

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

The image displays a student's handwritten mathematical work. At the center is a diagram of a sphere with several great circles drawn on its surface, representing a coordinate system or a geometric model. Surrounding this diagram are numerous mathematical expressions, including:

- Trigonometric identities and integrals:  $\frac{2a-b}{(a-b)^2} \frac{2\sin^3 52^\circ - 1}{\cos 52^\circ - \cos 31^\circ} \left(\frac{5\pi}{2} + 2a\right)$ ,  $\frac{1}{2\sqrt{x}} \frac{dz}{dx} = \varphi\left(\frac{y}{x}\right) - \frac{y}{x} \cdot \varphi'\left(\frac{y}{x}\right) - \frac{y^2}{x} \cdot \varphi''\left(\frac{y}{x}\right)$ ,  $\int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}} dx = \arcsin \frac{x}{a} + C$ .
- Integration techniques:  $\int \frac{1}{x^2-1} dx = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{x-1}{x+1} \right| + C$ ,  $\int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}} dx = \arcsin \frac{x}{a} + C$ ,  $\int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}} dx = \arcsin \frac{x}{a} + C$ .
- Geometric and coordinate-related formulas:  $\frac{1}{3^2 \sqrt{x^2-7}} \frac{d}{dx} (\sqrt{x-7}) = \frac{1}{3^2 \sqrt{x^2-7}} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{6^2 \sqrt{x^2-7}}$ ,  $\frac{1}{3^2 \sqrt{x^2-7}}$ .
- Other expressions:  $\frac{2a-b}{(a-b)^2} \frac{2\sin^3 52^\circ - 1}{\cos 52^\circ - \cos 31^\circ} \left(\frac{5\pi}{2} + 2a\right)$ ,  $\frac{1}{14} (3x^4+1) \sqrt{3x^4-1} + C$ ,  $\frac{1}{3^2 \sqrt{x^2-7}}$ .

The work is densely packed with these formulas, showing a complex derivation process. The central sphere diagram is a key visual element, possibly representing a sphere in a coordinate system or a specific geometric configuration related to the calculations.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

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

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016

**Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под. ред. В.О. Никифорова – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.**

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



*На церемонии награждения победителей конкурса грантов – студентов Университета ИТМО.*

*В центре: вице-губернатор Правительства Санкт-Петербурга В.В. Кириллов, первый заместитель председателя КНВШ И.Ю. Ганус и ректор Университета ИТМО В.Н. Васильев*

В настоящее время Университет ИТМО располагает научными кадрами и развитой инновационной инфраструктурой, что позволяет проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий в Российской Федерации. Студенты университета принимают активное участие в решении многих сложных задач как прикладных, так и фундаментальных.

Важную роль в поддержке научных исследований молодежи играет ежегодный конкурс грантов для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга. Конкурс, в котором на протяжении 15 лет участвуют студенты Университета ИТМО, проводится Комитетом по науке и высшей школе при Правительстве Санкт-Петербурга.

Наш университет занимает второе место среди вузов Санкт-Петербурга по количеству поданных и выигранных заявок. В 2015 году студентами Университета ИТМО было подано около 200 заявок, а поддержана 41.

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

В настоящий сборник вошли работы студентов – победителей конкурса грантов 2015 года. Они демонстрируют высокий уровень и широкий диапазон научных исследований, проводимых студентами университета под руководством ведущих ученых вуза.

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



Абдула Полина Андреевна  
 Факультет лазерной и световой инженерии  
 Кафедра прикладной и компьютерной оптики  
 E-mail: a-poly@ya.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАНТОВ ОБЛЕГЧЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ОПТИКИ КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗЕРКАЛ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

П.А. Абдула

Научный руководитель – доцент Н.Д. Толстоба

### Введение

Благодаря развитию современных технологий в области космического приборостроения ученые могут делать невероятные открытия. Исследования в данной области сейчас наиболее актуальны для современного общества. Для улучшения качества изображения, получаемого с космического телескопа, необходимо увеличивать диаметр его главного зеркала, что в свою очередь ведет к увеличению его веса и необходимости дальнейшего уменьшения массы. Решение этой проблемы является на сегодняшний день очень важной задачей.

Один из возможных вариантов – создание жестких пассивных зеркал, не требующих управления формой своей поверхности. Мы говорим о создании облегченных зеркал различного типа.

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 под действием собственного веса. В настоящее время известны и применяются модели облегчения, связанные с созданием в подложке зеркала отверстий, ребер жесткости, контурных сечений, сотовой структуры, так называемых сэндвичей.

Толщина зеркала зависит от его световых (габаритных) размеров, способа крепления и требуемой точности рабочей поверхности, которая определяется параметрами  $N$  – допустимым отклонением стрелки кривизны поверхности детали, выраженным в интерференционных кольцах Ньютона, и  $\Delta N$  – числом интерференционных колец, определяющим допуск формы поверхности. Важным параметром считается соотношение между толщиной  $d$  и диаметром  $D$  зеркала.

Для особо точных зеркал интерферометров, концевых отражателей дальномеров, резонаторов лазеров, рабочих зеркал телескопов ( $N = 0,05 \div 0,5$ ;  $\Delta N = 0,02 \div 0,1$ ) оно должно составлять:

$$d \geq (1/5 \div 1/7)D. \quad (1.1)$$

Для точных рабочих зеркал наблюдательных, визирных и измерительных приборов ( $N = 1 \div 2$ ;  $\Delta N = 0,1 \div 0,2$ ):

$$d \geq (1/8 \div 1/10)D. \quad (1.2)$$

Для неответственных зеркал осветительных систем и систем, не требующих высокого качества изображения ( $N = 3 \div 10$ ;  $\Delta N = 0,3 \div 1$ ):

$$d \geq (1/11 \div 1/25)D. \quad (1.3)$$

Среднеквадратическое отклонение формы оптической поверхности зеркала от заданной не должно превышать сотых долей рабочей длины волны и составляет величину порядка  $\lambda/50 \div \lambda/70$ , а в линейной мере – менее 0,01 мкм [1].

Характеристики зеркал, с различным типом облегчения и изготовленных из разных материалов, сравнивались с параметрами особо точного зеркала, представленными в Табл. 1.

Таблица 1

Параметры зеркала без облегчения

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

### Зеркала контурного сечения

Для того чтобы определить оптимальный формообразующий контур для одноарочного и двухарочного зеркал, были исследованы несколько вариантов (Табл. 2).

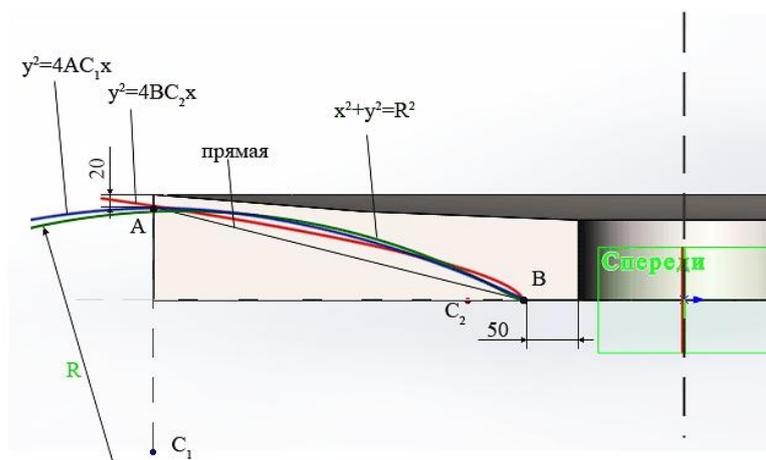


Рис. 1. Формообразующие контуры для одноарочного зеркала

Таблица 2

Исследование формообразующих контуров

| № | Вид                                   | Масса, кг     | Деформации, мкм |
|---|---------------------------------------|---------------|-----------------|
| 1 | Заготовка                             | 478,82        | 1,112           |
| 2 | Прямая АВ                             | 226,73        | 0,709           |
| 3 | Парабола $y^2 = 4 \cdot AC_1 \cdot x$ | <b>173,03</b> | <b>0,938</b>    |
| 4 | Парабола $y^2 = 4 \cdot BC_2 \cdot x$ | 163,09        | 12,151          |
| 5 | Окружность $R = 537$ мм               | 148,97        | 1,341           |

Здесь важнейшим параметром для выбора модели было оптимальное соотношение массы и величины деформации рабочей поверхности зеркала. Наилучшим вариантом для зеркал контурного сечения оказалась парабола с центром на краю зеркала ( $y^2 = 4 \cdot AC_1 \cdot x$ ). Модели одноарочного и двухарочного зеркал показаны на рис. 6.

### Облегчение отверстиями

При облегчении отверстиями в подложке зеркала выполняются выемки цилиндрической формы (рис. 2) [2], параметры которых связаны между собой следующими соотношениями:

- для наружного ряда:  $R_1 = \frac{R+0,5t-\Delta}{1+\sin \alpha}$ ;  $r_1 = \frac{(R-\Delta) \sin \alpha - 0,5t}{1+\sin \alpha}$ ;
- для всех последующих рядов:  $R_{n+1} = kR_n$ ;  $r_{n+1} = R_n \sin \alpha - 0,5t$ ,

где  $k = \left( \frac{1}{\cos \alpha} + \tan^2 \alpha \right) \pm \sqrt{\left( \frac{1}{\cos \alpha} + \tan^2 \alpha \right) - 1}$ .

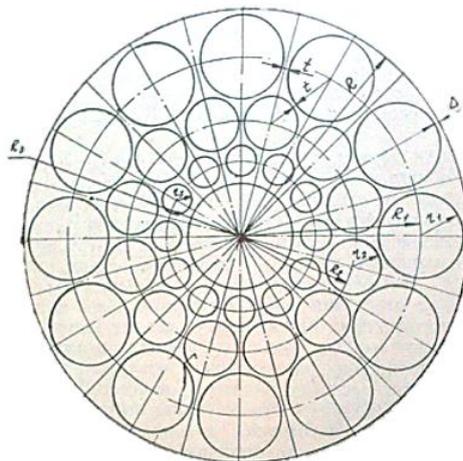


Рис. 2. Схема облегчения зеркала отверстиями

### Реберные конструкции зеркал и «сэндвич»

Для реберной конструкции размеры и количество ребер были подобраны и оптимизированы при условии минимизации веса и деформаций зеркала (рис. 3). При облегчении ребрами, благодаря их пересечению на тыльной стороне зеркала, образуются карманы. Наилучшим образом себя зарекомендовали карманы трапецевидальной (рис. 6) и треугольной (рис. 8) форм.

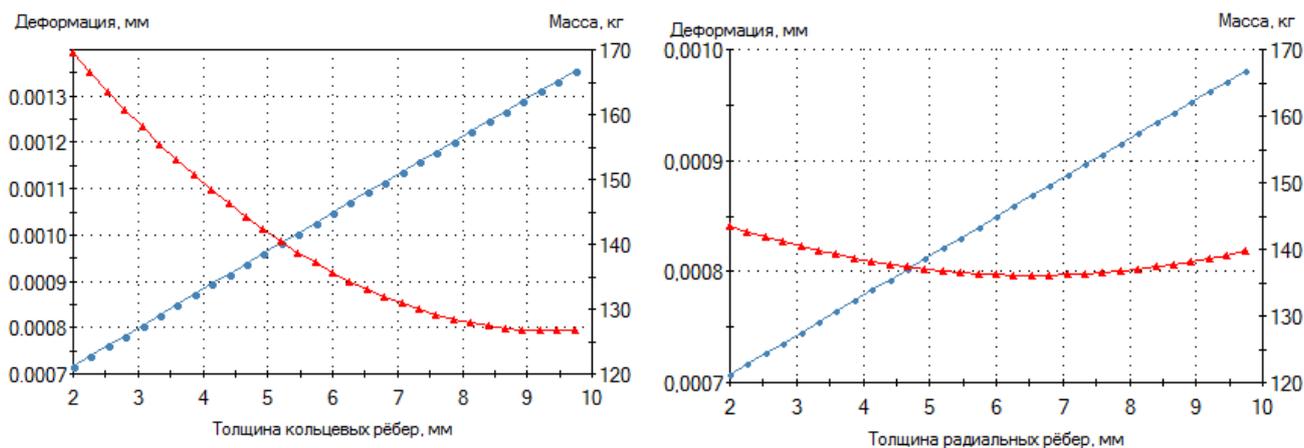


Рис. 3. Оптимизация толщины ребер

Конструкция «сэндвич» (рис. 5) схожа с реберной конструкцией, но карманы в ней закрываются листом материала с тыльной стороны.

### Сравнение результатов моделирования зеркал

Результаты исследований всех облегчающих конструкций сведены в Табл. 3. Из нее видно, что наименьшими деформациями обладает двухарочный способ облегчения. Реберная конструкция с трапецевидальными карманами создает максимальное облегчение, однако при этом вносит дополнительные деформации.

Также были исследованы материалы, используемые для изготовления крупногабаритных зеркал (Табл. 4). Наилучшими характеристиками обладают бериллий и карбид кремния. Но нельзя забывать, что при обработке бериллий опасен для человека, так как бериллиевая пыль токсична.

Таблица 3

Сводные результаты по типу облегчающих конструкций зеркал

| № | Конструкция облегчения     | Масса, кг | Облегчение, % | Мах деформации, мкм |
|---|----------------------------|-----------|---------------|---------------------|
| 1 | Без облегчения (заготовка) | 478,48    | 0 %           | 0,191               |
| 2 | Отверстия                  | 174,95    | 63 %          | 0,485               |
| 3 | Ребра трапецеидальные      | 151       | 68 %          | 0,375               |
| 4 | Ребра треугольные          | 174,7     | 63 %          | 0,264               |
| 5 | Сэндвич                    | 185,77    | 61 %          | 0,236               |
| 6 | Сотовая структура          | 227,4     | 52 %          | 0,429               |
| 7 | Одноарочное зеркало        | 160,53    | 66 %          | 1,088               |
| 8 | Двухарочное зеркало        | 246,38    | 48 %          | 0,112               |

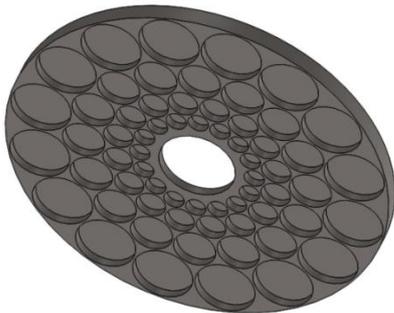


Рис. 4. Облегчение отверстиями

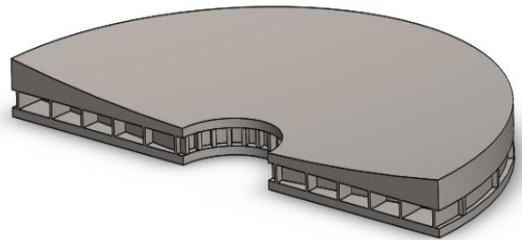


Рис. 5. Облегчение «сэндвич»

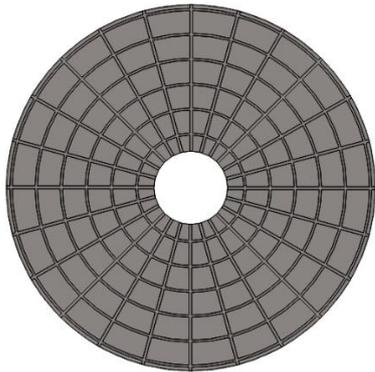


Рис. 6. Облегчение ребрами трапецеидальной формы

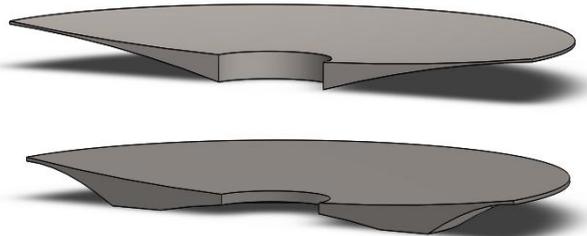


Рис. 7. Контурные зеркала (одноарочное и двухарочное)

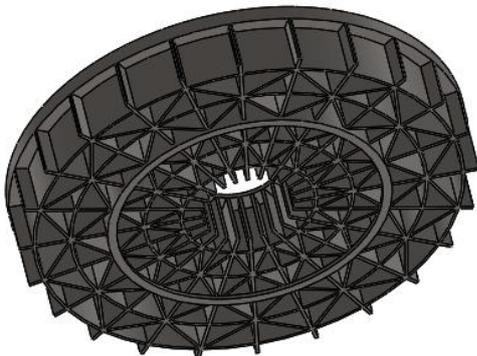


Рис. 8. Облегчение ребрами треугольной формы

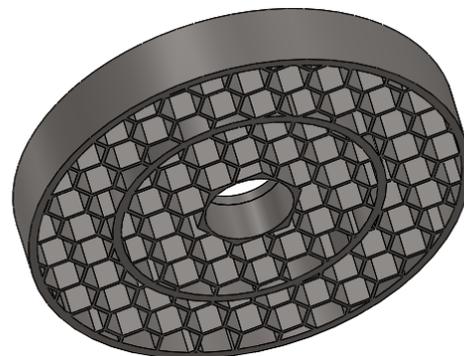


Рис. 9. Сотовая структура зеркала

### Выводы

Проведено моделирование и сравнительное исследование основных облегчающих конструкций крупногабаритных зеркал с учетом применения материалов, удовлетворяющих требованиям для их создания.

Таблица 4  
Сравнение материалов для заготовки зеркала

| Материал            | Информация            | Масса, кг | Деформация, мкм | Способ крепления зеркала |
|---------------------|-----------------------|-----------|-----------------|--------------------------|
| Титан               | Металл                | 478,82    | 1,112           | Центр                    |
| Robax               | Огнеупорное стекло    | 270,64    | 0,771           |                          |
| ULE                 | Стекло                | 230,50    | 0,950           |                          |
| CO115M              | Ситалл                | 256,06    | 0,722           |                          |
| Zerodur             | Стеклокерамика        | 263,35    | 0,778           |                          |
| SUPREMAX            | Боросиликатное стекло | 229,00    | 0,979           |                          |
| Бериллий О-Н30      | Металл                | 191,94    | 0,185           |                          |
| Карбид кремния 12 % | Неметалл, карборунд   | 322,70    | 0,235           |                          |
| Al 6061-T6          | Металл                | 281,04    | 1,015           |                          |

### Публикации

1. Абдула П.А. Исследование конструкций облегчения зеркал контурного сечения // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров Университета ИТМО. СПб: Университет ИТМО. 2014 С. 6–8.
2. Абдула П.А., Неутов М.Ю. Сравнение прочностных характеристик различных типов облегчающих конструкций крупногабаритных зеркал // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб: Университет ИТМО. 2014. С. 4–8.
3. Абдула П.А., Неутов М.Ю., Толстова Н.Д. Сравнение и анализ прочностных характеристик для облегченной крупногабаритной оптики космического базирования на примере зеркал из разных материалов // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб: Университет ИТМО. 2015. С. 3–6.
4. Абдула П.А., Толстова Н.Д., Неутов М.Ю. Исследование конструкций облегчения астрономических зеркал // Сборник трудов VIII Международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2013». СПб: Университет ИТМО, 2013. Т. 1. С. 224–225.
5. Abdula P.A., Neutov M.Y., Tolstoba N.D. Simulation and analysis of lightweight space mirror design // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9526. P. 95261N.
6. Абдула П.А., Неутов М.Ю., Толстова Н.Д. Сравнение и анализ прочностных характеристик для облегченной крупногабаритной оптики космического базирования на примере зеркал из разных материалов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. [Электронное издание]. СПб: Университет ИТМО. 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1320/1320.pdf>.
7. Abdula P.A., Neutov M.Y., Tolstoba N.D. Simulation and analysis of lightweight space mirror design // 2015 Technical summaries. 2015. P. 74.

### Литература

1. Латышев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов: Учебное пособие. СПб., 2007. – 579 с.
2. Никитин С.М., Крыжановский И.И. Особенности конструкции металлостеклянных зеркал. СПб., 1977. – 98 с.



**Аксенова Ксения Александровна**  
**Факультет фотоники и оптоинформатики**  
**Кафедра оптоинформационных технологий и материалов**  
**E-mail: aksen.a.k@mail.ru**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОХРОМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ В БЛИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ ИК-ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

К.А. Аксенова

Научный руководитель – доктор физико-математических наук А.С. Щеулин  
 (НИИ нанофотоники и оптоинформатики)

Цель работы – исследование возможности использования кристаллов  $\text{CaF}_2$  с фотохромными центрами окраски в качестве голографической среды в ближней и средней ИК-области спектра.

Проведен расчет голографических характеристик пропускающих и отражательных голограмм в ближней и средней ИК-области спектра и последующий анализ возможности использования среды в указанной спектральной области. Обоснована возможность применения соотношений Крамерса – Кронига на основе имеющихся данных о механизме перемещения спектрального положения полос поглощения центров окраски в кристалле  $\text{CaF}_2$  в области его прозрачности и на основе данных о пространственной модуляции концентрации центров окраски в кристалле с записанной голограммой. Получены спектральные зависимости модуляции показателя преломления кристалла по имеющимся спектрам поглощения с помощью соотношений Крамерса – Кронига. Для получения требуемой амплитуды модуляции показателя преломления кристалла проведен анализ полученных голографических характеристик, определены подходящая толщина голограммы и значение концентрации центров окраски в кристалле  $\text{CaF}_2$ . Для получения достаточного дифракционного отклика на интересующих длинах волн считывания из указанной спектральной области выявлен подходящий спектральный состав центров окраски.

Предполагая предельно высокую степень модуляции концентрации центров окраски в кристалле с голограммой (100 %), мы получаем величину показателя поглощения, промодулированную на 100 % во всем спектральном диапазоне. Спектр поглощения кристалла  $\alpha(\lambda)$  с голограммой можно принять равным амплитуде модуляции  $\delta\alpha(\lambda)$  этой величины.

Оценка величины амплитуды модуляции показателя преломления основывается на данных о модели формирования голограммы в кристалле флюорита (рис. 1) и формуле Крамерса – Кронига:

$$\delta n(\nu_1) = \frac{c_0}{2\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{\delta\alpha(\nu) d\nu}{\nu^2 - \nu_1^2}. \quad (1)$$

Здесь  $c_0$  – скорость света,  $\nu$  – волновое число,  $\delta\alpha(\nu)$  – амплитуда модуляции показателя поглощения в образце с голограммой на длине волны  $\lambda = 1/\nu$ ,  $\delta n(\nu_1)$  – амплитуда модуляции показателя преломления в образце с голограммой.

Спектр поглощения, который мы измеряем, являет собой ряд дискретных точек. Непрерывную функцию спектра поглощения мы можем представить как сумму прямоугольных функций, высоты которых равны значениям поглощения, а положение – соответствующим длинам волн (рис. 1).

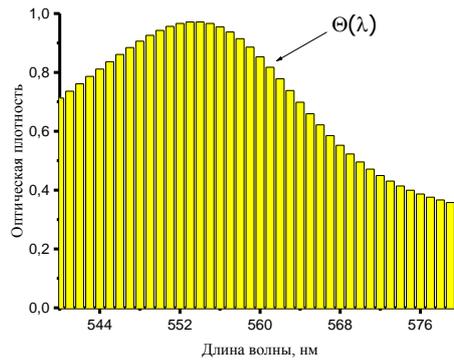


Рис. 1. Дискретное представление спектра поглощения

Оптические постоянные конденсированных сред по формулам Крамерса – Кронига (1) рассчитывали многие авторы. Например, в диссертации [1] представлен типичный расчет по методике, характерной для того периода, – по спектру отражения величин поглощения в различных стеклянных средах.

Возможности современных компьютеров позволили использовать другое представление экспериментальных данных. Измеренный спектр поглощения (массив из нескольких тысяч точек) может быть дополнен методами сглаживания до еще большего количества точек, так, что функция представляет собой множество плавных отрезков. В этом случае можно производить расчет Крамерса – Кронига в непосредственной форме (1). Аналитическое преобразование для ядра при этом основывается на явном интегрировании функции прямоугольника  $\theta(\lambda_0, \lambda_1)$ .

Для расчета удобнее пользоваться представлением формулы Крамерса – Кронига для экстинкции ( $\kappa''$ )

$$\delta n(\nu) = \frac{2}{\pi} P \int_0^{+\infty} \frac{\kappa''(\nu') \nu'}{\nu'^2 - \nu^2} d\nu', \quad (2)$$

где  $\kappa'' = \frac{k\lambda}{4\pi}$  ( $k$  – показатель поглощения,  $k\lambda$  – оптическая плотность в толщине равной  $\lambda$ ).

Для расчета по формулам Крамерса – Кронига нам необходимо использовать спектр поглощения как функцию частоты  $\omega$  или пропорциональной ей величины волнового числа  $\nu$ .

$$\nu = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

Для получения представления спектра с помощью эквидистантно расположенных точек на шкале волновых векторов мы используем метод линейного интерполирования экспериментальных данных. Этот метод также применяется для вычисления промежуточных значений величины поглощения. Для представления экспериментальных данных достаточно плавной функции, не содержащей резких скачков.

$$\kappa'' = \frac{2}{\pi} \sum_{i=0}^N A_i \theta(\nu_i, \nu_{i+1}), \quad (4)$$

где  $A_i = \frac{k(\nu_i)\lambda}{4\pi}$ .

Интегральное преобразование (2) от функции прямоугольника имеет аналитическое представление (рис. 2):

$$2 \int_0^{\infty} \frac{\nu \theta(\nu_0, \nu_1)}{\nu^2 - \nu'^2} d\nu = \ln \left| \frac{\nu_1^2 - \nu'^2}{\nu_0^2 - \nu'^2} \right|,$$

где  $\nu'$  – область значений переменной, для которой вычисляются изменения показателя преломления.

Трудность состоит в выборе тех точек, которые будут использоваться для суммирования функции интеграла всего спектра. Спектр представляется суммой откликов от отдельных прямоугольников, описывающих экспериментальный спектр. В точках скачка прямоугольной полосы поглощения дисперсионная кривая имеет разрыв. Этот результат в частности показывает, что действительный спектр поглощения не может иметь скачков и должен представлять собой гладкую дифференцируемую функцию.

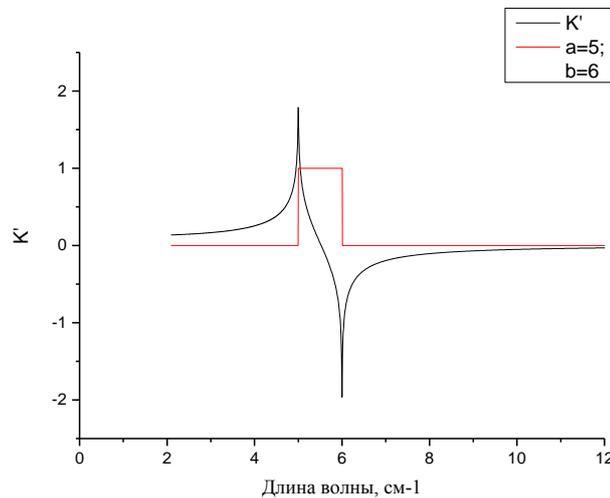


Рис. 2. Вид дисперсионной зависимости, полученной расчетным путем для прямоугольной полосы поглощения

Для расчета мы используем эквидистантно сдвинутые точки, смещенные на полпериода от точек, в которых представлен дискретный спектр поглощения.

Тогда сумма (4) после преобразования Крамера – Кронига приобретает вид:

$$\kappa'(\nu) = \frac{1}{\pi} \sum_{i=0}^N A_i \left( \ln \left| \frac{(E + (i+1)S)^2 - \nu^2}{(E + iS)^2 - \nu^2} \right| \right), \quad (5)$$

где  $E$  – начало рассматриваемой области спектра,  $S$  – расстояние между соседними точками в эквидистантном наборе данных.

Подтвердить справедливость такого перехода может, например, интегральное представление функции прямоугольника. Разбивая функцию прямоугольника  $A_i=1$  на неограниченное, но конечное число одинаковых прямоугольников ( $N$ ), мы получаем сумму выражений, которая вырождается в разность крайних членов.

$$\sum_{i=0}^N \ln \left| \frac{(E + (i+1)S)^2 - \nu^2}{(E + iS)^2 - \nu^2} \right| = \ln |(E + (N+1)S)^2 - \nu^2| - \ln |E^2 - \nu^2| \quad (6)$$

Область значений прямоугольных функций, отличных от нуля ограничена областью наблюдения спектра поглощения, который лежит в области прозрачности кристалла. Таким образом, область интегрирования в выражении (1) оказывается ограниченной значениями частот, соответствующих области спектра (200 нм – 9,6 мкм). Для каждого прямоугольника из этого представления мы можем точно сосчитать результат преобразования по формуле Крамера – Кронига (1), поскольку эта функция имеет ограниченную область ненулевых значений.

Эквидистантность точек выбора, данных таким образом, обеспечивает сходимость расчетной процедуры на конечном множестве экспериментальных точек.

На рис. 3а, 3б изображены экспериментальные спектры поглощения кристалла, подвергнутого серии последовательных фототермических обработок, повлекших за собой

преобразование центров окраски, формирующих плоскости голограммы, при сохранении пространственного расположения плоскостей (1–4). Результаты расчета по формуле Крамерса – Кронига для трех состояний кристалла 1–3 приведены на рис. 3в. Итак, изменение спектра поглощения кристалла приводит к существенному изменению ожидаемой величины амплитуды модуляции показателя преломления в актуальной спектральной области.

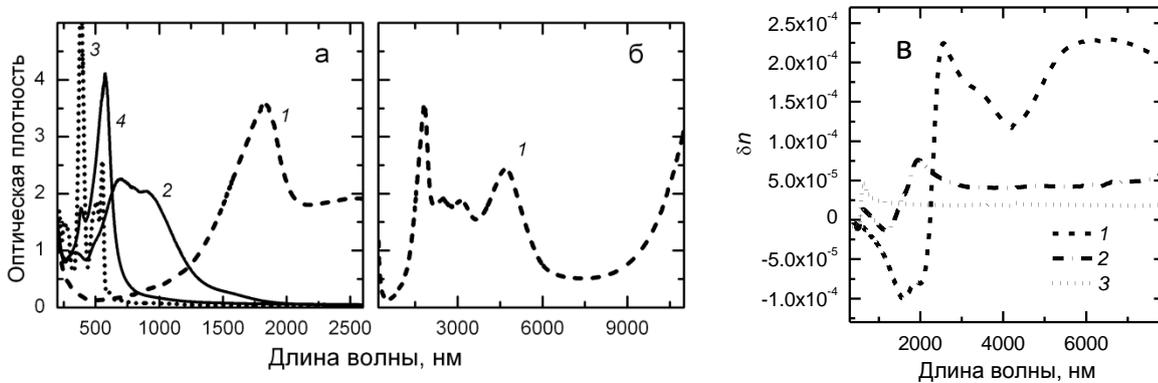


Рис. 3. а – экспериментальные спектральные зависимости поглощения образца с голограммой; б – спектр образца с голограммой в состоянии 1 в расширенном диапазоне длин волн; в – расчетные спектральные зависимости амплитуды модуляции показателя преломления (1–3) для состояний кристалла  $\text{CaF}_2$ , показанных соответственно кривыми (2–4) на рис. (а). Относительная погрешность расчетной величины – 4 %

Постэкспозиционная фототермическая обработка позволяет записать голограмму в области поглощения аддитивно окрашенных кристаллов  $\text{CaF}_2$  и трансформировать ее таким образом, чтобы интенсивные полосы поглощения были бы сдвинуты в длинноволновую область спектра. При этом должна быть обеспечена максимальная модуляция показателя преломления в ИК-диапазоне и не должно создаваться заметного поглощения. Следовательно, появляется возможность регистрации в этом диапазоне эффективных фазовых голограмм, которые могли бы быть использованы в качестве пропускающих и отражательных голографических фильтров.

Для оценки характеристик фильтров были использованы спектры фототермообработанных кристаллов. Соотношение Крамерса – Кронига (1) позволяет построить по ним спектральные зависимости показателя преломления и определить спектральные зависимости дифракционной эффективности, а также спектральную селективность пропускающих и отражательных голограмм толщиной 5, 10 и 20 мм, записанных по симметричной схеме с пространственным периодом решетки  $h = 2$  мкм. Характер голограммы определяется величиной угла Брэгга, который в свою очередь зависит от длины волны. Для решетки с таким периодом для длин волн, меньших 5720 нм, голограмма является пропускающей; а при  $\lambda = 5720$  нм угол Брэгга равен  $90^\circ$  и голограмма становится отражательной.

Полуширина контура спектральной селективности приближенно может быть вычислена по выражению [2]:

$$\Delta\lambda/\lambda \approx h \text{ctg} \theta_1 / T, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – длина волны считывания голограммы в воздухе,  $\theta_1$  – угол Брэгга голограммы в первом порядке дифракции.

Высокая прозрачность кристалла, содержащего коротковолновые квазиколлоидные или коллоидные центры окраски, в средней ИК-области спектра позволяет получить в них отражательную голограмму. Дифракционная эффективность  $\eta$  отражательной голограммы была рассчитана по следующему выражению [2]:

$$\eta = th^2(v_r), \quad (8)$$

где  $\nu_r = \frac{\pi \delta n T}{\lambda \sin \theta_0}$ ,  $\theta_0$  – угол Брэгга, близкий к  $90^\circ$ .

Спектральная селективность отражательной голограммы может быть определена исходя из того, что отклонение длины волны от значения, соответствующего значению  $\theta_0 = 90^\circ$ , влечет за собой изменение угла Брэгга, то есть приводит к отклонению параметра расстройки  $\xi_r$  от нулевого значения.

Параметр расстройки и полуширина контура спектральной селективности связаны соотношением [2]:

$$\xi_r(\lambda) = \Delta\lambda \frac{\pi T}{\lambda h}. \quad (9)$$

Здесь  $\lambda$  – длина волны отраженного излучения при выполнении условия Брэгга,  $\Delta\lambda$  – отклонение от нее. Полагаем расстройку равной четверем; это значение может быть использовано в качестве меры угловой селективности, поскольку при ней дифракционная эффективность голограммы практически падает до нуля.

### Заключение

В ходе выполнения работы была достигнута ее основная цель: подтверждена возможность использования кристаллов фторида кальция с фотохромными центрами окраски в качестве голографической среды в ближней и средней ИК-области спектра.

Полученная методика обработки дискретных данных позволяет определить ожидаемые характеристики голографического фильтра на основе фторида кальция с центрами окраски для широкой спектральной области, в том числе для среднего ИК-диапазона, для которого такие фильтры до сих пор не разработаны. Методика основана на подтвержденных данных о механизме записи голограммы и высокой степени пространственной модуляции концентрации центров окраски, формирующих голограмму.

Показано, что широкая область прозрачности фторида кальция в ИК-диапазоне спектра и возможность фототермической перестройки центров окраски делают аддитивно окрашенные кристаллы  $\text{CaF}_2$  средой, позволяющей формировать голограммы, которые могут быть использованы в качестве высокоселективных пропускающих и отражательных фильтров ближнего и среднего ИК-диапазонов спектра. Приведенные оценочные характеристики голограмм (дифракционная эффективность, спектральная селективность), полученные для кристаллов, содержащих достаточно малую концентрацию центров окраски, точнее, анионных вакансий/электронов  $\sim 3 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , могут быть улучшены путем увеличения содержания указанных компонентов. Изменение параметров процедуры аддитивного окрашивания позволяет увеличить интенсивность окраски кристаллов  $\text{CaF}_2$ , что делает возможным создание на кристаллах толщиной 5–10 мм фильтров с высоким пропусканием/отражением.

### Публикации

1. К.А. Аксенова, А.Е. Ангервакс, А.С. Щеулин, А.И. Рыскин, Р.В. Гайнутдинов Фототермическое преобразование центров окраски в кристаллах  $\text{CaF}_2$  // *Опт. и спектр.* 2015, Т. 118. № 4. С. 572–576.
2. К.А. Аксенова, А.Е. Ангервакс, А.С. Щеулин, А.И. Рыскин Голографические характеристики кристаллов фторида кальция в инфракрасном диапазоне спектра // *Оптический журнал*, Т. 82, № 11, 2015 (в печати).

### Литература

1. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. – 686 с.
2. Макарова Е. Г. Методы расчета оптических постоянных конденсированных сред по спектрам отражения, Дисс. канд. Физ.-мат. наук. Ленинград, 1985. – 34 с.



**Антонов Георгий Александрович**  
**Факультет компьютерных технологий и управления**  
**Кафедра вычислительной техники**  
**E-mail: gogiant1992@gmail.com**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОПОСТАВЛЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Г.А. Антонов

Научный руководитель – профессор А.Ю. Тропченко

Цель работы – повышение эффективности сопоставления локальных областей изображений в условиях аффинных искажений.

Сформулированная цель достигается посредством решения следующих задач:

- изучение детекторов локальных областей изображений;
- проведение исследования детекторов локальных особенностей на повторяемость в условиях аффинных искажений;
- усовершенствование метода решения задачи сопоставления;
- проведение тестирования усовершенствованного метода.

Теоретическая значимость исследования состоит в анализе методов детектирования локальных особенностей и сравнении результатов их работы в условиях аффинных преобразований.

С практической точки зрения стоит отметить предложенный и протестированный метод решения задачи сопоставления изображений в условиях аффинных искажений.

### **Исследование детекторов локальных особенностей на повторяемость**

Целью исследования стало нахождение детектора, обладающего лучшим показателем повторяемости в условиях аффинного преобразования.

Используемые обозначения:  $I_1$  – исходное, неискаженное изображение;  $I_2$  – изображение, полученное из  $I_1$  при помощи матрицы преобразования  $M$ . Матрица аффинного преобразования  $M$  имеет вид:

$$M = Z \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $Z$  – коэффициент матрицы преобразования. От его величины зависит то, насколько сильно  $I_2$  будет отличаться от  $I_1$ .

Исследование проведено при помощи симуляции аффинных искажений и включает в себя следующую последовательность действий.

1. Из исходного изображения  $I_1$  получено искаженное изображение  $I_2$  при помощи матрицы аффинного преобразования  $M$  с заданными коэффициентами.

2. На изображениях  $I_1$  и  $I_2$  выделяются локальные особенности при помощи детектора  $D$ . Множества особенностей  $K_1$  и  $K_2$  соответственно.

3. Координаты особенностей, найденных на  $I_2$ , восстанавливаются обратным аффинным преобразованием.

4. Для каждой точки из множества  $K_1$  происходит поиск соответствующей точки из множества  $K_2$  по восстановленным координатам. Таким образом, выделяются повторенные после искажения особенности.

5. Подсчитывается коэффициент повторяемости по следующей формуле:

$$R = \frac{B}{A}, \quad (2)$$

где  $A$  – количество особенностей, найденных на изображении  $I_1$ ;  $B$  – количество особенностей, повторенных на изображении  $I_2$ .

