспечить надежное

функционирование систем теплопотребления и экономичное потребление теплоты. Но, несмотря на все плюсы от перехода на автоматику многих останавливает высокая стоимость переоборудования и они не учитывают перспективу.

Также нельзя не отметить, что весьма значимая доля жилых домов в нашей стране состоит из панельных многоэтажных домов массовых серий, построенных в 60–80 гг. прошлого века. Во время их проектирования и постройки в целях экономии стройматериалов была предусмотрена довольно слабая тепловая защита ограждающих конструкций, и в сравнении с современными строительными нормами требуется для отопления примерно в 2–2,5 раза больших энергетических затрат. Тепловые потери через основные ограждающие конструкции, такие как стены, потолок и пол могут достигать весьма значительных – 80% от тепловой энергии, подаваемой в дом [1].

Таким образом, приходим к выводу, что отопление – это самая энергоемкая сфера, и поэтому именно в этом разделе присутствует самый внушительный резерв для экономии энергетических ресурсов. С увеличением цен на энергоресурсы к проблеме энергосбережения стали подходить гораздо серьезнее.

Согласно новым строительным нормам (СНиП 23-42-2003 «Тепловая защита зданий») требования по тепловой защите зданий были увеличены в 3–4 раза к таким величинам как: приведенное тепловое сопротивление ограждающих конструкций, теплоустойчивость ограждающих конструкций и помещений в холодный и теплый периоды года, воздухопроницаемость ограждающих конструкций и помещений зданий. Также теперь мероприятия по повышению энергетической эффективности зданий закладываются при проектировании и возведении [2].

Обязательным стало проведение энергоаудита, состоящего из: изучения проекта на соответствие строительным нормативам, инфракрасное обследование со следующим за ним заполнением энергетического паспорта дома и присвоения зданию класса энергосбережения, а также предоставление рекомендаций по повышению энергоэффективности здания, если они необходимы [3]. Применение новейших энергосберегающих решений с использованием современных многослойных стеновых конструкций, теплозащитных материалов, многокамерных герметичных стеклопакетов, инженерного оборудования и энергосберегающей сантехники позволяет существенно снизить тепловые потери.

Целью работы являлся анализ класса энергосбережения жилого здания, ознакомление с методами повышения энергетической эффективности, методами определения теплового сопротивления ограждающих конструкций, анализ эффективности теплопотребления, а также разработка списка рекомендуемых мероприятий, направленных на рационализацию потребляемых энергоресурсов жилых зданий.

Федеральным законом РФ от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» предусмотрено определение класса энергоэффективности прошедшего капитальный ремонт и вводимого в эксплуатацию, построенного или реконструированного многоквартирного дома.

Класс энергетической эффективности определяется после сравнения полученной величины отклонения расхода энергоресурсов от нормируемых значений с таблицей 15 из [3] классов энергоэффективности многоквартирных зданий. При определении класса энергоэффективности при помощи проектной документации учитывается также заключение государственной экспертизы проектной документации.

В табл. 1 приведены классы энергоэффективности зданий [3].

Таблица 1. Классы энергоэффективности домов

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
При проектировании и эксплуатации новых и реконструируемых зданий			
A++	Очень высокий	Ниже –60	Экономическое стимулирование
A+		От –50 до –60	
A		От –40 до –50	
B+	Высокий	От –30 до –40	Экономическое стимулирование
B		От –15 до –30	
C+	Нормальный	От –5 до –15	Мероприятия не разрабатываются
C		От +5 до –5	
C–		От +15 до +5	
При эксплуатации существующих зданий			
D	Пониженный	От +15,1 до +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция при соответствующем экономическом обосновании или снос

Энергетический паспорт здания – это нормативный документ, в котором содержатся такие характеристики зданий и его частей (подвала, чердака, ограждающих конструкций и т.п.) как: геометрические, теплотехнические и энергетические, а также нормативные документы, устанавливающие их соответствие необходимым требованиям.

Энергетический паспорт общественных и жилых зданий необходим для проверки соответствия теплотехнических и энергоэффективных показателей зданий показателям, установленным в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Энергетический паспорт разрабатывается:

- в процессе проектирования новых, капитально ремонтируемых, реконструируемых общественных и жилых зданий;
- при приеме зданий в эксплуатацию;
- в процессе эксплуатации построенных зданий.

Энергетический паспорт содержит:

- общую информацию о проекте здания;
- расчетные характеристики здания;
- информацию о типе и назначении здания;
- компоновочные и объемно-планировочные показатели;
- теплотехнические показатели и показатели энергетической эффективности (расчетные энергетические показатели здания);
- сопоставление с нормируемыми показателями;
- рекомендации по увеличению энергоэффективности здания;
- итоги измерения энергетической эффективности и уровня тепловой защиты здания после года эксплуатации;

– класс энергетической эффективности здания.

Был проведен расчет энергоэффективности проектируемого жилого здания, расположенного в поселке Толмачёво, а также проверено соблюдение требований тепловой защиты зданий.

Внешний вид обследуемого здания представлен на рисунке.

а б

Рисунок. Вид спереди (а) и сзади (б)

После проведения расчетов был определен класс энергоэффективности данного жилого здания. В табл. 2 приведено сравнение расчетных и нормируемых характеристик расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период.