В работе исследовано свойство повторяемости шести наиболее широко используемых детекторов (Harris [1, 2], Harris-Laplace, Fast-Hessian, MSER [3], DoG [4], FAST [5]) на 30 изображениях при 25 значениях коэффициентов матрицы аффинного преобразования. Кроме того, для каждого детектора производилось варьирование значения его аргумента  $P$ . Таким образом, было проведено  $30 \times 25 \times (7+4+5+5+5+7) = 24750$  опытов.

Результаты исследования шести детекторов на повторяемость представлены на рис. 1.

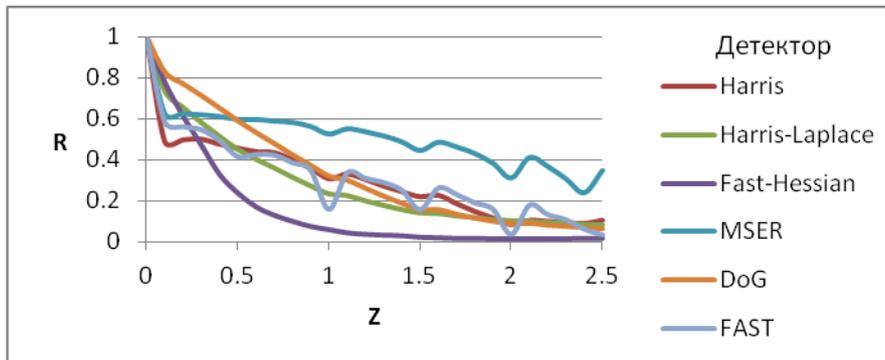


Рис. 1. Графики зависимости повторяемости  $R$  детекторов от значения элемента матрицы аффинного преобразования

Вывод: детектор MSER обладает наиболее благоприятной для сопоставления кривой зависимости повторяемости от коэффициента  $Z$ . Кроме того, изменение порога детектора не сильно сказывается на результатах.

### Усовершенствованный метод решения задачи сопоставления

Исследование показало, что детектор MSER лучше других подходит для сопоставления локальных областей в условиях аффинных искажений.

Предлагается усовершенствовать существующий метод SIFT путем замены «заложенного» в него автором метода DoG на метод MSER.

Заметим, что повторяемость метода DoG при небольших значениях коэффициента  $Z < 0,5$  лучше, чем повторяемость метода MSER. Однако при небольших искажениях в обоих случаях детектируется и сопоставляется достаточное количество особенностей. Ключевое значение имеет повторяемость при больших искажениях, поскольку количество повторенных особенностей резко падает и необходимо сопоставить достаточное их количество.

### Тестирование предложенного метода

Целью тестирования является проверка коэффициента правильности сопоставления предложенного метода на практике.

**Тестируемые параметры.** Тестировался коэффициент сопоставления  $H$  и коэффициент правильности сопоставления  $L$ .

$$H = \frac{C}{N}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество обнаруженных особенностей,  $C$  – количество сопоставленных особенностей.

$$L = \frac{W}{C}, \quad (4)$$

где  $C$  – количество сопоставленных особенностей,  $W$  – количество правильно сопоставленных особенностей.

Количество правильно сопоставленных особенностей вычисляется следующим образом:

- координаты сопоставленных особенностей искаженного изображения восстанавливаются при помощи аффинного преобразования, обратного тому, каким было получено искаженное изображение;
- внутри каждой пары особенностей происходит сравнение координат особенности на исходном изображении и восстановленных координат особенности на искаженном изображении;
- если сравнение показало, что координаты идентичны, сопоставление считается правильным.

Варьируемые параметры. Варьировались те же параметры, что при исследовании детекторов: два детектора (DoG и MSER), аргументы детекторов  $P$ , значение элемента  $Z$  ( $0,1 \leq Z \leq 2,5$ ) матрицы аффинного преобразования  $M$ , 30 изображений.

**Этапы тестирования.** Тестирование предложенного метода включает в себя следующие этапы:

- детектирование особенностей на  $I_1$  и  $I_2$  методами MSER и DoG;
- описание особенностей методом SIFT;
- сопоставление особенностей;
- вычисление коэффициента сопоставления  $H$  и коэффициента правильности сопоставления  $L$ .

**Результаты тестирования.** Построим графики усредненных значений коэффициентов  $H$  (рис. 2).

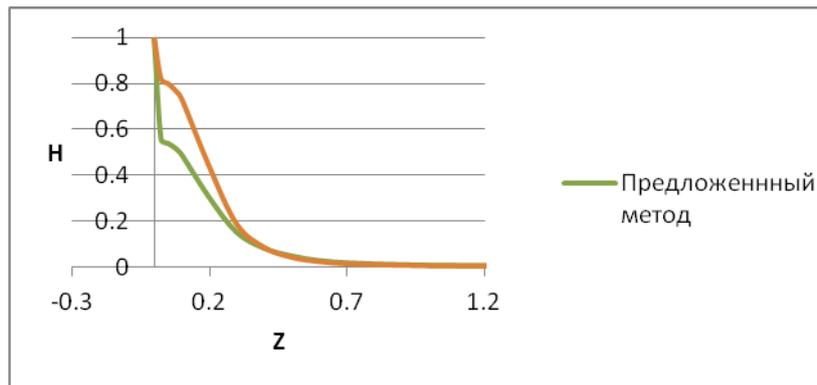


Рис. 2. Графики зависимости коэффициентов сопоставления  $H$  от коэффициента  $Z$  матрицы аффинного преобразования  $M$  для предложенного (MSER+SIFT) и существующего (DoG+SIFT) методов

Построим графики усредненных значений коэффициентов  $L$  для существующего и для предложенного методов (рис. 3).

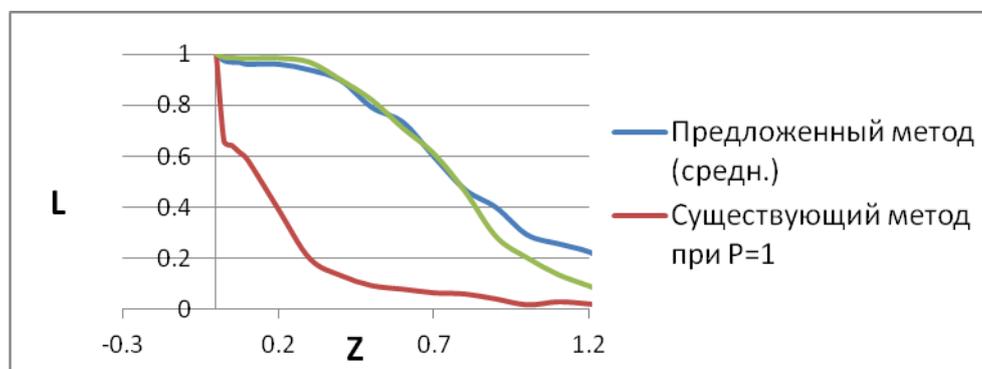


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов правильности сопоставления  $L$  от коэффициента  $Z$  матрицы аффинного преобразования  $M$  для предложенного (MSER+SIFT) и существующего (DoG+SIFT) методов

### Заключение

В результате исследования существующих методов, а именно анализа результатов 24750 опытов, был выделен детектор, обладающий лучшим показателем повторяемости (MSER).

Был предложен метод решения задачи сопоставления в условиях аффинных искажений путем замены «связанного» с дескриптором детектора на детектор MSER.

В результате тестирования предложенного метода при значениях коэффициента  $Z > 0,4$  матрицы аффинного преобразования  $M$  было получено в среднем на 26 % (максимально на 36 %) больше сопоставлений, чем у существующего решения. В связи с тем, что с увеличением  $Z$  значительно падает количество сопоставлений, прибавка в 36 % является существенной.

Кроме того, предложенный метод допускает меньше ошибок при сопоставлении, чем существующий. Он показал в среднем в 1,2–4,58 раз (максимально в 8,7 раз) больше коэффициент правильности сопоставления  $V$  в зависимости от аргумента  $P$  детектора.

### Литература

1. Harris C., Stephens M. A combined corner and edge detector // Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. 1988. P. 147–152.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2010. – 979 p.
3. Matas J., Chum O., Urban M., Pajdla T. Robust wide baseline stereo from maximally stable extremal regions // Proceedings of the British Machine Vision Conference. 2002. P. 384–393.
4. Lowe G.D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 60. No 2. P. 94–110.
5. Tuytelaars T., Mikolajczyk K. Local invariant feature detectors: A survey // Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision. 2007. Vol. 3. No 3. P. 177–280.



Белашов Андрей Владимирович  
Факультет фотоники и оптоинформатики  
Кафедра фотоники и оптоинформатики  
E-mail: belashov@niuitmo.ru

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

А.В. Белашов

Научный руководитель – профессор О.С. Васютинский

Один из самых известных методов регистрации молекул синглетного кислорода основан на детектировании излучения фосфоресценции на длине волны 1275 нм при излучательном переходе возбужденного электрона в основное электронное состояние молекулы ХЗΣg. Главный недостаток данного метода состоит в том, что этот переход является сильно запрещенным. В связи с этим интенсивность излучения фосфоресценции чрезвычайно мала.

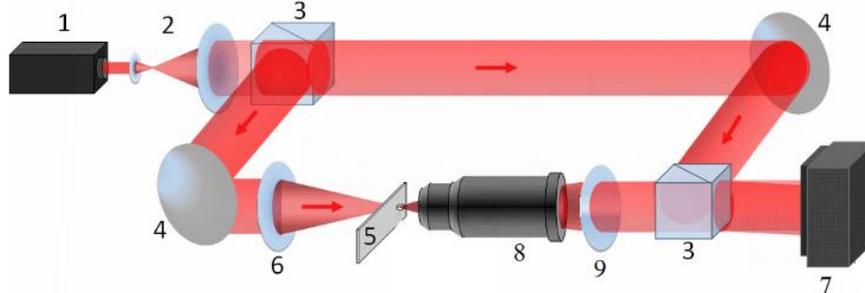
Ранее было показано, что голографические методы могут стать выгодной альтернативой традиционному методу в связи с тем, что для регистрации используют Сборник работ аспирантов НИУ ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

температурный градиент – результат безызлучательной релаксации молекул синглетного кислорода. Данный процесс приводит к появлению градиента температуры в области локализации синглетного кислорода. Соответствующий градиент показателя преломления окружающей среды может быть зарегистрирован по изменению фазы прошедшего нерезонансного излучения. Регистрация полученного температурного распределения может быть осуществлена посредством восстановления фазы волнового фронта прошедшего через исследуемый объект.

В ходе выполнения этой работы данные голографические методы были использованы для изучения реакции клетки лука, содержащей диффундировавший водный раствор радохлорина, на воздействие постоянного лазерного излучения с длиной волны, лежащей в полосе поглощения радохлорина. С этой целью ткани лука были помещены в водный раствор радохлорина, где в течение 30 мин происходила диффузия фотосенсибилизатора внутрь клетки. Затем образцы помещались в предметное плечо установки голографического микроскопа, после чего облучались постоянным лазерным излучением с длиной волны 405 нм.

### Использованные методы исследования

В ходе выполнения проекта основным методом исследования являлся алгоритм восстановления фазы волнового фронта из внеосевой цифровой голограммы [1]. Регистрация осуществлялась цифровой фотокамерой «Видеоскан-2-205». Алгоритм был реализован в программной среде National Instruments Labview. Для регистрации цифровых голограмм использовалась оптическая схема по типу интерферометра Маха – Цендера. В качестве источника когерентного излучения использовался He-Ne лазер. Для адаптации размеров клетки к размерам ПЗС-матрицы в предметное плечо была внедрена микроскопическая система с коэффициентом увеличения  $\approx 30-35$  раз. Возбуждение синглетного кислорода в водном растворе радохлорина® производилось с помощью лазерного излучения мощностью 50 мВт с длиной волны 405 нм. Схема используемой установки представлена на рис.1.



*Рис. 1. Схема оптической установки для записи голограмм микрообъектов:  
1 – регистрирующий лазер; 2 – расширитель пучка; 3 – делители пучка; 4 – зеркала;  
5 – объект; 6 – собирающая линза; 7 – ПЗС-матрица; 8 – микрообъектив;  
9 – коллимирующая линза*

Выбор данного фотосенсибилизатора для проведения экспериментов обусловлен тем, что он практически не поглощает излучение с длиной волны 632,8 нм, что позволяет избежать дополнительных помех, вносимых регистрирующим лазером.

Фильтрация шумов в полученном фазовом распределении производилась с помощью подбора параметров восстанавливающего метода [1], а также  $\sin\text{-}\cos$ -метода [2], позволяющего устранить дефекты в фазовом распределении. Для вычитания фазовых распределений волнового фронта, прошедшего через клетку лука в возмущенном и исходном состояниях, использовался метод, описанный в работе [3]. После нахождения фазовых набегов, образующихся в результате воздействия лазерного излучения на образец в течение различного количества времени, была произведена операция развертки фазовых распределений [4], позволяющая впоследствии проводить более подробный анализ

Сборник работ аспирантов НИУ ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

полученных данных. Все программное обеспечение для обработки цифровых голограмм и фазовых распределений было выполнено в программной среде National Instruments Labview.

### Исследование биологических образцов методом голографической микроскопии

В результате обработки цифровых голограмм, зарегистрированных до возбуждения образца и после 10, 20, ..., 90 и 100 с воздействия лазерного излучения, были восстановлены фазовые распределения волнового фронта, прошедшего через исследуемый объект. На рис. 2 представлены восстановленные амплитуда и фаза волнового фронта, прошедшего через ткань лука. В дальнейшем рассматривалась лишь одна клетка, выделенная на данных изображениях красной рамкой.

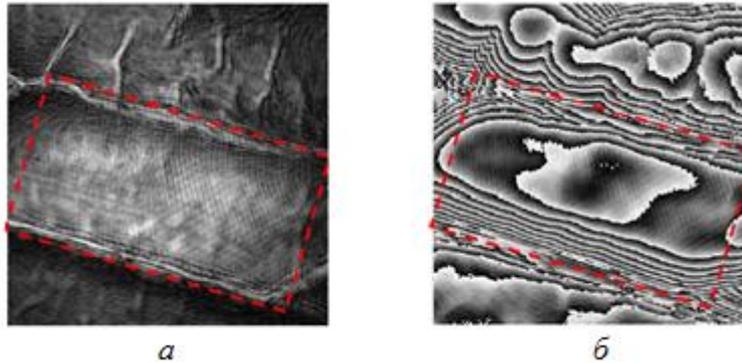


Рис. 2. Результат восстановления волнового фронта, прошедшего через исследуемый образец при отсутствии возбуждающего лазерного излучения: а – амплитуда; б – фаза

Красная рамка обозначает клетку, рассматриваемую в дальнейшем при анализе фазового набега, обусловленного воздействием на нее лазерного излучения с длиной волны 405 нм.

Затем была найдена разность возмущенных и невозмущенного фазовых распределений волнового фронта. Последующая развертка фазовых распределений, то есть переход от относительных значений в диапазоне  $[-\pi; \pi]$  к абсолютным значениям фазы позволила оценить изменения, произошедшие в клетке. Результаты данной обработки представлены на рис. 3.

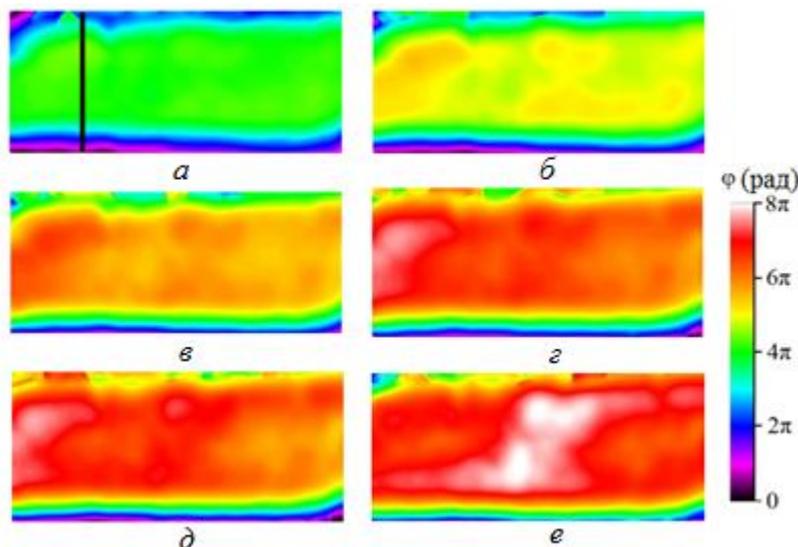


Рис. 3. Результат восстановления фазового запаздывания волнового фронта, прошедшего через клетку лука, подверженную воздействию непрерывного лазерного излучения с длиной волны 405 нм в течение: а – 10 с; б – 20 с; в – 30 с; г – 40 с; д – 70 с; е – 100 с

Из рис. 3 видно, что в ходе облучения исследуемого образца клетки лука, содержащей водный раствор фотосенсибилизатора, происходит увеличение фазового запаздывания.

Сборник работ аспирантов НИУ ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

Вероятно, это обусловлено нагревом внутренней среды клетки и некоторой деформацией. При этом ввиду неоднородности клетки изменения свойств на разных участках образца происходят с различной скоростью. Также стоит отметить, что реакция разных участков клетки может преобладать в разные моменты времени, что ясно видно из сравнения фазовых распределений после 70 и 100 с нагрева.

### **Заключение**

Таким образом, в ходе работы над проектом показано, что методы голографической микроскопии позволяют детектировать изменения в клетке, произошедшие в результате воздействия лазерного излучения на фотосенсибилизатор и синглетный кислород.

Выполнены все поставленные задачи по созданию оптической установки для реализации метода голографической микроскопии и восстановлению фазового набег, обусловленного воздействием лазерного излучения на клетку лука, содержащую водный раствор фотосенсибилизатора. Была проведена регистрация цифровых голограмм невозмущенных клеток лука и при наличии возбуждения в виде постоянного лазерного облучения с длиной волны 405 нм. Полученные голограммы были обработаны, после чего найдена разность фазовых распределений волновых фронтов, прошедших через невозмущенный и возмущенный объекты. Полученное распределение фазового запаздывания содержит информацию о пространственном распределении отклика клетки на воздействие лазерного излучения.

Была проведена серия экспериментов, в ходе которых были восстановлены пространственные распределения фазового запаздывания, полученные после 10, 20, ... , 90 и 100 с воздействия лазерного излучения. На фазовых распределениях видно, что по ходу воздействия лазерного излучения появляются некоторые локальные максимумы. Также было показано, что при увеличении длительности воздействия лазерного излучения фазовый набег увеличивается. Таким образом, методы цифровой голографической микроскопии могут быть использованы для исследования внутриклеточных процессов, обусловленных реакцией водного раствора фотосенсибилизатора и содержащегося в нем кислорода на постоянное лазерное излучение.

### **Публикации**

1. *Semenova I.V., Belashov A.V., Beltukova D.M., Petrov N.V., Vasyutinskii O.S.* Combined phosphorescence-holographic approach for singlet oxygen detection in biological media // *Proceedings of SPIE*. 2015. Vol. 9531. P. 95310S.

### **Литература**

1. *Liebling M., Blu T., Unser M.* Complex-wave retrieval from a single off-axis hologram // *Journal of the Optical Society of America A*. 2004. Vol. 21. No 3. P. 367–377.

2. *Aebischer H.A., Waldner S.* A simple and effective method for filtering speckle-interferometric phase fringe patterns // *Optics Communications*. 1999. Vol. 162. No 4–6. P. 205–210.

3. *Schnars U.* Direct phase determination in hologram interferometry with use of digitally recorded holograms // *Journal of the Optical Society of America A*. 1994. Vol. 11. No 7. P. 2011–2015.

4. *Judge T.R., Bryanston-Cross P.J.* A review of phase unwrapping techniques in fringe analysis // *Optics and Lasers in Engineering*. 1994. Vol. 21. No 4. P. 199–239.



**Беляев Михаил Евгеньевич**  
Факультет компьютерных технологий и управления  
Кафедра систем управления и информатики  
E-mail: belyaevmihail@mail.ru

## СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЕМ «ВОЗДУХ/ТОПЛИВО» В ИНЖЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

М.Е. Беляев

Научный руководитель – доцент Д.Н. Герасимов

Цели работы – построение математических моделей осаждения топлива на стенках впускного коллектора и формирования топливовоздушной смеси; синтез адаптивных систем управления соотношением «воздух/топливо» в инжекторном двигателе. В работе решалась задача стабилизации соотношения на стехиометрическом уровне.

При работе двигателя внутреннего сгорания происходит множество процессов. В данной работе будет рассматриваться процесс формирования топливовоздушной смеси. Основной проблемой в достижении оптимального соотношения «воздух/топливо» в смеси является то, что не все впрыснутое топливо достигает цилиндра. Часть его остается на стенках коллектора и попадает в двигатель на следующей итерации цикла. Измерить эту часть невозможно. Для полного сгорания смеси необходимо, чтобы соотношение «воздух/топливо» было равно 14,7 (стехиометрическое соотношение), то есть 14,7 частей воздуха к одной части топлива.

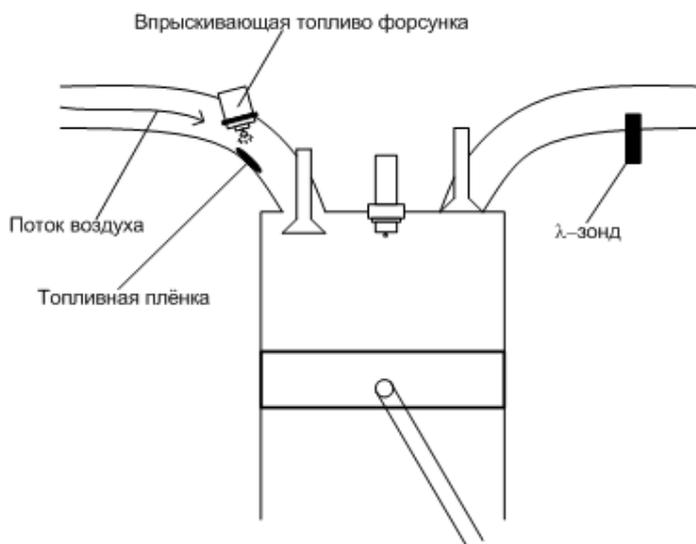


Рис. 1. Образование топливовоздушной смеси

Измеряется соотношение «воздух/топливо» с помощью двух типов датчиков: пропорциональных и релейных. Пропорциональные датчики вырабатывают электрический сигнал, пропорциональный соотношению «воздух/топливо». Релейные датчики указывают только на положение измеряемого соотношения относительно стехиометрического, что сильно ограничивает доступную информацию. Но такие датчики дешевле пропорциональных и обладают более долгим сроком службы.

В работе рассматривается несколько моделей соотношения «воздух/топливо». Регулировать соотношение можно, изменяя массу впрыскиваемого топлива. Поэтому при расчетах используют модели «топливо/воздух», так как масса топлива при этом находится

*Сборник работ аспирантов НИУ ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга*

в числителе. Упрощенная модель [1] при измерении с помощью релейного датчика описывается следующей системой уравнений:

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

где  $x(t)$  – масса топливной пленки,  $T$  – параметр динамики испарения топливной пленки,  $K$  – часть топлива, оседающего на стенках коллектора,  $u(t)$  – масса впрыскиваемого топлива,  $y(t)$  – нормированное соотношение «топливо/воздух»,  $F_s$  – стехиометрическое соотношение,  $m_{ac}(t)$  – масса воздуха в цилиндре,  $z(t)$  – доступный для измерения выходной сигнал датчика,  $y^* = 1$  – желаемое значение регулируемой переменной. На рис. 2 представлена характеристика релейного датчика.

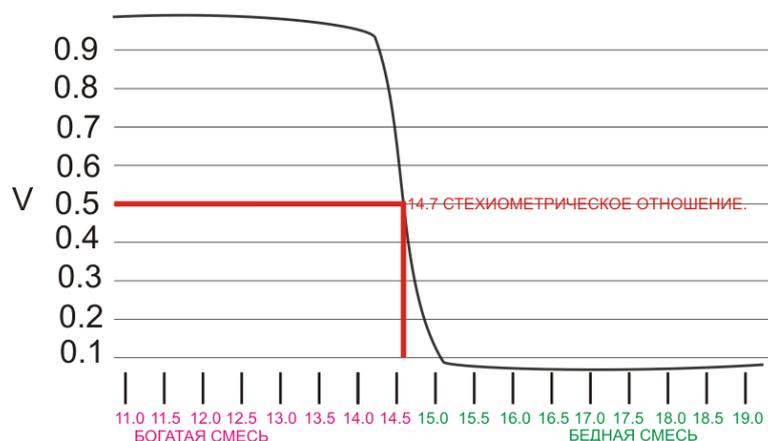


Рис. 2. Характеристика релейного датчика

Параметры  $K$  и  $T$  неизвестны и полагаются постоянными. Для их идентификации модель представляется в форме «вход – выход» и раскладывается в ряд Тейлора по степеням

устойчивого звена  $H(s) = \frac{\lambda}{s + \lambda}$ , где параметр  $\lambda$  выбирается экспериментально. А затем

применяется метод наименьших квадратов. Идентификация происходит в моменты переключения датчика, когда значение соотношения известно. Это проиллюстрировано на рис. 3.



Рис. 3. Моменты идентификации

Для обеспечения некоторого количества переходов в начальные моменты времени используется ПИ-регулятор. Когда оценки параметров сформированы, они подставляются в адаптивный регулятор. Его можно получить из неадаптивного, согласно принципу обратной динамики, из инверсии модели [2]. В неадаптивном регуляторе параметры заменяются их оценками. На рис. 4 представлена схема адаптивной системы управления, содержащей устройство оценивания, ПИ-регулятор, адаптивный регулятор и блок переключения.

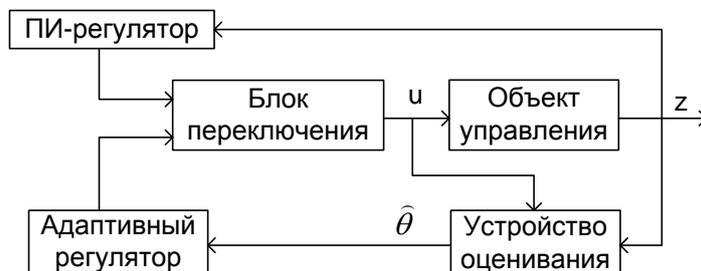


Рис. 4. Схема адаптивной системы управления

Результаты моделирования адаптивной системы управления представлены на рис. 5. ПИ-регулятор был подключен первые десять секунд. Видно, что регулятор выполняет поставленную задачу, а сигнал управления имеет гладкую форму, что делает его физически реализуемым. Компоненты вектора параметрической ошибки  $\tilde{\theta}$  стремятся к нулевому значению. Но, несмотря на хорошие результаты, такая система будет неточно работать на реальном объекте, так как в упрощенной модели коэффициенты полагаются постоянными. В действительности же они могут меняться в зависимости от скорости двигателя, давления, износа деталей и других факторов.

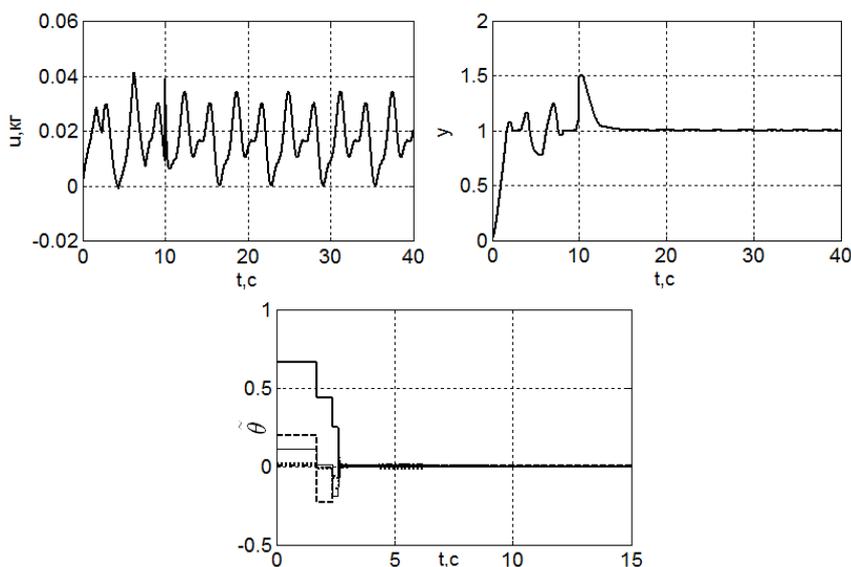


Рис. 5. Результаты моделирования

Для повышения точности описания протекающих в двигателе процессов на реальных данных была построена дискретная математическая модель следующей структуры:

$$\phi(k) = \frac{1}{z^m} \sum_{i=1}^{10} W_i(z, k) [\varphi_i(k) \Delta_f(k)], \quad (2)$$

где  $\phi(k)$  – соотношение «топливо/воздух»,  $m$  – транспортное и измерительное запаздывание,  $W_i(z, k)$  – передаточные функции  $n$ -го порядка с нулевой относительной степенью и параметрами, зависящими от скорости, давления и положения фазовращателя,

$\varphi_i(k)$  – вектор входных функций, включающий давление, скорость, положение фазовращателя и их комбинации.

Эта модель может быть преобразована к регрессионной форме для идентификации с помощью МНК и инвертирована для получения регулятора. Для синтеза адаптивной системы управления применялись аналогичные этапы, но датчик был пропорциональный. При моделировании была использована модель двенадцатого порядка, а ПИ-регулятор был подключен в течение 10 тыс. шагов (~2 мин). Рассматривались две системы управления: с прямой настраиваемой моделью и с инверсной. В первой идентифицировались параметры модели двигателя, а во второй – параметры инверсной модели двигателя, что удобнее для реализации регулятора. На рис. 6 представлены результаты моделирования обеих систем. Видно, что они выполняют поставленную задачу.

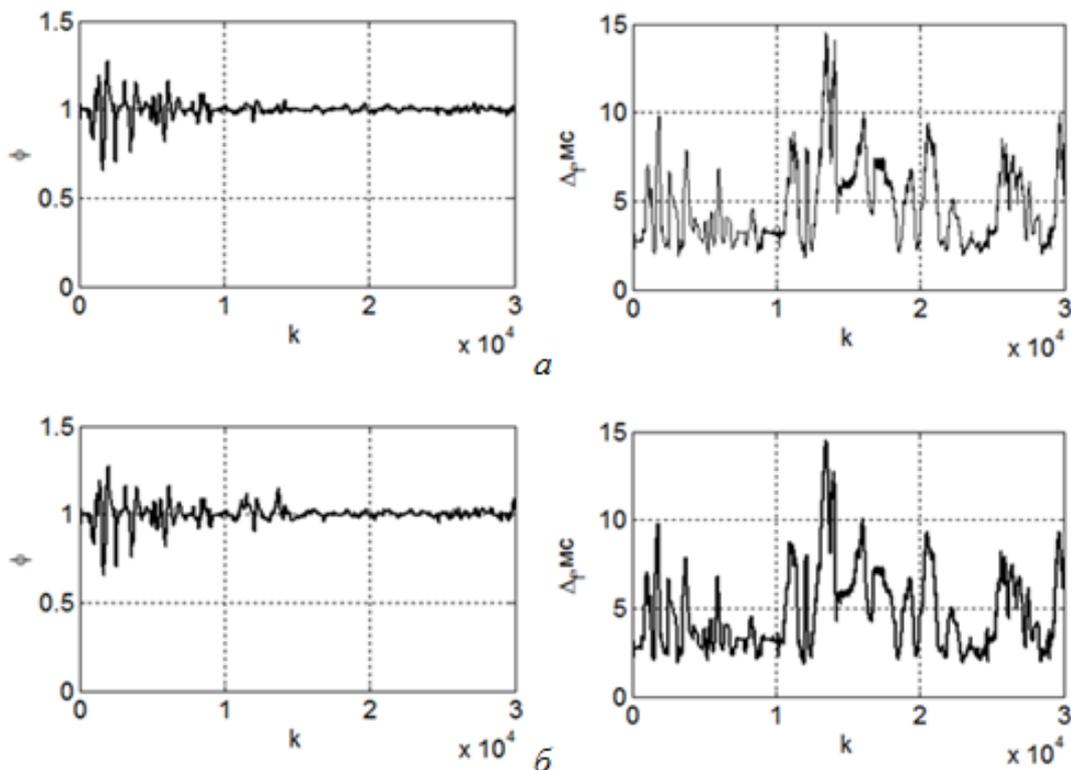


Рис. 6. Результаты моделирования адаптивной системы:  
а – с прямой моделью, б – с инверсной

### Заключение

В ходе данной работы была решена задача стабилизации соотношения «воздух/топливо» методами адаптивного управления.

Были рассмотрены некоторые модели формирования топливоздушнной смеси. Целью управления была стабилизация текущего соотношения «воздух/топливо» на стехиометрическом уровне. Для рассмотренных моделей были синтезированы регуляторы, а также смоделирована работа систем с ними.

В системе с упрощенной моделью для измерения соотношения использовался релейный датчик. В более точной эмпирической модели использовался пропорциональный датчик, так как результаты экспериментов с релейным датчиком были неудовлетворительными.

В дальнейшем планируется провести исследование возможности применения релейного датчика в адаптивных системах с эмпирической моделью. Представленные в статье результаты могут быть использованы в автомобилестроении.

### Литература

1. *Aquino C.F.* Transient A/F control characteristics of the 5 liter central fuel injection engine // SAE Technical Paper. 1981. No 810494. – 18 p.
2. *Крутько П.Д.* Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. М., 2004. – 574 с.



**Большакова Анастасия Сергеевна**  
Факультет холодильной, криогенной техники и кондиционирования  
Кафедра холодильных машин и низкопотенциальной энергетики  
E-mail: [nastyia201991@yandex.ru](mailto:nastyia201991@yandex.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КИПЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ

А.С. Большакова

Научный руководитель – профессор А.А. Малышев

Цель работы – снижение необратимых потерь в низкотемпературной технике и низкопотенциальной энергетике за счет оптимизации теплогидродинамических характеристик кипящих потоков рабочих веществ в трубах и каналах.

Основным направлением развития техники низких температур и систем жизнеобеспечения является повышение энергетической эффективности, снижение воздействия на окружающую среду, повышение надежности и безопасности (последнее особенно актуально при переводе техники на природные рабочие вещества). Данные показатели могут быть достигнуты интенсификацией теплообмена в аппаратах и снижением заправки рабочего вещества. Именно этим тенденциям отвечают компактные теплообменники.

В лаборатории Университета ИТМО спроектирован и смонтирован экспериментальный стенд по исследованию режимов течения различных хладагентов (рис. 1). Он включает в себя два контура: рассольный и контур хладагента. Рассольный контур предназначен для обеспечения различных температур конденсации (конденсатор III) и термостабилизации в контуре. Он включает вспомогательную холодильную машину VIII, бак аккумулятор холода I и термостат II.

Циркуляция рабочего вещества в контуре хладагента осуществляется по принципу термосифона с принудительной циркуляцией при помощи насоса НР. Таким образом, обеспечивается равенство температур насыщения рабочего вещества в конденсаторе III и в экспериментальном блоке (IV, V и VI).

Контур хладагента состоит из конденсатора III, парогенератора IV, участка теплообмена V, участка гидродинамики VI, переохладителя VII. На входе и выходе участка гидродинамики установлены быстродействующие соленоидные вентили IX.

Кроме того, в состав экспериментального стенда входят: отделитель жидкости X, ресивер XI, измерительная емкость XII и соленоидный вентиль обводной линии XIII.

Эксперименты проводились при следующих условиях: использовался хладагент R134a с массовой скоростью  $w_p = 50 \div 500 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$  и температурой кипения  $t_0 = -20 \div +10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

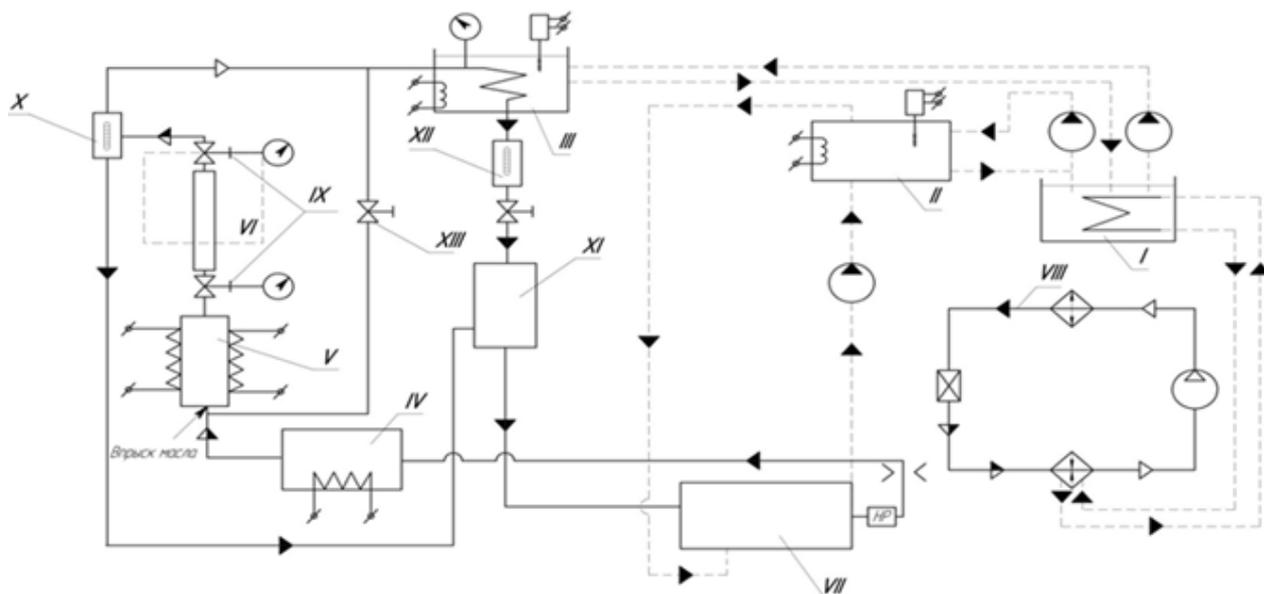


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования теплогидродинамических свойств кипящего хладагента

Стенд позволяет исследовать процессы теплообмена и гидродинамики различных хладагентов в диапазоне температур кипения  $t_0 = -20 \div 5 \text{ }^\circ\text{C}$ , массовых скоростях  $G = 50 \div 500 \frac{\text{кг}}{\text{с}\cdot\text{м}^2}$  и плотностях теплового потока  $q = 0,5 \div 20 \text{ кВт/м}^2$ . В процессе проведения экспериментов определяются:

- коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ;
- плотность теплового потока  $q$ ;
- расход жидкости  $G_{\text{жс}}$ ;
- расход пара  $G_{\text{п}}$ ;
- истинное объемное паросодержание  $\varphi$ ;
- режимные течения;
- параметры устойчивости.

В результате визуальных наблюдений за характером течения и анализом распределения температур по периметру поперечного сечения трубки было выявлено шесть основных режимов течения хладагента (снарядный, волновой, расслоенный, волновой-кольцевой (переходный), кольцевой и эмульсионный) и установлены границы их существования [1].

В ходе эксперимента также было отмечено влияние следующих параметров на изменение границ режимов течения хладагента. Значения расходного паросодержания  $x$ , соответствующие переходу от снарядного режима к волновому, практически не зависят от скорости циркуляции хладагента  $w_0$ . Границы между волновым и волновым-кольцевым, волновым и расслоенным, а также между волновым-кольцевым и кольцевым, волновым-кольцевым и расслоенным режимами с увеличением  $w_0$  смещаются в сторону меньших значений  $x$ . Граница между снарядным и волновым режимами практически одинакова для труб диаметрами  $d_0 = 10 \text{ мм}$  и  $d_0 = 6 \text{ мм}$ . Переход от волнового к волновому-кольцевому и от волнового-кольцевого к кольцевому режиму на трубах с  $d_0 = 10 \text{ мм}$  происходит при больших значениях  $x$ . Существование расслоенного режима не зависит от диаметра труб и ограничивается условием  $w_0 \leq 0,07 \text{ м/с}$ . Переход к эмульсионному течению происходит при  $x = 0,9$  независимо от прочих условий. В ходе проведения экспериментов при изменении расходного паросодержания  $x$  в пределах  $0,005 \div 0,9$  ( $\beta = 0,2 \div 0,997$ ) в горизонтальных трубах наблюдались следующие режимы течения: снарядный, волновой, расслоенный, волновой-кольцевой (переходный), кольцевой.

Согласно методике проведения экспериментов истинное паросодержание  $\varphi$  измерялось многократно для каждого заданного состояния потока, характеризуемого постоянными значениями  $x$ ,  $w_p$ ,  $t_0$ . Это позволило определить пределы колебаний  $\varphi$ , вызванные пульсациями потока, характерными для каждого режима (при  $x = \text{const}$ ), а также оценить погрешность, возникающую при вычислении среднего значения  $\varphi_{\text{ср}}$ .

Движение двухфазного потока имеет ряд особенностей, связанных с гидромеханическим взаимодействием фаз между собой и со стеной трубы [2].

При движении двухфазного потока абсолютные скорости жидкой и паровой фаз различны, причем при течении в горизонтальных трубах скорость пара больше скорости жидкости. Вследствие этого данные по расходу двухфазного потока, а также данные по расходам каждой из фаз в отдельности не дают полного представления о гидродинамике потока. Поэтому для характеристики двухфазного течения наряду с величинами, рассчитанными по уравнениям материального и теплового баланса, приходится использовать величины, определение которых ведется с учетом движения каждой из фаз в отдельности. Параметры, рассчитанные по уравнениям материального и теплового балансов именуется расходными, а величины, учитывающие движение каждой из фаз в отдельности или их относительное движение (скольжение) – истинными. Определение истинных значений параметров двухфазных потоков – основная задача гидродинамики.

Установлено, что разработка универсальной диаграммы режимов течения может быть проведена с помощью истинного объемного паросодержания. Получена диаграмма режимов. Результаты исследования режимов течения позволили установить границы их существования и выполнить анализ данных по локальному теплообмену в отдельности для каждой формы течения [3]. Получены зависимости  $\varphi = f(\beta)$  при температурах кипения хладагента  $t_0 = +20^\circ\text{C}$  и  $t_0 = -18^\circ\text{C}$ ,  $w_p = \text{const}$ .

Понижение плотности теплового потока приводит к перераспределению теплоотдачи  $\alpha$  и отмечается в верхней части сечения. Это свидетельствует о том, что с изменением  $q$  (при прочих равных условиях) изменяется вклад отдельных составляющих теплоотдачи: при наибольшей плотности теплового потока теплообмен в основном зависит от интенсивности пузырькового кипения, а при малых значениях  $q$  доминирует воздействие вынужденной конвекции.

### Заключение

Развитие полученных экспериментальных данных по внутритрубному кипению позволило создать предпосылки для разработки универсальных расчетных методик испарителей с внутриканальным течением и наметить пути оптимизации режимных параметров, а также создать новые типы теплообменных аппаратов. Разработана методология прогнозирования режимов кипения на основе критериальных уравнений движения потоков с учетом скольжения фаз.

Выполнена разработка методик расчета теплогидродинамических параметров кипящих жидкостей на основе локальной теплоотдачи с использованием режимов течения и скольжения фаз. Она открывает широкие перспективы создания высокоэффективных испарителей.

### Публикации

Мальшев А.А., Большакова А.С., Киссер К.В. Исследования режимов течения двухфазных потоков хладагентов в горизонтальных трубах // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. 2014. № 3(16). С. 61–70.

### Литература

1. Шуришев В.Ф., Умеров А.Н. Идентификация режимов течения двухфазных потоков холодильных агентов и их смесей с использованием фазовых диаграмм // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2005. № 2 (25). С. 224–231.

*Сборник работ аспирантов НИУ ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга*

2. Ховалыг Д., Бараненко А.В. Методы расчета градиента давления двухфазного потока при течении в малых каналах // Вестник Международной академии холода. 2012. №1. С. 3–10.
3. Ховалыг Д.М., Бараненко А.В. Теплоотдача при кипении хладагентов в малых каналах // Вестник Международной академии холода. 2013. № 4. С. 3–12.



**Борисов Иван Игоревич**  
**Факультет компьютерных технологий и управления**  
**Кафедра мехатроники**  
**E-mail: borisow.i.i@yandex.ru**

## РАЗРАБОТКА АНТРОПОМОРФНОГО ПРОТЕЗА КИСТИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И НЕЙРОИНТЕРФЕЙСОМ

И.И. Борисов

Научный руководитель – доцент С.С. Резников

Одним из перспективных направлений развития робототехники и мехатроники является разработка гуманоидных роботов. Современное общество одержимо идеей создания человекоподобных роботов, которые помогали бы людям в монотонной и рутинной работе, или в опасной и вредной среде, или же и вовсе освободили бы людей от любой деятельности. Многие писатели фантасты представляют будущее человечества в виде интеграции живого и не живого, человека и машины, которая делает людей сильнее, умнее и быстрее.

Данное исследование посвящено разработке электромеханического протеза кисти человека с бионическим управлением. Электромеханический протез по сравнению с механическим обладает большей функциональностью, благодаря которой пациенту легче реабилитироваться после ампутации конечности. Создание электромеханического протеза, как и любого сложного мехатронного устройства, носит комплексный характер. Оно включает в себя разработку конструкции, системы управления, а также средств взаимодействия системы управления с конструкцией [1] и конструкции с окружающей средой, реализуемых с помощью датчиков, сенсоров и контроллеров.

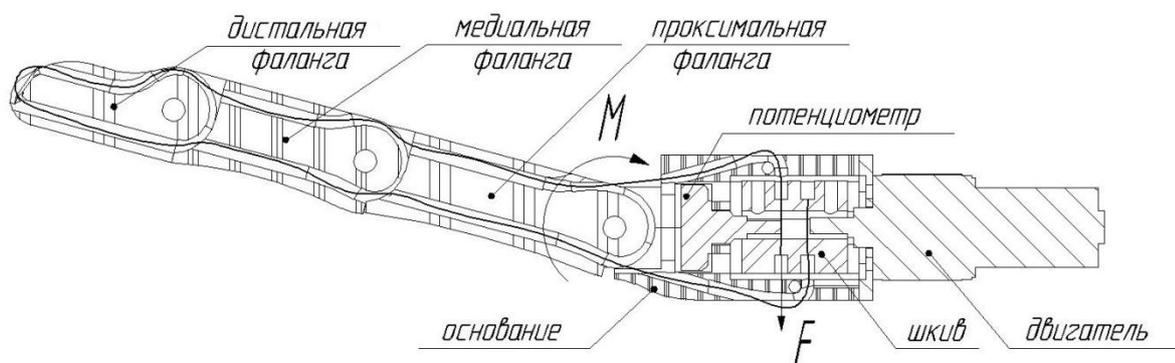


Рис.1. Схема сгибания пальца

В ходе работы над проектом был разработан и изготовлен прототип протеза кисти, который используется для отладки алгоритмов управления и обратной связи. Модель была изготовлена в программном пакете Solid Works. В ходе разработки конструкции был

проведен структурный, кинематический и динамический анализы. Палец, с точки зрения кинематики, представляет собой незамкнутую цепь звеньев, соединенных последовательно между собой вращательными парами (рис. 1). Один конец, представляющий собой дистальную фалангу, свободен, другой является неподвижной стойкой относительно кисти. Степень свободы одного пальца равна трем, но степень подвижности – одному. Степень подвижности всей конструкции – шесть, так как большой палец имеет их две. Решенная прямая задача кинематики помогла определить зависимость между координатами кончиков пальца и углами их сгибания. Проведенный динамический анализ помог рассчитать длины фаланг, обобщенную силу натяжения троса, по значению которой был подобран двигатель.

Конструкция протеза состоит из пластиковых и металлических деталей (рис. 2). Детали корпуса и фаланги пальцев были изготовлены с помощью технологии трехмерной печати из ABS-пластика. Шкивы, приводящие в движение пальцы, выточены из дюралюминия Д13. Производство деталей из ABS-пластика и дюралюминия позволяет изготовить протез небольшой массы. Человеческая рука послужила прототипом для структуры и кинематики изготовленной конструкции, ее внешнего вида и принципа сгибания пальцев [2].

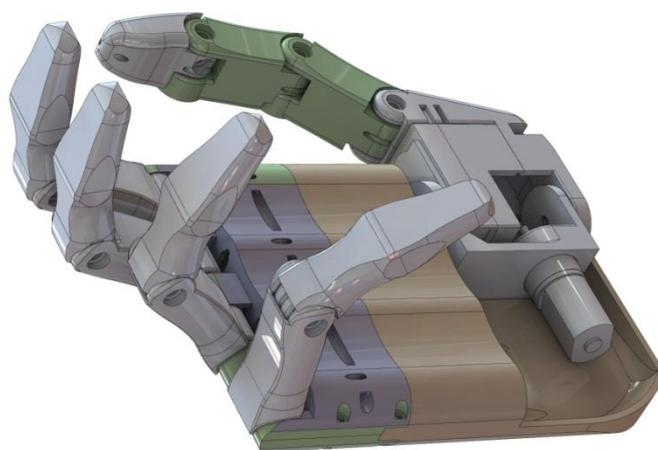


Рис. 2. Модернизированная конструкция электромеханической руки

Принцип сгибания пальцев протеза основан на работе системы тросов (рис. 1). Задачу сухожилий и мышц выполняли два нейлоновых троса, расположенные с внешней и внутренней стороны пальца. Они одним концом крепились за шкив, находящийся на валу двигателя, а вторым связывались между собой на конце дистальной фаланги с натяжением. При движении вала двигателя по часовой стрелке трос с внутренней части пальца наматывался на шкив, а трос с внешней стороны разматывался, тем самым приводя в движение палец. Основным достоинством и одновременно недостатком данного способа является особенность движения пальца. При отсутствии объектов на пути движения пальца при сгибании все три фаланги поворачиваются относительно ладони как единое целое до тех пор, пока проксимальная фаланга не остановится из-за конструкционных ограничителей. Палец сгибается на  $90^\circ$  относительно кисти. После этого медиальная и дистальная фаланги поворачиваются вместе относительно проксимальной фаланги на  $90^\circ$ . Последний этап – поворот дистальной фаланги на  $90^\circ$  относительно медиальной [3]. При захвате объекта порядок сгибания пальца аналогичен, за одним исключением – палец сгибается до тех пор, пока проксимальная фаланга не дотронется до объекта, далее пока медиальная фаланга не коснется объекта, после чего дистальная фаланга сжимает захватываемый объект. С одной стороны, такой способ обеспечивает адаптивность, с другой – палец ведет себя не антропоморфно, что сказывается на его функциональности.

Каждый палец приводится в движение собственным двигателем постоянного тока с редуктором. Большой палец протеза (рис. 3), в отличие от указательного, должен обладать двумя степенями свободы, благодаря одной из которых он будет сгибаться, а благодаря второй – противопоставляться остальным пальцам. В таком случае необходимо использовать два двигателя. Согласно техническому заданию, узел большого пальца должен быть

компактным, чтобы его можно было установить внутри ладони протеза. Сгибание пальца будет основано на тросиковой системе.

На рис. 3 изображена компоновка большого пальца. К основанию большого пальца 1 привинчивается двигатель 12 двумя винтами 8. На вал двигателя установочным винтом 7 крепится катушка 5. К ней присоединяется потенциометр 13 установочным винтом 7. Вокруг катушки с потенциометром устанавливаются детали: корпус катушки 2 и корпус катушки 3. Далее сервопривод 14 помещается в проксимальную фалангу большого пальца 4 и присоединяется к основанию большого пальца с помощью втулки 11 и шурупов 9. Вращение катушки будет приводить к сгибанию фаланг большого пальца, вращение сервопривода – к развороту всего пальца относительно кисти.

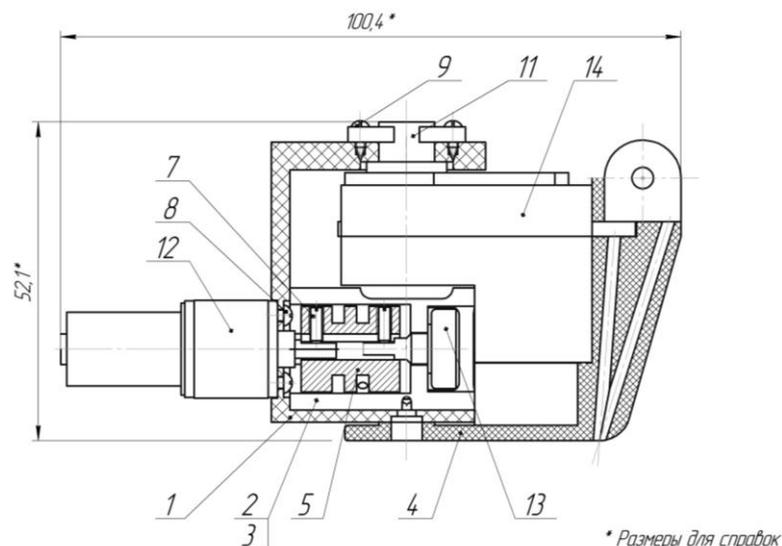


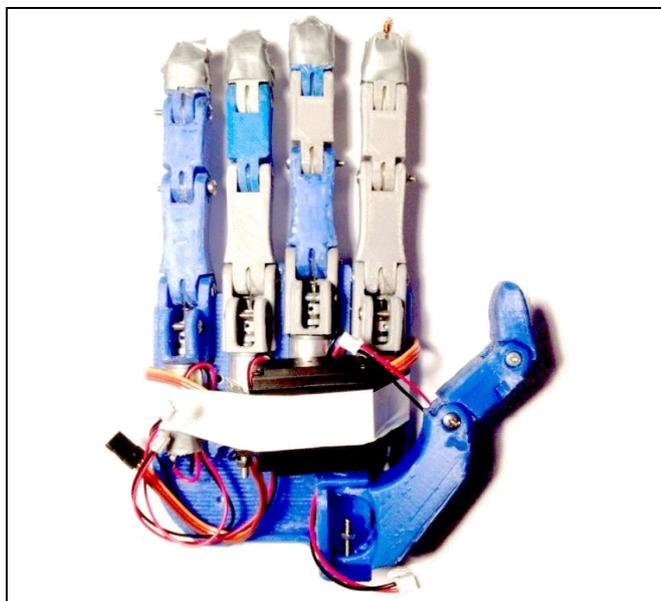
Рис.3. Конструкция узла большого пальца

Компоновка протеза, благодаря которой двигатели расположены внутри ладони, и небольшой вес делают возможным установку устройства на культю пациента. Система управления устройством будет реализована на основе поверхностных токов, снимаемых с культи пациента. На данный момент разработан алгоритм анализа сигналов, полученных с электромиографа, и их преобразования в управляющие сигналы. Кроме того, реализована и испытана система управления протезом с помощью перчатки с тензодатчиками. Проведен поиск датчиков, которые можно установить на устройство для обеспечения обратной связи.

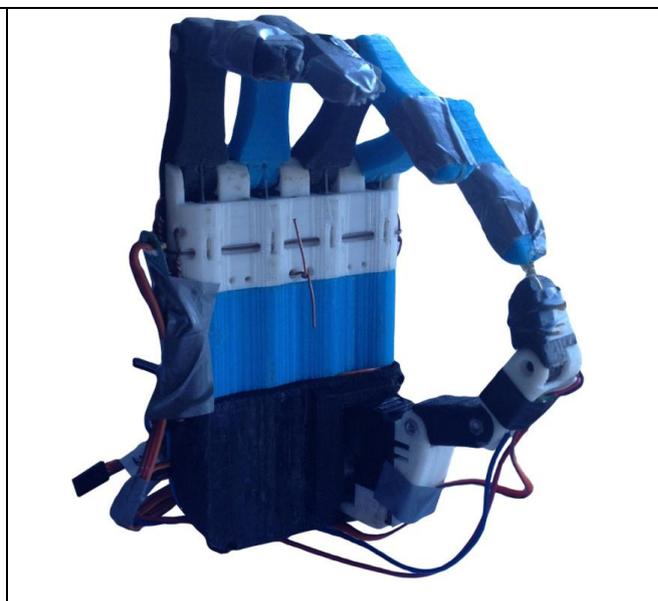
В ходе тестирования изготовленного прототипа протеза без обратной связи (рис. 4) было выявлено, что одной визуальной обратной связи недостаточно для успешного манипулирования протезом [4]. В результате модернизации прототипа была создана продвинутая система обратной связи (рис. 4), которая основана на совместной работе датчиков и сенсоров. Она имеет важное значение для корректной работы устройства. Протез должен автоматически подстраиваться к форме схватываемого объекта и обеспечивать крепкий захват без проскальзывания, кроме того, пользователь должен иметь возможность точно позиционировать пальцы протеза.

Для максимального сходства работы протеза с человеческой рукой следует провести аналогию с классификацией ощущений Шеррингтона. Согласно Шеррингтону, человеческие чувства делятся на интероцептивные, экстероцептивные и проприоцептивные ощущения. Интероцептивные сигнализируют о состоянии внутренних процессов организма, например голоде, и не интересуют нас. Экстероцептивные ощущения предоставляют человеку информацию о внешнем мире через рецепторы, расположенные на поверхности тела, следовательно, и протез тоже должен получать информацию о взаимодействии руки с объектами и окружающей средой. Проприоцептивные ощущения помогают человеку ориентировать части своего тела относительно друг друга в пространстве, то есть контроллер протеза должен знать точное положение пальцев искусственной руки.

Установка датчиков и сенсоров потребовала существенной переработки конструкции. Взаимодействие пальцев с окружающей средой было реализовано с помощью датчиков давления, расположенных на рабочей поверхности дистальной фаланги. Захват объектов в большинстве случаев происходит с помощью кончиков пальцев, поэтому для экстероцептивной обратной связи достаточно поместить резистивный датчик давления на внутренней стороне дистальной фаланги.



*Рис. 4. Прототип протеза кисти без обратной связи*



*Рис. 5. Прототип протеза кисти с обратной связью*

Для обеспечения проприоцептивной обратной связи было решено фиксировать изменение положения пальцев протеза с помощью потенциометров с отрицательной обратной связью. Их введение усложняет конструкцию. На схеме сгибания пальца (рис. 1.) изображен принцип введения в конструкцию потенциометра. Его показания однозначно сообщают системе о положении фаланг относительно друг друга, однако растяжение тросов и проскальзывание не учитываются.

Конструкция протеза была переработана (рис. 5) с учетом добавления продвинутой системы обратной связи и найденных недочетов в предыдущем варианте протеза, собрана и протестирована. В ходе испытаний система обратной связи зарекомендовала себя отлично: стало возможным точное позиционирование пальцев относительно кисти протеза, кроме того, протез стал реагировать на схватываемые объекты и останавливать процесс сгибания пальцев при касании их кончиков объектов.

Основная область использования разрабатываемого устройства – протезирование ампутированных верхних конечностей, а именно кистей рук. Роботизированная кисть также может использоваться в качестве захвата промышленного робота и выполнять сложные захваты, которые под силу только ловкой человеческой руке. В будущем планируется продолжить разработку и сделать полностью искусственную руку от кисти до плечевого сустава. Такое устройство может быть полезно не только при производстве на заводах, но и в быту. Например, две такие руки могли бы помогать людям по дому: готовить еду по определенным алгоритмам или гладить одежду, что сильно бы упростило нашу жизнь.

### Публикации

1. *Borisov I.I., Krivosheev S.V., Reznikov S.S.* Development of design, control system and feedback system of electromechanical hand // Doctoral School of Energy and Geotechnology II. 2015. P. 181–182.
2. *Борисов И.И., Кривошеев С.В., Резников С.С.* Датчики, необходимые для обеспечения обратной связи электромеханического протеза кисти // Сборник трудов II Международной

научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб., 2014. С. 43–44.

3. Борисов И.И., Кривошеев С.В., Резников С.С., Олейник Р.В. Разработка электромеханического протеза кисти с обратной связью // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. Казань, 2015. С. 47.

### Литература

1. Borisov I.I., Krivosheev S.V., Reznikov S.S. Development of design, control system and feedback system of electromechanical hand // Doctoral School of Energy and Geotechnology II. 2015. P. 181-182.

2. Carrozza M.C., Cappiello G. et al. Design of a cybernetic hand for perception and action // Biological Cybernetics. 2006. Vol. 95. No 6. P. 629–644.

3. Gonzalez J., Soma H., Sekine M., Yu W. Psycho-physiological assessment of a prosthetic hand sensory feedback system based on an auditory display: A preliminary study [Electronic resource] // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2012. Vol. 9. No 33. URL: <http://www.jneuroengrehab.com/content/9/1/33> (accessed: 21.09.2014).

4. Кривошеев С.В., Орманов Д.Р. Управление моделью многозвенного манипулятора с помощью значения электрических токов, снятых с поверхности руки // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 2. С. 41–44.



**Вережинская Екатерина Аркадьевна**  
Факультет лазерной и световой инженерии  
Кафедра оптико-электронных приборов и систем  
E-mail: [katrinever@yandex.ru](mailto:katrinever@yandex.ru)

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ

Е.А. Вережинская

Научный руководитель – доцент А.А. Горбачев

Цель работы – исследование и разработка комплексной оптико-электронной системы контроля положения автотранспортных средств на железнодорожных переездах, основанной на детектировании объектов (автотранспортных средств (АТС)) и предназначенной для предупреждения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах (ЖДП).

Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить аналитический обзор существующих устройств и комплексных систем безопасности, устанавливаемых в границах ЖДП;
- исследовать и разработать теоретическую модель системы;
- провести анализ схем построения экспериментального макета системы;
- разработать экспериментальный макет системы и провести его исследование;
- разработать алгоритм функционирования системы.

### Актуальность решения поставленных задач

Пересечение на одном уровне автомобильной дороги с железнодорожными путями – ЖДП – является одним из наиболее опасных участков дорожной сети. На данный момент на

территории Российской Федерации, согласно литературе [1], существуют четыре типа ЖДП: переезды общего и не общего пользования, регулируемые и нерегулируемые. На регулируемых переездах общего пользования в их границах и на подходах к ним установлены устройства переездной сигнализации (автоматической светофорной, звуковой, микропроцессорной автоматической переездной), извещающие водителей АТС о подходе к переезду железнодорожного подвижного состава (ЖДПС). Существующие разработки в данной сфере безопасности показывают, что эти устройства должны входить в состав (или использоваться совместно) комплексной системы безопасности на ЖДП, обеспечивающей контроль над опасной зоной переезда, регистрируя в ней объект. Это позволит дать более полную информацию о ситуации в пределах ЖДП и обеспечить безопасность на них. Однако данные системы наряду с некоторым количеством положительных характеристик имеют существенный недостаток: они срабатывают только в момент включения автоматической светофорной сигнализации. Если АТС не имеет возможности покинуть опасную зону в связи с технической неисправностью даже после оповещения работника станции, времени на освобождение ЖДП от АТС после вызова последним спасательных или других служб уйдет значительно больше, чем времени, необходимого для остановки машинистом поезда. То есть вероятнее всего поезд будет остановлен, а опасный участок ЖДП уже будет освобожден, что приведет к нарушению графика движения ЖДПС.

В ходе работы с патентными публикациями о комплексных системах безопасности на ЖДП были выделены такие аналоги, как, например, описанные в патентных заявках № JP 10-341427 [2], № RU 2295470 [3] и других. Разрабатываемая система отличается некоторыми особенностями.

1. 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, то есть системой с упрощенными алгоритмами детектирования.

2. Система исключает внедрение дополнительных модулей на АТС (как в радиолокационной системе).

3. Обнаружение объекта на переезде будет происходить как до, так и во время срабатывания тревожной сигнализации (в режиме реального времени).

4. Система может устанавливаться как на регулируемых переездах, так и на нерегулируемых.

5. 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 состава.

На первом этапе создания теоретической и экспериментальной моделей системы была разработана структурная схема теоретической модели (рис. 1а), а также проанализированы все существующие средства безопасности, установленные на границах ЖДП и на подходах к ним. На рис. 1б представлен вариант размещения блоков системы для регулируемых ЖДП общего пользования.

Предложено ввести в состав разрабатываемой ОЭС четыре блока регистрации (БР). Принцип действия каждого из них соответствует принципу действия фотоэлектрических датчиков положения объектов и состоит из фотодетектора (ФД), источника излучения (ИИ) и суммирующего устройства (СУ). БР совместно с решающими устройствами (РУ), предназначенными для анализа информации с БР (в их состав входит анализирующее устройство (АУ) и таймер (Т)), устанавливаются на определенном расстоянии по обе стороны ЖДП. Блоки располагаются таким образом, чтобы АТС по направлению движения проходило два БР с одной стороны. При пересечении АТС одного из двух блоков, АУ выдаст информацию о количестве сигналов с одного блока и с другого, свидетельствующую о том, что АТС находится в опасной зоне ЖДП. В этом случае система через некоторое время выдает команды тревоги и с помощью передающего устройства (ПУ) передает информацию в виде изображения с телевизионного датчика (ТД) на приемное устройство ПрУ и далее на

персональный компьютер (ПК) диспетчера станции. Подробнее о принципе функционирования системы изложено в работе [4].

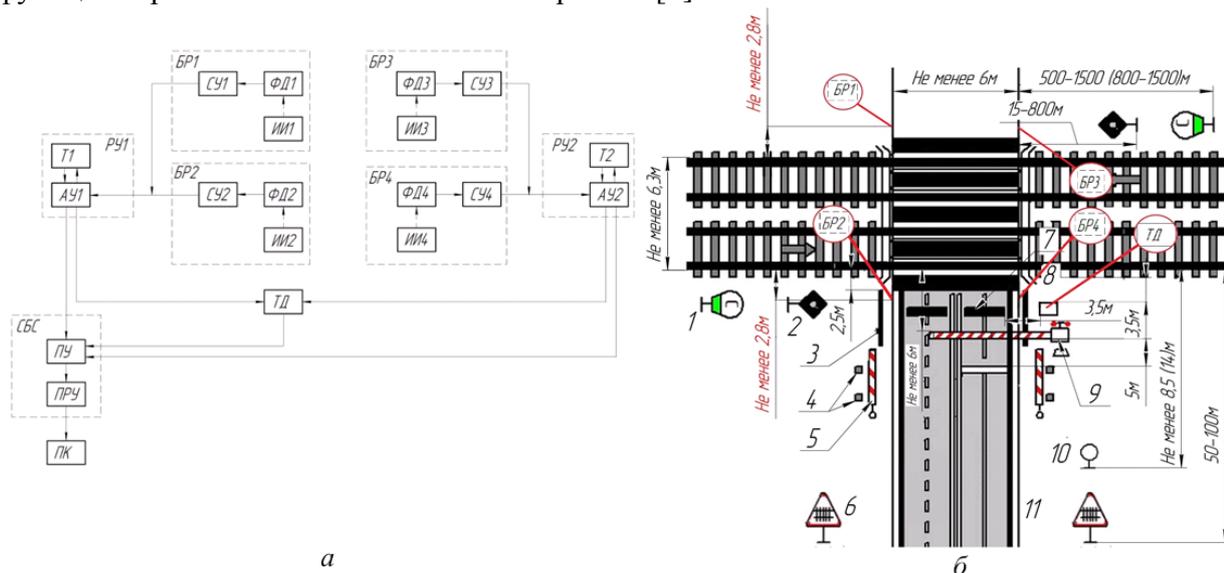


Рис. 1. а – структурная схема оптико-электронной системы контроля положения АТС на ЖДП; б – расположение основных блоков системы на ЖДП общего пользования в населенных пунктах со шлагбаумами: 1 – сигнальный знак «С»; 2 – заградительный светофор; 3 – перила; 4 – направляющие столбики; 5 – запасные шлагбаумы; 6 – дорожный знак «Железнодорожный переезд со шлагбаумом»; 7 – устройства заграждения переезда; 8 – здание переездного поста; 9 – автоматический шлагбаум со светофором; 10 – дорожный знак «Ограничение высоты»; 11 – кромка проезжей части автомобильной дороги

БР состоит из детектирующего устройства – приемника оптического излучения (ПОИ), в качестве которого был выбран фотодиод, и источника излучения (ИИ) – инфракрасного излучающего диода, рабочие длины волн которых в пике спектральной характеристики полностью совпадают и соответствуют величине 940 нм. Была рассмотрена необходимость поворота оси ИИ с угловым полем зрения  $20^\circ$  относительно оси ПОИ, угол зрения которого равен  $35^\circ$ . В результате чего рассчитаны расстояния до всех конструктивных элементов блока. Для улучшения условий детектирования излучения от выбранного излучающего диода был подобран объектив для ПОИ. Также был рассчитан коэффициент потерь в атмосфере. При этом рассмотрены наиболее неблагоприятные условия работы системы (с учетом, что коэффициенты потерь от осадков в виде снега близки к коэффициентам потерь для дождя). На основе выполненного энергетического расчета подтверждена правильность выбора всех элементов оптической схемы системы.

При разработке конструкции блока регистрации для экспериментального макета системы рассматривались несколько вариантов проведения измерений. Основной целью экспериментов являлось определение величины порогового напряжения на фотодиоде, при котором объект будет детектирован блоком регистрации. Первоначально были измерены напряжения на ПОИ в зависимости от типа внешней засветки без использования ИИ. Измерения проводились с одного и двух фотодиодов с помощью мультиметра Mastech MY64 для каждого случая по пять раз, что позволило определить среднеквадратические отклонения и границы доверительного интервала величины ошибки. Значение освещенности при различных внешних условиях измерялись с помощью люксметра Ю116. Данные измерения необходимы для дальнейшего учета влияния внешних помех на работу блока и выделения полезного сигнала на уровне помех. Результаты измерений приведены на рис. 2.

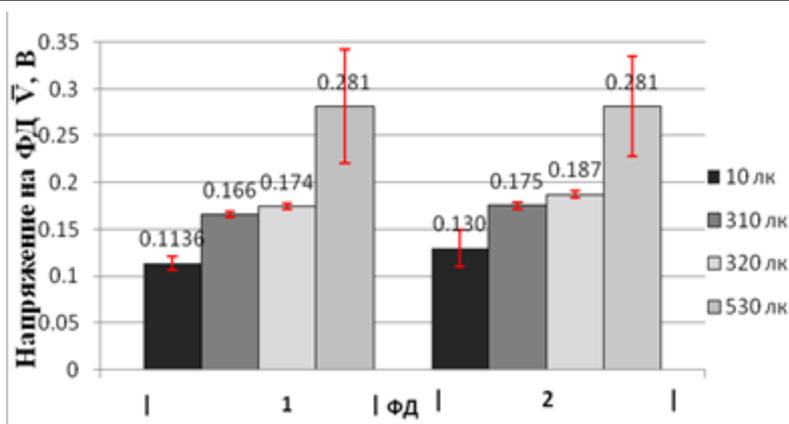


Рис. 2. Средние значения напряжения на одном и на двух ПОИ при различных значениях освещенности (без ИИ)

Результаты показывают, что наибольшее влияние на работу блока оказывает наличие внешней засветки при проведении измерений в ясный день в тени. Поэтому далее измерения проводились с использованием ИИ и установленной на ПОИ блендой. В качестве объекта излучения выбран светлый металлический объект, расположенный на дистанции 1 м от блока регистрации. Необходимо было сравнить значения напряжений на ПОИ при разных вариантах взаимной работы компонентов блока. Предложено использовать три варианта проведения измерений: используя два ИИ с одним ПОИ, два параллельно соединенных ПОИ с двумя последовательно соединенными ИИ и третий вариант – один ПОИ с одним ИИ, работающим с задержкой излучения. На основе данных моделей проводились измерения на соответствующих макетах системы в лабораторных условиях. Режим задержки излучения ИИ реализован при помощи подключения к нему микросхемы Arduino UNO на микроконтроллере Atmega318. При помощи программного кода для данного микроконтроллера были заданы три интервала времени задержки излучения ИИ: 1; 0,5 и 0,05 с. Сравнительно большее значение напряжения на ПОИ получено при непрерывном режиме работы ИИ с использованием двух фотодиодов и двух ИИ. Однако было определено, что при увеличении дистанции свыше 1 м показания на ПОИ не изменяются. Следовательно, необходимо усиление сигнала, снимаемого с ПОИ. Для этого к нему был подключен усилитель LM324N и проанализирован уровень усиления сигнала при различной фоновой засветке [5].

Таким образом, на основе проведенного моделирования был предложен вариант экспериментального макета блока регистрации системы (рис. 3).

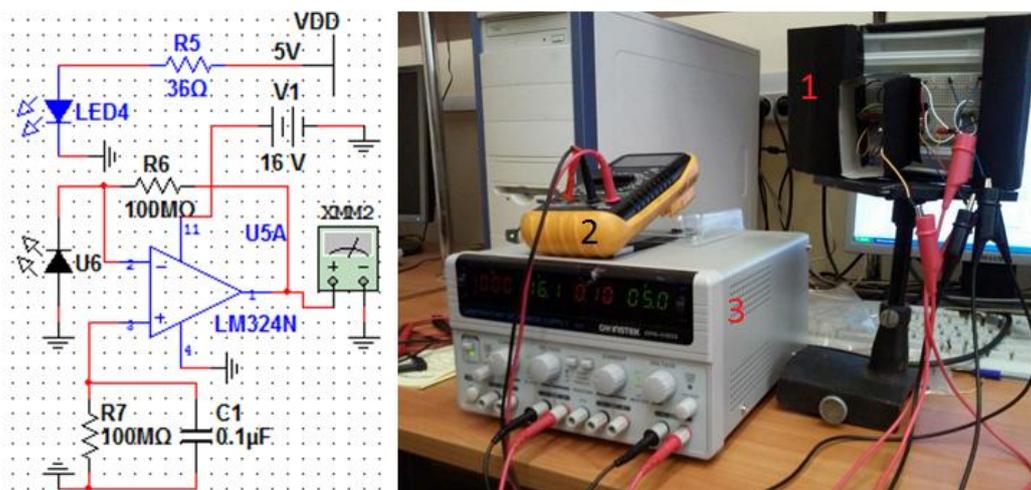


Рис. 3. Модель макета блока регистрации и его экспериментальный образец:  
 1 – блок регистрации с блендой; 2 – мультиметр Mastech MY64; 3 – блок питания  
 Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

При измерении с помощью экспериментального макета получены данные, которые подтверждают возможность детектирования на требуемых дистанциях. Для сравнения указан результат измерения на дистанции 1 м в отсутствие усиления (рис. 4).

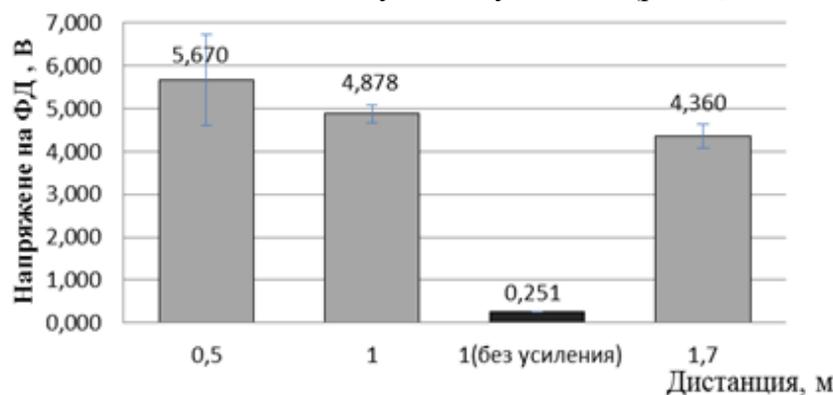


Рис. 4. Средние значения напряжения на ПОИ в зависимости от размера дистанции до объекта

Однако для дальнейшего улучшения условий детектирования необходимо продолжать бороться с фоновыми помехами. Для этого необходимо усовершенствовать разработанный макет, поместив элементы БР жесткой посадкой в металлический корпус с блендой. Аналогично был промоделирован режим работы ИИ без использования объектива ПОИ на основе анализа распределения облученности от ИИ на дистанциях 0,5; 1; 2 и 3 м (рис. 5).

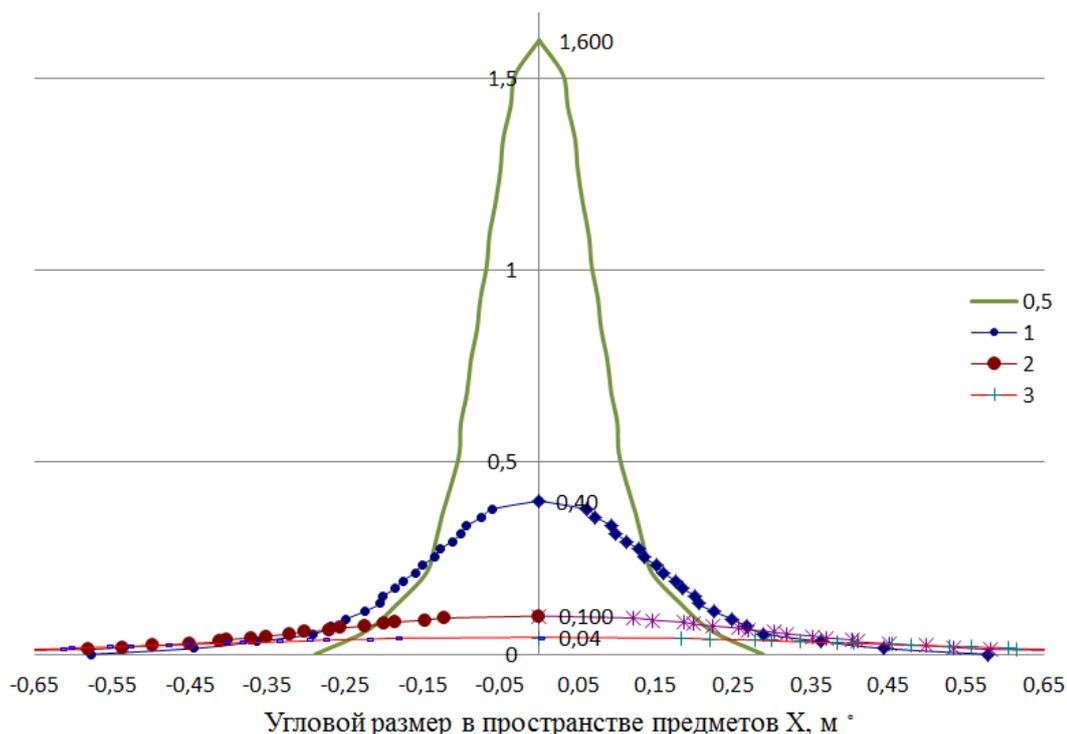


Рис. 5. Зависимость облученности от дистанции до объекта

Анализ показал, что необходимо, помимо установки объектива, подобрать вторичную оптику для ИИ. В качестве таковой в данном случае будет выступать коллиматорная линза, предназначенная для уменьшения угла расходимости и увеличения энергии излучения ИИ. Для выбранного инфракрасного излучающего диода была подобрана линза CP13073IRENE-IR-25.