Таблица 2. Комплексные показатели расхода тепловой энергии

Параметры	Обозначение показателя и единица измерения	Значение показателя
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию домов за отопительный период	$q^{р}_{от}$, Вт/(м^3·К)	0,2098
Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию домов за отопительный период	$q^{тр}_{от}$, Вт/(м^3·К)	0,3590
Класс энергосбережения		А
Соответствие проекта дома нормативным требованиям по теплозащите		Да

Также была проведена проверка тепловой защиты дома, которая должна соответствовать трем пунктам:

1. приведенное сопротивление теплопередаче всех отдельно взятых ограждающих конструкций должно быть больше или равно нормируемым значениям (поэлементные требования);
2. удельная теплозащитная характеристика дома не должна превышать нормируемые величины (комплексное требование);
3. температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций не должна быть ниже минимально разрешенных величин (санитарно-гигиеническое требование).

Все требования были выполнены. Дополнительные мероприятия по увеличению энергетической эффективности не требуются.

Литература

1. Лихненко Е.В. Теплотехнический расчет ограждающих конструкций гражданских зданий: методические указания. – Оренбург: Изд-во ОГУ, 2003. – 26 с.
2. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – Введен 01.10.2003. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 26 с.

3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – Введен 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2012. – 96 с.

Щербаков Антон Леонидович
Год рождения: 1991
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии,
кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4229с
Направление подготовки: 19.04.03 – Продукты питания животного происхождения
e-mail: Antani_by_bs@mail.ru

УДК 637.234

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ СПРЕДОВ С РЫБНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

А.Л. Щербаков
Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.П. Сучкова

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615872 «Биотехнология поликомпонентных продуктов питания функционального и специального назначения».

В состав спреда входят полиненасыщенные жирные кислоты, участвующие в регуляции обмена жиров и нормализации кровообращения. Данный продукт подходит для пожилых людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также для диетического питания [1]. Спред обогащен витамином А, необходимым для зрения, витамином Е, замедляющим старение и обладающим антиоксидантными свойствами, и витамином D, способствующим нормальному функционированию костного аппарата и предупреждающим возникновение рахита и остеопороза [2].

Основная польза спреда с рыбными наполнителями кроется в высоком содержании в нем особых кислот – омега-3. Омега-3 – это полиненасыщенные жирные кислоты, среди которых наиболее важными для организма человека являются альфа-линоленовая кислота, эйкозапентаеновая кислота и докозагексаеновая кислоты. Также нужно отметить, что организм человека сам не способен синтезировать эти кислоты, поэтому для нас так важно потреблять их с пищей [3]. Стимулом для развития производства этого комбинированного спреда послужили недостаток молочного сырья, кризис в сельском хозяйстве и падение объемов удоя молока [4].

Экспериментальная часть работы включала в себя разработку состава спреда, подходящего для внесения рыбных наполнителей, разработку спреда с рыбными наполнителями, исследование органолептических, физико-химических и реологических свойств готового продукта, также произведение расчета энергетической ценности готового продукта.

Этап I. Разработка состава спреда, подходящего для внесения рыбных наполнителей. В качестве сливочной составляющей спреда использовалось масло сливочное несоленое 72,5% жирности, а в качестве растительной основы спреда использовалось кокосовое, пальмовое и подсолнечное масло в различных комбинациях. В качестве эмульгаторов использовались: GRINDSTED PGPR 90, Палсгаард DMG 0291, ADMUL WOL 1408 K с долей внесения 0,5%.

В ходе органолептических оценок готовых продуктов оптимальным было выбрано соотношение 25% растительного жира и 75% молочного, так как при большем процентном содержании привкус растительных жиров переходил в готовый

продукт. В результате эксперимента было получено три образца сливочно-растительного спреда: первый образец с эмульгатором GRINDSTED PGPR 90 и кокосовым маслом, второй образец с эмульгатором Палсгаард DMG 0291 и пальмовым маслом, третий образец с эмульгатором ADMUL WOL 1408 K и подсолнечным маслом.

Бальная оценка органолептических показателей данных образцов спредов представлена на рис. 1.

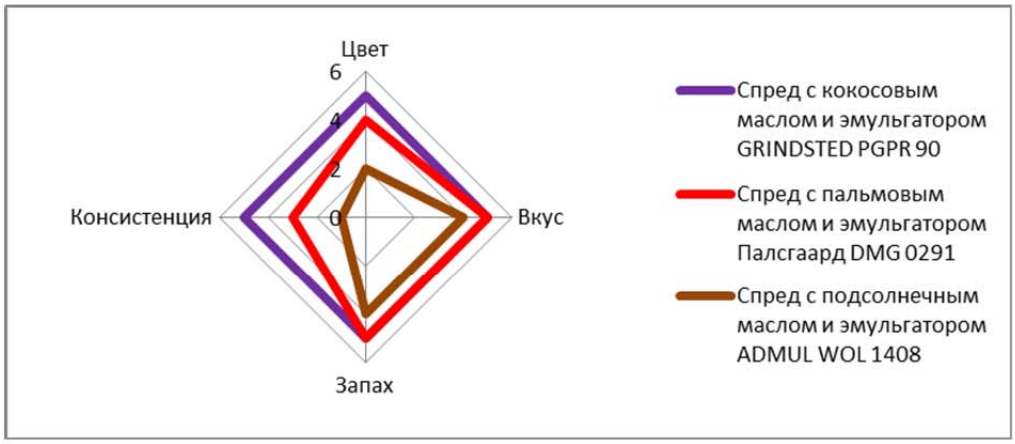


Рис. 1. Бальная оценка органолептических показателей образцов спредов

Все три образца спреда исследовали на перекисное, йодное, кислотное числа, а также на реологические характеристики. В табл. 1 представлены показатели исследуемых образцов спредов.

На рис. 2 представлена графическая зависимость предельного напряжения сдвига и йодного числа испытуемых образцов.

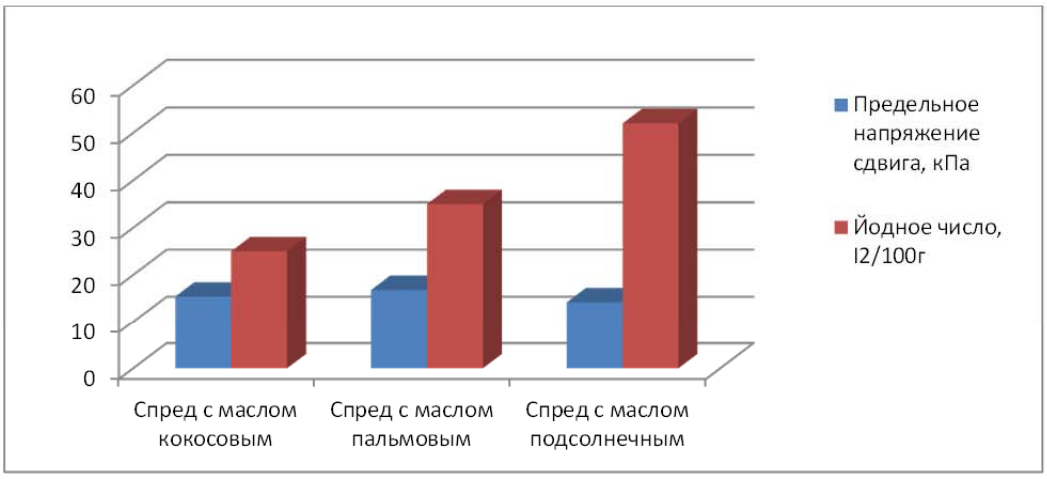


Рис. 2. Графическая зависимость предельного напряжения сдвига и йодного числа испытуемых образцов

Таблица 1. Показатели исследуемых образцов спредов

Доля молочного жира, %	Доля растительного жира, %	Предельное напряжение сдвига, кПа	Температура плавления, °С	Перекисное число, ммоль акт.О/г	Йодное число, I_2/100 г	Кислотное число, мг КОН/г
С кокосовым маслом						
75	25	15,4	27,2	2,1	25	0,83

Доля молочного жира, %	Доля растительного жира, %	Предельное напряжение сдвига, кПа	Температура плавления, °С	Перекисное число, ммоль акт.О/г	Йодное число, I_2/100 г	Кислотное число, мг КОН/г
С пальмовым маслом						
75	25	16,8	27,8	2,5	35	0,85
С подсолнечным маслом						
75	25	14,2	27,5	2,2	52	0,86

В результате проведенной работы был выбран для производства спреда эмульгатор GRINDSTED PGPR 90 и масло кокосовое, так как масло кокосовое придает готовому продукту хорошие пластические и вкусовые свойства, что является приоритетным при разработке данного вида спреда.

Этап II. Разработка рецептуры спредов с рыбными наполнителями. На втором этапе работы разрабатывалась рецептура спредов с рыбными наполнителями. В качестве рыбных наполнителей использовались мясо антарктической креветки (криля) варено-мороженое, лосось слабосоленый и сельдь слабосоленая. Рыбные наполнители измельчались на куттере со временем перемешивания 30 с до размера 3–4 мм. Далее расчетное количество спреда, рыбных наполнителей, соли и консервантов вносились в перемешивающее устройство, где происходило смешивание при температуре 18±2°С до однородной консистенции. В результате эксперимента было выбрано оптимальное время перемешивания в течение 1 мин. Полученные образцы имели однородную мажущую консистенцию с равномерно вработанными рыбными наполнителями.

Далее исследовалось оптимальное содержание массовой доли рыбных наполнителей. Исследуемые образцы включали в себя 5, 10, 15, 20, 30% рыбных наполнителей. По органолептической характеристике оптимальным оказалось содержание в 20% так как наименьшее количество практически не ощущалось на вкус, внесение 30% было излишнем, и кусочки наполнителей находились на поверхности спреда, а должны были быть распределены по всему объему.

Все три образца спредов с рыбными наполнителями исследовались на кислотность, массовую долю жира, влажность, перекисное, йодное, кислотное числа, температуру плавления, а также на реологические характеристики (табл. 2).