На основе теоретической модели и разработанной электрической схемы предложен алгоритм детектирования и распознавания объекта блоком регистрации системы.

### **Заключение**

В ходе выполнения проекта проведена работа с патентными заявками ближайших аналогов, с нормативными документами и постановлениями Министерства транспорта РФ по правилам эксплуатации железнодорожных переездов. Проведены экспериментальные исследования разрабатываемого макета системы в лаборатории кафедры оптико-электронных приборов и систем Университета ИТМО, а также вне помещения при различных погодных условиях с различными видами объектов и дальностью их установки относительно системы. После проведения экспериментов выявлена необходимость модернизации макета.

Разрабатываемая оптико-электронная система контроля положения АТС на железнодорожных переездах и способы автоматического определения их положения позволят обеспечить контроль над опасной зоной переезда, предоставив при этом работникам железной дороги (диспетчеру станции) полную информацию о возможной аварийной ситуации на ЖДП до момента срабатывания различного типа переездных сигнализаций, установленных на нем.

### **Публикации**

1. *Вережинская Е.А.* Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб.: Университет ИТМО, 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1333/1333.pdf> (дата обращения: 11.10.2015).
2. *Вережинская Е.А., Горбачев А.А.* Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах // Сборник трудов III конференции «Будущее оптики» для молодых специалистов, кандидатов наук, аспирантов и студентов оптической отрасли и смежных дисциплин. СПб., 2015. С. 73–74.
3. *Вережинская Е.А.* Оптико-электронная система предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1. СПб., 2015. С. 103–106.
4. *Вережинская Е.А., Горбачев А.А.* Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 73–77.

### **Литература**

1. Инструкция по эксплуатации железнодорожных переездов МПС России (утв. МПС РФ от 29.06.1998 № ЦП-566). М., 1998. – 112 с.
2. Patent JP 10-341427 «Automatic alarm system», publication date 10.10.1998.
3. Патент РФ 2295470 «Система для предотвращения аварий на железнодорожных путях», опубл. 20.03.2007.
4. *Вережинская Е.А.* Оптико-электронная система предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1. СПб., 2015. С. 103–106.
5. *Вережинская Е.А., Горбачев А.А.* Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 73–77.



**Власов Александр Андреевич**  
**Факультет инфокоммуникационных технологий**  
**Кафедра световодной фотоники**  
**E-mail: [salusnetklim@yandex.ru](mailto:salusnetklim@yandex.ru)**

## **РАЗРАБОТКА ИЗЛУЧАТЕЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СИГНАЛА ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОСАДКИ БПЛА**

А.А. Власов

Научный руководитель – доцент А.А Макаренко

В настоящее время наблюдается повышение интереса к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа во всех отраслях народного хозяйства. Они применяются при патрулировании и охране территорий, мониторинге состояния протяженных объектов, фото- и видеосъемке в любых погодных и климатических условиях, а также в различное время суток. Современные БПЛА обладают малыми габаритами, широкими маневренными способностями, большим запасом хода, возможностью применения разной бортовой аппаратуры для ведения наблюдения (в том числе в ночное время), топографической съемки, ряда задач по целеуказанию и другими параметрами. Полет БПЛА может осуществляться как в управляемом оператором режиме, так и автоматически.

Узким местом использования БПЛА для решения любых задач является его безаварийная посадка, обладающая определенными особенностями. В связи с малыми габаритами аппарата состояние посадочной площадки (особенно неподготовленной) имеет огромное влияние на аварийность посадки в целом. У многих БПЛА существует «высота невозврата», соответственно, решение о пригодности данной площадки к осуществлению посадки должно быть принято до прохождения этой высоты [1]. Анализ мирового опыта в этой области показал три основные тенденции в обеспечении безаварийной посадки БПЛА:

- использование подготовленных площадок;
- использование систем анализа поверхности, основанных на радиолокационных или ультразвуковых методах;
- использование специальных захватывающих устройств на приемной стороне.

Изучение данных систем позволяет выделить следующую цель проекта – разработку излучателя оптического испытательного сигнала для системы автоматической посадки БПЛА. Оптический подход к решению задач анализа поверхности в интересах обеспечения безопасности посадки БПЛА позволит использовать данную систему в широком диапазоне погодных условий и решаемых проблем, в том числе требующих полного радиомолчания подвижных средств.

Структурная схема системы посадки БПЛА, а также место излучателя в ней приведены на рис. 1. Идеология работы разрабатываемой системы состоит в предоставлении бортовому автопилоту БПЛА достоверных и своевременных данных о состоянии и изменении параметров посадочной площадки, полученных методом оптического контроля. Применительно ко всему полету БПЛА это может выглядеть следующим образом: летательный аппарат самостоятельно выходит в район своего действия в соответствии с полетным заданием. При снижении включается система обеспечения автоматической посадки, которая производит анализ подлежащей поверхности и отправляет данные автопилоту, принимающему в соответствии с заложенными алгоритмами решение либо на посадку, либо на поиск другой площадки в заданном районе.



Рис. 4. Структура разрабатываемой системы

Излучатель оптического испытательного сигнала конструктивно состоит из трех блоков: устройства для автоматической регулировки усиления (АРУ) оптического испытательного сигнала в зависимости от внешней засветки/времени суток; модулятора, который используется для засветки предполагаемой посадочной площадки оптическим испытательным сигналом с заданным периодом (для облегчения выделения оптического сигнала телевизионной камерой [2]), и собственно оптического передатчика с проекционной насадкой на основе лазерного диода и дифракционной решетки. Оптический передатчик формирует испытательный оптический сигнал, по изменениям параметров которого при падении на предполагаемую посадочную площадку становится возможным вычисление ее параметров, необходимых для безаварийной посадки. Предполагаемый цикл работы системы отталкивается от работы приемника оптического испытательного сигнала – телевизионной камеры. ТВ-камера производит съемку 25 кадров в секунду. Предполагается при съемке первого кадра производить оценку средней освещенности площадки, по которой следует задавать параметры АРУ и снимать последующие 24 кадра, подсвеченные оптическим испытательным сигналом через один. При нескольких циклах работы системы появляется возможность производить оценку изменения параметров посадочной площадки, что будет полезно при осуществлении посадки на подвижные объекты – дрейфующую льдину или палубу корабля.

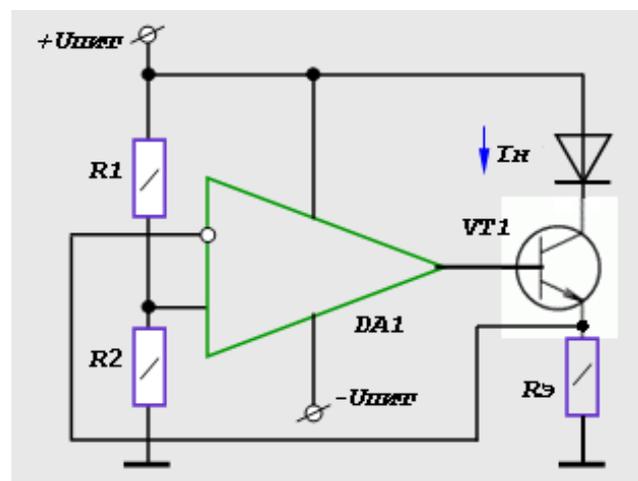


Рис. 2. Схема источника тока, управляемого напряжением для лазерного диода

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

В ходе работ над проектом была предложена общая концепция оптико-электронной системы автоматической посадки БПЛА в целом и излучателя оптического испытательного сигнала, в частности проведен расчет оптической (с использованием дифракционных оптических элементов [3, 4]) и электрической схем устройства (рис. 2). Последняя собрана на операционном усилителе и включает источник тока, управляемый напряжением [5]. Составные части оптической схемы устройства приведены на рис. 3. Осуществлен выбор компонентов, предложен способ управления работой устройства при помощи программируемого микроконтроллера с обратной связью по температуре. Также был собран и впоследствии усовершенствован испытательно-калибровочный стенд для проведения всех измерений и испытаний, подтвердивших теоретические расчеты. При работе на стенде была выявлена проблема потери оптической мощности при обратных отражениях, а также получен оптический испытательный сигнал в форме сетки (за счет использования линзы-генератора изображения типа «крест», расположенной перед дифракционной решеткой (рис. 4)), что позволит в дальнейшем применить более сложные и точные алгоритмы анализа поверхности [2]. В конечном итоге создан макет разрабатываемого устройства для дальнейших исследований и усовершенствований. При работе по данному проекту было подготовлено десять публикаций в различных изданиях и проведено пять докладов на конференциях и конгрессах.

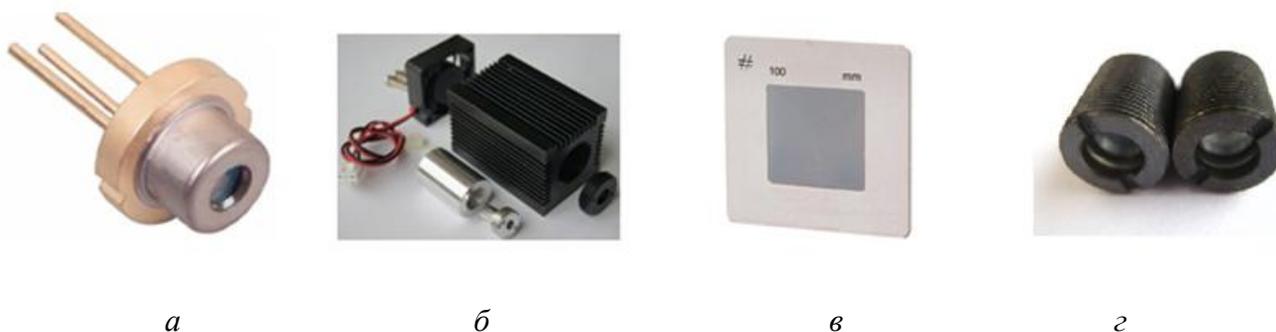


Рис. 3. Составные части оптической схемы излучателя: а – лазерный диод; б – корпус с радиатором; в – дифракционная решетка; г – линзы-коллиматоры

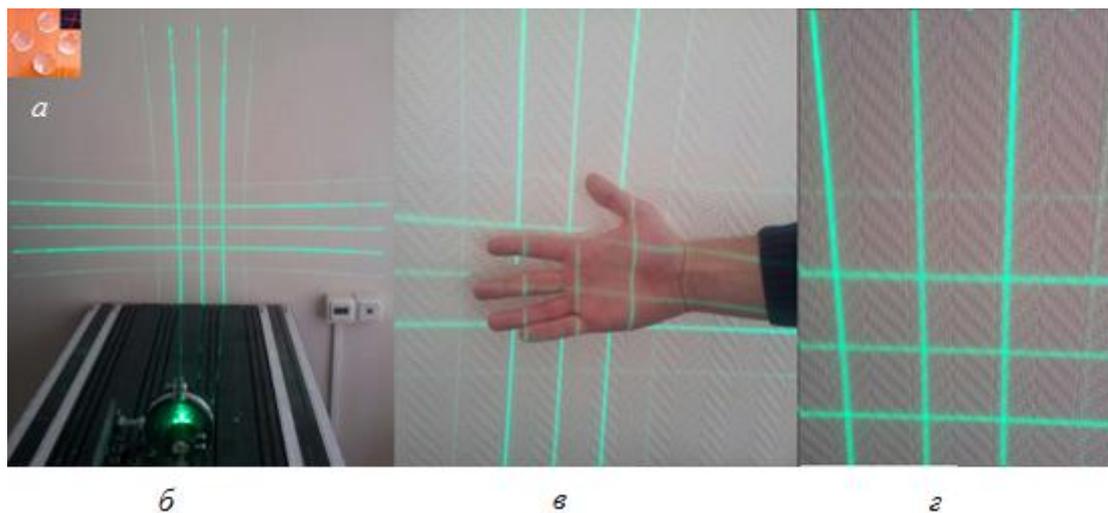


Рис. 4. Оптический испытательный сигнал: а – линза-генератор; б – построение изображение типа «сетка»; в – использование изображения типа «сетка» для сканирования и анализа поверхности; г – увеличенное изображение «сетка»

### Публикации

1. Власов А.А., Константинов М.А., Макаренко А.А., Макаров А.Д., Моторин Е.А., Николаев А.А., Токарев Н.С. Вариант применения оптоэлектронной системы для определения параметров посадочной площадки конвертоплана // Science, Technology and Life – 2014: Proceedings of the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary, 27–28 December 2014. Karlovy Vary, 2014. P. 199–207.
2. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А. Цифровой метод определения углового положения конвертоплана относительно земли // Теоретические и практические аспекты технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции (29 декабря 2014 г.). Уфа, 2014. С. 85–87.
3. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Оптико-электронная система автоматической посадки летательного аппарата // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 269–271.
4. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Применение бортовой оптоэлектронной системы для анализа пространственного положения беспилотного конвертоплана и стабилизации наблюдаемого изображения // Техническое зрение в системах управления – 2015: материалы научно-технической конференции (17–19 марта 2015 г.). М., 2015. С. 68–69.
5. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Вариант применения бортовой оптоэлектронной системы для стабилизации наблюдаемого изображения // Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Санкт-Петербург, 1–4 апреля 2015 г.). СПб., 2015, Том IV. С. 291–292.
6. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Бортовая оптоэлектронная система как элемент стабилизации пространственного положения беспилотного конвертоплана // Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Санкт-Петербург, 1–4 апреля 2015 г.). СПб., 2015, Том IV, С. 292–294.
7. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Optoelectronic system of aircraft landing // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 291–293.
8. Макаренко А.А., Власов А.А., Моторин Е.А., Макаров А.Д. Оптико-электронная система автоматической посадки беспилотного летательного аппарата вертолетного типа // Альманахе работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 2. СПб., 2015. С. 135–138.

### Литература

1. Боднер В.А. Теория автоматического управления полетом. М., 1964. – 698 с.
2. Мошкин В.И., Петров А.А., Титов В.С., Якушенков Ю.Г. Техническое зрение роботов. М., 1990. – 272 с.
3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике. Для инженеров и студентов вузов. М., 2008. – 1056 с.
4. Бутиков Е.И. Оптика: учебное пособие. СПб., 2003. – 579 с.
5. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. М., 2011. – 704 с.



**Вовк Илья Александрович**  
**Факультет фотоники и оптоинформатики**  
**Кафедра оптической физики и современного естествознания**  
**E-mail: alkharesmy-net@mail.ru**

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФЕНА И КВАНТОВЫХ ТОЧЕК**

И.А. Вовк

Научный руководитель – доцент А.О. Орлова

### **Введение**

Графен – это двумерный наноматериал, представляющий собой монослой атомов углерода, соединенных в гексагональную двумерную кристаллическую решетку. Графен обладает рядом специфических электрических и механических свойств, что обуславливает перспективы его применения в электронике и оптике. В частности, в работах [1–3] обсуждается возможность создания фотодетекторов на его основе. Однако графен довольно слабо поглощает свет, что существенно снижает чувствительность фотодетекторов такого типа.

В качестве одного из путей решения этой проблемы было предложено создание гибридных структур на основе графена и коллоидных полупроводниковых квантовых точек [4]. Полупроводниковые квантовые точки (КТ) – еще одна разновидность наноструктур, обладающая не менее уникальными физическими свойствами, в том числе высокой поглощательной способностью в протяженном спектральном диапазоне, высоким квантовым выходом люминесценции, зависимостью оптических свойств от размеров частицы и другими. Вместе с тем, как показано в работе [5], фотодетекторы только на квантовых точках обладают низкой проводимостью, что снижает эффективность их использования. Объединение в одной структуре графена и КТ позволяет получить материал, способный эффективно трансформировать энергию фотовозбуждения в электрический сигнал.

В работе [6] гибридные структуры «графен – КТ» были получены путем нанесения капли коллоидного раствора КТ на многослойный графен, предварительно осажденный на электроды методом диэлектрофореза. При фотовозбуждении КТ в гибридной структуре наблюдалось изменение проводимости графена. После выключения внешнего освещения проводимость графена медленно возвращалась к исходному уровню. В литературе инерционность данного процесса объясняется или наличием долгоживущих ловушек заряда на поверхности КТ [7], или низкой скоростью переноса заряда между КТ и графеном [8].

Одним из возможных способов уменьшения инерционности релаксации фототока в гибридных структурах «графен – КТ» после выключения освещения может стать их термическая обработка. Она может привести к улетучиванию молекул солиubilизатора с поверхности КТ и, соответственно, к уменьшению энергетического барьера между КТ и графеном, а также к уменьшению числа дефектных состояний на поверхности КТ.

### **Цели и задачи проекта**

Целью работы является исследование влияния термической обработки на электрические свойства гибридных структур «графен – КТ» и определение условий их формирования, обладающих максимально эффективным фотоэлектрическим откликом. В работе были поставлены следующие задачи:

- получить зависимость электрических свойств гибридных структур «графен – КТ» от температуры и времени нагрева;
- исследовать влияние температурной обработки на оптические свойства КТ;
- предложить механизм улучшения фотоэлектрических свойств гибридных структур «графен – КТ» после термической обработки.

### Материалы и методы

Для формирования гибридных структур были использованы образцы многослойного графена, синтезированные из природного графита путем ультразвуковой обработки в *N*-метилпирролидоне и последующего центрифугирования [9]. В работе также использовались коллоидные полупроводниковые КТ типа «ядро – оболочка» со средними размерами ядра 2,5 нм (КТ530) и 5,3 нм (КТ630) и максимумами люминесценции на 530 и 630 нм соответственно, синтезированные согласно методике высокотемпературного металлоорганического синтеза, предложенной в работе [10]. В результате синтеза на поверхности квантовых точек формируется слой молекул солилилизатора (триоктилфосфиноксида), обеспечивающего растворимость КТ в гидрофобных растворителях. Избыток солилилизатора был удален стандартной процедурой осаждения КТ метанолом [11].

Формирование гибридных структур «графен – КТ» было проведено следующим образом. Графен был осажден на предварительно очищенную подложку с помощью модифицированной технологии Ленгмюра – Блоджетт [12]. Поверх него были напылены электроды с помощью установки вакуумного физического напыления Kurt Lesker PVD. Ширина зазора между электродами составила 2 мм. Затем на поверхности образца были сформированы тонкие пленки КТ также модифицированным методом Ленгмюра – Блоджетт.

### Исследование морфологии гибридных структур «графен – КТ»

Согласно данным, зарегистрированным на атомно-силовом микроскопе (АСМ), толщина слоя КТ составляла от 4 до 12 нм для КТ530 и от 6 до 21 нм для КТ630. Учитывая, что размер КТ определяется диаметром ядра ( $2,5 \pm 0,3$  нм для КТ530 и  $5,3 \pm 0,3$  нм для КТ630) и удвоенной толщиной органической оболочки на поверхности квантовой точки, которая составляет приблизительно 0,7 нм (длина молекулы триоктилфосфиноксида – солилилизатора поверхности КТ), толщины полученных слоев соответствуют 1÷3 монослоям КТ. На рис. 1 представлено атомно-силовое изображение участка образца вблизи царапины, нанесенной с целью измерения толщины тонких пленок КТ относительно подложки. Наличие пространственной неоднородности слоев КТ в гибридных структурах и на стеклянной подложке делает нецелесообразным применение метода АСМ для оценки изменения толщины слоев КТ, полученных в результате термической обработки.

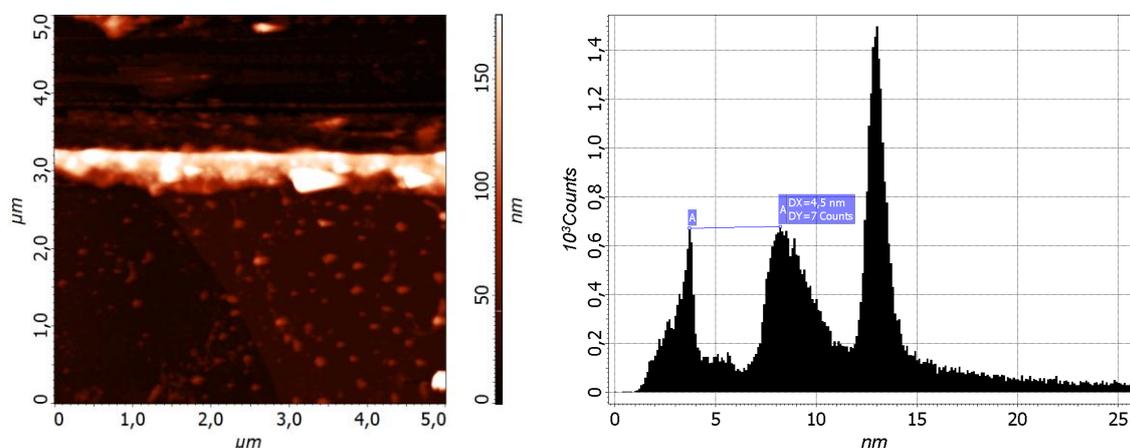


Рис. 1. Атомно-силовое двумерное изображение поверхности образца (слева) и гистограмма распределения высот на этом изображении (справа)

### Влияние температурной обработки на фотоэлектрические свойства гибридных структур «графен – КТ»

Сформированные гибридные структуры «графен – КТ» прогревались при температуре 55 °С, при этом ежечасно измерялся фотоотклик образцов на периодическое лазерное излучение с длиной волны 405 нм и мощностью 0,1 мВт/см<sup>2</sup>. Зависимости амплитуды фототока от времени прогрева образцов представлены на рис. 2. Увеличение времени прогрева образцов приводит к увеличению фототока в гибридных структурах «графен – КТ». При этом в структурах, сформированных на основе КТ630, прирост фототока оказывается больше, чем в структурах с КТ530.

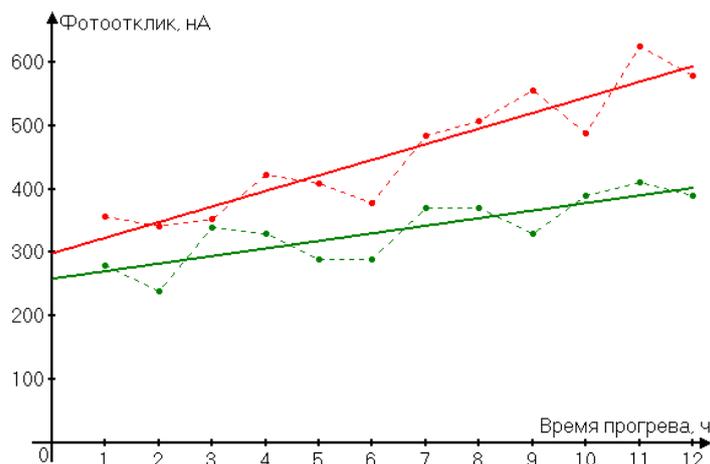


Рис. 2. Зависимости амплитуды фотоотклика гибридных структур «графен – КТ» при облучении диодным лазером плотностью мощности 0,1 Вт/см<sup>2</sup> от времени прогрева образцов при 55 °С. Зеленым цветом представлена зависимость для структуры «графен - КТ530», красным – «графен – КТ630»

### Влияние температурной обработки на оптические свойства гибридных структур «графен – КТ»

Поскольку гибридные структуры «графен – КТ» непрозрачны, то применить для них стандартные методы измерения спектров поглощения не представляется возможным. В связи с этим оптические свойства КТ в гибридных структурах были изучены по стационарным спектрам люминесценции, которые были зарегистрированы на конфокальном люминесцентном микроскопе.

В ходе проведения эксперимента регистрировались спектры люминесценции КТ в гибридных структурах с графеном. В качестве референтного образца был использован слой КТ, сформированный на стеклянной подложке. Спектры люминесценции КТ до термической обработки, после 6 и 12 ч прогрева представлены на рис. 3. В гибридных структурах, в отличие от слоя КТ на стекле, увеличение времени термической обработки сопровождалось выраженным тушением люминесценции квантовых точек. Так, в гибридных структурах «графен – КТ530» прогрев образцов в течение 6 ч привел к тушению люминесценции на 47 % (рис. 3а). Следует отметить, что при увеличении времени прогревания образцов скорость уменьшения интенсивности люминесценции КТ становится существенно ниже, в результате этого прогрев образцов в течение следующих 6 ч привел к уменьшению интенсивности люминесценции КТ530 еще только на 7 %. В случае гибридных структур с КТ630 первые часы прогрева сопровождалось аналогичным тушением люминесценции КТ, при этом увеличение времени прогрева данных структур до 12 ч привело к тушению КТ на 63 %, что на 9 % превышает тушение КТ530 в гибридных структурах «графен – КТ530». При этом степень тушения люминесценции КТ коррелирует с ростом фототока в гибридных структурах (рис. 3).

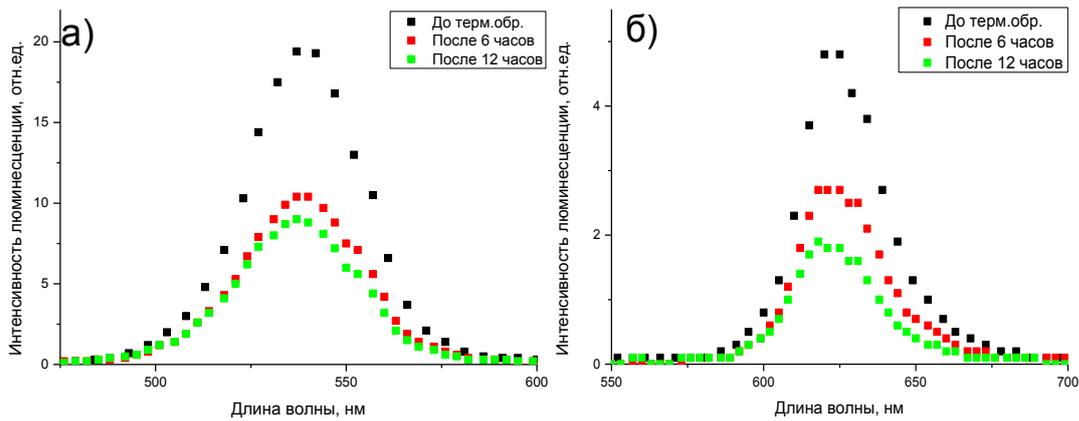


Рис. 3. Спектры люминесценции гибридных структур «графен – КТ»: а – с КТ530; б – с КТ630

В общем случае тушение люминесценции КТ может быть обусловлено как уменьшением их концентрации в образце, так и уменьшением квантового выхода люминесценции КТ. В гибридных структурах «графен – КТ» уменьшение концентрации КТ представляется маловероятным и наблюдаемое уменьшение интенсивности люминесценции КТ обусловлено изменением их квантового выхода люминесценции. Причинами уменьшения квантового выхода люминесценции КТ в результате длительного прогрева структур может быть как окисление поверхности КТ, так и улучшение взаимодействия между компонентами структур за счет уменьшения средних расстояний между КТ и графеном в результате испарения примесей и молекул солиобилизатора КТ. В связи с этим в работе были исследованы люминесцентные свойства КТ530 и КТ630 в сухих слоях, нанесенных на диэлектрическую подложку (предметное стекло). Следует отметить, что число слоев КТ и их морфология на стеклянной подложке соответствовали числу и морфологии слоев КТ в гибридных структурах «графен – КТ», что позволяло проводить корректное сравнение люминесцентных свойств КТ в различных образцах.

На рис. 4 приведены спектры люминесценции КТ530 на стеклянной подложке до и после 12-часовой обработки образцов.

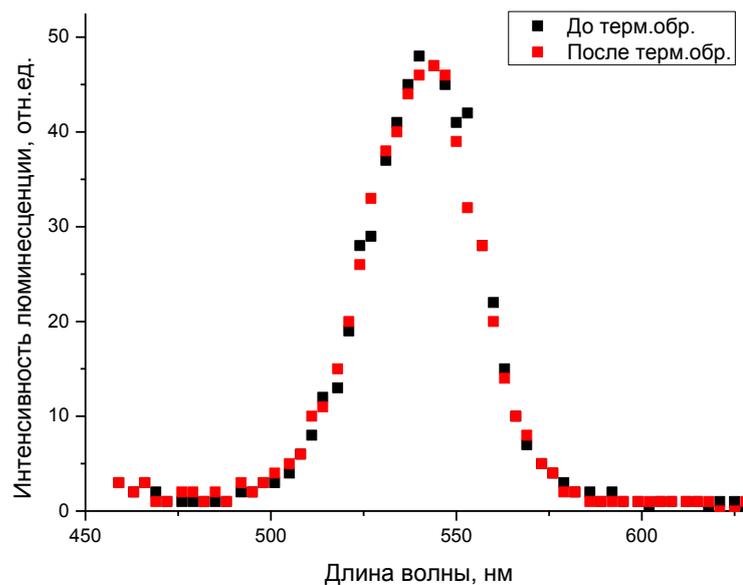


Рис. 4. Спектры люминесценции КТ530 на стекле до и после термической обработки в течение 12 ч

Неизменность квантового выхода люминесценции КТ на стеклянной подложке свидетельствует о том, что при выбранных условиях термической обработки не происходит

окисления поверхности КТ и, как следствие, формирования новых каналов безызлучательной деактивации возбужденного состояния КТ, не связанных взаимодействием с графеном. Следует отметить, что в случае КТ630 прогрев образцов в аналогичных условиях также не привел к сколько-нибудь заметному изменению квантового выхода люминесценции КТ. Это свидетельствует о том, что наблюдаемые нами изменения квантового выхода люминесценции КТ в гибридных структурах с графеном связаны с изменением эффективности взаимодействия между компонентами структур за счет испарения летучих примесей и/или молекул солибилизатора и, как следствие, уменьшения средних расстояний между графеном и КТ. В пользу данного предположения свидетельствует тот факт, что степень тушения люминесценции КТ с разным размером ядра в гибридных структурах коррелирует со степенью увеличения фотоотклика (рис. 2).

Степень тушения люминесценции КТ в зависимости от расстояния от графена может быть рассчитана по выражению [13]:

$$\frac{\tau_g}{\tau_0} = 1 + \frac{9\nu\alpha}{256\pi^3(\epsilon + 1)^2} \left(\frac{\lambda_0}{R}\right)^4, \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – длина волны излучения КТ,  $\alpha$  – постоянная тонкой структуры,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды между графеном и КТ, а коэффициент  $\nu = 1$  ( $\nu = 2$ ) соответствует параллельному (перпендикулярному) расположению излучающего диполя относительно графена. На рис. 5 представлена зависимость эффективности тушения люминесценции КТ630 в результате переноса энергии к графену от расстояния между КТ и графеном. Учитывая, что толщина слоя КТ была оценена в три монослоя, на основании данной зависимости был сделан вывод, что для тушения люминесценции КТ630 на 63 % расстояние между КТ и графеном должно уменьшиться примерно на 7 нм.

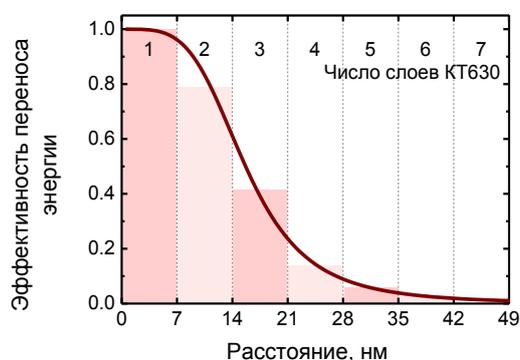


Рис. 5. Теоретическая зависимость эффективности переноса энергии между КТ630 и графеном от среднего расстояния между компонентами гибридной структуры, рассчитанная по формуле (1)

Увеличение температуры может привести к еще большему уменьшению средних расстояний между КТ и графеном в гибридных структурах и, как следствие, к увеличению фотоотклика. Однако было установлено, что увеличение температуры прогрева референтного образца (слоев КТ на стеклянной подложке) сопровождается выраженным тушением люминесценции КТ, что свидетельствует об окислении их поверхности. Так, прогревание референтного образца при температуре 80 °С привело к деградации КТ: уже через 1 ч тушение люминесценции составило 22 %. Очевидно, что увеличение температуры целесообразно при прогревании образцов в вакууме.

### Заключение

Термическая обработка гибридных структур «графен – КТ» при 55 °С приводит к увеличению амплитуды фототока и тушению люминесценции КТ в гибридных структурах.

Отсутствие тушения люминесценции КТ на стекле после термической обработки указывает на то, что в гибридных структурах оно обусловлено взаимодействием КТ с графеном и уменьшением расстояния между КТ и графеном за счет улетучивания молекул солюбилизатора с поверхности КТ и сторонних примесей, оставшихся после испарения растворителя.

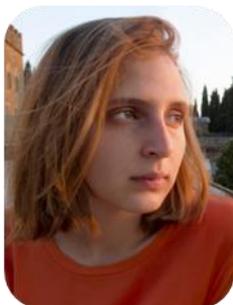
Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации методики создания фотоактивных гибридных структур «графен – КТ», применяемых для разработки фоточувствительных элементов и электролюминесцентных газовых сенсоров.

### Публикации

1. *Вовк И.А., Громова Ю.А., Парфенов П.С.* Влияние термической обработки на оптические и электрические свойства гибридных структур на основе графена и квантовых точек // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. [Электронное издание]. СПб: Университет ИТМО. 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1320/1320.pdf>.
2. *Gromova Y.A., Reznik I.A., Vovk I.A., Rackauskas S., Alaferdov A.V., Moshkalev S.A., Orlova A.O., Baranov A.V., Fedorov A.V.* Photoinduced conductivity enhancement in quantum dot/multilayer graphene nanostructures // MRS Proceedings. 2015. Vol. 1787. P. MRSS15–2137471.

### Литература

1. *Park J., Ahn Y.H., Ruiz-Vargas C.* Imaging of photocurrent generation and collection in single-layer graphene // Nano Letters. 2009. Vol. 9. No 5. P. 1742–1746.
2. *Xia F., Mueller T. et al.* Photocurrent imaging and efficient photon detection in a graphene transistor // Nano Letters. 2009. Vol. 9. No 3. P. 1039–1044.
3. *Mueller T., Xia F., Avouris P.* Graphene photodetectors for high-speed optical communications // Nature Photonics. 2010. Vol. 4. P. 297–301.
4. *Konstantatos G., Badioli M. et al.* Hybrid graphene–quantum dot phototransistors with ultrahigh gain // Nature Nanotechnology. 2012. Vol. 7. P. 363–368.
5. *Konstantatos G., Levina L., Fischer A., Sargent E.H.* Engineering the temporal response of photoconductive photodetectors via selective introduction of surface trap states // Nano Letters. 2008. Vol. 8. No 5. P. 1446–1450.
6. *Gromova Y.A., Alaferdov A.V. et al.* Quantum dots – graphene hybrid structures: interplay of optical and electrical properties // Nanophotonics V. 2014. Vol. 9126. P. 91262K.
7. *Sun Z., Liu Z. et al.* Infrared photodetectors based on CVD-grown graphene and PbS quantum dots with ultrahigh responsivity // Advanced Materials. 2012. Vol. 24. No 43. P. 5878–5883.
8. *Alaferdov A.V., Gholamipour-Shirazi A. et al.* Size-controlled synthesis of graphite nanoflakes and multi-layer graphene by liquid phase exfoliation of natural graphite // Carbon. 2014. Vol. 69. P. 525–535.
9. *Talapin D.V., Rogach A.L. et al.* Highly luminescent monodisperse CdSe and CdSe/ZnS nanocrystals synthesized in a hexadecylamine – trioctylphosphine oxide – trioctylphosphine mixture // Nano Letters. 2001. Vol. 1. No 4. P. 207–211.
10. *Murray C., Norris D.J., Bawendi M.G.* Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites // Journal of the American Chemical Society. 1993. Vol. 115. No 19. P. 8706–8715.
11. *Alaferdov A.V., Balashov S.M. et al.* Formation of thin, flexible, conducting films composed of multilayer graphene // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2014. Vol. 78. No 12. P. 1357–1361.
12. *Jing P., Ji W. et al.* Photoinduced charge separation and recombination processes in CdSe quantum dot and graphene oxide composites with methylene blue as linker // The Journal of Physical Chemistry Letters. 2013. Vol. 4. No 17. P. 2919–2925.



**Гильфанова Карина Рашидовна**  
**Факультет компьютерных технологий и управления**  
**Кафедра инженерной и компьютерной графики**  
**e-mail: gertruda.insanity@gmail.com**

## **РАЗРАБОТКА АЙДЕНТИКИ ДЛЯ КОМПАНИИ NEW PRINT STUDIO**

К.Р. Гильфанова

Научный руководитель – тьютор, член Союза художников А.Н. Васильев

Айдентика, или корпоративный стиль (brand ID, или corporate ID), – это визуальная составляющая бренда, призванная повысить его узнаваемость и создать впечатление целостности [1]. Грамотно продуманный фирменный стиль – один из сильнейших инструментов в конкурентной борьбе за место под солнцем. Создание айдентики подразумевает под собой разработку логотипа, подбор подходящих шрифтов и цветовой гаммы для официальной фирменной документации и рекламных продуктов, разработку атрибутики (визитки, конверты, коробки и т. д.).

Обычно отправной точкой в создании айдентики является логотип. Но сегодня визуальная составляющая бренда стала способом выражения ценностей и стратегических целей компаний. Конкуренция на рынке обязывает бренды использовать любые медиаресурсы и другие средства, позволяющие донести до потребителя идею компании: от традиционных печатных материалов, до интерактивных, высокотехнологичных носителей, через звук, вкус, тактильные ощущения и свет [2–4].