Таблица 2. Показатели исследуемых образцов спредов с рыбными наполнителями

Наименование спреда	Предельное напряжение сдвига, кПа	Массовая доля жира, %	Массовая доля влаги, %	Температура плавления, °С	Перекисное число, ммоль акт. О/г	Йодное число, I_2/100 г	Кислотное число, мг КОН/г
Спред с крилем	15,8	60,4	33,0	28,4	2,3	27	0,85
Спред с лососем	16,9	64,3	29,0	29,1	2,5	28	0,86
Спред с сельдью	16,0	61,8	32,3	29,0	2,6	29	0,86

На следующем этапе работы происходил расчет показателей пищевой и энергетической ценности спредов с рыбными наполнителями. На рис. 3 представлена сравнительная характеристика энергетической ценности спредов с рыбными наполнителями и масла сливочного крестьянского.

Наибольшей энергетической ценностью обладал спред с лососем, а наименьшей – спред с крилем, из этого можно сделать вывод, что калорийность вырабатываемых

спредов с рыбными наполнителями меньше, чем масла сливочного крестьянского, поэтому данные продукты идеально подойдут для диетического питания.

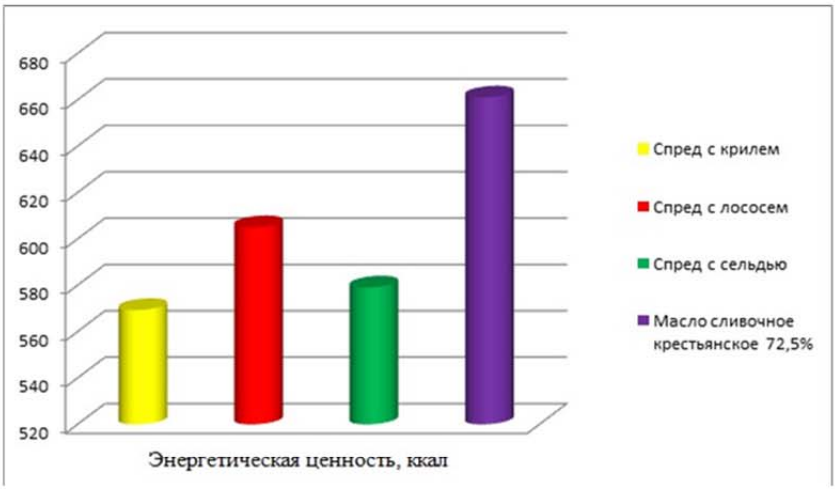


Рис. 3. Энергетическая ценность спредов с рыбными наполнителями и масла сливочного крестьянского 72,5%

Литература

1. Восконян О.С., Шаурина О.С. Основные аспекты инноваций в производстве масложировых продуктов, безопасных в потреблении // Масложировая промышленность. – 2012. – № 5. – С. 28.
2. Губина И.В. Спреды функционального назначения – новый продукт высокого качества // Сыроделие и маслоделие. – 2011. – № 2. – С. 49.
3. Голубева Л.В., Долматова О.И., Тарасова А.Ю. Инновационные технологии в производстве спредов // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2013. – № 2(3). – С. 28–33.
4. Вышемирский Ф.А., Дунаев А.В. Спреды: состав, технологии, перспективы. – СПб.: Профессия, 2014. – 411 с.

Яковлева Радмила Валерьевна
Год рождения: 1992
Факультет пищевых биотехнологий, кафедра прикладной биотехнологии, группа № Т4228
Направление подготовки: 19.04.01 – Биотехнология продуктов питания функционального назначения
e-mail: radmila_1992@mail.ru

УДК 637.146

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ СМЕТАННОГО ПРОДУКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА АНТИОКСИДАНТОВ ЭКСТРАКТА ЗЕЛЕНОГО ЧАЯ

Р.В. Яковлева
Научный руководитель – к.т.н., доцент Т.Н. Евстигнеева

Работа выполнена в рамках темы НИР № 615872 «Биотехнология поликомпонентных продуктов питания функционального и специального назначения».

Многочисленные исследования, выполненные в различных странах, показывают, что одна из причин преждевременного старения и многих болезней – окислительный стресс, избыточное содержание в биологических жидкостях организма свободных кислородных радикалов. Антиоксидантная система здорового человека обеспечивает нормальный и безопасный уровень свободных радикалов. Если же на организм действуют неблагоприятные факторы, то количество активных форм кислорода может повышаться. Они начинают повреждать молекулы ДНК, белки, липиды, стенки сосудов, что приводит к дезорганизации процессов в организме.

Для профилактики необходимо употреблять в пищу продукты, содержащие антиоксиданты, тогда вредное действие свободных радикалов существенно уменьшится. Среди антиоксидантов лидируют биофлавоноиды. Они обладают антиканцерогенными, антисклеротическими, противовоспалительными и антиаллергическими свойствами [1].

Кроме того, введение в состав пищевых продуктов, в том числе и молочных, компонентов растительного происхождения, обладающих антиоксидантной активностью, является одним из путей повышения их сохранности вследствие торможения окислительных процессов [2].

Среди пищевых продуктов и напитков лидирующее положение по содержанию водорастворимых антиоксидантов занимает зеленый чай [1, 3].

Целью работы стала разработка состава и отработка параметров технологического процесса производства творожного продукта с применением в качестве источника растительных антиоксидантов полифенольной природы экстракта зеленого чая.

Объектами исследования служили экстракты зеленого чая Ahmad Green Tea, а также выработанные с их применением образцы творожных продуктов.

Задачей первого этапа работы явился выбор рационального способа заваривания зеленого чая. Проведено сравнительное исследование влияния условий экстракции на физико-химические и органолептические характеристики чайных экстрактов. Варьировали температуру водяной бани, в которой выдерживались образцы после заваривания водой с температурой 70±2°С, продолжительность выдержки, кроме того, при изучаемых режимах одна часть образцов непрерывно перемешивалась, другая – находилась в покое (таблица).

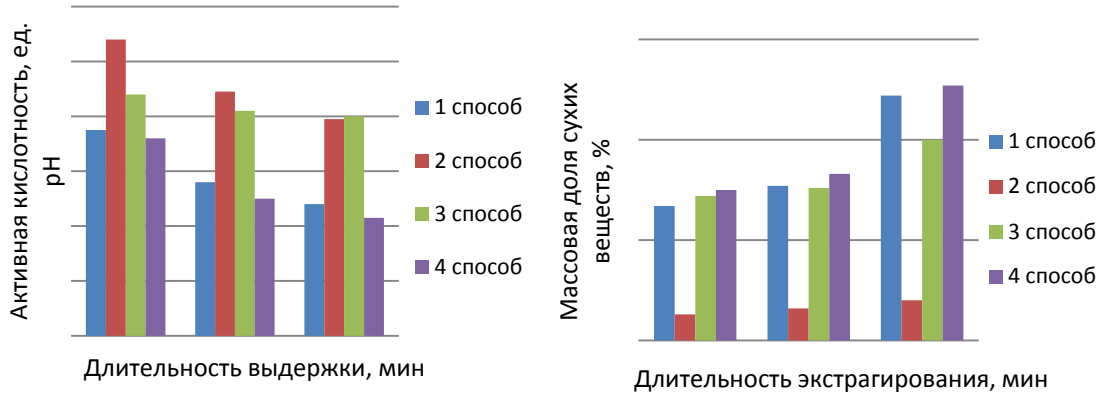
Таблица. Технологические параметры процесса приготовления экстрактов

№ способа	Температура воды при заваривании чая, °С	Температура водяной бани, °С	Продолжительность выдержки, мин	Перемешивание
1	70±2	70±2	5, 10, 15	–
2	70±2	20±2	5, 10, 15	–
3	70±2	20±2	5, 10, 15	+
4	70±2	70±2	5, 10, 15	+

Для приготовления каждого чайного экстракта использовали навеску чая массой 4 г и 100 мл дистиллированной воды.

Сравнительную оценку экстрактов проводили по массовой доле сухих веществ, плотности, pH, антиоксидантной активности.

Как видно из рисунка, а, отражающего значения показателя активной кислотности чайных экстрактов, pH растворов при удлинении продолжительности выдержки во всех способах заваривания чая имел тенденцию к снижению. Самые низкие значения pH имели экстракты, полученные завариванием чая способами № 1 и № 4. Наименьшие изменения отмечены для экстракта, полученного способом № 3.



а б

Рисунок. Активная кислотность чайных экстрактов (а); массовая доля сухих веществ чайных экстрактов (б)

Сравнительная оценка результатов по определению массовой доли сухих веществ в экстрактах позволила сделать вывод о том, что способ № 4 является более предпочтительным (рисунок, б). Удлинение продолжительности выдержки во всех способах заваривания чая сопровождалось повышением массовой доли сухих веществ в экстрактах.

Установлено, что с точки зрения антиоксидантной активности чайных экстрактов способ № 4 также является более предпочтительным. Однако отмечено, что увеличение выдержки при заваривании чайных листьев свыше 10 мин нецелесообразно, так для способов № 1 и № 4 (экстракты с максимальной антиоксидантной активностью) приводит к снижению анализируемого показателя.

Органолептические характеристики экстрактов зеленого чая согласовывались с их физико-химическими показателями. Выдержка на водяной бане при температуре заваривания сопровождалась усилением вкуса и аромата чайного экстракта. Перемешивание во время выдержки незначительно интенсифицировало процесс.

Полученные данные позволили сделать вывод о том, что наиболее рациональным способом получения экстракта зеленого чая является заваривание сухих чайных листьев с последующей выдержкой на водяной бане при температуре 70±2°С в течение 10 мин и одновременным непрерывным перемешиванием. Данный способ заваривания чая позволяет получать экстракты с наибольшим уровнем экстрактивных веществ и антиоксидантной активности.

Предложено вводить чайный экстракт в состав сметанного продукта на этапе составления нормализованной смеси. При этом целесообразно использовать экстракт с максимально высокой долей сухих веществ. Для определения оптимального соотношения массы чая к массе воды при заваривании получали экстракты, варьируя массу в диапазоне от 4 до 70 г сухого чая на 100 г воды.

Отмечено, что увеличение закладки чая способствовало уменьшению активной кислотности (от 5,28 до 4,87 ед. pH), повышению плотности (от 1001,5 до 1052,0 кг/м^3), возрастанию антиоксидантной активности (от 160 до 210 мкг/мл) и увеличению массовой доли сухих веществ в экстрактах (от 1,70 до 12,20%). Наиболее заметные изменения изучаемых параметров (в первую очередь антиоксидантной активности) наблюдались при закладке чая от 4 до 28 г чая на 100 г воды. Последующее повышение закладки чайных листьев для извлечения компонентов вызывало уменьшение тенденции изменения рассматриваемых параметров.