Долгое время организации сферы образования не испытывали потребности в фирменном стиле. Потенциальный потребитель и другие заинтересованные стороны узнавали его, используя иные каналы коммуникации. Но процессы, происходящие в информационном пространстве, предъявляют коммерческие требования и к этим сферам деятельности. Школы, университеты, различные образовательные центры стали разрабатывать собственные средства идентификации. В отличие от айдентики компаний-производителей массовых товаров, данный аспект визуальной идентификации для них не проработан и требует оригинальных подходов, учитывающих специфику образования, в том числе и художественного, зачастую направленную на узкую целевую аудиторию, взыскательную к эстетике.

В рамках работы была собрана и проанализирована информация о фирменном стиле как европейских (рис. 1), так и российских (рис. 2) художественных школ [5–8].

Целью проекта является разработка средств визуальной идентификации для компании New Print Studio, которая предлагает курсы графики, осуществляемые под руководством членов Союза художников Ю. Штапакова и А. Гарта. На занятиях желающие могут получить информацию о работе в различных техниках эстампа и освоить их. В связи с тем, что деятельность школы расширяется и становится регулярной, потребность в символах, которые позволили бы ее идентифицировать, возрастает. Айдентика студии позволит сделать ее более узнаваемой для потенциальных учеников, галерей и фондов, в наглядной и лаконичной форме выразить ее сферу деятельности и эстетические предпочтения. Кроме того, данный проект должен дополнить фирменный стиль видеопрезентациями уроков, которые связывают бренд с художниками-организаторами. В данный момент эта школа частная, и ее успех зависит от репутации мастеров графики, поэтому предложенный подход является оправданным.

| Критерии                                                                          |                           | Информационная насыщенность | Запоминаемость | Цельность образа | Уникальность |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|--------------|
|                                                                                   |                           |                             |                |                  |              |
|  | Hello Print Studio        | -                           | +              | +                | -            |
|  | East London Printmakers   | +                           | +              | +                | +            |
|  | Fondazione Il Bisonte     | +                           | +              | +                | +            |
| druckstelle                                                                       | Druckstelle               | -                           | +              | +                | +            |
|  | Venice Printmaking Studio | +                           | -              | -                | -            |

Рис. 1. Сравнительная таблица зарубежных аналогов

| Критерии                                                                            |                           | Информационная насыщенность | Запоминаемость | Цельность образа | Уникальность |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------|------------------|--------------|
|                                                                                     |                           |                             |                |                  |              |
|    | Школа Вероники Калачаевой | +                           | +              | -                | -            |
|    | Творческие мастерские     | +                           | +              | +                | -            |
|  | Клевер                    | -                           | +              | -                | -            |
|  | Джотто                    | -                           | -              | -                | -            |
|  | ИЗОпроект Парта           | -                           | +              | -                | -            |

Рис. 2. Сравнительная таблица российских аналогов

Концептуальный поиск был связан с необходимостью объединить исторический контекст эстампа и современность. Хотелось отобразить многообразие техник, видов деятельности и стилистическую свободу. Исходя из этого, стало ясно, что нельзя уместить все многообразие в один символ и необходимо искать более гибкие варианты. На рис. 3 показана эскизная часть разработки логотипа.



Рис. 3. Разработка логотипа компании New Print Studio

Ключевой стала идея того, что эстамп – это мир, вход в который многим неизвестен. Этим входом и является New Print Studio, которая знакомит с техниками ручной печати. В ходе поиска вариантов было решено остановиться на логотипе, который представляет собой дверь с прорезанной буквой «Р», первой буквой в слове Print. Надпись New Print Studio находится рядом как табличка. Это предложение отвечало на все запросы: оно явно современно благодаря необычной, но лаконичной форме. Идея двери многослойна, так как за этим символом может что-то скрываться, что свидетельствует о разнообразии знаний, которые получают в студии, например. Был выбран монохромный вариант, так как он соответствует идее гравюры, удобен в воспроизведении и будет сочетаться с любыми другими элементами, в том числе и цветными. Фирменный шрифт – Muller, лаконичный и довольно тяжелый, он гармонирует с символом двери и буквой «Р» внутри. Окончательный вариант логотипа показан на рис. 4.



Рис. 4. Логотип компании New Print Studio

На данный момент проработаны и созданы такие носители фирменного стиля, как визитка, буклет, афиша и сайт New Print Studio. В дополнение к основным элементам сняты видеоролики уроков по техникам линогравюры, сухой иглы, монотипии и офорта. Ролики будут выложены на сайте школы. Некоторые из носителей айдентики показаны на рис. 5.



Рис. 5. Носители айдентики: буклет, визитные карточки и т. д.

Данная работа успешно прошла стадию рыночной апробации. На презентации нового помещения школы гостям были розданы визитки и буклеты. Созданные элементы айдентики используются компанией, общий визуальный стиль применяется ко всем новым носителям: документам, афишам, аватару группы в социальных сетях и т. д.

### Литература

1. Айдентика. Альбом. М., 2014. – 512 с.
2. Краузе Д. Разработка логотипа. Большая книга дизайнерских идей, подходов и концепций. СПб., 2013. – 272 с.
3. Туэмлу Э. Графический дизайн: фирменный стиль, новейшие технологии и креативные идеи. СПб., 2014. – 256 с.

4. Сайт школы Hello Print Studio [Электронный ресурс]. URL: <http://www.helloprintstudio.com> (дата обращения 03.04.2015).
5. Сайт школы East London Printmakers [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eastlondonprintmakers.co.uk> (дата обращения 12.03.2015).
6. Сайт школы графики Druckstelle [Электронный ресурс]. URL: <http://www.druckstelle.info/en/werkstatt.aspx> (дата обращения 05.03.2015).
7. Сайт школы Fondazione Il Bisonte [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ilbisonte.it> (дата обращения 04.03.2015).
8. Сайт школы Venice Printmaking Studio [Электронный ресурс]. URL: <http://www.veniceprintmaking.it> (дата обращения 04.03.2015).



**Гриценко Полина Андреевна**  
**Факультет компьютерных технологий и управления**  
**Кафедра систем управления и информатики**  
**E-mail: polina.gritsenko@gmail.com**

## **АДАПТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ НЕУСТОЙЧИВОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ЮЛА – КУЧЕРА**

П.А. Гриценко

Научный руководитель – старший научный сотрудник С.В. Арановский

Синтезирование систем, обеспечивающих требуемое качество функционирования объекта управления при воздействии на него внешних возмущений, является не только фундаментальной проблемой теории управления, но и актуальной прикладной задачей [1], [2]. Так, например, проблемы акустического шума значительно возросли с увеличением использования такого промышленного оборудования, как двигатели, вентиляторы, компрессоры и трансформаторы. Это особенно заметно в транспортных системах (автотранспорт, поезда, самолеты и корабли) [3]; технологических установках; электрических устройствах (кондиционеры, холодильники, стиральные машины, пылесосы); медицинском оборудовании (системы магнитно-резонансной томографии, инкубаторы для новорожденных) и в человеческой жизнедеятельности (людные места общего пользования, офисы, спальни). Классические методы подавления акустического шума основаны на пассивном контроле его уровня. Они включают в себя беруши, защитные наушники, звукоизоляционные стены, звукопоглощающие устройства и материалы. Использование описанных техник является эффективным способом снижения шума с широким диапазоном частот. Однако они требуют относительно большого количества дорогостоящих материалов и являются неэффективными на низких частотах. По этой причине предложенная в начале XX века методика активного шумоподавления [1; 4–10], получила интенсивное развитие в последние два десятилетия. В настоящей работе под возмущением понимается любой вид нежелательного воздействия вне зависимости от природы его происхождения: будь то электрические колебания, акустический шум, вибрации или любой другой вид возмущения.

Впервые способ активного шумоподавления был применен в 1936 году в патенте Пола Люга, в котором показано, как погасить шум путем генерации сигнала с инвертированной полярностью [11]. Активное шумоподавление – это техника компенсации возмущения, основанная на принципе суперпозиции, в которой для подавления

нежелательного шума вторичным источником создается антишумовой сигнал такой же амплитуды, но противоположной фазы, что приводит к снижению остаточного шума. Применение алгоритмов активного шумоподавления является весьма целесообразным в тех случаях, когда пассивная методика не может быть использована по причине высокой себестоимости, громоздкости или неэффективности.

Целью данного исследования является разработка алгоритма активного шумоподавления для систем с неустойчивым объектом управления, для которого известен номинальный стабилизирующий контроллер. Большинство результатов, полученных в области компенсации возмущений, разработаны для устойчивых объектов, под которыми могут пониматься изначально неустойчивые объекты управления, чья стабилизация обеспечивается за счет соответствующего регулятора. В свою очередь, предлагаемый в настоящей работе алгоритм компенсации строится именно для неустойчивой системы, что позволяет осуществлять независимый выбор закона управления и алгоритма компенсации, а также обеспечивает меньшую размерность итоговой системы по сравнению с традиционным поиском алгоритма компенсации возмущения к уже стабилизированному регулятором объекту. Предлагаемый метод компенсации синтезирован на основе параметризации Юла – Кучера всех стабилизирующих контроллеров. Данная параметризация хорошо известна в теории управления и нашла широкое применение в адаптивных системах.

В рамках исследования были использованы следующие методы: аппарат передаточных функций линейных систем, аппарат частотных характеристик линейных систем, методы анализа устойчивости и математического моделирования.

В результате исследований сформирован алгоритм компенсации мультисинусоидального возмущения для линейного неустойчивого неминимальнофазового объекта. Устойчивость замкнутой системы и применимость предложенного алгоритма подтверждаются аналитическими доказательствами.

Полученные результаты исследований вносят научный вклад в область синтеза систем управления, направленных на компенсацию периодических возмущений, например, систем управления роботами, космическим оборудованием, электрическими двигателями и двигателями внутреннего сгорания, а также при производстве жестких дисков и т. п.

### **Заключение**

В результате исследований был получен новый алгоритм компенсации синусоидальных возмущения для неустойчивых объектов.

Преимуществом разрабатываемой схемы является независимость алгоритма компенсации от стабилизирующего объект закона управления, что позволяет независимо тестировать и применять различные алгоритмы стабилизации для достижения желаемого результата.

### **Публикации**

1. *Aranovskiy S.V., Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., Gritcenko P.A.* Improved frequency identification via an adaptive filters cascade // 2014 IEEE Conference on Control Applications. Antibes, 2014. P. 140–145.
2. *Wang J., Aranovskiy S.V., Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., Gritcenko P.A.* On stability of tunable linear time-varying band-pass filters // 1st IFAC Conference on Modelling, Identification and Control of Nonlinear Systems MICNON 2015. 2015. Vol. 48. No 11. P. 345–347.
3. *Гриценко П.А.* Методы идентификации синусоидального сигнала // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 1. СПб., 2014. С. 289–290.
4. *Гриценко П. А., Арановский С. В., Бобцов А. А., Пыркин А. А.* Повышение точности идентификации с использованием метода каскадной фильтрации // Известия вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 8. С. 157–166.

### Литература

1. Kuo S.M. Active noise control systems: Algorithms and DSP implementations. NY, 1996. – 408 p.
2. Meurers T., Veres S.M., Elliot S.J. Frequency selective feedback for active noise control // IEEE Control Systems. 2002. Vol. 22. No 4. P. 32–41.
3. Bittanti S., Moiraghi L. Active control of vibrations in helicopters via pole assignment techniques // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 1994. Vol. 2. No 4. P. 343–351.
4. Fuller C., Elliott S., Nelson P.A. Active control of vibration. 1996. – 332 p.
5. Hansen C., Snyder S., Qiu X. Active control of noise and vibration. 2012. – 1537 p.
6. Elliott S. Signal processing for active control. 2000. – 511 p.
7. Tokhi M.O., Veres S.M. Active sound and vibration control: Theory and applications. 2002. – 448 p.
8. Elliott S.J., Nelson P.A. Active noise control // IEEE Signal Processing Magazine. 1993. Vol. 10. No 4. P. 12–35.
9. Kuo S.M., Morgan D.R. Active noise control: A tutorial review // Proceedings of the IEEE. 1999. Vol. 87. No 6. P. 943–973.
10. Nelson P.A. Active control of sound. 1991. – 452 p.
11. Patent US 2043416 A «Process of silencing sound oscillations», publication date 09.06.1936.



**Грозин Владислав Андреевич**  
**Факультет информационных технологий и программирования**  
**Кафедра информационных систем**  
**E-mail: vlad.grozin@yandex.ru**

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ СЕТЕВЫХ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОГО КОНТЕНТА**

В.А. Грозин

Научный руководитель – доцент Н.Ф. Гусарова

Цели работы – исследование, разработка и реализация алгоритмических и программных средств для выделения из обновляемых сетевых источников (тематических интернет-форумов, блогов, твитов и прочего) информационных фрагментов, потенциально полезных для актуализации учебного контента.

В ходе работы были созданы наборы данных из текстовых форумов, исследовано влияние характеристик сообщений и пользователей на информативность сообщения, построены линейные и нелинейные модели (модель градиентного спуска, нейросети), проанализировано качество характеристик. В результате исследования было обнаружено, что наиболее значимыми характеристиками сообщений являются: его длина, положение в пределах темы форума (номер сообщения), эмоциональная окраска сообщения и количество ключевых слов, а устойчивой и качественной моделью – линейная модель.

Актуальность учебного контента – одно из главных условий успешности любой образовательной программы. Это особенно важно для отраслей науки и техники с высокой динамикой развития, таких как ИТ. Традиционные источники информации (учебники и учебные пособия) в данном случае быстро устаревают и теряют свою ценность. Они должны постоянно дополняться актуальной информацией о текущих перспективных

исследованиях и разработках. В этой ситуации особую ценность представляют обновляемые сетевые источники информации – тематические интернет-форумы, блоги и прочее. Они содержат опыт людей, которые используют самые современные технологии, знакомы с их особенностями и зачастую являются их разработчиками. Крайне ценно и то, что источники этого типа содержат как положительный, так и отрицательный опыт, который не отражен в официальной документации.

Однако анализ указанных сетевых источников для выделения информации, потенциально полезной для формирования учебного контента, вручную – тяжелая задача. Здесь следует выделить главные проблемы:

- в сети присутствует огромное количество таких источников;
- каждый из них содержит много банальной, повторяющейся и нерелевантной информации;
- практически выпадают из зоны охвата те сетевые источники, где обсуждение ведется на языках, не знакомых составителю контента.

Очевидна необходимость подключения современных методов интеллектуального анализа данных для автоматизации решения указанной задачи с целью повышения эффективности и качества создаваемых учебных материалов при снижении вовлеченности эксперта. Соответствующие исследования ведутся в мировом научном сообществе, но они ориентированы, главным образом, на англоязычные ресурсы и предназначены для англоговорящих пользователей. В то же время богатая информация содержится в источниках на других языках, в частности на немецком и китайском. Для большинства русскоговорящих пользователей она доступна только через перевод – ресурсоемкую операцию, зачастую некорректно интерпретирующую результаты. Ее необходимо применять к массивам текстов, большая часть которых заведомо нерелевантна.

Таким образом, необходимо разработать устойчивый метод автоматизированного выделения информативных сообщений из форума. Методической основой для исследования являются методы машинного обучения.

Специфика исследований связана с тем, что разрабатываемые средства должны быть по возможности языково-независимыми, то есть применимыми с минимальной подстройкой для извлечения информации из сетевых источников независимо от языка, на котором они ведутся.

Для исследования были собраны и размечены вручную данные с нескольких форумов (Табл. 1). Для разметки использовался следующий алгоритм: выбирался текстовый форум и определенный раздел, а также узкая тема внутри этого форума (искомая тема), задаваемая с помощью ключевых слов. Для каждого сообщения отмечалась его информативность (Utility) и эмоциональная оценка (Sentiment) согласно критериям, приведенным в Табл. 2. Информативность сообщения (Utility) – целевая переменная, она выступала в качестве объясняемой переменной в моделях.

В литературе предлагается целый ряд характеристик веб-форумов, потенциально подходящих для оценки информационной ценности постов [1–3]. Отбор характеристик производился в соответствии со спецификой постановки задачи – требованием максимально возможной языковой независимости характеристики. Список отобранных характеристик представлен в Табл. 3.

Для оценки важности автора поста на форуме мы использовали типовую модель поведения пользователей форума – социальный граф [2], где вершинами являются пользователи, а на связь между ними указывают ребра. Были использованы два типа социальных графов. В одном случае мы рассматривали невзвешенные связи и вычисляли такие характеристики, как *Betweenness*, *inDegree*, *outDegree*. Во втором случае вес связей зависел от эмоциональной оценки сообщений (*Sentiment*), и в таком графе мы рассчитывали характеристики *BetweennessSent*, *inDegreeSent*, *outDegreeSent*. Также по каждому автору было рассчитано количество тредов, в которых он участвовал.

Таблица 1  
Используемые форумы

| URL                  | Язык        | Раздел/тред                                   | Кол-во размеченных постов | Ключевые слова                     |
|----------------------|-------------|-----------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| gamedev.ru           | Русский     | Game Development / Unity                      | 410                       | unity                              |
| hifi-forum.de        | Немецкий    | Programming/Windows vs Linux                  | 173                       | windows, linux                     |
| forum.modelsworld.ru | Русский     | Ship modeling/Палубный бот «Святой Гавриил»   | 150                       | ship, model                        |
| 5500.forumactif.org  | Французский | Ship modeling/Soleil Royal 1692               | 150                       | navire, modèle                     |
| bbs.csdn.net         | Китайский   | cocos2d-x/cocos                               | 120                       | cocos                              |
| bbs.chinaunix.net    | Китайский   | Unix-based OS/Linux for beginners             | 103                       | linux                              |
| knittinghelp.com     | Английский  | General Knitting/Knit Tips and Tricks         | 500                       | Knit, tech                         |
| club.osinka.ru       | Русский     | Технология шитья/свадебные платья             | 526                       | свадебное, платье, шитье, выкройка |
| thesewingforum.co.uk | Английский  | Sewing/Wedding dresses                        | 386                       | Wedding, dress, sewing             |
| club.osinka.ru       | Русский     | Вязание/Все о спицах и крючках                | 500                       | спицы, крючки, купить              |
| strickforum.de       | Немецкий    | Handstricken/Probleme mit der Rundstricknadel | 500                       | strick                             |

Таблица 2  
Шкалирование экспертных оценок

| Характеристика | Шкала    |                                                                                           |
|----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | Значение | Содержание                                                                                |
| Sentiment      | -2       | автор поста выражает предельное неудовлетворение                                          |
|                | -1       | в посте выражена скрытая агрессия/сарказм/некоторая неудовлетворенность                   |
|                | 0        | эмоциональная оценка в посте не выражена                                                  |
|                | +1       | в посте выражена в целом позитивная оценка                                                |
|                | +2       | в посте выражена исключительно позитивная оценка                                          |
| Utility        | 0        | пост не соответствует теме                                                                |
|                | 1        | пост не содержит полезной информации, но относится к обсуждаемой теме                     |
|                | 2        | пост содержит нечетко выраженное мнение о теме                                            |
|                | 3        | автор выражает мнение по теме, но не приводит аргументов или его мнение очень субъективно |
|                | 4        | пост содержит полезную информацию по теме, но аргументы неполные                          |
|                | 5        | пост содержит важную информацию по теме, мнение автора хорошо аргументировано             |

В качестве характеристик сообщений были выбраны: длина текста (Length), количество цитирований сообщения (Quoted), номер сообщения в пределах темы (PositionInThread). Величина KeyWords рассчитывается как количество ключевых слов в конкретном посте.

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

Ориентируясь на требование робастности по отношению к языку форума, для отбора ключевых слов мы использовали простейшую эвристику: ключевые слова выделялись из заголовка тред, при необходимости использовался стемминг посредством усечения окончаний. Более обширный список ключевых слов потребовал бы поиска синонимов и эквивалентов, что предопределило бы языковую зависимость характеристики. Значения Sentiment оценивались путем экспертной разметки с использованием шкалы (Табл. 2).

Таблица 3

Характеристики форумов, отобранные для организации машинного обучения

| Наименование                                      | Содержание                                                  |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Характеристики автора сообщения форума</b>     |                                                             |
| Betweenness                                       | Центральность автора в невзвешенном социальном графе        |
| inDegree                                          | Сумма исходящих ребер в невзвешенном социальном графе       |
| OutDegree                                         | Сумма входящих ребер в невзвешенном социальном графе        |
| BetweennessSent                                   | Центральность автора во взвешенном социальном графе         |
| inDegreeSent                                      | Сумма исходящих ребер во взвешенном социальном графе        |
| outDegreeSent                                     | Сумма входящих ребер во взвешенном социальном графе         |
| NumOfThreads                                      | Количество тем, в которых участвует автор                   |
| <b>Характеристики содержания сообщения форума</b> |                                                             |
| Length                                            | Количество слов в посте                                     |
| Links                                             | Количество ссылок на изображения, видео и внешние источники |
| Quoted                                            | Количество цитирований сообщения                            |
| Position In Thread                                | Позиция поста в тред                                        |
| Sentiment                                         | Позитивный или негативный характер поста                    |
| KeyWords                                          | Количество ключевых слов в посте                            |
| Utility                                           | Полезность поста                                            |

Для установления функциональной зависимости между объясняемой переменной (Utility) и регрессорами (остальными характеристиками) необходимо выбрать модель. Мы выбрали простую линейную модель градиентного бустинга (Gradient Boosting Model) и нейрости. Для оценки качества моделей были использованы метрики Normalized Cumulative Gain (NCG) и Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG), часто применяемые для оценки качества работы систем поиска информации. В качестве бейзлайна были выбраны две модели:

- модель, выбирающая первые сообщения с каждого форума. Этот подход имитирует простую систему поиска сообщений;
- экспертным путем составляется семантическое ядро тред (список ключевых слов по тематике тред и их синонимов), выполняются стемминг и лемматизация. Для каждого поста рассчитывается количество слов из семантического ядра Ncore и экспертным путем оценивается его полезность Utility. Формируется модель линейной регрессии Utility по Ncore. Отбираются посты с достаточно большими значениями Ncore. Эта модель имитирует действие серьезной поисковой системы, знакомой с языком форума и семантикой запроса.

Для исследования устойчивости модели применялся метод Bootstrap: из исходного пакета данных каждого форума создавалась новая выборка путем рандома с повторениями. Эта новая выборка затем разделилась на тренировочное (70 % сообщений) и тестовое множества. Модель испытывалась на тренировочном множестве, а оценка качества проводилась с помощью тестового множества. Этот процесс повторялся много раз (100 итераций), и затем показатели усреднялись.

Рис. 1 и 2, показывают зависимость качества модели от ее типа и количества отбираемых сообщений (N), которое является свободным параметром модели, указывающим, сколько сообщений эксперт хочет получить из форума.

Как видно из рис. 1 и 2, лучшей является линейная модель.

Для оценки вклада характеристик в модели и поиска языконезависимых характеристик мы рассматривали  $p$ -value для линейной модели и метрику относительного влияния переменной (Relative Variable Influence metric) для GBM [4]. Эти метрики были рассчитаны для моделей, построенных для каждого языка отдельно. Затем для каждого языка были отобраны пять характеристик, имеющих наименьшее (наилучшее) значение  $p$ -value, и пять характеристик, имеющих наибольшую метрику относительного влияния переменной. Далее был произведен поиск характеристик, которые оказались бы лучшими согласно обеим метрикам и входили бы в пятерку лучших независимо от языка.

Таковыми характеристиками оказались:

- количество слов в тексте, Length;
- позиция поста в теме, PositionInThread;
- эмоциональная окраска текста, Sentiment;
- количество ключевых слов в посте, KeyWords.

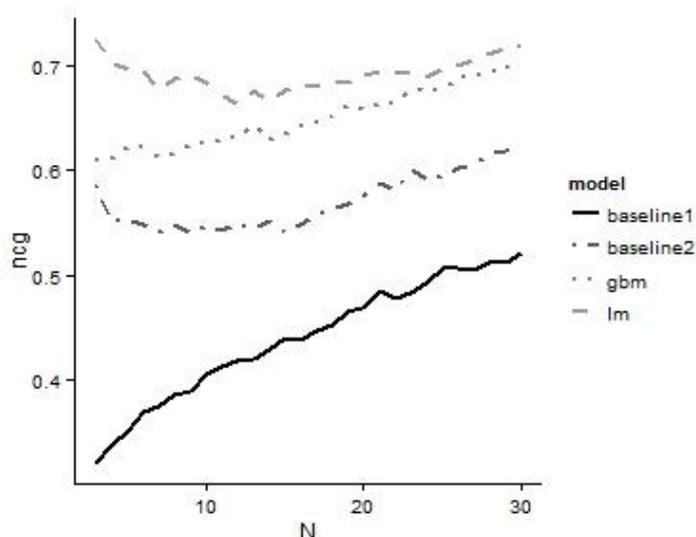


Рис. 1. Зависимости NCG от N для линейной регрессии и модели градиентного спуска. Отмечены оба бейзлайна

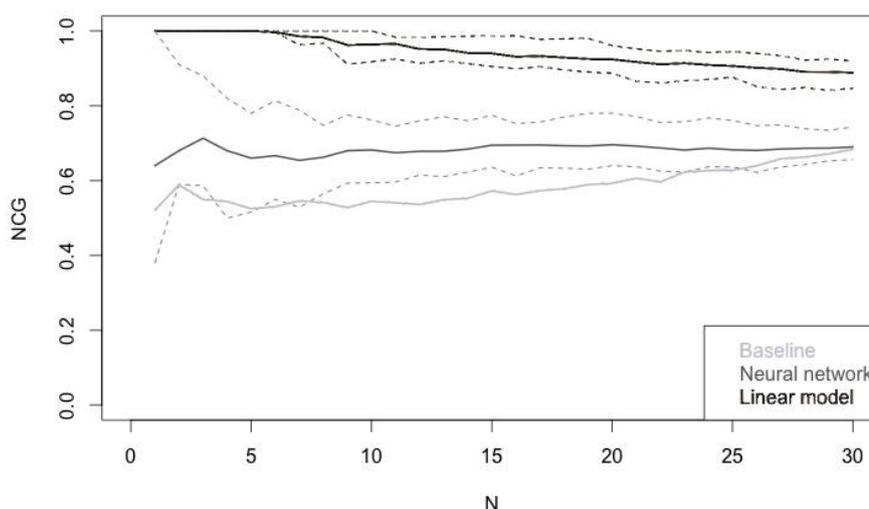


Рис. 2. Зависимости NCG от N для линейной регрессии и нейросети

### Публикации

1. Grozin V.A., Gusarova N.F., Dobrenko N.V. Feature selection for language independent text forum summarization // Knowledge Engineering and Semantic Web. 2015. P. 63–71.
2. Grozin V.A., Dobrenko N.V., Gusarova N. F., Ning T. The application of machine learning methods for analysis of text forums for creating learning objects // Компьютерная лингвистика

и интеллектуальные технологии: По материалам ежегодной Международной конференции «Диалог» (Москва, 27–30 мая 2015). Вып. 14 (21): В 2-х т. Т.1. М., 2015. С. 202–213.

3. *Grozin V.A., Dobrenko N.V., Yang W., Dou S., Ning T.* Processing of text forum for using NLP algorithms [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1755/1755.pdf> (дата обращения: 28.09.2015).

4. *Буряя К.И., Грозин В.А., Гусарова Н.Ф., Добренко Н.В.* Методы машинного обучения для выделения профессионально значимой информации из веб-форумов // Дистанционное и виртуальное обучение. 2015. № 12. С. 46–63.

### Литература

1. *Biyani, P., Bhati, S., Caragea, C., Mitra, P.* Using non-lexical features for identifying factual and opinionative threads in online forums // Knowledge-Based Systems. 2014. Vol. 69. P. 170–178.
2. *Li, Y., Liao, T., Lai, C.* A social recommender mechanism for improving knowledge sharing in online forums // Information Processing and Management. 2012. Vol. 48. P. 978–994.
3. *Ding, S.L., Cong, G., Lin, C.Y., Zhu, X.Y.* Using conditional random fields to extract contexts and answers of questions from online forums // Proceedings of the 46th Annual Meeting of the Association of Computational Linguistics. Columbus, 2008. P. 710–718.
4. Generalized Boosted Regression Models [Electronic resource] // The R Project For Statistical Computing [Web-portal]. URL: <http://cran.r-project.org/web/packages/gbm/index.html> (accessed: 01.09.2015).



**Гурвиц Егор Андреевич**  
**Факультет фотоники и оптоинформатики**  
**Кафедра фотоники и оптоинформатики**  
**E-mail: egorgurvitz@gmail.com**

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ И ТРАНСФОРМАЦИОННОЙ ОПТИКИ МЕТОДОМ ТРЕХМЕРНОЙ СТЕРЕОЛИТОГРАФИИ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

Е.А. Гурвиц

Научный руководитель – доцент М.К. Ходзицкий

Разработка композитных структур, также называемых метаматериалами, представляет большой интерес для систем обработки и передачи данных, фильтрации и обработки оптического излучения, систем безопасности, а также биомедицинских приложений [1, 2]. Данный интерес вызван необычными свойствами метаматериалов, такими как отрицательный коэффициент преломления, обращенный эффект Доплера, заранее заданное распределение материальных параметров и другие [3–5]. Метаматериалы принято разделять по типам: диэлектрические, металлодиэлектрические и металлические структуры.

К металлическим метаматериалам относятся искусственные композитные среды на основе резонансных элементов и металлических слоев [6]. В качестве металлодиэлектрических метаматериалов чаще всего используются композиты, состоящие из диэлектрика и сферических металлических включений, чей размер определяет эффективный

показатель преломления для выбранной длины волны [7]. Диэлектрические метаматериалы не обладают какими-либо резонансными свойствами, но основным преимуществом таких структур являются низкие потери и заранее заданное распределение материальных параметров [8, 9].

Исследование метаматериалов в терагерцовом диапазоне частот представляет интерес, поскольку для данной области оптического спектра изготовление метаматериалов с необходимыми параметрами – это трудоемкая инженерная задача. В данной работе для создания композитных структур (в частности фотонных кристаллов (ФК)) [10–12] и их исследования в терагерцовом диапазоне частот предлагается использовать методы трехмерной стереолитографии. Такие структуры могут быть использованы как элементы оптических схем, как узкополосные или широкополосные фильтры в системах генерации и детектирования терагерцового излучения, а также для исследования объектов в терагерцовом диапазоне частот.

Предложенный метод изготовления метаматериалов перспективен для прототипирования терагерцовых волноводов [13]. Он также может найти применение для создания сложных локально анизотропных сред трансформационной оптики.

При трехмерной печати методом послойного наплавления в качестве расплавленного материала используются типовые пластики ABS и PLA.

Хотя полимеры ABS и PLA имеют гораздо меньшие потери по сравнению с фотополимером Crystal (Табл. 1), данный метод не позволяет напечатать структуры с достаточно мелкими деталями (менее 500 мкм). Поэтому была выбрана технология лазерного индуцирования фотополимеризации материала. Фотополимер марки Crystal используется в 3D-принтере «HD Projet 3500» и позволяет создавать детали с разрешением до 50 мкм.

Для определения минимального размера отверстий в материале были изготовлены образцы с диаметрами отверстий от 50 до 300 мкм. Экспериментально доказано, что отверстия с диаметрами меньше 200 мкм изготовить нельзя, поскольку в этом случае фотополимер их заполняет, образуя цельный диэлектрик.

Таблица 1

Усредненные значения действительной и мнимой частей показателя преломления исследованных пластиков

| Метод 3D-печати                  | Материал | Усредненная действительная часть показателя преломления ( $n'$ ) для [0,1–1] ТГц | Усредненная мнимая часть показателя преломления $n''$ для [0,1–1] ТГц |
|----------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Расплавление пластика            | ABS      | 1,64                                                                             | от 0,02 до 0,07                                                       |
|                                  | PLA      | 1,85                                                                             | от 0,02 до 0,14                                                       |
| Индукцирование фотополимеризации | Crystal  | 1,67                                                                             | от 0,02 до 0,50                                                       |

Для исследования возможности локального контроля показателя преломления были численно проанализированы перфорированные структуры, имеющие геометрические параметры, представленные на рис. 1б. Структуры исследовались во временной области. Для этого при помощи метода конечных разностей во временной области рассчитывалось пропускание и отражение структурой электромагнитного импульса длиной 2,7 пс, имеющего форму Гаусса.

Полученные результаты численного моделирования представлены на рис. 1в, который демонстрирует ожидаемую зависимость показателя преломления фотополимера от диаметра проделанных отверстий. Соответственно, с увеличением диаметра поры показатель преломления уменьшается.

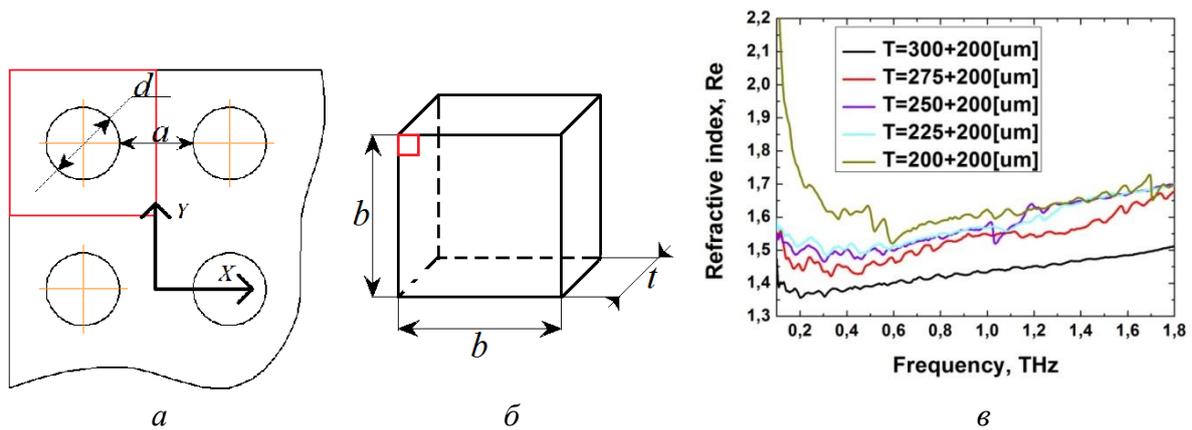


Рис. 1. а – участок структуры с периодом  $(d + a)$ , где  $d$  – диаметр отверстия,  $a$  – расстояние между ними; б – габаритные размеры исследуемой структуры:  $b$  – высота и ширина прямоугольного параллелепипеда,  $t$  – толщина; в – результаты численного моделирования структур с диаметрами отверстий от 200 до 300 мкм, периодом 200 мкм и габаритами  $b = 3000$  мкм,  $t = 1000$  мкм

На основе полученных данных были изготовлены и смоделированы три экспериментальных образца 2D-фотонных кристаллов с основной, вложенной и комбинированной решетками, размерами  $15 \times 15 \times 5,3$  мм<sup>3</sup>. Их обозначили номерами «1», «2» и «3». Образец «1» содержал поры шириной 300 мкм с расстоянием между ними 400 мкм. В образце «2» поры шириной 200 мкм отстоят друг от друга на 250 мкм. В образце «3» чередующиеся ряды тех и других пор находятся на расстоянии 200 мкм друг от друга. На рис. 2 представлены 3D-модели образцов, на рис. 3 их микрофотографии. Фотография образцов – на рис. 4.

Образцы рассчитаны таким образом, чтобы центры их запрещенных зон накладывались друг на друга для достижения более выраженного эффекта уширения запрещенной зоны. Соответственно для расчета запрещенных зон использовались данные графика рис. 1в и условия появления запрещенной зоны:

$$d_1 n_1 + d_2 n_2 = \frac{m\lambda}{2}, \quad (1)$$

где  $n_1$  – показатель преломления фотополимера «Crystal» ( $n_1 = 1,67$ );  $n_2$  – показатель преломления воздуха;  $m$  – порядок запрещенной зоны;  $\lambda$  – длина волны, падающей на фотонный кристалл электромагнитной волны ( $\lambda = 0,3$  ТГц);  $d_1$  и  $d_2$  толщины фотополимера и воздуха соответственно.

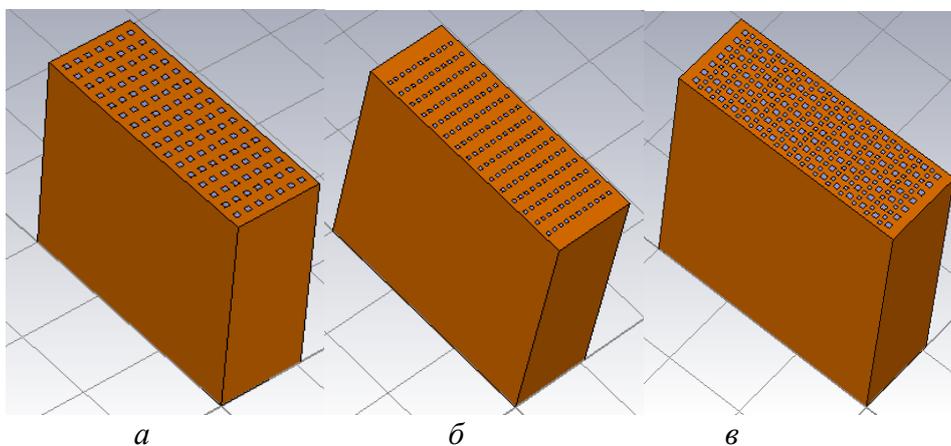


Рис. 2. 3D-модели образцов: а – с основной решеткой (образец 1); б – вложенной (образец 2); в – комбинированной (образец 3)

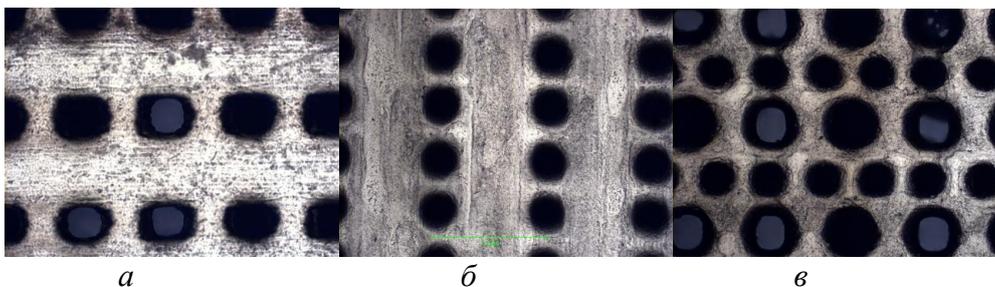


Рис. 3. Микрофотографии образцов: а – с основной решеткой (образец 1); б – вложенной (образец 2); в – комбинированной (образец 3)

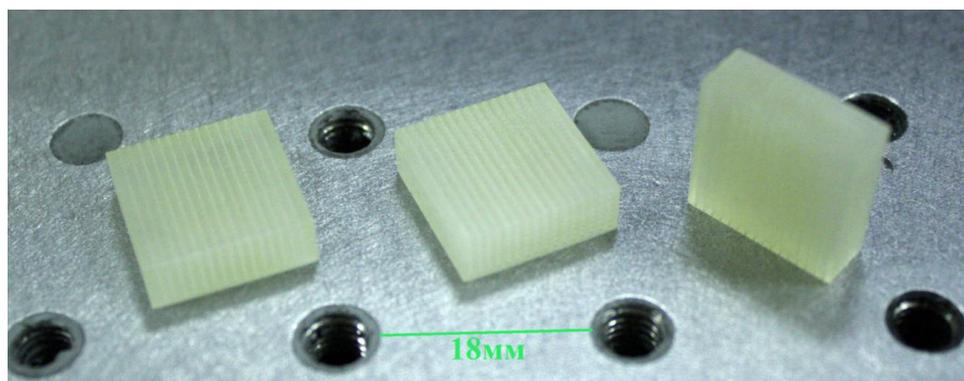


Рис. 4. Фотографии образцов «1», «2» и «3» (слева направо)

Для подготовленных структур было проведено численное моделирование в CST Microwave Studio и выполнены экспериментальные измерения их пропускания методом импульсной терагерцовой спектроскопии. Моделирование пропускания ФК с основной, вложенной и комбинированной решетками представлено на рис. 5.