Изучали влияние дозы чайного экстракта (полученного при соотношении массы сухого чая и воды при заваривании 28:100) на органолептические показатели сметанного продукта.

Выявлено, что при дозе экстракта зеленого чая в сметанном продукте до 3% включительно привкус зеленого чая практически не ощущается. При дозе экстракта 6% продукт имеет достаточно приятный аромат и привкус чая (сметанный продукт можно производить без внесения дополнительных вкусоароматических добавок). При содержании экстракта в продукте от 9 до 15% вследствие усиления горьковатого привкуса чая, поэтому внесение наполнителей становится необходимым. Дальнейшее повышение дозы экстракта сопровождается приобретением сметанным продуктом горького, неприятного вяжущего привкуса и поэтому признано нецелесообразным.

Для нейтрализации горьковатого привкуса чая и создания новых продуктов с необычными вкусовыми характеристиками, подбирали вкусовые наполнители. Наибольшую балльную оценку получили образцы сметанного продукта с корицей, сахаром, куркумой и чесноком.

С помощью сенсорного метода была установлена оптимальная доза выбранных наполнителей для внесения в сметанный продукт: 4% чеснока; 1% куркумы и 4% сахара; 1% корицы и 4% сахара.

Изучение хранимоспособности сметанного продукта с чайным экстрактом осуществлялось в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.1847−04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов».

Отмечено, что в образцах с чайным экстрактом кислотонакопление происходило менее активно по сравнению с контрольными.

Микробиологическая картина сметанных образцов в начале хранения имела только диплококки и цепочки кокков. Через 10 дней хранения во всех образцах появилось небольшое количество дрожжей, причем в образцах с экстрактом зеленого чая дрожжей было обнаружено меньше. Другой нежелательной микрофлоры во время проведения исследования при изучении образцов не наблюдалось. Нашли подтверждение имеющиеся в литературе сведения об антимикробных свойствах зеленого чая [4].

Сделан вывод о том, что антиоксидантные вещества экстракта зеленого чая действительно увеличивают хранимоспособность сметанного продукта.

На основании проведенных исследований разработана рецептура и отработаны параметры технологического процесса производства сметанного продукта с экстрактом зеленого чая.

Литература

1. Яшин Я.И., Яшин А.Я. Банк данных антиоксидантов // Химия и жизнь-XXI век. – 2010. – № 3. – С. 49–50.
2. Шарапова Е.В. Природные антиоксиданты и их использование в производстве молочных продуктов. – Омск: ОмЭи, 2008. – С. 141–143.
3. У ВэйСинь. Энциклопедия целебного чая. – СПб.: Нева, 2005. – 320 с.
4. Gordon N.C., Wareham D.W. Antimicrobial activity of the green tea polyphenol (–)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) against clinical isolates of Stenotrophomonas maltophilia // International Journal of Antimicrobial Agents. – 2010. – V. 36(2). – P. 129–131.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСА УНИВЕРСИТЕТА НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ 5

Абдула П.А. Исследование прочностных характеристик различных типов облегчающих конструкций крупногабаритных зеркал 6

Аксенова О.И. Совершенствование процесса и аппарата для производства экструдированного корма 9

Беляев М.Е. Управление соотношением воздух-топливо в инжекторных двигателях внутреннего сгорания с релейными λ-датчиками 16

Борисов В.Н. Исследование спектрально-угловых характеристик объемных голограмм с диффузионным механизмом формирования 20

Боровкова М.А. Метод определения концентрации воды в биологических объектах с помощью импульсной терагерцовой спектроскопии 24

Волкова Д.А. Исследование и разработка оптико-электронной системы распознавания дорожных знаков 28

Гладских П.В. Оптические и электрические свойства плазмонных наноструктур на поверхности арсенида галлия 32

Гузилова Л.И. Исследование механических свойств объемных кристаллов и эпитаксиальных слоев β-Ga_2O_3 36

Денисултанов А.Х. Исследование генерации терагерцового излучения на монослоях графена 40

Егорова Е.С. Исследование и разработка программно-аппаратного комплекса для оценки пространства захвата движений в системах виртуальной реальности 43

Елистратов В.В. Совершенствование организации управления инновационной деятельностью региона (на примере Рязанской области) 47

Ермаков О.Е. Гибридные поверхностные плазмоны на анизотропной метаповерхности 49

Зенченкова К.С. Проектирование и разработка системы мониторинга порталов электронного участия 52

Колесова Е.П. Исследование фотоиндуцированных процессов в гибридных структурах на основе диоксида титана и полупроводниковых нанокристаллов 56

Корсаков И.В. Исследование собственной и наведенной хиральности в образцах нанокристаллов, полученных в условиях межфазового перевода 60

Курганова Е.В. Разработка технологии производства продуктов функционального назначения на основе пророщенного зерна для предприятий общественного питания 64

Ластовская Е.А. Исследование метода неинвазивного контроля уровня глюкозы в крови 69

Мазулина В.В. Разработка и исследование автономного мобильного робота с функцией интеллектуальной навигации 75