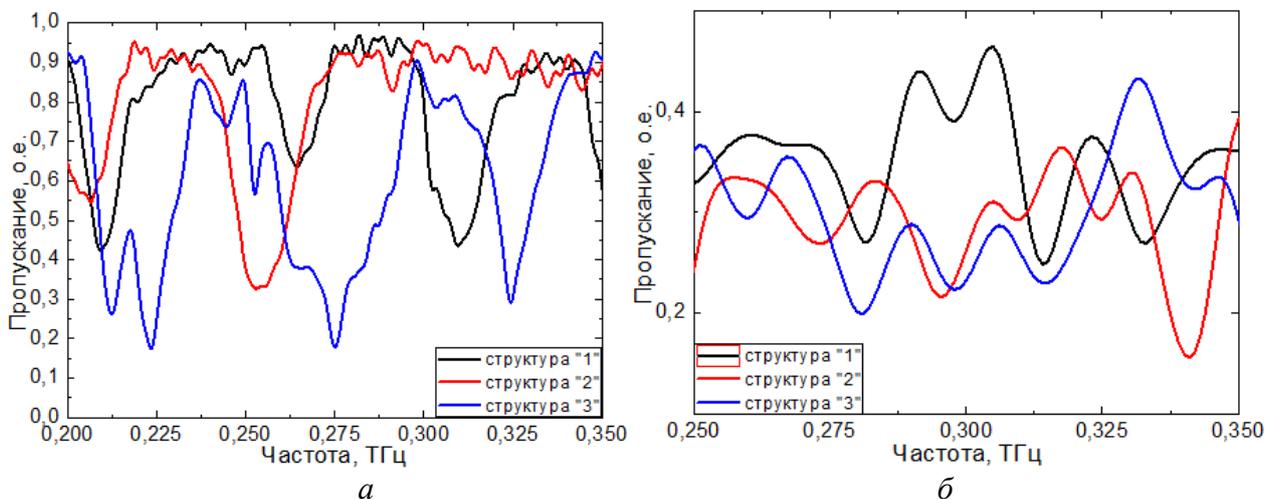


Рис. 5. Спектры пропускания структур «1», «2» и «3»: а – моделирование; б – эксперимент

Как видно из рис. 5, график экспериментальных результатов отличается от результатов моделирования по причине поглощения в реальном образце. При моделировании поглощение не учитывалось. Сдвиг частотных границ запрещенных зон экспериментальных образцов относительно результатов моделирования можно объяснить отклонением формы пор от построенной модели (хорошо видно на микрофотографии, рис. 3). Однако структуры демонстрируют соответствие частотных границ запрещенных зон двойного ФК (структура «3») границам запрещенных зон структур «1» и «2». На графике спектра пропускания двойного ФК (структура «3») отчетливо видна широкая запрещенная зона с частотными границами от 0,267 до 0,332 ТГц.

### Заключение

Таким образом, в данной работе показана возможность создания композитных структур с использованием стереолитографии.

1. Проведена оценка наиболее распространенных материалов используемых в 3D-стереолитографии и определены границы применимости двух наиболее распространенных методов. Продемонстрировано, что показатель преломления диэлектрической структуры в терагерцовом диапазоне частот линейно зависит от размеров отверстий и уменьшается с их увеличением.

2. Проведено экспериментальное и теоретическое исследование спектральных характеристик композитной структуры на основе метаматериалов, а именно двумерной ФК-структуры с двойной решеткой, и получены следующие результаты:

- предложена методика изготовления ФК-структур для терагерцового диапазона частот методом 3D-печати;
- с помощью численного моделирования методом конечных разностей во временной области была показана возможность уширения запрещенной зоны двумерной ФК-структуры с двойной решеткой, по сравнению с ФК-структурами с основной или встроенной решеткой;
- по разработанной методике изготовлены ФК-структуры из фотополимера Crystal;
- экспериментально показана возможность уширения запрещенной зоны двумерной ФК-структуры с двойной решеткой, по сравнению с ФК-структурами с основной или встроенной решеткой.

### Публикации

1. Gurvitz E.A., Andronaki S.A., Gusev S.I., Soboleva V.Y., Nazarov Y.D., Khodzitsky M.K. Development of 3D anisotropic artificial dielectric metamaterial for THz frequency range // PIRS Proceedings. 2014. P. 2715–2718.
2. Гомон Д.А., Гурвиц Е.А., Андронаки С.А., Гусев С.И., Доскалаки К., Цортакис С., Ходзицкий М.К. Исследование зависимости спектральных характеристик и оптических свойств диэлектрических композитных структур от внутренней периодической структуры для терагерцового диапазона частот // Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие СВЧ, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами». Саратов, 2015. С. 178–180.

### Литература

1. Zheludev N.I., Kivshar Y.S., From Metamaterials to metadevices // Nature Materials. 2012. Vol. 11. No 11 P. 917–924.
2. Piesiewicz R., Jacob M. et al. Performance analysis of future multi-gigabit wireless communication systems at THz frequencies with highly directive antennas in realistic indoor environments // IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. 2008. Vol. 14. No 2. P. 421–430.
3. Веселаго В.Г. Электродинамика веществ с одновременно отрицательными значениями  $\epsilon$  и  $\mu$  // Успехи физических наук. 1967. Т. 92. № 7. С. 517–526.
4. Pendry J.B., Holden A.J. et al. Magnetism from Conductors and Enhanced
5. Nonlinear Phenomena // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 1999. Vol. 47. No 11. P. 2075–2084.
6. Smith D.R., Padilla W.J. et al. Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity // Physical Review Letters. 2000. Vol. 84. No 18. P. 4184–4187.
7. Shelby R.A., Smith D.R., Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction // Science. 2001. Vol. 292. No 5514. P. 77–79.
8. Vendik I.B., Vendik O.G. et al. Tunable metamaterials for controlling THz radiation // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. 2012. Vol. 2. No 5. P. 538–549.

9. Gurvitz E.A., Andronaki S.A. et al. Development of 3D anisotropic artificial dielectric metamaterial for THz frequency range // PIERS Proceedings. 2014. P. 2715–2718.
10. Гомон Д.А., Гурвиц Е.А. и др. Исследование зависимости спектральных характеристик и оптических свойств диэлектрических композитных структур от внутренней периодической структуры для терагерцового диапазона частот // Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие СВЧ, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами». Саратов, 2015. С. 178–180.
11. Yablonoitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics // Physical Review Letters. 1987. Vol. 58. No 20. P. 2059–2062.
12. Vitiello M.S. et al. Photonic quasi-crystal terahertz lasers // Nature Communications. 2014. No 5. P. 1–8.
13. Денисултанов А.Х., Ходзицкий М.К. Анализ зонной структуры фотонного кристалла с кратными оптическими длинами слоёв для терагерцового диапазона частот // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 5 (87). С. 32–39.
14. Tokushima M. et al. Lightwave propagation through a 120 sharply bent single-line-defect photonic crystal waveguide // Applied Physics Letters. 2000. Vol. 76. No 8. P. 952–954.



**Егорова Евгения Александровна**  
**Факультет «Институт международного бизнеса и права»**  
**Кафедра таможенного дела и логистики**  
**E-mail: jenechka6969@yandex.ru**

## **ФОРМИРОВАНИЕ ФИЛОСОФИИ ИННОВАЦИОННОГО МЫШЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ**

Е.А. Егорова

Научный руководитель – доцент А.А. Антипов

Цели работы – сформировать национальную образовательную модель в форме учебного стандарта и плана подготовки студентов по направлению «Инноватика», в которой будет показан реальный синтез гуманитарного знания и инноватики, ориентированной на личность в контексте ее культуры. Данная цель достигается посредством решения следующих задач.

1. Обоснование того, что инновационные всплески в российской истории были связаны не с конкуренцией и индивидуализмом, а с государственным заказом и единением общества. Данную задачу позволит выполнить дисциплина «История и философия инновационного развития в России».

2. Введение новой дисциплины «Философия национального познания», где будут анализироваться философские основания национального мышления в их связи с инноватикой.

3. Создание постоянно действующей дискуссионной площадки: «Инновации в России: проблемы и перспективы».

4. Введение дисциплины «Гносеология национальной инноватики», где будет показана базовая основа философской методологии для инновационного мышления.

5. Формирование учебного плана, в котором будут доминировать гуманитарные и философские дисциплины.

В соответствии с реализацией поставленной цели и решением задач были получены следующие выводы и результаты.

Во-первых, показано и обосновано, что западная инновационная парадигма не соотносится с их культурой и ментальностью. Соотнесение западной теории инновационного развития [1] и основных тенденций западной гносеологии [2] с национальной образовательной и философской культурой показало, что основные принципы «созидательного разрушения» как основы инноваций базируются на понятиях капитализма, демократии, буржуазности, индивидуализма, монетизации и конкуренции. Капитализм и демократия – наиболее благоприятное пространство для появления инноваторов, которые, как правило, являются представителями буржуазного класса, мыслящими предельно рационально и нацеленными на монетизацию вновь создаваемого, изобретаемого продукта или организационной структуры.

Данная формула инновационного развития принципиально, онтологически и психологически отторгалась русской образовательно-философской традицией, историей и культурой в целом [3]. Вместо индивидуализма и конкуренции основная тенденция русской философской мысли базировалась на понятиях «соборности» и стремления к «цельному знанию» [4], сознательно-духовному единению общества, а не к его разобщению. «Единогласие» [5], «гносеологическая координация» [6], «металогическое единство» [7] – таковы основные понятия русской гносеологии, нашедшие отражение в образовательной традиции. Ее суть – формирование универсального мыслителя, который не конкурирует с другими, а чувствует свое ментальное родство с окружающим обществом и миром, ответственность перед обществом, работает и созидает, руководствуясь чувством долга, а не буржуазно-капиталистическими принципами монетизации, которые подвергались особенно яростной критике на страницах русской классической литературы.

Опыт русской философской мысли получает практическое подтверждение в современных социологических исследованиях, которые показывают, что ценности демократии для россиян не сопряжены с ценностями индивидуализма и идеал российской демократии – это соответствие национальным традициям. Такие страны, как Россия – с коллективизмом сознания, избеганием неопределенности и низким индексом ценности индивидуальных достижений, – не могут иметь высокого уровня инновационного развития в противоположность западным странам, имеющим очень высокий индекс индивидуальных достижений, восходящий к картезианской традиции *Cogito*.

Исторический опыт в свою очередь показывает, что инновационные всплески в России происходили не как процесс снизу и результат деятельности индивидов, а как общественная задача, спускаемая государством сверху (петровские реформы, советский период) [8]. Более того, советский опыт, где инновационное развитие достигло своего пика за всю российскую историю, опровергает убеждение классика экономической инновационной мысли Й. Шумпетера, который считал социализм и коллективизм наиболее неблагоприятными условиями для инноваций. Согласно данным, приведенным главой федеральной службы по интеллектуальной собственности, в СССР регистрировалось 200–250 тыс. изобретений в год против 30 тыс. в 2008 году и 41 тыс. в 2012 году [9].

Для выполнения ряда задач был предложен проект расширения и корректировки учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр»). В данной работе предлагается в контексте проекта базовой части этого учебного плана.

1. Увеличить количество часов дисциплины «История» и преподавать ее в течение первых трех семестров с акцентом на роли науки и техники в историческом процессе путем сравнения мирового опыта с опытом России.

2. Существенно увеличить количество часов дисциплины «Философия» и преподавать ее четыре семестра: со второго по четвертый курс с акцентом на теориях познания, предложенных мыслителями разных эпох.

3. Ввести дисциплину «Логика», так как знание законов мышления является важнейшим компонентом инновационного мышления.

Проект гуманитарного, социального и экономического цикла базовой части учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр») представлен в Табл. 1.

Таблица 1

Проект базовой части учебного плана

| <b>Б 1. Гуманитарный, социальный и экономический цикл (базовая часть)</b> |                   |                   |           |          |           |          |                        |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|----------|------------------------|
| Дисциплина                                                                | Семестр           | Общий объем, часы | Лекции    |          | Семинары  |          | Самостоятельная работа |
|                                                                           |                   |                   | общ.      | в нед.   | общ.      | в нед.   |                        |
| <b>История</b>                                                            | <b>1, 2, 3</b>    | <b>204</b>        | <b>51</b> | <b>1</b> | <b>51</b> | <b>1</b> | <b>102</b>             |
| <b>Философия</b>                                                          | <b>3, 4, 5, 6</b> | <b>310</b>        | <b>62</b> | <b>1</b> | <b>62</b> | <b>1</b> | <b>186</b>             |
| Иностранный язык                                                          | 1, 2, 3, 4        | 252               | 0         | 0        | 66        | 1        | 186                    |
| <b>Логика</b>                                                             | <b>5</b>          | <b>108</b>        | <b>17</b> | <b>1</b> | <b>34</b> | <b>2</b> | <b>57</b>              |
| Экономическая теория                                                      | 3                 | 108               | 17        | 1        | 17        | 1        | 74                     |
| Русский язык делового общения                                             | 2                 | 108               | 17        | 1        | 17        | 1        | 74                     |

В вариативной части гуманитарного, социального и экономического цикла учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» следует произвести следующие изменения:

– ввести дисциплину «История и философия инновационного развития в России», которая будет подробно раскрывать предпосылки и следствия периодов и национального инновационного развития и ориентироваться на отечественную гносеологию, наиболее ярко представленную в работах представителей русской философии Серебряного века и в том числе замыкающуюся на экономические модели «Философии хозяйства» С. Булгакова [10];

– ввести дисциплину «Гносеология, психология и технологии инновационной деятельности», которая будет нацелена на овладение студентами конкретными технологиями инновационного кластера в гносеологическом и психологическом аспектах. Эта дисциплина должна преподаваться на последнем, четвертом курсе обучения, когда студенты уже овладеют необходимым историко-теоретическим материалом и будут отличать западную модель инновационного развития от отечественной специфики инновационного мышления и опыта.

Значительное увеличение социально-гуманитарной составляющей части учебного плана по направлению «Инноватика» [11] позволит существенно расширить мировоззрение обучающихся в его непосредственной связи с инноватикой, инновационным мышлением и поведением. Инновация как новый продукт, технология, организационная структура – это лишь видимый, конечный результат того, что появляется в результате сложных социально-исторических, философских, психологических факторов, знание которых необходимо как знание онтологии инновационной деятельности.

Проект вариативной части «Гуманитарного, социального и экономического цикла (базовая часть) учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр» [12]) представлен в Табл. 2.

Таблица 2

Проект вариативной части учебного плана

| <b>Б 1. Гуманитарный, социальный и экономический цикл (базовая часть)</b> |            |                         |           |               |           |               |                             |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------------------------|
| Дисциплина                                                                | Семестр    | Общий<br>объем<br>часов | Лекции    |               | Семинары  |               | Самостоятель-<br>ная работа |
|                                                                           |            |                         | общ.      | в не-<br>делю | общ.      | в не-<br>делю |                             |
| Психология и педагогика профессиональной деятельности                     | 2          | 108                     | 17        | 1             | 34        | 2             | 57                          |
| Правоведение                                                              | 4          | 180                     | 15        | 1             | 30        | 2             | 135                         |
| Техника деловых переговоров                                               | 1          | 108                     | 34        | 2             | 34        | 2             | 40                          |
| Делопроизводство                                                          | 2          | 180                     | 17        | 1             | 34        | 2             | 129                         |
| <b>История и философия инновационного развития в России</b>               | <b>3</b>   | <b>108</b>              | <b>17</b> | <b>1</b>      | <b>34</b> | <b>2</b>      | <b>57</b>                   |
| <b>Гносеология, психология и технологии инновационной деятельности</b>    | <b>7,8</b> | <b>144</b>              | <b>24</b> | <b>1</b>      | <b>48</b> | <b>2</b>      | <b>72</b>                   |

Представленное дополнение к учебному плану по направлению 222000 «Инноватика» закономерно обуславливает необходимость корректировки ФГОС по данному направлению, в частности расширения количества необходимых для усвоения общекультурных и профессиональных компетенций: «знание истории и специфики развития мировой отечественной гносеологии» (ОК), «знание истории нововведений в России» (ОК); «владение психологией и технологиями инновационного процесса» (ПК).

Подготовленный проект модернизации учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр») позволит решить ряд задач, стоящих перед современным образованием и, в частности, современной экономикой:

- сделает популярным и доступным содержание понятий «инновационное мышление» и «инновационное поведение» на уровне вузовского образования для последующего инкорпорирования в процесс экономического развития и производства;
- покажет значимость исторических и социально-философских дисциплин в понимании онтологии и психологии инновационного процесса;
- внесет вклад в модернизацию вузовского образования посредством усиления социально-гуманитарного содержания и развития эвристического компонента.

### Заключение

В результате реализации проекта «Формирование философии инновационного мышления в российской образовательной среде» предложен один из вариантов национальной образовательной модели в виде откорректированного учебного плана и стандарта для подготовки студентов по направлению 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр»). Показан реальный синтез гуманитарного знания, гносеологических, социально-мировоззренческих и психологических основ мировой и национальной мысли, а также инновационного поведения с ориентацией на личность в контексте ее культуры.

Разработанная образовательная модель позволяет раскрыть многие понятия нового направления в учебном процессе «Инноватика» и популяризовать его.

Разработанный вариант плана направлен руководству факультета ИМБИП Университета ИТМО на рассмотрение и может быть реализован в учебном процессе с 2016 года.

Наряду с разработкой учебного плана по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «бакалавр») в рамках ежегодных «Дней интеллектуальной собственности» в Санкт-Петербурге мы предложили открыть дискуссионную площадку «Инновации в России: проблемы и перспективы», где студенты, специалисты и все заинтересованные лица могли бы обсуждать существующие вопросы, делиться идеями и проектами.

### Публикации

Егорова Е.А. Проблема формирования инновационного мышления: культурно-философский аспект // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 132–134.

### Литература

1. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М., 1982. – 451 с.
2. Мамардашвили М.К. Картезианские размышления. М., 1999. – 352 с.
3. Русская цивилизация и соборность: сб. статей / Сост. Е.С. Троицкий. М., 1994. – 252 с.
4. Соловьев В.С. Национальный вопрос в России. Вып. 2 // Соч.: в 2 т. Т. 1. М., 1989. – 539 с.
5. Трубецкой С.Н. Сочинения. М., 1994. – 816 с.
6. Лосский Н.О. История русской философии. М., 2011. – 551 с.
7. Франк С.Л. Непостижимое. Онтологическое введение в философию религии. М., 2007. – 512 с.
8. Гришин В.В. Управление инновационной деятельностью в условиях модернизации национальной экономики. М., 2015. – 368 с.
9. Мамардашвили М.К. Картезианские размышления. М., 1999. – 352 с.
10. Соловьев В.С. Национальный вопрос в России. Вып. 2 // Соч.: в 2 т. Т. 1. М., 1989. – 220 с.
11. Приказ от 25 января 2011 г. N 97 «Об утверждении и введении в действие федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 222000 «Инноватика» (квалификация (степень) «Бакалавр») [Электронный ресурс] // Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [Официальный сайт]. URL: <http://www.fgosvo.ru/uploadfiles/fgos/21/20111115155529.pdf> (дата обращения: 15.09.2015).
12. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования направления подготовки 220600 «Инноватика» [Электронный ресурс]. URL: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-290237.html> (дата обращения: 15.09.2015).



**Ермолаев Петр Андреевич**  
**Факультет фотоники и оптоинформатики**  
**Кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики**  
**E-mail: petr-ermolaev@hotmail.com**

## **РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО**

**П.А. Ермолаев**

Научный руководитель – доцент М.А. Волынский

Целью работы является разработка алгоритма динамической обработки интерферометрических сигналов на основе последовательного метода Монте-Карло (ПММК) [1-2]. Области применения результатов – информационные технологии, биомедицина, задачи сохранения предметов искусства, контроль качества выпускаемой продукции в различных сферах промышленной деятельности.

Бесконтактные методы исследования микроструктуры объектов широко используются в медицине и криминалистике, при исследовании материалов и контроле качества производства. Одни из самых распространенных методов бесконтактных исследований поверхности и микроструктуры объектов – оптические [3]. Среди них наибольшими точностью и разрешением обладают интерферометрические методы [4].

Регистрируемые в интерферометрических системах сигналы содержат полезную информацию о микроструктуре исследуемого объекта. Извлечение этой информации осуществляется путем обработки интерферометрических сигналов, состоящей в определении отдельных их параметров, например амплитуды и фазы. Эта задача осложняется тем, что регистрируемые сигналы подвержены влиянию случайных помех, характеристики которых в общем случае не известны. Высокая точность, устойчивость к помехам различной природы и скорость обработки сигналов играют важную роль при практическом использовании интерферометрических систем.

Методы обработки, основанные на применении преобразования Фурье [5] и сводящиеся, как правило, к различным видам фильтрации в частотной области, не всегда обеспечивают необходимое качество обработки, так как не позволяют непосредственно оценивать информативные параметры сигналов (не являются параметрическими) и не учитывают имеющуюся априорную информацию о процессе формирования интерферометрического сигнала.

Альтернативным подходом к обработке интерферометрических сигналов является применение алгоритмов динамической обработки данных [6-7], использующих представление сигнала в форме выхода в общем случае нелинейной динамической системы, состояние которой определяется вектором параметров сигнала, содержащим, например, амплитуду и фазу. Обработка сигналов при помощи этих алгоритмов проводится в динамическом режиме [7], что ведет к росту скорости обработки данных. Набор оцениваемых параметров зависит от используемой модели интерферометрического сигнала, которая выбирается в зависимости от решаемой задачи, что расширяет область применения алгоритмов динамической обработки данных.

Наиболее распространенным алгоритмом такого типа является линейный фильтр Калмана [8], который оптимален по критерию минимума среднеквадратичного отклонения ошибок оценивания, однако применим только в случае линейной зависимости сигнала от

параметров. Интерферометрические системы характеризуются нелинейной зависимостью регистрируемых сигналов от их параметров и не могут быть описаны с использованием только линейных операторов.

Одним из подходов к динамическому оцениванию параметров нелинейных динамических систем является ПММК, являющийся численной реализацией метода байесовского оценивания [1-2]. ПММК основан на статистической аппроксимации функции плотности вероятности распределения параметров.

В дискретном виде интерферометрический сигнал представляется как набор отсчетов:

$$s(x) = B(x) + A(x) \cos(\Phi(x) + \delta\varphi(x)) + n(x), \quad (1)$$

где  $s(x)$  – значение сигнала в точке  $x = k\Delta x$ ,  $k = 0..K - 1$  – номер дискретного отсчета,  $\Delta x$  – шаг дискретизации,  $B$  – фоновая компонента сигнала, вызванная постоянной составляющей яркости интерференционной картины;  $A$  – амплитуда сигнала;  $n$  – аддитивный шум, обусловленный широким кругом различных факторов: несовершенством элементов оптической схемы, случайными флуктуациями температуры воздуха в помещении, тепловым шумом регистрирующего устройства и другими;  $\Phi$  – полная фаза сигнала;  $\delta\varphi$  – случайные флуктуации фазы. Полная фаза в дискретном виде может быть представлена как:

$$\Phi(k) = \sum_{k'=0}^k 2\pi f(k')\Delta x, \quad (2)$$

где  $f(k')$  – частота сигнала. Значения сигнала на каждом отсчете определяются вектором параметров  $\theta(k)$ .

Процедура динамической обработки интерферометрических сигналов заключается в получении оценок значений параметров для каждого дискретного отсчета сигнала и может быть реализована различными способами. Такой сигнал можно представить как наблюдение в нелинейной динамической системе, которая в дискретном виде задается при помощи уравнения системы и уравнения наблюдения:

$$\theta(k) = \mathbf{f}(\theta(k-1)) + \mathbf{w}(k), \quad (3)$$

$$\mathbf{s}(k) = \mathbf{h}(\theta(k)) + \mathbf{n}(k), \quad (4)$$

где  $\theta(k)$  – вектор параметров;  $\mathbf{s}(k)$  – вектор наблюдения,  $\mathbf{f}(\cdot)$  и  $\mathbf{h}(\cdot)$  – известные нелинейные векторные функции, описывающие, соответственно, эволюцию системы во времени и полезную составляющую наблюдаемого сигнала,  $\mathbf{w}(k)$  и  $\mathbf{n}(k)$  – шумы системы и наблюдения соответственно. Используя простейшую модель интерферометрического сигнала (1)–(2), нелинейные функции  $\mathbf{f}(\cdot)$  и  $\mathbf{h}(\cdot)$  в уравнениях (3)–(4) можно записать следующим образом:

$$\mathbf{h}(\theta) = B + A \cos \Phi, \quad (5)$$

$$\mathbf{f}(\theta) = \theta + (0 \ 0 \ 0 \ 2\pi f\Delta x)^T. \quad (6)$$

Использование разнообразных моделей сигналов позволяет создавать специализированные алгоритмы обработки, которые дают возможность оценивать не только стандартные параметры квазигармонических сигналов, такие как фон, амплитуда, частота и фаза. При разработке специализированных интерферометрических систем могут использоваться и другие специфические модели квазигармонических сигналов [7].

Существуют реализации ПММК, использующие различные подходы к численному моделированию распределения оцениваемых параметров [1-2].

Работа ПММК состоит из четырех этапов (рис. 1):

- генерация случайного набора векторов параметров системы в соответствии с плотностью вероятности распределения параметров на предыдущем шаге  $p(\theta(k-1))$ ;
- предсказание возможных значений параметров на следующем шаге;
- отбор векторов, лучше всего удовлетворяющих поступившим наблюдениям;
- коррекция плотности вероятности распределения параметров.

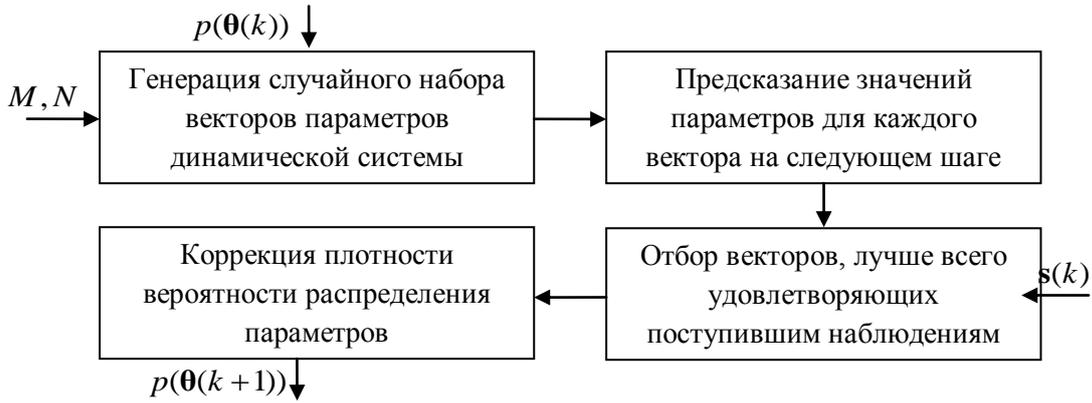


Рис. 1. Схема обработки одного отсчета сигнала при помощи ПММК

Количество генерируемых случайных векторов  $N$ , пороговая вероятность отбора и статистические моменты априорной плотности вероятности распределения параметров являются входными параметрами алгоритма и задаются пользователем априорно в зависимости от требований к скорости и качеству обработки данных.

На первом этапе с учетом информации о распределении шумов и компонентов вектора параметров динамической системы генерируется множество  $\hat{\Theta}$ , состоящее из  $N$  независимых векторов  $\hat{\theta}(k, i)$ , где  $i = 0 \dots N-1$  – номер вектора  $\hat{\theta}$  в множестве  $\hat{\Theta}$ .

На втором этапе в соответствии с функцией  $\mathbf{f}(\cdot)$  формируется множество предсказываемых значений вектора параметров:

$$\hat{\theta}(k+1, i) = \mathbf{f}(\hat{\theta}(k, i)) + \mathbf{w}(k, i). \quad (7)$$

На третьем этапе из элементов множества  $\hat{\Theta}$  выбираются векторы, лучше всего удовлетворяющие наблюдениям, полученным на текущем шаге. Этот выбор осуществляется на основе оценки вероятности совпадения каждого из векторов множества  $\hat{\Theta}$  с истинным вектором параметров на текущем шаге. Для этого с использованием уравнения  $\mathbf{h}(\cdot)$  для каждого из векторов множества  $\hat{\Theta}$  вычисляется оценка наблюдения  $\hat{\mathbf{s}}(k)$ . Условную вероятность можно оценить как:

$$q(i) = p([\hat{\mathbf{s}}(k) = \mathbf{s}(k)] | [\hat{\theta}(k, i) = \theta(k)]). \quad (8)$$

Формула для вычисления  $q(i)$  зависит от характера функции распределения шума наблюдения. Например, если шум наблюдения  $\mathbf{n}(k)$  аддитивен и распределен по нормальному закону с нулевым средним, уравнение (8) можно представить в виде [4]:

$$\begin{aligned} q(i) &= p(\mathbf{n}(k) = \{\mathbf{s}(k) - \mathbf{h}(\hat{\theta}(k, i))\}) = \\ &= \frac{\alpha}{\sqrt{(2\pi)^m |\mathbf{R}_n|}} \exp\left(-\frac{1}{2} [\mathbf{s}(k) - \mathbf{h}(\hat{\theta}(k, i))]^T \mathbf{R}_n^{-1} [\mathbf{s}(k) - \mathbf{h}(\hat{\theta}(k, i))]\right), \end{aligned} \quad (9)$$

где  $m$  – количество элементов в векторе наблюдения  $\mathbf{s}(k)$ ,  $\mathbf{R}$  – ковариационная матрица шума наблюдения,  $\alpha$  – коэффициент нормировки. Выбор наиболее вероятных векторов осуществляется в соответствии с правилом

$$\{\forall \hat{\theta}(k, i) \in \hat{\Theta} : q(i) \geq p\}, p \in [0, 1], \quad (10)$$

где  $p$  – пороговое значение вероятности, определяющее минимальную условную вероятность совпадения вектора из множества  $\hat{\Theta}$  с истинным вектором параметров динамической системы.

На четвертом этапе вычисляется оценка вектора параметров (как среднее арифметическое выбранных векторов) и осуществляется коррекция плотности вероятности распределения параметров. Новое множество  $\bar{\Theta}$ , которое используется для оценки параметров на следующем шаге, генерируется в соответствии со скорректированной плотностью вероятности распределения компонентов вектора параметров.

Отбор  $M$  наиболее вероятных векторов ( $M < N$ ) можно осуществлять также в соответствии с критерием минимизации невязки между наблюдением и его оценкой

$$\Delta = \left| \mathbf{h}(\hat{\boldsymbol{\theta}}(k, i)) - \mathbf{s}(k) \right|. \quad (11)$$

Использование выражения (11), однако, не позволяет вычислить вероятность  $q(i)$ , необходимую для выбора векторов параметров по правилу (10). Оценка вектора параметров на каждом шаге в этом случае вычисляется как среднее значение выбранных в соответствии с правилом (10) элементов множества  $\hat{\Theta}$ .

При использовании распределений, отличных от нормального, в качестве оценки вектора параметров выступает наиболее вероятное его значение, полученное в результате анализа распределения отобранных векторов. Применение данной реализации ПММК рассмотрено в работе [2].

Исследуемый алгоритм был апробирован на экспериментальных интерферометрических сигналах малой когерентности [9], полученных при помощи микроинтерферометра Линника МИИ-4. Обработка таких сигналов заключается в оценке амплитуды сигнала, в которой содержится информация о степени отражения излучения вдоль оси, перпендикулярной латеральной плоскости объекта.

На рис. 2 и 3 представлены примеры экспериментальных интерференционных картин, полученных при исследовании поверхности зеркала и крыла комара *Culex pipiens*, а также примеры сигналов, полученных в отдельных точках поверхностей этих объектов при перемещении опорного отражателя и результаты оценки амплитуды этих сигналов при помощи ПММК.

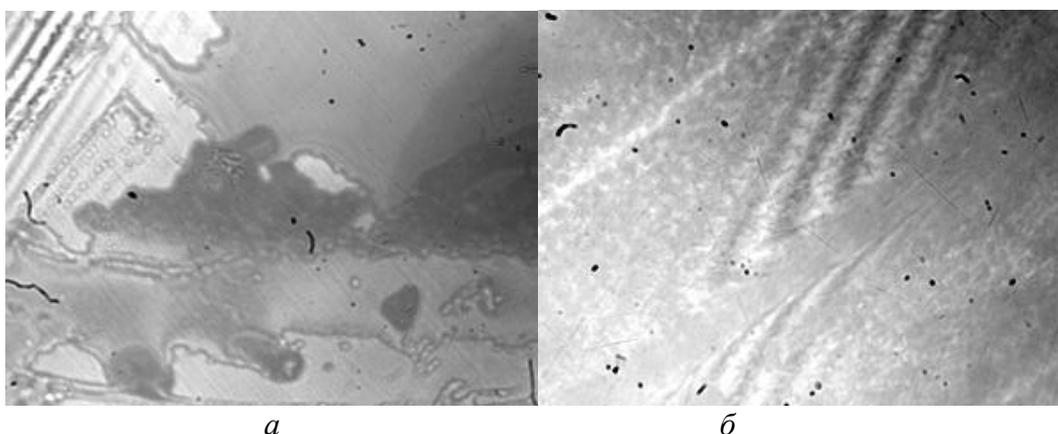


Рис. 2. Примеры экспериментальных интерференционных картин, полученных при исследовании: а – поверхности зеркала; б – крыла комара *Culex pipiens*

В процессе исследования поверхности с использованием интерферометра МИИ-4 интенсивность пикселей на регистрируемых интерференционных картинах изменяется и представляет собой в каждой отдельной точке одномерный интерферометрический сигнал. Расположение максимумов амплитуды такого сигнала соответствуют расположению границ слоев в среде в данной точке.

Результаты обработки сигналов всех точек экспериментального набора изображений позволяют восстановить трехмерную структуру исследуемого объекта.

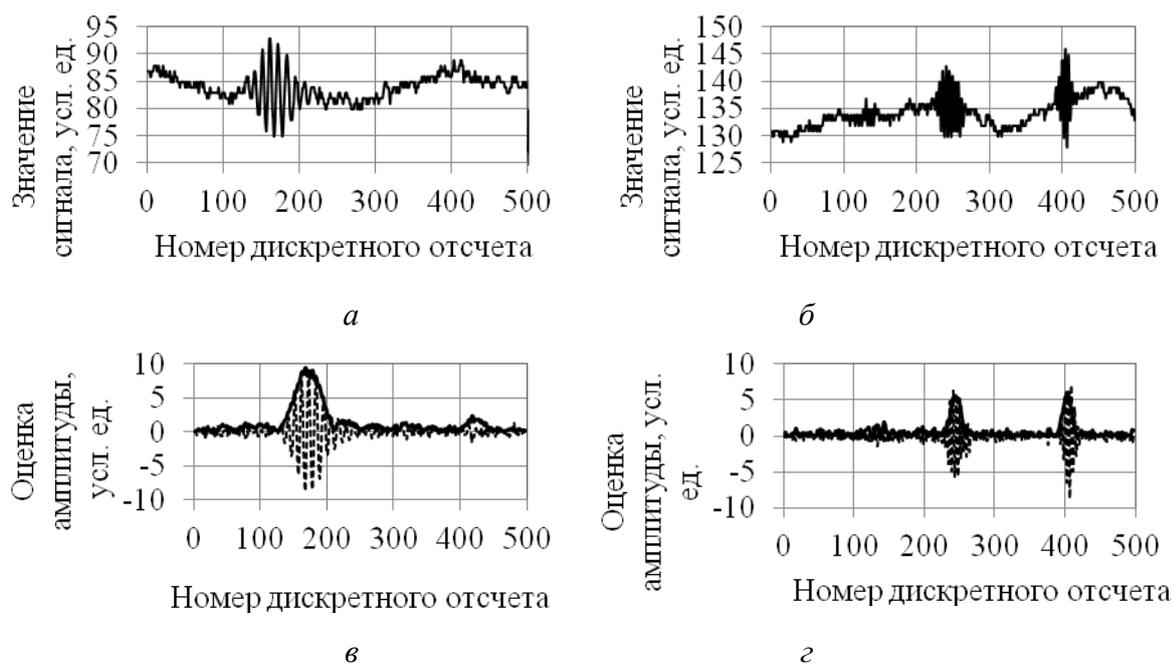


Рис. 3. Результаты оценки амплитуды экспериментальных интерферометрических сигналов, полученных при исследовании: а, в – поверхности зеркала; б, г – крыла комара

На рис. 4 представлена трехмерная томограмма крыла комара и модель поверхности торца металлической детали, восстановленная по результатам обработки экспериментальных сигналов при помощи ПММК.

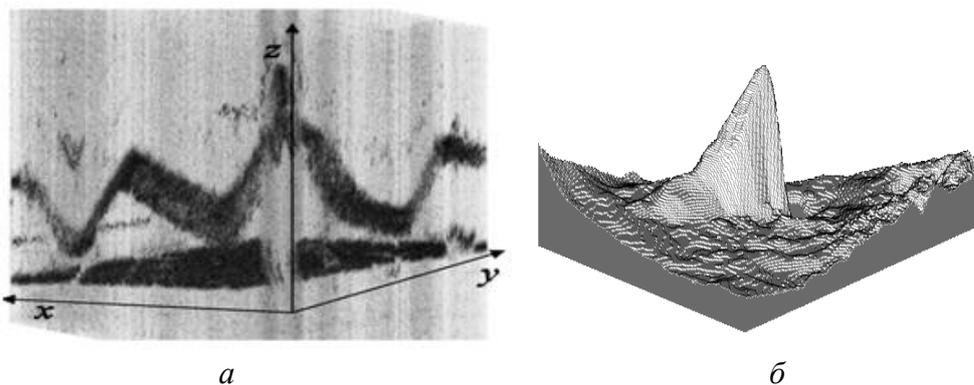


Рис. 4. Трехмерные модели: а – внутренней структуры крыла комара *Culex ripiens*; б – поверхности торца металлической детали

На модели крыла комара хорошо различимы верхняя и нижняя границы полупрозрачного крыла. На модели торца металлической детали хорошо различима характерная для данного способа изготовления деталей конусообразная неровность, высота которой составляет величину порядка 8 мкм.