Михеев М.В. Исследование и поиск путей подавления влияния ударов и вибраций на показания волоконно-оптических гироскопов 79

Моисеева А.А. Исследование и проектирование оптико-электронного автоколлиматора для измерения коллимационных углов с пирамидальными контрольными элементами 83

Муста Оглы Н.М. Исследование кинетики аланинаминотрансферазной активности в картофеле 88

Овчаренко А.И. Применение формализма функции Грина для описания уникальных свойств локализированных поверхностных плазмон-поляритонов на гиперболических метаповерхностях 93
Осипова М.О. Влияние двухфотонного поглощения на генерацию и детектирование терагерцового излучения в электрооптических полупроводниковых кристаллах ZnTe, ZnSe и GaP 96
Попцова Н.А. Модель удаленного резервированного доступа в распределенных вычислительных системах 100
Резник И.А. Исследование фотоэлектрических и люминесцентных свойств гибридных структур на основе наноуглерода и полупроводниковых нанокристаллов 103
Рожкова Н.А. Оценка чувствительности живых систем к наночастицам серебра 107
Рожков М.А. Моделирование графеновых структур с дефектами методом молекулярной динамики 111
Рукина О.А. Анализ современного состояния нормативной и законодательной базы стимулирования авторов патентов на изобретение и разработка предложений по ее совершенствованию 115
Цымжитов Г.Б. Анализ и реализация оптимальной архитектуры системы многофакторной аутентификации 117
Шаврыгина М.А. Исследование и разработка оптико-электронной системы контроля положения железнодорожного пути с помощью реперных меток 120

ЛАУРЕАТЫ КОНКУРСА УНИВЕРСИТЕТА (ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ ФАКУЛЬТЕТОВ) НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ 124
Адамчик М.Н. Организация поиска решений на основе онтологии предметной области 125
Владимиров Р.В. Модельное исследование трехфазных активных преобразователей с системой управления с нечеткими регуляторами 129
Гирич М.А. Разработка инновационной методики выработки брендинговых решений на основе метода краудсорсинга 133
Горшечникова Е.А. Проектирование встраиваемых вычислительных систем на базе мультипроцессной модели 137
Гощар О.И. Исследование экологического воздействия скоростных автомагистралей на компоненты природных экосистем 141
Добриборщ Д. Синтез простых алгоритмов адаптивного управления линейными системами по выходу 144
Егорова Д.А. Моделирование и исследование формирования интерференционного поля для записи дифракционных структур в волоконных световодах 148
Ильина К.В. Игровая программная платформа для обучения основам программирования 152
Кармановская Т.Н. Организационно-правовые аспекты защиты служебной тайны на предприятии 155
Климов А.В. Исследование и разработка методик построения виртуальных моделей технологического оборудования с числовым программным управлением 159
Коцур Д.В. Исследование методом Монте-Карло проводимости тепловых экранов криовакуумных систем 163
Кротков П.А. Разработка эффективного алгоритма недоминирующей сортировки 166

Кузнецова К.А. Способы подготовки сухих спиртовых дрожжей к сбраживанию ячменного сусла повышенной концентрации 170
Лавров Д.Г. Анализ угроз и разработка модели безопасности протокола DYMO в сети ZIGBEE 174
Лазарева В.В. Автоматизация процессов моделирования и контроля с использованием трехмерного сканирования 177
Лугова М.В. Исследование и разработка состава замороженного десерта без сахара с использованием кунжутной муки 181
Макаренков А.В. Исследование и разработка методов и алгоритмов автоматизации проектирования штамповой оснастки 185
Маюрова А.С. Энергоэффективные решения освещения мостового перехода через Керченский пролив 189
Новикова Н.Е. Особенности продвижения сайта-визитки с помощью инструментов CRO 193
Попова Д.А. Исследование свойств дисциплины обслуживания WFQ в компьютерных сетях 197
Радачинская А.А. Разработка модели для оценки стоимости создания и поддержки открытых данных 200
Рюмин Д.А. Автоматизированная система распознавания отдельных жестов рук с применением сенсора Kinect 204
Савицкая А.А. Разработка мобильного приложения для игрового обучения программированию 209
Тазитдинов Р.Р. Исследование процессов вакуумно-выпарной кристаллизации при получении «бинарного льда» 213
Улин А.В. Исследование и математическое моделирование энергоподсистем электроприводов координатных осей многокоординатных станков 217
Федорова А.Ю. Моделирование и совершенствование бизнес-процессов в малом бизнесе 221

ПОБЕДИТЕЛИ КОНКУРСОВ КАФЕДР НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ 225
Аргымбаева А.Е. Исследование применения растительного белка в кисломолочном продукте 226
Арыкбаева А.Б. Исследование метаболических изменений в дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* при хранении 230
Бабаджанова Ш.Б. Разработка комплексной защиты автоматизированных систем на основе анализа показателей живучести 234
Белявский А.О. Адаптивное управление малыми беспилотными летательными аппаратами 238
Бойцева А.А. Методическое и информационное обеспечение фундаментальных и прикладных исследований 242
Борздая Е.В. Разработка состава и технологии пивоподобного напитка на основе пермеата творожной сыворотки с растительными компонентами 246
Буряк И.В. Управление отходами в цепочке поставок на основе принципа обратной логистики 250
Воробьев К.А. Исследование методов повышения точности датчиков положения на основе синусно-косинусных вращающихся трансформаторов 253
Гладышев В.Э. Тепловой режим электронного устройства 258

Джураева М.М. Разработка рецептуры и технологии функционального кисломолочного продукта с фитоэкстрактами 262
Захарченко А.В. Исследование влияния автокомпенсационного вращения на характеристики точности бескарданного электростатического гироскопа 266
Кардаш А.В. Разработка и исследование унифицированной оборачивающей оптической системы жесткого эндоскопа 270
Карпова Т.В. Разработка и исследование симулятора встраиваемой системы....273
Клюквин К.А. Тепловой режим лидара 278
Клюшин А.Н. Исследование процесса лазерной гравировки в режиме сдвоенных импульсов....282
Королькова Г.В. Изучение восприятия архитектурной формы при искусственном свете....287
Малышев А.С. Исследование и проектирование макета оптико-электронного автоколлиматора для измерения трех угловых координат 291
Маруев И.А. Разработка и исследование распределенной системы контроля пространственного положения объектов....296
Мироненко М.Э. Исследование теплофизических свойств полисилоксановых композиций....301
Норко В.Е. Исследование и разработка принципов анализа параметров поверхности объектов спектрофотометрическими методами....305
Нугуманова Д.Р. Разработка и исследование методики контроля оптических параметров миниатюрных линз....312
Нуштаева С.В. Методы редуцирования дерева решений в игровых программах 316
Одинцова Л.Н. Анализ и реализация финансово-кредитных технологий в деятельности банка 319
Павлов А.С. Анализ детерминированных и стохастических дискретных систем с разнотемповыми структурными компонентами 323
Полухин А.Т. Разработка математической модели теплового баланса помещений....328
Серёжников Д.С. Разработка автоматической телевизионной системы обеспечения безопасности пешеходов на переходе 331
Синельщикова Е.М. Разработка методов и алгоритмов извлечения синтаксических конструкций спонтанной речи с применением интеллектуального анализа данных....335
Соколова А.А. Исследование термоаберрационных процессов в миниатюрной полимерной линзе 339
Солодченко Е.Г. Выбор способа утилизации отходов агропромышленного комплекса на основе сценарного анализа....343
Стародубов Р.И. Исследование способов доставки контента и тихой установки приложений в операционную систему android 346
Степашкин И.С. Проектирование и оптимизация конструкции оптико-электронной системы контррефлектора антенны П-2500 349
Сухих Я.Ю. Исследование флюоресцентных центров в средах на основе фотохромогенных соединений при многофотонном возбуждении 353
Тепляков А.В. Реализация статистического транскриптора в движке синтеза речи TTS для классического арабского языка 357
Трушкина А.В. Исследование распределения поляризационной чувствительности по площадке матричных анализаторов изображения 362
Фастова Н.И. Разработка оптико-электронного прибора для измерения коэффициента теплового излучения образцовых источников оптического излучения....368

Феткуллова Д.Д. Разработка технологии сухих молочных каш для геродиетического питания 373
Чиняева А.О. Анализ влияния тепловых воздействий на электрические кабели 377
Читанава С.С. Разработка системы водоподготовки подземных вод республики Абхазия 381
Чубчикова А.И. Обеспечение теплового режима устройства для мониторинга окружающей среды в сложных условиях эксплуатации 385
Чудакова К.С. Оптические и фотофизические свойства растворов соединений порфиринов с металлами и галогенами 388

УЧАСТНИКИ КОНКУРСОВ КАФЕДР НА ЛУЧШУЮ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКУЮ ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ МАГИСТРОВ 397
Байболова К.К. Восстановление нестационарной температуры массивных тел методом параметрической идентификации 398
Вережинская Е.А. Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах 401
Власов А.А. Устройство формирования и передачи оптического испытательного сигнала системы посадки летательного аппарата 406
Дубицкая Е.А. Подходов и методов коммерциализации научно-технических исследований в России 410
Иванов Ф.А. Оптимизация процесса анализа показателей web-метрик 415
Кротова Т.Н. Разработка рецептуры и технологии йогурта с добавлением зернового компонента 418
Накибова Д.З. Разработка состава и технологии сокосодержащих сывороточных напитков 422
Плотников Д.А. Программная реализация классификации уровня знаний студентов с использованием методов машинного обучения 425
Пятышев Е.И. Разработка мультиязычной системы распознавания речи без использования платных ресурсов 429
Рейх Д.А. Нестационарный метод определения теплофизических характеристик ограждающих конструкций зданий и сооружений 435
Тучин С.М. Снижение использования энергоресурсов и повышение энергетической эффективности жилых зданий 439
Щербаков А.Л. Разработка состава и технологии спредов с рыбными наполнителями 443
Яковлева Р.В. Разработка рецептуры и технологии сметанного продукта с применением в качестве источника антиоксидантов экстракта зеленого чая 446

АННОТИРОВАННЫЙ СБОРНИК НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ МАГИСТРОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Дизайн обложки Н.А. Потехина
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Редактор Л.Н. Точилина
Подписано к печати от 24.11.16
Заказ № 3738
Тираж 100 экз.