### Заключение

В ходе выполнения проекта был разработан алгоритм динамического оценивания параметров интерферометрических сигналов на основе ПММК. Областью его применения являются интерферометрические системы. Были получены и проанализированы результаты динамического оценивания параметров модельных интерферометрических сигналов, выполненные при помощи разработанного алгоритма. Выявлено, что качество оценки параметров в значительной степени зависит от начальных условий (априорной информации о первоначальной частоте и амплитуде сигнала, статистических характеристиках шума системы и наблюдения). Эти параметры могут быть подобраны в зависимости от типа исследуемого в интерферометрической системе объекта и характеристик используемой

оптической схемы и источника излучения. Это обеспечивает высокую гибкость настройки алгоритмов и способствует повышению качества обработки данных, в частности повышению разрешения интерферометрических систем.

Исследуемый алгоритм был апробирован на экспериментальных интерферометрических сигналах. Результаты обработки соответствуют результатам, полученным при исследовании рассмотренных объектов другими методами.

В дальнейшем работа может быть продолжена в направлении исследования других алгоритмов динамического оценивания параметров, в том числе разработки их модификаций, а также синтеза новых моделей с целью увеличения качества обработки интерферометрических сигналов. Для ускорения обработки больших объемов данных в перспективе может быть использована реализация исследуемого алгоритма при помощи технологий параллельных вычислений с использованием графических процессоров.

### Публикации

1. *Ermolaev P.A., Volynsky M.A., Skakov P.S.* Evaluation of interference fringe parameters using sequential Monte Carlo method // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 952533.
2. *Volynskii M.A., Gurov I.P., Ermolaev P.A., Skakov P.S.* Comparative analysis of extended Kalman filtering and the sequential Monte Carlo method, using probability models of signals in optical coherent tomography // Journal of Optical Technology. 2015. Vol. 82. No 8. P. 533–537.
3. *Ермолаев П.А.* Исследование рекуррентных алгоритмов нелинейной фильтрации применительно к задаче динамического оценивания интерферометрических сигналов // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров Университета ИТМО. СПб., 2015. С. 52–57.

### Литература

1. *Ristic B., Arulampalam S., Gordon N.* Beyond the Kalman filter: Particle filters for tracking applications. Norwell, 2004. – 309 p.
2. *Волынский М.А., Гуров И.П., Ермолаев П.А., Скаков П.С.* Динамическое оценивание параметров интерферометрических сигналов на основе последовательного метода Монте-Карло // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 3 (91). С. 18–24.
3. *Malacara D.* Optical shop testing. NY, 2007. – 862 p.
4. *Коломийцов Ю.В.* Интерферометры: основы инженерной теории, применение. Л., 1976. – 296 с.
5. *Sundararajan D.* The discrete fourier transform. Theory, algorithms and applications. Singapore, 2001. – 390 p.
6. *Simon D.* Optimal state estimation. NY, 2006. – 526 p.
7. *Gurov I., Volynsky M.* Interference fringe analysis based on recurrence computational algorithms // Optics and Lasers in Engineering. 2012. Vol. 50. No 4. P. 514–521.
8. *Kalman R.E.* A new approach to linear filtering and prediction problems // Transactions of the ASME. Series D, Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. P. 35–45.
9. *Dresel T., Häusler G., Ventzke H.* Three-dimensional sensing of rough surfaces by coherence radar // Applied Optics. 1992. Vol. 31. No 7. P. 919–925.



**Жебалова Екатерина Андреевна**  
**Факультет технологического менеджмента и инноваций**  
**Кафедра экономики и стратегического менеджмента**  
**E-mail: eanikolaeva@yandex.ru**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИЗНЕСА В ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ЭКОНОМИКИ НА ПРИМЕРЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ**

Е.А. Жебалова (Николаева)  
Научный руководитель – профессор Н.А. Шапиро

Целью исследования является анализ организационно-экономических механизмов управления и развития бизнеса формирующейся в России новой подотрасли здравоохранения, оказывающей высокотехнологичные медицинские услуги. Для достижения цели надо решить следующие задачи:

- выявить новейшие тенденции развития российского здравоохранения в 2010–2015 годах, на фоне которых происходит развитие национальной системы высокотехнологичной медицинской помощи (ВМП);
- раскрыть механизм государственно-частного партнерства, используемого в России, и отразить его влияние на развитие бизнеса в высокотехнологичных отраслях медицинской помощи.

Объектом исследования является новый кластер российского здравоохранения – национальная система ВМП и практики развития в ней бизнеса.

Предметом исследования выступают организационно-экономические отношения и экономические аспекты их функционирования в сфере высокотехнологичного здравоохранения в России.

Научная ценность работы заключается в том, что исследован новый кластер российского здравоохранения – национальная система оказания высокотехнологичных медицинских услуг в ее организационно-экономическом аспекте с точки зрения теоретической модели государственно-частного партнерства и возможностей развития частного бизнеса в целом. Проанализированы практики оказания высокотехнологичных медицинских услуг, сделаны практические выводы по совершенствованию развития бизнеса в системе ВМП с учетом современных тенденций в изменениях российского здравоохранения.

В течение многих лет в России происходит постоянное экстенсивное развитие, основанное на потреблении и экспорте ограниченных ресурсов, прежде всего нефти и газа. Такое развитие бесперспективно и не может продолжаться долгое время. Экономический рост и повышение конкурентоспособности национальной экономики возможны только при инновационном развитии и применении научно-технического потенциала высокотехнологичных отраслей [1].

Ведущее положение занимают именно наукоемкие и высокотехнологичные отрасли ввиду того, что в них реализуется значительная часть инновационных разработок и технологий. Вместе с тем прослеживается четкая взаимосвязь объема высокотехнологичного сектора и научно-технического потенциала страны, который определяет важнейшие критерии экономического роста. В зависимости от уровня инновационного развития изменяются роль и вес страны на международном рынке, размер иностранных инвестиций, качество обеспечения национальной безопасности и ряд других немаловажных факторов [2].

С точки зрения совершенствования способов управления инновационными процессами характер модернизации должен быть организационно-экономическим и направленным на развитие наукоемких отраслей с помощью собственного научно-технического и инновационного потенциала. Наукоемкие отрасли должны стать инновационным ядром развития российской промышленности. На базе крупнейших высокотехнологических предприятий требуется постоянное внедрение новейших разработок отечественных ученых. Кроме того, необходимо осваивать новые рынки сбыта и выпускать продукцию, соответствующую международному уровню качества.

Одной из важнейших задач управления инновационным развитием высокотехнологических отраслей экономики становится коммерциализация инноваций. Модернизация технологий и ускоренные темпы инновационной деятельности призваны активизировать монетизацию и коммерциализацию новейших наукоемких разработок. Однако специфичность и рискованность инновационных процессов в большинстве случаев не позволяют прогнозировать экономическую выгоду.

Остро стоит проблема формирования внутреннего инновационного рынка. Поддержка государством активизации инновационных процессов в высокотехнологических отраслях попросту необходима, но недостаточна. Участие правительства страны заключается зачастую лишь в обеспечении безопасности и создании благоприятной среды для проведения российскими учеными научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР). Однако низкий спрос на инновации в первую очередь связан с состоянием конкуренции в стране. На сегодняшний день наблюдается высокая монополизированность наукоемких отраслей промышленности и превышающие мировые нормы защитные барьеры для выхода на международный рынок.

Государству необходимо почувствовать тонкую грань между влиянием на инновационные процессы, распространяемые естественным путем, и использованием административного ресурса. Его давление и бюрократизм приведут к отторжению и негативному отношению к инновациям как сотрудников, непосредственно занимающихся НИОКР, так и всех участников инновационного процесса [3].

Основным приоритетом развития высокотехнологических отраслей экономики, по мнению Российской академии наук (РАН), должно стать опережающее развитие научно-технического потенциала, обеспечивающего конкурентоспособность России в важнейших технологических областях.

До 2030 года значительное влияние на конкурентоспособность и национальную безопасность страны будет оказывать информационно-технологический прогресс, компьютерные технологии, живые системы, нанотехнологии. Ярко будет прослеживаться взаимодействие различных научных направлений и появление научных разработок в междисциплинарных областях [4].

В связи с прогнозируемыми тенденциями мирового развития ведущими учеными РАН был сформирован перечень критически важных для России направлений, ключевыми из которых являются:

- создание нового поколения ядерных реакторов повышенной безопасности;
- разработка и широкое внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий;
- альтернативная энергетика и производство нового моторного топлива;
- освоение современных информационных технологий;
- развитие биотехнологий, в особенности генной инженерии и других направлений приложения микробиологических исследований, поднимающих эффективность здравоохранения, агропромышленного комплекса, фармакологической и других отраслей промышленности;
- развитие нанотехнологий для производства новых материалов и их использования в различных областях деятельности (прежде всего медицина, электроника);
- развитие лазерных технологий;
- создание специальной техники, способной работать в экстремальных средах.

Большинство вышеперечисленных технологий разрабатываются и внедряются в высокотехнологичных отраслях экономики, поэтому значимость грамотно спланированного управления развитием инноваций в этих отраслях возрастает.

Анализ практик инновационных, наукоемких и высокотехнологичных производств показал, что затрагиваемые в процессе исследования аспекты долгосрочного экономического развития страны носят сложный, многогранный и взаимосвязанный характер.

К настоящему времени уровень и интенсивность роста инновационности российской экономики признается экспертами недостаточным, инновационная активность предприятий реального сектора экономики оценивается как снижающаяся, внутренний спрос на результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по-прежнему остаются недостаточными, количество организаций, занятых исследованиями и разработками, а также численность исследовательского персонала демонстрируют отрицательную динамику. Несмотря на указанные негативные тенденции, в Российской Федерации уже накопился опыт инновационных практик в социальной сфере.

Социальная (непроизводственная) сфера как совокупность отраслей народного хозяйства включает нематериальное производство и нематериальные услуги. Общим признаком, объединяющим их в одну сферу человеческой деятельности, является нематериальный характер результата труда работников, занятых в этих видах деятельности. К социальной сфере можно отнести:

- здравоохранение;
- пассажирский транспорт;
- жилищно-коммунальное и бытовое обслуживание населения;
- физическую культуру;
- просвещение;
- культуру;
- науку и научное обслуживание;
- кредитование;
- финансирование и страхование;
- управление, общественные организации.

Общие тенденции развития производства, связанные с внедрением и развитием инноваций в современных условиях, активно проникают и в социальную сферу, в частности в медицинское обслуживание, ставшее одной из высокотехнологичных ее отраслей.

В настоящее время в России необходимо развивать эффективные институты взаимодействия государства и бизнеса посредством формирования грамотной экономической политики, обеспечивающей повышение инновационной активности, развитие экономической и социальной инфраструктуры. В системе ВМП есть большой потенциал для развития бизнеса в медицинских учреждениях.

Модернизация системы здравоохранения на основе инновационных проектов реализуется прежде всего через государственно-частное партнерство, которое представляет собой совокупность форм средне- и долгосрочного взаимодействия государства и бизнеса для решения общественно значимых задач на взаимовыгодных условиях [5]. В случае со здравоохранением такое партнерство создает возможности для:

- повышения уровня здоровья;
- сохранения социальной стабильности в обществе;
- повышения качества медобслуживания до уровня мировых стандартов;
- оптимизации государственных расходов и минимизации структурных диспропорций, выступая тем самым действенным инструментом при реформировании здравоохранения.

Основными формами государственно-частного партнерства в российском здравоохранении на данном этапе являются следующие:

- создание новых частных медицинских центров при содействии государства;

– передача инвестору территориально выгодно расположенных зданий медицинских учреждений с условием строительства новых зданий для этих медицинских учреждений в других местах;

– реконструкция зданий для перемещения в них медицинских учреждений из других зданий, привлекательных для частных инвесторов;

– реорганизация государственных медицинских учреждений в акционерные общества с государственным капиталом и возможным последующим созданием совместного государственно-частного предприятия с участием частного инвестора [6].

Кроме того, бизнес может создавать системы банков крови, центры диализа, службы скорой медицинской помощи вблизи дорог для оказания экстренной специализированной помощи при дорожном травматизме и многое другое.

Государственно-частное взаимодействие в сфере здравоохранения включает множество механизмов сотрудничества публичного и частного партнеров. На данном этапе развития государственного регулирования к основным механизмам государственно-частного взаимодействия в здравоохранении можно отнести:

– концессионные соглашения;

– инвестиционные соглашения;

– договоры аренды государственного имущества с возложением на арендатора обязательств по проведению текущего и капитального ремонта арендуемого имущества;

– лизинг;

– участие частных медицинских организаций в реализации программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи;

– аутсорсинг;

– создание коммерческих организаций.

Самой распространенной практикой развития бизнеса в высокотехнологичных отраслях здравоохранения оказались концессионные соглашения. При таком сотрудничестве выбранная по конкурсу компания вкладывает средства в реконструкцию и оснащение учреждения, получает его в управление на оговоренный в соглашении срок и оказывает медпомощь в системе ОМС, в ряде случаев зарабатывая также на коммерческих услугах.

Популярность концессий объясняется прозрачностью механизма сотрудничества. Во-первых, существует отдельный федеральный закон «О концессионных соглашениях» [7]. Кроме того, другие формы государственно-частного партнерства, например совместное предприятие, требуют значительно большей координации усилий между частником и государством. При концессионном соглашении можно жестче разграничить полномочия каждой из сторон.

Таким образом, тема настоящего исследования представляется актуальной как в теоретическом, так и в прикладном аспектах.

### Публикации

1. Жебалов В.Г., Эйвазов А.И., Николаева Е.А. Мероприятия по совершенствованию организации и управления в системе здравоохранения: проблемы и перспективы // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития: сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Ч. 1. Новосибирск, 2014. С. 20–24.

2. Николаева Е.А., Мамонов И.А. Внедрение инновационного подхода для управления бизнес структурой предприятия // Общество в эпоху перемен: формирование новых социально-экономических отношений: материалы VI Международной научно-практической конференции (20 ноября 2014г.): в 2-х частях. Ч. 2. Саратов, 2014. С. 55–56.

3. Николаева Е.А., Эйвазов А.И. Современные технологий управления в непроизводственной сфере на примере медицинской отрасли // Актуальные вопросы развития социально-экономических систем в современном обществе: материалы V Международной научно-практической конференции (6 ноября 2014г.). Саратов, 2014. С. 114–116.

4. Николаева Е.А. Проблемы менеджмента в организации современного здравоохранения // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 4. СПб., 2014. С. 261–262.
5. Шапиро Н.А., Каплина Ю.Е., Жебалова Е.А. Инновационное управление для устойчивого развития (или концепция стратегических намерений) // Стратегии и инструменты управления экономикой: отраслевой и региональный аспект: материалы IV Международной научно-практической конференции. СПб., 2014. С. 133–139.
6. Шапиро Н.А., Каплина Ю.Е., Николаева Е.А. Отражение крупного города в онтологическом контенте экономической теории // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2013. № 2 (13). С. 38.
7. Шапиро Н.А., Николаева Е.А. Концепции разработки новых систем стратегического менеджмента для предприятий в высокотехнологичных отраслях // Актуальные проблемы менеджмента в РФ: формирование эффективных систем стратегического управления в Российской Федерации на федеральном и региональном уровнях: материалы Международной научно-практической конференции. Ч. 1. СПб., 2013. С. 53–56.
8. Яковлева А.В., Каплина Ю.Е., Николаева Е.А. Роль частичного аутсорсинга в развитии инновационной сферы крупного города // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2014. № 2 (5). С. 351–353.

### Литература

1. Скрипниченко Д.Ю. Теории экономического развития: сравнительный анализ // Россия в поисках новой модели взаимодействия государства и рынка: сборник докладов. СПб., 2013. С. 164–169.
2. Федосова Р.Н. Роль государства в развитии интегрированных бизнес-структур // Эффективное антикризисное управление. 2012. № 4. С. 46–50.
3. Шапиро Н.А., Яковлева А.В. Проблемное поле современных исследований безработицы // Социально-экономические проблемы современного рынка труда: материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2013. С. 184–188.
4. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.). М., 2008. – 88 с.
5. Любавина А.Г. Государственное частное партнерство в инновационной сфере: трудности и решения // Актуальные проблемы гуманитарных наук: труды XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2013. С. 492–494.
6. Пищулин В.И., Бондаренко Д.В. Теоретические основы государственно-частного партнерства // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: труды Международной научно-практической конференции. Москва, 2014. С. 412–419.
7. Шапиро Н.А., Горячий С.А. Анализ концессионных практик с точки зрения институциональной теории сделки Дж.Р. Коммонса // Институциональная экономика: развитие, преподавание, приложения: материалы третьей Международной конференции. М., 2013. С. 322–326.



**Заколдаев Роман Алексеевич**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра лазерных технологий и лазерной техники**  
**E-mail: zakoldaev@gmail.com**

## **МИКРОСТРУКТУРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА**

Р.А. Заколдаев

Научный руководитель – старший преподаватель Г.К. Костюк

### **Введение**

Микроструктурирование поверхности стекла является одним из интенсивно развивающихся направлений в современных лазерных технологиях. Основу данного направления в настоящее время составляют расчет, проектирование, разработки технологий изготовления, а также исследование микрооптических элементов (МОЭ) и массивов из них, формируемых на поверхности различных материалов. Под массивами МОЭ, широко востребованными в таких быстро развивающихся областях, как интегральная оптика, системы оптической связи, лазерная и медицинская техника и фотоника, подразумевается набор модифицированных областей, расположенных определенным образом и с определенным коэффициентом заполнения в пределах массива в зависимости от решаемой им задачи на поверхности оптического материала [1, 2].

Особое внимание следует уделить созданию МОЭ на поверхности силикатных стекол и других материалов традиционной оптики. При этом предпочтение следует отдавать плавленому кварцу, характеризующемуся высоким пропусканием и наибольшей химической, термической и лучевой стойкостью [3].

В системах лазерной техники массивы МОЭ широко используются для преобразования интенсивности пучка лазера с гауссовым или неоднородным профилем распределения, характерным для многомодовых лазеров, в однородное с плоской вершиной. Для этой задачи используют комбинацию массива микролинз (ММЛ) или случайную фазовую пластину (СФП) [1]. Известно, что гомогенизация высококогерентных лазерных пучков с использованием предложенных элементов приводит к возникновению массива пятен вместо однородного распределения в области гомогенизации. Таким образом, поиск и разработка новых подходов, таких как нарушение регулярности и размеров МОЭ в массиве, для достижения по меньшей мере однородного распределения является перспективной задачей [2].

Первые попытки по формированию МОЭ на поверхности стеклообразных материалов с использованием ИК-излучения ( $\lambda = 10,6$  мкм) были предприняты более двадцати лет назад [4]. Процесс формирования МОЭ в таких технологиях был основан на термических эффектах, вызванных поглощением падающего излучения в приповерхностном слое стеклообразного материала. Для уменьшения размеров МОЭ было использовано излучение лазеров с длиной волны УФ-диапазона ( $\lambda < 0,3$  мкм), также относящееся к области фундаментального поглощения любого кремнесодержащего материала. Технологии модификации поверхности стекла, основанные на многофотонном поглощении лазерного излучения фемтосекундной длительности импульса с последующей модификацией, также были продемонстрированы.

В последние годы значительное внимание уделяется методам создания МОЭ на поверхности оптических материалов, которые основаны на сильном поглощении излучения

лазера водным раствором неорганического или органического вещества, а также металла, контактирующего с тыльной стороной пластины стекла, прозрачной для излучения, проходящего сквозь нее [5]. Потенциал данных технологий необычайно высок, и, по-видимому, это связано с тем, что они позволяют создавать МОЭ с разрешением порядка 1 мкм и уровнем шероховатости, не превышающим 1 нм.

Таким образом, разработка новых и усовершенствование уже существующих методов микроструктурирования стекла с использованием лазерных технологий и их тестирование являются актуальными.

Цель настоящего проекта – разработка технологии лазерного микроструктурирования поверхности стекла и формирование широкого класса микрооптических элементов, в том числе и массивов из них для лазерной техники.

### Экспериментальная часть

Формирование заданного рельефа поверхности осуществлялось на макете экспериментальной установки, схема которой приведена на рис. 1а. В качестве источника излучения использовался иттербиевый волоконный лазер: длина волны излучения 1,064 мкм, длительность импульса от 50 до 200 нс, частота следования импульсов 20–100 кГц. Излучение лазера в плоскости формирования структур позиционировалось с помощью двухкоординатного сканатора на базе приводов G325DT «GSI Lumonics». Излучение лазера по оптическому волокну подводилось к коллиматору (1), расширяющему лазерный пучок с 50 мкм до 3 мм. За ним располагаются зеркала сканирующей системы (2) и (3), поворот которых шаговыми двигателями обеспечивал перемещение лазерного пучка по координатам  $X$  и  $Y$ . После сканирующей системы излучение фокусировалось объективом с фокусным расстоянием  $\sim 210$  мм (4) в плоскости контакта тыльной поверхности стекла (5) с пластиной из прессованного графита (6). Образец стекла вместе с пластиной прессованного графита закреплялись на неподвижном столе. Синхронизация и управление характеристиками лазерного излучения, двигателями сканаторов, а также положением перетяжки пучка осуществлялись через ПК. Следует отметить, что пластины стекла (кварцевое и пористое стекло) практически полностью прозрачны ( $\tau \sim 0,96$ ) для длины волны лазерного излучения, а поглощательная способность прессованного графита в широком диапазоне длин волн близка к единице.

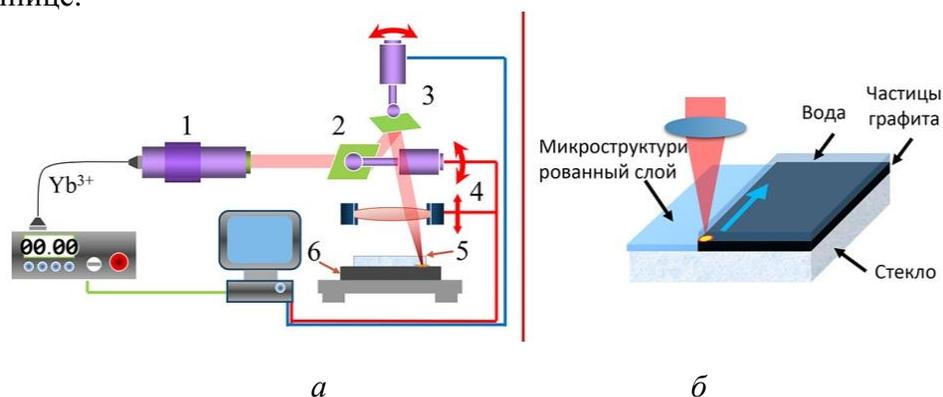


Рис. 1. а – базовая экспериментальная установка для микроструктурирования стеклообразных материалов; б – этап очистки пластины стекла от частиц графита

После формирования микроструктуры поверхность пластины стекла целиком или частично была покрыта осевшими на нее в процессе облучения частицами графита. Очистка ее от этих частиц производилась на том же макете установки, но при других режимах облучения (рис. 1б). Лазерное излучение фокусировалось на загрязненную структурированную поверхность стекла, непосредственно перед лазерной очисткой покрытую слоем дистиллированной воды.

Для контроля расположения МОЭ в массиве и их размеров предварительно разрабатывался шаблон на компьютере. Формирование МОЭ происходило на тыльной

стороне пластины стекла в области, где лазерное излучение прерывалось. Подобрав режимы лазерной обработки (мощность излучения, скорость сканирования, длительность импульса и частоту следования импульсов) удалось избежать формирования выколов и трещин на поверхности стекла в области обработки.

### Представления о предполагаемом механизме микроструктурирования стекла

При сканировании сфокусированного пучка лазерного излучения в плоскости контакта стекла и прессованного графита происходил нагрев пластины прессованного графита, его разрушение и формирование плазменного факела. Модификация тыльной стороны пластины стекла индуцируется энергией плазменного факела, происходит разогрев стекла до температуры выше температуры размягчения, что приводит к изменению рельефа поверхности стекла.



Рис. 2. Процесс микроструктурирования стекла

В ходе экспериментов на поверхности пластины стекла, соприкасающейся с пластиной прессованного графита, наблюдалось возникновение частиц пенографита – высокоуглеродного соединения, характеризуемого низкой плотностью. На рис. 2 приведена фотография процесса микроструктурирования поверхности пластины стекла с частицами пенографита. Известно, что преобразование графита в пенографит происходит при нагреве с высокой скоростью до температур  $T = 1000 \pm 100$  °С.

### Формирование массивов микролинз

Полученные ММЛ с диаметром микролинз  $d_{ML} = 50$ – $500$  мкм и периодом размещения  $t = 10$ – $1000$  мкм представлены на рис. 3.

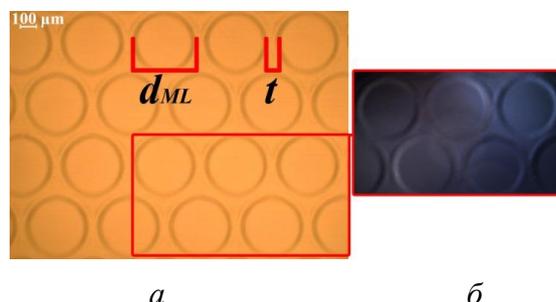


Рис. 3. Фотография фрагмента ММЛ: а – в отраженном; б – в линейно-поляризованном свете

Проведенные исследования основных оптических характеристик позволили установить следующее:

– числовая апертура  $NA = 0,0025$ – $0,0057$  соответствует микролинзам с  $d_{ML} = 150$ – $400$  мкм и фокусным расстоянием  $f_{ML} = 30$ – $35$  мм;

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

- наименьшее фокальное пятно  $d_f = 90 \pm 10$  мкм, что больше теоретических расчетов;
- в результате микрообработки с использованием ММЛ тонкой пленки титана ( $h = 60$  нм) удалось сформировать массив отверстий с размером  $\sim 10$  мкм.

### Формирование случайных фазовых пластин

Элемент, меняющий распределение интенсивности лазерного излучения в фокальной плоскости коллективной линзы, называется случайной фазовой пластиной (СФП). Было предложено записать данный элемент на поверхности кварцевого стекла. На рис. 4 приведена фотография фрагмента СФП, выполненная в отраженном (рис. 4а) и линейно-поляризованном свете (рис. 4б).

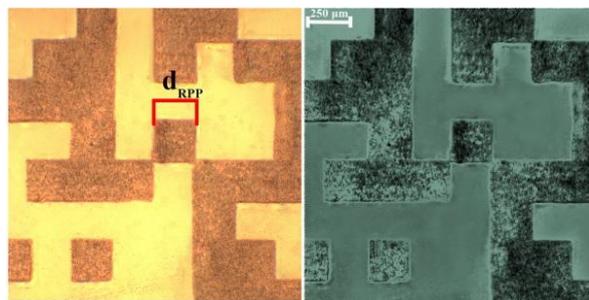


Рис. 4. Фотографии фрагмента случайной фазовой пластины

### Формирование дифракционных фазовых решеток (ДФР)

Были созданы ДФР на плавленом кварце с периодом от 55 до 400 мкм и глубиной рельефа 0,2–1,3 мкм. Геометрические и морфологические характеристики ДФР были исследованы на оптическом микроскопе (рис. 5а) и на профилометре (рис. 5б, 5в, 5г).

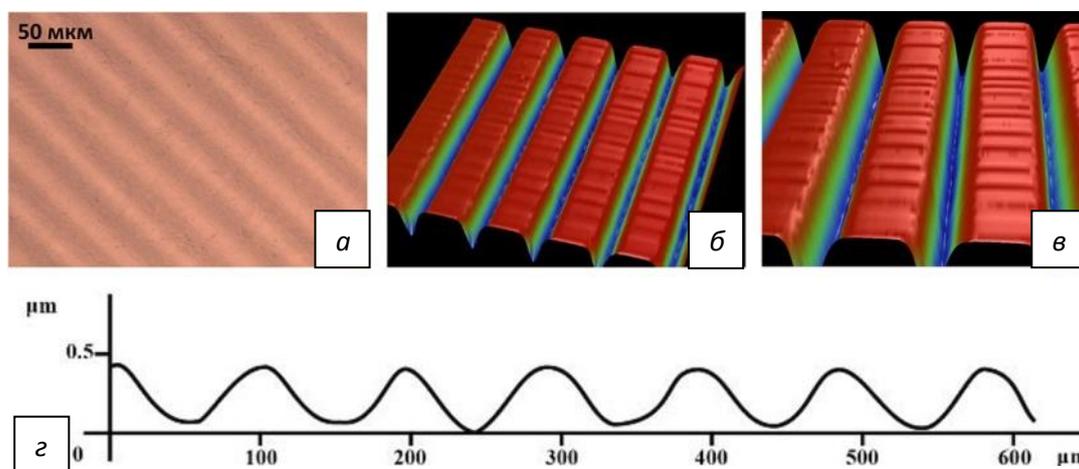


Рис. 5. а – фрагмент дифракционных фазовых решеток в отраженном свете; б–г – профилограммы

### Заключение

Предложенная технология подходит для формирования широкого класса микрооптических элементов. Длительность создания любого из перечисленных выше массивов МОЭ площадью  $10 \times 10$  мм<sup>2</sup>, включая этап формирования и очистки, в целом варьировалась от 1 до 10 мин. Исследованы основные оптические характеристики сформированных элементов. Массивы МОЭ протестированы в схемах одновременной лазерной обработки и гомогенизации неоднородного лазерного излучения. К сожалению, возникает проблема при описании процессов, протекающих при воздействии лазерного излучения с наносекундной длительностью импульса на поверхность прессованного графита. Для выявления ключевых процессов, протекающих при этом взаимодействии, необходимо

проведение экспериментов и построение модели, коррелирующей с экспериментальными данными.

### Публикации

1. *Zakoldaev R.A., Sergeev M.M., Kostyuk G.K., Veiko V.P.* Laser-induced black-body heating (LIBBH) as a method for glass surface modification // *Journal of Laser Micro / Nanoengineering*. 2015. Vol. 10. No 1. P. 15–19.
2. *Sergeev M.M., Kostyuk G.K., Zakoldaev R.A., Yakovlev E.B.* Laser-induced passivation of porous glass to protect it from chemical degradation and aging // *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2015. Vol. 51. No 3. P. 427–434.
3. *Kostyuk G.K., Sergeev M.M., Zakoldaev R.A., Yakovlev E.B.* Fast microstructuring of silica glasses surface by NIR laser radiation // *Optics and Lasers in Engineering*. 2015. Vol. 68. P. 16–24.
4. *Kostyuk G.K., Zakoldaev R.A., Sergeev M.M., Yakovlev E.B.* Fabrication of microlens arrays on fused silica influenced by NIR laser // *Applied Physics B*. 2015 (на рецензии).
5. Патент на изобретение РФ 2540727 «Способ формирования массива микрооптических элементов», опублик. 10.02.2015.
6. Патент на изобретение РФ 2554595 «Способ изготовления микрооптического растра», опублик. 27.06.2015.

### Литература

1. *Dickey F.M.* Laser beam shaping: Theory and techniques. 2015. – 559 p.
2. *Cumte M., Deparnay A.* From regular periodic micro-lens arrays to randomized continuous phase profiles // *Advanced Optical Technologies*. 2015. Vol. 4. No 1. P. 47–61.
3. *Леко В.К., Мазурин О.В., Варшал Б.Г.* Свойства кварцевого стекла. Л, 1985. – 166 с.
4. *Veiko V.P., Yakovlev Y.B.* Physical fundamentals of laser forming of micro-optical components // *Optical Engineering*. 1994. Vol. 33. No 11. P. 3567–3571.
5. *Wang J., Niino H., Yabe A.* Micromachining of quartz crystal with excimer lasers by laser-induced backside wet etching // *Applied Physics A*. 1999. Vol. 69. No 7. P. S271–S273.



**Ильина Ксения Викторовна**  
Факультет компьютерных технологий и управления  
Кафедра информатики и прикладной математики  
E-mail: kse1920@yandex.ru

## СИСТЕМА ИГРОВОГО ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ ПРИЛОЖЕНИЙ

К.В. Ильина

Научный руководитель – доцент А.М. Дергачев

Сегодня дети легко и стремительно осваивают современные гаджеты. Уже в возрасте трех-четырёх лет ребята чувствуют себя уверенными в играх, а еще через несколько лет с легкостью познают интернет. Изучать информатику школьники начинают с младших классов. Однако привлечь внимание детей к учебной программе довольно тяжело: они быстро теряют интерес и утомляются. Кроме того, процесс изучения информатики и программирования коренным образом отличается от традиционного штудирования

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

учебников, ведь изучение этой дисциплины нельзя представить без решения практических задач. Таким образом, эффективность современного обучения зависит от мастерства и подготовленности педагогов, правильно организованных условий обучения, качества учебных материалов, используемых на занятиях.

Целью работы является создание системы обучения основам программирования в игровой форме с возможностью интеграции приложений. Основное отличие данного сервиса от стандартного – его неформальность и индивидуальный подход к каждому ребенку. В результате обучения дети познают не только программирование, но и развивают логику, мышление, учатся принимать решения и рассуждать.

Основными особенностями данного сервиса являются:

- пошаговое обучение программированию в форме коротких интерактивных уроков, которые позволят повысить заинтересованность учащихся предметом;
- рекомендации приложений, основанные на анализе интересов и уровня знаний учащихся;
- наличие библиотеки, в которой будут отображаться подходящие ученикам книги, видеоролики и прочий контент;
- наличие бонусов по результатам прохождения уровней, возможность отслеживания собственного прогресса;
- формирование рейтингов среди пользователей на основании количества очков, полученных за выполнение определенных заданий;
- интеграция с социальными сетями, которая позволит делиться своими успехами с друзьями;
- возможность настройки индивидуальных уведомлений (таких как напоминания о занятиях или отдыхе);
- возможность загрузки собственных обучающих приложений для разработчиков, что позволит опытным в этой области специалистам делиться своими знаниями.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить основные принципы мобильного обучения;
- проанализировать сервисы, которые предоставляют возможности мобильного обучения для детей, и сформулировать особенности разрабатываемой системы;
- спроектировать и создать базы данных для данной системы;
- спроектировать и разработать клиентскую часть системы, которая будет удовлетворять всем заявленным требованиям;
- спроектировать и разработать игровые приложения.

Во время работы над проектом были исследованы основные концепции и принципы мобильного обучения, под которыми понимается использование распространенных современных технологий (в том числе беспроводных и мобильных сетей) для упрощения, поддержки, обогащения обучения и обеспечения освоения большего объема учебного материала [1].

На сегодняшний день мобильное обучение пользуется большим спросом среди людей всех возрастов, особенно среди молодежи. Пользователь может осваивать материал, запуская приложение в любое свободное время, в любом месте (в транспорте во время дороги домой, в очереди и так далее). Все, что нужно иметь при себе, – это устройство с доступом к интернету.

Используя приложения для мобильного обучения, пользователь изучает новый материал с помощью небольших уроков (обычно такие занятия не превышают 10 мин). В течение дня пользователь совершает несколько коротких сессий, что позволяет проработать большее количество материала.

Выделяют следующие особенности мобильного обучения [2]:

- неформальный подход к обучению, использование игровых элементов;

- индивидуальный подход к обучению, свобода в выборе подходящего времени и места для занятий;
- возможность обучения в собственном ритме;
- возможность быстрого доступа к необходимым материалам;
- использование недорогих бытовых технологий для обучения.

Однако следует отметить и недостатки мобильного обучения:

- сложности с удержанием внимания пользователя в течение длительного времени;
- зависимость процесса обучения от качества интернет-сигнала;
- ограничения по количеству информации, которая может отображаться на экране.

На первом этапе работы над проектом была сформирована инфологическая модель базы данных, по которой была создана база данных в MS SQL Server. В системе было выделено три типа ролей: администратор, разработчик и ученик.

Пользователи с ролью «ученик» имеют следующие возможности: редактировать и удалять собственные данные; пользоваться имеющимися в системе приложениями и контентом; устанавливать индивидуальные настройки и уведомления; просматривать собственный прогресс; просматривать рейтинги пользователей.

Пользователи с ролью разработчика имеют следующие возможности: самостоятельно загружать собственные игровые приложения и контент в библиотеку; редактировать информацию о загруженном контенте и удалять его. Администраторы имеют возможность добавлять, редактировать и удалять данные пользователей и контент.

Автором разработана клиентская часть сервиса на языке HTML5, что позволяет удовлетворить основные требования и обеспечить дополнительные преимущества:

- для работы с системой не требуется установки дополнительных программных средств (например, Adobe Flash Player);
- совместимость с существующими браузерами;
- адаптивный веб-дизайн, обеспечивающий корректное отображение веб-сервиса на различных устройствах, подключенных к интернету;
- увеличение скорости работы веб-сервиса за счет выполнения всех задач на уровне браузера.

При первом входе в систему пользователю предлагается пройти регистрацию, указав адрес электронной почты и пароль, либо привязав аккаунт к одной из социальных сетей. При регистрации также нужно выбрать роль пользователя и его возраст. При следующих входах на сервис пользователю достаточно будет пройти авторизацию либо с помощью логина и пароля, зарегистрированного ранее, либо с помощью социальных сетей.

Если пользователь обладает ролью «ученик», то ему предлагается несколько вкладок:

- задания, где можно просмотреть план занятий, сформированный на текущую дату;
- игровой класс – подборка приложений, составленная на основании индивидуальных данных пользователя;
- библиотека – подборка полезных дополнительных материалов, основанная на индивидуальных данных ученика;
- рейтинг – сравнение собственных достижений с достижениями других пользователей;
- кроме того, нажав на свой логин можно перейти в личный кабинет, где есть возможность изменения персональных данных, установки индивидуальных интересов и нагрузок, настройки системы напоминаний о занятиях и отдыхе;
- нажав на количество очков, можно просмотреть свой прогресс в изучении определенного курса.

В разрабатываемой системе по умолчанию устанавливается нагрузка, соответствующая возрасту пользователя, однако учащиеся могут самостоятельно настроить свой уровень нагрузки в личном кабинете. Если пользователь занимается в системе больше этого времени,

ему выводится сообщение с напоминанием об отдыхе. Кроме того, ученик может настроить напоминания о занятиях. Так в установленное время пользователю на электронную почту будет приходить сообщение с напоминанием.

Чтобы занятия были максимально подходящими для каждого учащегося, формируется система рекомендаций, приложений и учебных материалов. Рекомендации строятся на основе сведений о возрасте, поле, интересах и уровнях знаний пользователя. Это позволит сделать занятия индивидуальными, интересными и продуктивными. Система также помогает учащимся составлять план занятий на сегодняшний день, исходя из установленного уровня нагрузки пользователей.

Для того чтобы у ребенка не пропал стимул изучать информатику, за прохождение уровней или изучение дополнительного материала пользователю начисляются очки. Количество очков зависит от правильности ответа(-ов) и от времени, которое ученик затратил на выполнение заданий. Пользователь может сравнить свои баллы с очками других пользователей во вкладке «Рейтинг». Таким образом, ученик будет стараться заниматься и самосовершенствоваться.

Если пользователь, который зашел в систему, обладает ролью «разработчик приложений», то ему доступны следующие вкладки:

- каталог приложений – список приложений всех авторов с возможностью редактирования собственных приложений и загрузки новых;
- библиотека – дополнительный учебный материал от всех авторов с возможностью добавления и редактирования своих материалов;
- личный кабинет, где содержится основная информация о разработчике.

Для того чтобы загружаемые авторами приложения подходили под запросы определенных пользователей, разработчик должен указать:

- области интересов, которым данное приложение удовлетворяет;
- пол и возраст детей, которым это приложение будет полезно;
- уровень знаний, которыми нужно обладать, чтобы было легко начать обучаться.

Для того чтобы специалисты могли делиться опытом с подрастающим поколением, разработчики могут загружать дополнительные учебные материалы: обучающие видеоролики, статьи, книги и другую полезную информацию.

### **Заключение**

Разработанная система обучения может быть использована 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. В перспективе она позволит обучаться информатике и программированию школьникам разного возраста и людям, обладающим определенными навыками в этой области.

### **Публикации**

1. *Ильина К.В.* Сравнительный анализ методов и средств автоматизации функционального тестирования // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 65–67.

### **Литература**

1. *Духнич Ю.* Мобильное обучение – Mobile Learning [Электронный ресурс] // Smart Education: новые стратегии корпоративного развития [интернет-портал]. 2013. 7 ноября. URL: <http://www.smart-edu.com/mobile-learning.html> (дата обращения: 26.09.2015).

2. *Борисенок М.* Митап «Обучающие мобильные приложения: тенденции и возможности»: материалы встречи [Электронный ресурс] // Теплица социальных технологий. 2014. 29 декабря. URL: <https://te-st.ru/2014/12/29/meetup-mobile-report> (дата обращения: 26.09.2015).

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



**Козырева Ольга Дмитриевна**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра лазерных технологий и лазерной техники**  
**E-mail: kozyreva.o@list.ru**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПУЛЬСОКСИМЕТРОВ ДЛЯ НОВОРОЖДЕННЫХ И НЕДОНОШЕННЫХ ДЕТЕЙ

О.Д. Козырева

Научный руководитель – доцент А.Е. Пушкарева

Цель работы – оптимизация оптических и конструктивных параметров пульсоксиметров для новорожденных и недоношенных детей с возможностью использования их во время проведения процедур компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ).

Для анализа распространения лазерного излучения в многослойной рассеивающей среде (коже) была разработана математическая модель процесса рассеяния излучения в коже на основе метода Монте-Карло. Кожа в ней представлена в виде трех слоев: эпидермиса, базального слоя и дермы. В видимой и ближней ИК-областях спектра поглощение каждого слоя определяется поглощением трех основных хромофоров кожи: крови, меланина и воды. Соответственно коэффициент поглощения каждого слоя определялся как [1]:

$$\mu_{ak} = B_k C_k \mu_a^{bl}(\lambda) + (1 - B_k - W_k) \mu_a^{bl} + M_k \mu_a^{mel}(\lambda) + W_k \mu_a^{wat}(\lambda), \quad (1)$$

где  $k = 1, 2, 3$  – номер слоя;  $B_k$  и  $W_k$  – объемные доли крови и воды в каждом слое; для слоев, содержащих меланин  $M_k = 1$ , для остальных –  $M_k = 0$ ;  $\mu_a^{bl}$ ,  $\mu_a^{mel}$ ,  $\mu_a^{wat}$  и  $\mu_a^{bg}$  – коэффициенты поглощения крови, меланина, воды и базового вещества (коллагена) биотканью (в рамках данного моделирования  $\mu_a^{bg}$  предполагался спектрально независимым и равным  $0,15 \text{ см}^{-1}$ );  $C_k$  – параметр коррекции (число от 0 до 1), учитывающий, что кровь локализована в сосудах, а не равномерно распределена в объеме дермы кожи;  $\lambda$  – длина волны в нм.

Для моделирования процесса рассеяния кровью падающего излучения также были заданы зависимости: показателя преломления [2], фактора анизотропии [3], коэффициентов рассеяния поглощения цельной крови от длины волны [4]. При этом коэффициенты рассеяния и поглощения крови рассчитывались по следующим формулам:

$$\mu_a^{blood}(\lambda) = p^{Oxy} \mu_a^{HbO_2}(\lambda) + (1 - p^{Oxy}) \mu_a^{Hb}(\lambda), \quad (2)$$

$$\mu_s^{blood}(\lambda) = 440.72 H(1 - H)(1.4 - H) \left( \frac{685}{\lambda} \right), \quad (3)$$

где  $\mu_s^{bl}$  – коэффициент рассеяния крови,  $p^{Oxy}$  – степень насыщения крови кислородом (например,  $p^{Oxy} = 0,8$  означает, что в крови содержится 80 %  $HbO_2$  и 20 %  $Hb$ ),  $m_a^{Hb}(\lambda)$  и  $m_a^{HbO_2}(\lambda)$  коэффициенты поглощения, соответственно, гемоглобина и оксигемоглобина,  $H$  – гематокрит.

Моделирование проводилось при помощи численного метода Монте-Карло [5]. В такой модели фотон характеризуется координатами и весом. Размер, шаг и направление движения фотона из исходной точки определяются на каждом шаге и задаются при помощи случайных

чисел. На каждом шаге фотон теряет часть веса вследствие поглощения его средой, также учтено ослабление его веса за счет отражения Френеля и эффект полного внутреннего отражения. Интенсивность сигнала обратного рассеяния ( $I$ ) складывается из суммарного веса фотонов, вышедших из среды через верхнюю границу, и доли веса фотонов, падающих на среду, полученную за счет отражения от поверхности:

$$I = \frac{I_{FR} + I_{out}}{I_0}, \quad (4)$$

где  $I_{out}$  – доля весов фотонов обратно рассеянных из ткани;  $I_{FR}$  – доля весов фотонов, полученная за счет отражения Френеля;  $I_0$  – суммарный вес фотонов, падающих на границу раздела двух сред.

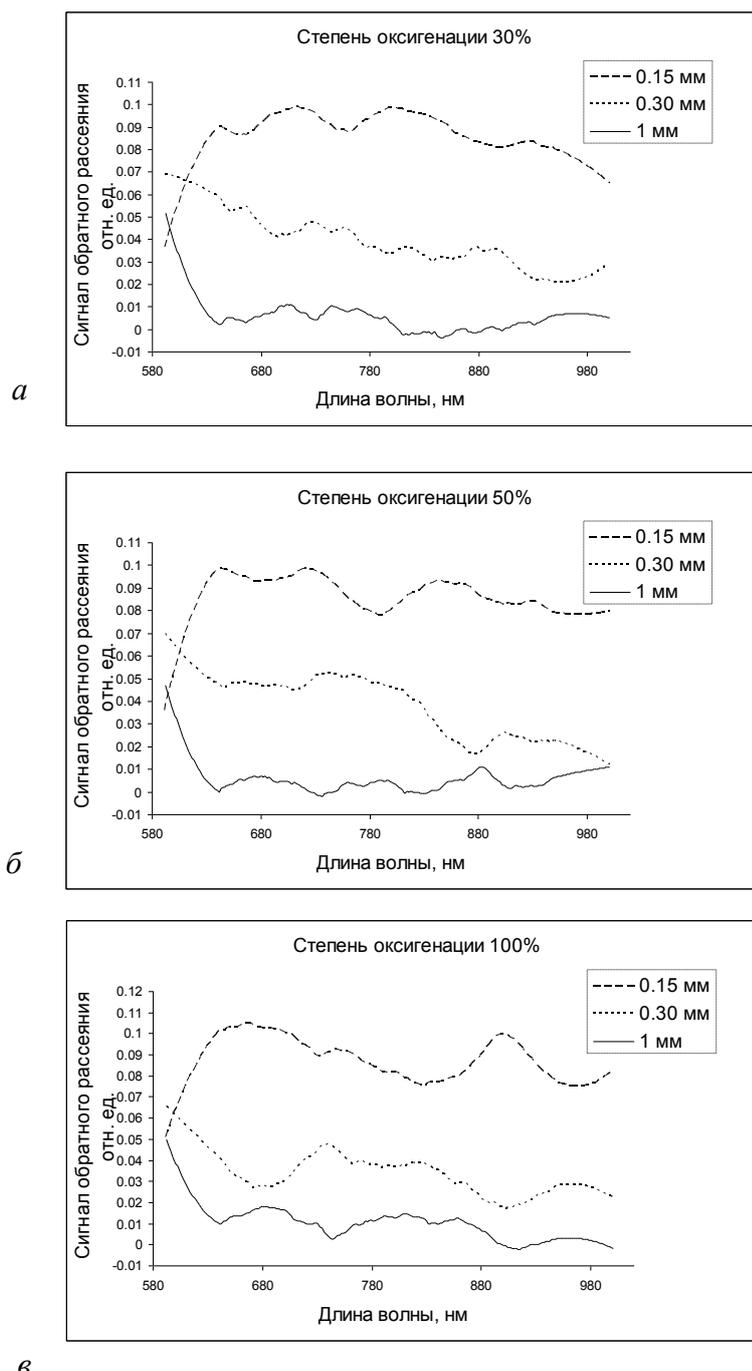


Рис. 1. Зависимости сигнала обратного рассеяния от расстояния между источником излучения и приемником для степеней оксигенации крови: а – 30 %; б – 50 %; в – 100 %

В проведенном исследовании для сравнения были взяты три значения расстояния между источником излучения и приемником: 0,15; 0,30; и 1 мм. Полученные зависимости сигнала обратного рассеяния от этих расстояний для разных степеней оксигенации крови представлены на рис. 1а, 1б, 1в.

Из приведенных зависимостей видно, что для разных степеней оксигенации крови самый высокий сигнал обратного рассеяния наблюдается для расстояния 0,15 мм между источником излучения и приемником. Именно его и предлагается использовать в конструкции пульсоксиметров.

Также были получены зависимости, наглядно демонстрирующие влияние степеней оксигенации на сигнал обратного рассеяния для разных расстояний между источником излучения и приемником (рис. 2а, 2б, 2в).

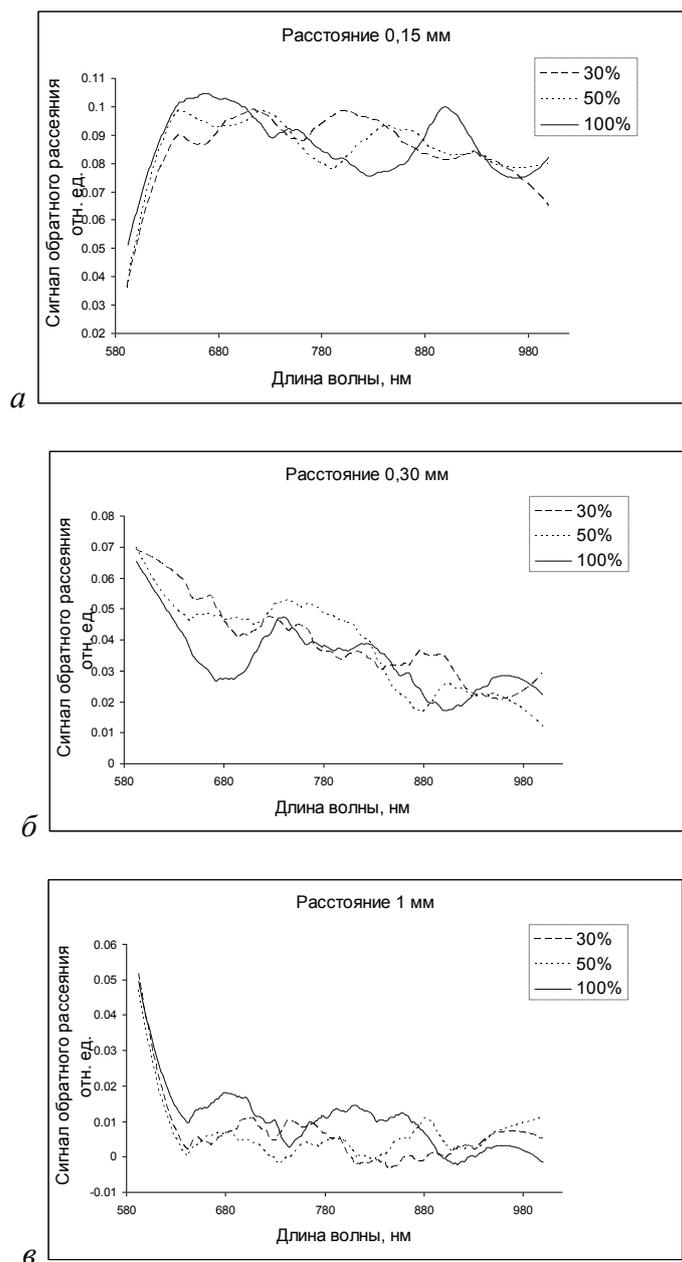


Рис. 2. Влияние степеней оксигенации на сигнал обратного рассеяния для расстояний между источником излучения и приемником: а – 0,15 мм; б – 0,30 мм; в – 1 мм

Оптимальными длинами волн для определения степени оксигенации являются те, на которых наблюдается максимальная разница в сигналах обратного рассеяния для разных

степеней оксигенации. Полученные результаты показывают, что оптимальные длины волн будут разными для разных расстояний между источником излучения и приемником. Если его величина составляет 0,15 мм, то оптимальный диапазон длин волн для измерений: 640–680 нм, 810–835 нм и 880–900 нм; для расстояния 0,30 мм – 600–670 нм, 860–880 нм; и для расстояния 1 мм диапазон: 690–730 нм и 840–870 нм. Итак, оптимальные длины волн для измерения степени оксигенации будут зависеть от местоположения приемника, что необходимо учитывать при конструировании пульсоксиметров.

В результате исследования предложено оптимальное место крепления прибора на теле пациента. Основные погрешности в измерениях возникают из-за плохого снабжения конечностей детей кровью при низких температурах, поддерживаемых в кабинетах МРТ и КТ. Предлагается крепить прибор на нижней трети предплечья – в месте, где проходят сосуды с достаточно большим диаметром (лучевая, локтевая и срединная артерии), которые не подвергаются спазмированию при низких температурах.

Предлагаемые размеры датчика прибора 50×30 мм (Д×Ш). Они оптимальны для размещения электронных компонентов внутри него и подходят для крепления датчика на нижней трети предплечья младенца.

### **Заключение**

В ходе выполнения данной работы была проведена оптимизация длины волны излучателя, подобрано оптимальное расположение источника излучения относительно приемника в конструкции пульсоксиметра. Выбрано удобное расположение прибора на теле пациента с учетом анатомического строения конечностей ребенка, подобраны его размеры.

### **Области применения**

Полученные результаты могут быть использованы для построения конструкций пульсоксиметров для новорожденных и недоношенных детей при проведении исследований в кабинетах МРТ и КТ.

### **Публикации**

1. *Козырева О.Д.* Исследование влияния расстояния между источником излучения и приемником на зависимость сигнала обратного рассеяния от степени насыщения крови кислородом при помощи численного моделирования // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 204–205.
2. *Козырева О.Д., Пушкарева А.Е.* Исследование влияния степени насыщения крови кислородом на сигнал обратного рассеяния излучения при помощи численного моделирования // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 3. Ч. 4. С. 438.
3. *Козырева О.Д.* Исследование влияния степени оксигенации крови на сигнал диффузно рассеянного излучения методом численного моделирования // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2015. № 2. Ч. 3. С. 454.

### **Литература**

1. *Генина Э.А., Башкатов А.Н., Тучин В.В., Альтишлер Г.Б., Ярославский И.В.* Исследование возможности повышения эффективности лазерного удаления татуировок с помощью оптического просветления кожи // Квантовая электроника. 2008. Т. 38. № 6. С. 580–587.
2. *Hui L., Lei L., Shusen X.* Refractive index of human whole blood with different types in the visible and near-infrared ranges // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 3914. P. 517–521.
3. *Berlien H.P., Muller G.J.* Applied laser medicine. Berlin, 2003. – 84 p.
4. *Douven L.F.A., Lucassen G.W.* Retrieval of optical properties of skin from measurement and modeling the diffuse reflectance // Proceedings of SPIE. 2000. Vol. 3914. P. 312–323.
5. *Пушкарева А.Е.* Методы математического моделирования в оптике биоткани. Учебное пособие. СПб., 2008. – 103 с.



**Краснов Алекс Сергеевич**  
**Факультет компьютерных технологий и управления**  
**Кафедра безопасных информационных технологий**  
**E-mail: alex073ul@mail.ru**

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ВЫПОЛНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО СОСТАВУ ОРГАНИЗАЦИОННО-РАСПОРЯДИТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

А.С. Краснов

Научный руководитель – доцент С.В. Краснов  
(ФГБОУ ВПО «СПбГТЭУ»)

В условиях современной реальности управление и обработка информационных ресурсов все чаще происходят с помощью технических средств, локальных и глобальных сетей. Российская Федерация с целью защиты прав граждан регламентирует данные процедуры с помощью организационно-распорядительных документов. Для выполнения требований законодательства предприятие, осуществляющее подобного рода процедуры, должно иметь необходимое документационное обеспечение в области информационной безопасности. В качестве решения данного вопроса предлагается выработка методики, построенной на всестороннем анализе законодательной базы и применении коэффициентов весомости к каждому из выделенных документов, рассчитанных на основе метода Делфи (экспертный метод).

Целью работы является выработка методики, позволяющей определить степень соответствия документационного обеспечения предприятия законодательству Российской Федерации для информации, которая в соответствии с вводимым режимом или в соответствии с федеральными законами относится к информации ограниченного пользования, в рамках внутреннего аудита с расчетом коэффициентов весомости для каждого из выделенных в перечнях документов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- исследовать законодательство Российской Федерации в области защиты информации и определить виды информации, доступ к которой ограничен;
- систематизировать отобранные нормативно-правовые акты различных уровней (федеральные законы, законы, приказы и иные документы) по видам информации, доступ к которым ограничен;
- сформировать перечень необходимых документов в соответствии с законодательством, которые должны быть на предприятии при введении режима той или иной тайны;
- изучить возможные подходы и методики к оценке соответствия документационного обеспечения предприятия законодательству Российской Федерации;
- изучить степень важности документов с целью формирования «веса» каждого из них, что поможет в итоге оценить общую подготовленность предприятия к обработке и управлению информацией, доступ к которой ограничен;
- сформировать конечный перечень документов и определить степени важности каждого из них по каждому из видов тайн в отдельности.

По итогам исследования и систематизации законодательства Российской Федерации были отобраны ключевые нормативно-правовые акты различных уровней, регулирующие документационное обеспечение организации в области защиты информации. Проведенный анализ законодательства позволил сформировать перечень мер, документационное подтверждение которых должно обеспечиваться в организации.

Так, например, перечень документов, соответствующих мерам защиты информации в сфере коммерческой тайны, включает в себя следующие позиции:

- перечень информации, составляющей коммерческую тайну;
- порядок обращения с информацией, составляющей коммерческую тайну;
- журнал регистрации сотрудников, которые для выполнения своей деятельности получили доступ к коммерческой тайне, а также сотрудников, которым предоставили сведения, являющиеся коммерческой тайной;
- инструкция по урегулированию взаимоотношений, возникших в результате использования коммерческой тайны на предприятии;
- журнал ознакомления работника с перечнем информации, составляющей коммерческую тайну, доступ к которой необходим;
- журнал ознакомления сотрудника с введенным работодателем режимом и ответственностью, установленной работодателем, в случае нарушения порядка обращения с коммерческой тайной [4].

Подобные перечни были составлены для персональных данных (32 пункта) [3] и служебной информации ограниченного пользования (15 пунктов) [5]. Для проведения оценки соответствия документации организации законодательству Российской Федерации необходимо было выбрать методику, которая позволит рассчитать коэффициенты весомости.

Мы остановились на теории квалиметрии. Квалиметрия – научная область, изучающая и разрабатывающая принципы и методы количественной оценки качества [2]. Она позволяет произвести количественную оценку качества документационного обеспечения мероприятий, осуществляемых в организациях в связи с обработкой сведений ограниченного доступа. В качестве метода определения весомости был выбран экспертный метод (Делфи).

С его помощью удастся получить коэффициенты весомости каждого из документов за счет усреднения оценок, предоставляемых экспертами, являющимися квалифицированными специалистами в области аудита информационной безопасности.

Для расчета коэффициентов весомости проводится опрос среди экспертов и для полученных от них оценок рассчитываются суммы рангов  $S_i$ :

$$S_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i=1}}^{n,m} r_{i,j},$$

где  $n$  – количество документов;  $m$  – количество экспертов;  $i$  – порядковый номер документа;  $j$  – порядковый номер эксперта;  $r_{i,j}$  – ранг документа  $i$  от эксперта  $j$ .

Следующим этапом проводится расчет отклонения от среднего арифметического  $O_i$  по формуле:  $O_i = R_i - S_i$ , где  $R_i$  – среднее арифметическое суммы рангов  $S_i$ . После этого выполняется вычисление квадрата отклонения от среднего арифметического  $K_i$ :  $K_i = O_i^2$ .

В дальнейшем необходимо произвести оценку степени согласованности экспертов путем нахождения коэффициента конкордации  $W$ :

$$W = \frac{12 * L}{m^2 (n^3 - n)},$$

где  $L$  – сумма квадратов отклонения от среднего арифметического.

Если полученное значение коэффициента конкордации меньше 0,75 [2], то оценка будет считаться несогласованной и при этом необходимо провести еще один круг

оценивания. В противном случае происходит переход к следующему этапу – нахождению коэффициентов весомости:

$$p_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}.$$

Результаты расчетов представлены в Таблице.

Таблица

Результаты экспертной оценки документационного обеспечения в сфере коммерческой тайны

| № | Оценка эксперта |   |   |   |   | Сумма рангов | Отклонение от среднего арифметического | Квадрат отклонения | Вес    |
|---|-----------------|---|---|---|---|--------------|----------------------------------------|--------------------|--------|
|   | 1               | 2 | 3 | 4 | 5 |              |                                        |                    |        |
| 1 | 2               | 3 | 4 | 5 | 6 | 7            | 8                                      | 9                  | 10     |
| 1 | 6               | 6 | 5 | 6 | 5 | 28           | 10,5000                                | 110,3              | 0,2667 |
| 2 | 3               | 2 | 2 | 2 | 1 | 10           | -7,5000                                | 56,3               | 0,0952 |
| 3 | 5               | 4 | 6 | 5 | 6 | 26           | 8,5000                                 | 72,3               | 0,2476 |
| 4 | 1               | 1 | 1 | 1 | 2 | 6            | -11,5000                               | 132,3              | 0,0571 |
| 5 | 2               | 5 | 4 | 4 | 4 | 19           | 1,5000                                 | 2,3                | 0,1810 |
| 6 | 4               | 3 | 3 | 3 | 3 | 16           | -1,5000                                | 2,3                | 0,1524 |

Коэффициент конкордации в данном случае составил  $W = 0,858$ .

При использовании данной методики в дальнейшем с целью подготовки к аудиту систем защиты информации специалист по информационной безопасности отмечает наличие на объекте документационного обеспечения по каждому из пунктов мероприятия, что сформирует в итоге общий показатель степени подготовленности предприятия к аудиту, полученного путем сложения коэффициентов весомости каждого из них.

Разработанная методика оценки степени выполнения по составу организационно-распорядительных документов позволяет определить сотрудникам организаций степень полноты документационного обеспечения, требования к которым выдвигаются законодательством. Методика имеет нетривиальное решение, основанное на нахождении весомости каждого документа путем метода экспертных оценок, что выгодно отличает ее от существующих аналогов, поскольку организация может увидеть числовой показатель их готовности к аудиту. Разработанная методика также учитывает большее количество документов, определяемых законодателем, за счет всестороннего анализа нормативно-правовой базы различных уровней. При этом стоит отметить, что в данной работе были проанализированы лишь ключевые документы в сфере защиты информации, а количество документов, регламентирующих данную сферу, очень велико. Однако данная проблема решается за счет более глубокого и детального анализа и учета иерархии, а также подчиненности законодательных документов Российской Федерации.

### Публикации

1. Краснов А.С. Методика оценки степени выполнения требований по составу организационно-распорядительных документов в области информационной безопасности // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2014. № 6. Т.19. С. 1851–1854.

### Литература

1. Исаев А.С., Хлюпина Е.А. Правовые основы организации защиты персональных данных. Учебное пособие. СПб., 2014. – 106 с.

2. Недбай А.А. Основы квалитметрии: электрон. учебное пособие [Электронный ресурс]. Красноярск, 2008. 126 с. 1 электрон. опт. диск (DVD).
3. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2006 г. N 152-ФЗ «О персональных данных» [Электронный ресурс] // Российская газета. 2006. 29 июля. № 4131. URL: <http://www.rg.ru/2006/07/29/personaljnue-dannye-dok.html> (дата обращения: 23.04.2015).
4. Федеральный закон Российской Федерации от 29 июля 2004 г. N 98-ФЗ «О коммерческой тайне» [Электронный ресурс] // Российская газета. 2004. 5 августа. № 3543. URL: <http://www.rg.ru/2004/08/05/taina-doc.html> (дата обращения: 20.04.2015).
5. Постановление Правительства от 3 ноября 1994 г. N 1233 «Об утверждении положения о порядке обращения со служебной информацией ограниченного распространения в федеральных органах исполнительной власти и уполномоченном органе управления использованием атомной энергии» (в ред. Постановления Правительства от 20.07.2012 N 740) [Электронный ресурс] // Правовая система «Референт» [Официальный сайт]. URL: <http://www.referent.ru/1/202153> (дата обращения: 16.04.2015).



**Кукушкина Ольга Михайловна**  
**Факультет пищевых биотехнологий и инженерии**  
**Кафедра технологии молока и пищевых биотехнологий**  
**E-mail: covadonga@mail.ru**

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ДЕСЕРТА БЛАНМАНЖЕ, ОБЛАДАЮЩЕГО РАДИОПРОТЕКТОРНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

О.М. Кукушкина

Научный руководитель – профессор Т.П. Арсеньева

Основной целью работы является исследование и разработка технологии производства творожно-желейного биопродукта.

Проведен аналитический обзор литературных источников [1–3] и экспериментальное обоснование оптимальной концентрации экстракта зеленого чая и красного сухого вина, вносимых послойно на желе, творога «мягкая диета» и сахарного сиропа облепихи.

Для получения биологически ценного, безопасного продукта питания, обладающего функциональными свойствами, используя литературные данные [4–6], были подобраны наиболее сочетаемые с молочным компонентом ингредиенты: экстракт зеленого чая, красное сухое вино, сироп с облепихой.

Десерт бланманже состоит из трех слоев. Первый представляет собой творожный мусс с сахарным сиропом из облепихи, равномерно распределенным по всему объему. Второй слой – это желе, состоящее из экстракта зеленого чая, а третий – из красного вина. Два последних слоя стабилизированы натуральным агентом пектином. Все компоненты обладают высокими радиопротекторными свойствами.

Было изучено влияние концентрации пектина Classic AB 901 на консистенцию желе. По сравнению с другими желирующими агентами, применяемыми в производстве кондитерских изделий, пектин требует точного соблюдения рецептурных и технологических параметров. Однако пектин обладает множеством преимуществ: хорошей структурой и приятными вкусовыми качествами, относительно быстрой скоростью студнеобразования,

что позволяет использовать начинки на его основе в современном непрерывном технологическом процессе. Основываясь на данных из статьи [7], в рецептуре был использован 50 % раствор лимонной кислоты и сахарный сироп.

Образцы с пектином оставляют набухать в течение 40–50 мин и нагревают на водяной бане до полного растворения частиц при температуре 106 °С. Для изготовления желе использовали пектин Classic CS 501. Его концентрацию варьировали от 6 до 20 % с шагом в 2 %. Ниже приведены сведения по его внесению в экстракт зеленого чая (Табл. 1) и красное сухое вино (Табл. 2).

Оценку качества желе проводили по пятибалльной шкале:

– 5 баллов – непрозрачное желе зеленовато-коричневого/фиолетового/коричнево-фиолетового цвета с нежной мелкопористой структурой и глянцевым блеском. Хороший выраженный вкус и аромат облепихи. Равномерная студнеобразная масса, сохраняющая свою форму на горизонтальной поверхности (при извлечении из тары), ясно очерченные грани при разрезании ножом;

– 4 балла – непрозрачное желе зеленовато-коричневого/фиолетового/коричнево-фиолетового цвета. Хороший выраженный вкус и аромат облепихи. Студнеобразная масса слабой консистенции, прилипающая к стенкам тары, не полностью сохраняющая свою форму;

– 3 балла – непрозрачное желе зеленовато-коричневого/фиолетового/коричнево-фиолетового цвета. Хороший выраженный вкус и аромат облепихи. Густая масса, медленно растекающаяся на горизонтальной поверхности.

– 2 балла – непрозрачное желе зеленовато-коричневого/фиолетового/коричнево-фиолетового цвета. Хороший выраженный вкус и аромат облепихи. Неплотная масса, быстро растекающаяся на горизонтальной поверхности.

– 1 балл – непрозрачное желе зеленовато-коричневого/фиолетового/коричнево-фиолетового цвета. Хороший выраженный вкус и аромат облепихи. Жидкая масса.

*Таблица 1*

*Внесение пектина в экстракт зеленого чая*

| № образца | Пектин, г | Раствор лимонной кислоты, г | Раствор облепихового сиропа, г | Оценка |
|-----------|-----------|-----------------------------|--------------------------------|--------|
| 1         | 6         | 0,8                         | 44                             | 2      |
| 2         | 8         | 0,8                         | 44                             | 2      |
| 3         | 10        | 0,8                         | 44                             | 3      |
| 4         | 12        | 0,8                         | 44                             | 3      |
| 5         | 14        | 0,8                         | 44                             | 4      |
| 6         | 16        | 0,8                         | 44                             | 4      |
| 7         | 18        | 0,8                         | 44                             | 5      |
| 8         | 20        | 0,8                         | 44                             | 5      |

Как видно из данных, приведенных в Табл.1, наиболее подходящими являются две концентрации пектина в 18 и 20 %.

В Табл. 2 приведены экспериментально подтвержденные сведения о том, что наиболее подходящая концентрация пектина в красном сухом вине – 20 %.

Итак, для изготовления желе нужной консистенции, целесообразно использовать пектин Classic CS 501 в концентрации 18–20 %.

В состав десерта бланманже входят три слоя: первый – творожный мусс; второй – желе из экстракта зеленого чая; третий – желе из красного сухого вина.

Проведенные эксперименты позволили определить, что приятный букет и выраженный аромат десерта получается при соотношении экстракта зеленого чая и красного сухого вина 1:1 (50 г:50 г). Областью применения продукта бланманже будут предприятия по производству функциональных молочных биопродуктов.

Таблица 2  
Внесение пектина в красное сухое вино

| № образца | Пектин, г | Раствор лимонной кислоты, г | Раствор облепихового сиропа, г | Оценка |
|-----------|-----------|-----------------------------|--------------------------------|--------|
| 1         | 6         | 0,4                         | 44                             | 2      |
| 2         | 8         | 0,4                         | 44                             | 2      |
| 3         | 10        | 0,4                         | 44                             | 3      |
| 4         | 12        | 0,4                         | 44                             | 3      |
| 5         | 14        | 0,4                         | 44                             | 4      |
| 6         | 16        | 0,4                         | 44                             | 4      |
| 7         | 18        | 0,4                         | 44                             | 4      |
| 8         | 20        | 0,4                         | 44                             | 5      |

Планируемые источники производства – предприятия молочной промышленности, заинтересованные в увеличении ассортимента продуктов лечебно-профилактического назначения, способных повысить уровень качества жизни населения.

Получаемая продукция входит в сегмент натуральных и экологических творожных продуктов, популярность которых на рынке возрастает. На сегодняшний день на рынке отсутствуют молочные продукты с радиопротекторными свойствами. Такие продукты должны пользоваться спросом у потребителей, следящих за экологической обстановкой и бережно относящихся к своему здоровью.

Себестоимость единицы продукции зависит от применяемого сырья и используемых подсластителей. Ориентировочно она должна быть выше цены традиционного молоко-содержащего продукта на 10 %. Однако, учитывая высокую биологическую ценность продукта в соответствии с концепцией функционального питания, он должен составить конкуренцию традиционной цельномолочной продукции.

Вся получаемая продукция соответствует требованиям Федерального закона Российской Федерации от 12 июня 2008 г. №88-ФЗ «Технический регламент на молоко и молочную продукцию» и Техническому регламенту таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС-033-2013).

### Публикации

1. Кукушкина О.М., Арсеньева Т.П. Бланманже с радиопротекторными наполнителями // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2014. № 4 (22). С. 230–235.
2. Кукушкина О. М., Арсеньева Т.П. Подбор компонентов для десерта бланманже с радиопротекторными свойствами // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб., 2015. С. 90–92.

### Литература

1. Трахтенберг И.М. Тяжелые металлы во внешней среде: Современные гигиенические и токсикологические аспекты. Минск, 1994. – 285 с.
2. Черникова В.А. Агрэкология. М., 2000. – 434 с.
3. Шапиро Д.К. Практикум по биологической химии. Минск, 1976. – 288 с.
4. Блинникова О.М. Товароведение и экспертиза вкусовых товаров. Мичуринск, 2007. – 423 с.
5. Вытовтов А.А., Карасева Е.Н. и др. Товароведение и экспертиза потребительских товаров: учебник. М., 2009. – 205 с.
6. Починюк О.П. Красное и белое вино для вашего здоровья. Ростов-на-Дону, 2006. – 236 с.
7. Климантова Е.В. Использование витаминов и каротиноидов при производстве пектинового мармелада // Пищевая промышленность. 1996. № 4. С. 28-29.



Малышев Алексей Геннадьевич  
Факультет лазерной и световой инженерии  
Кафедра сенсорики  
E-mail: malyshev\_alexey@hotmail.com

## АНАЛИЗ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ФЛУКТУАЦИЯМ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ПОМОЩИ СИСТЕМЫ «СВЕТОДИОД – ФОТОДИОД»

А.Г. Малышев

Научный руководитель – профессор Г.Н. Лукьянов

Целью данной работы является разработка новых методов исследования человеческого дыхания. Для анализа дыхательной функции предложено использовать флуктуации количества углекислого газа в выдыхаемом человеком воздухе. Для этого применяется оптическая система, излучающая в инфракрасном диапазоне. Углекислый газ был выбран потому, что его концентрация на вдохе и выдохе человека изменяется более чем на 4 %, кроме того он имеет значительную степень поглощения в диапазоне 1200–5000 нм по сравнению с другими газами.

Диагностировать дыхание планируется по размерностям хаотического аттрактора и спектральной плотности мощности.

Эксперимент проводился с использованием двух систем: предыдущей разработки для определения флуктуаций давления и температуры человеческого дыхания [1, 2] и оптической системы.

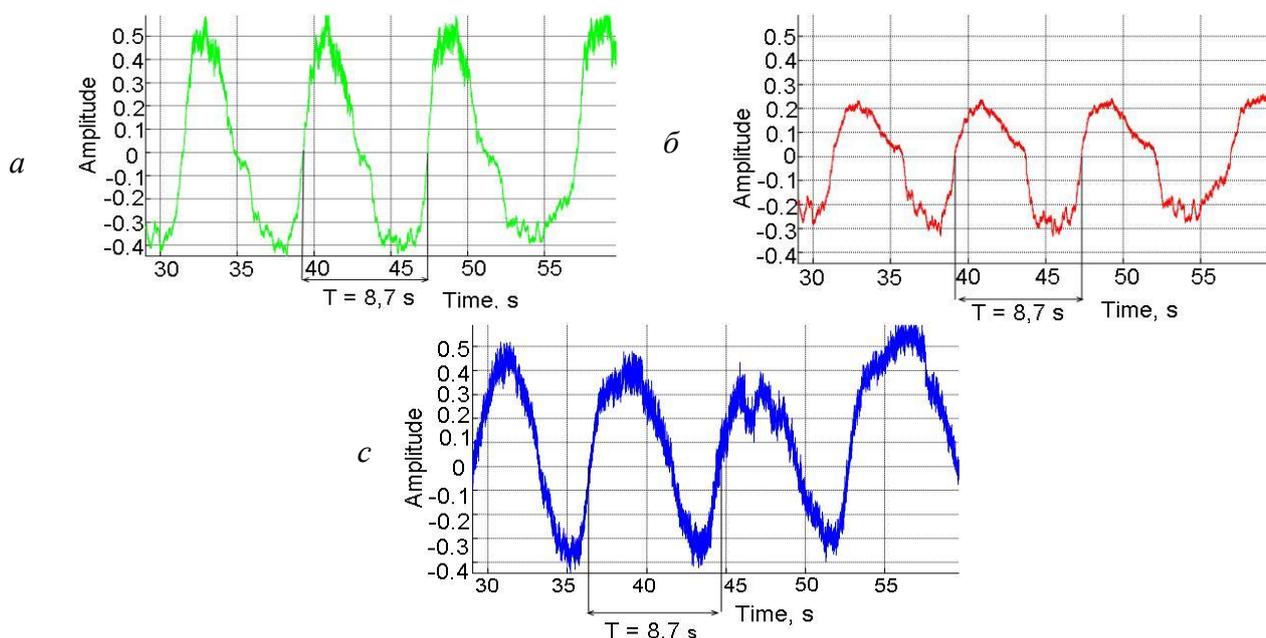


Рис. 1. Графики дыхания: а, б – давление в правой и левой ноздре соответственно; в – показания оптической системы концентрации  $CO_2$

Данные снимались синхронно с двух систем (оптической и датчиков давления) в течение двух минут. За это время было сделано около трех циклов вдоха и выдоха. По полученным данным (рис. 1) можно сказать, что фаза сигнала с датчиков давления отстает от фазы сигнала оптической системы, но периоды совпадают. Запаздывание показаний с датчиков давления по отношению к показаниям оптопары можно объяснить длиной

отводящих трубок (их длина составляет 16 см). Помимо этого, сделать какие-либо выводы сложно. Поэтому была проведена обработка полученных данных с помощью преобразования Фурье. По полученным кривым спектральных плотностей мощности (рис. 2) можно утверждать, что человек, данные которого анализируются, страдает искривлением перегородки носовой полости, поскольку имеют место два близлежащих пика частот.

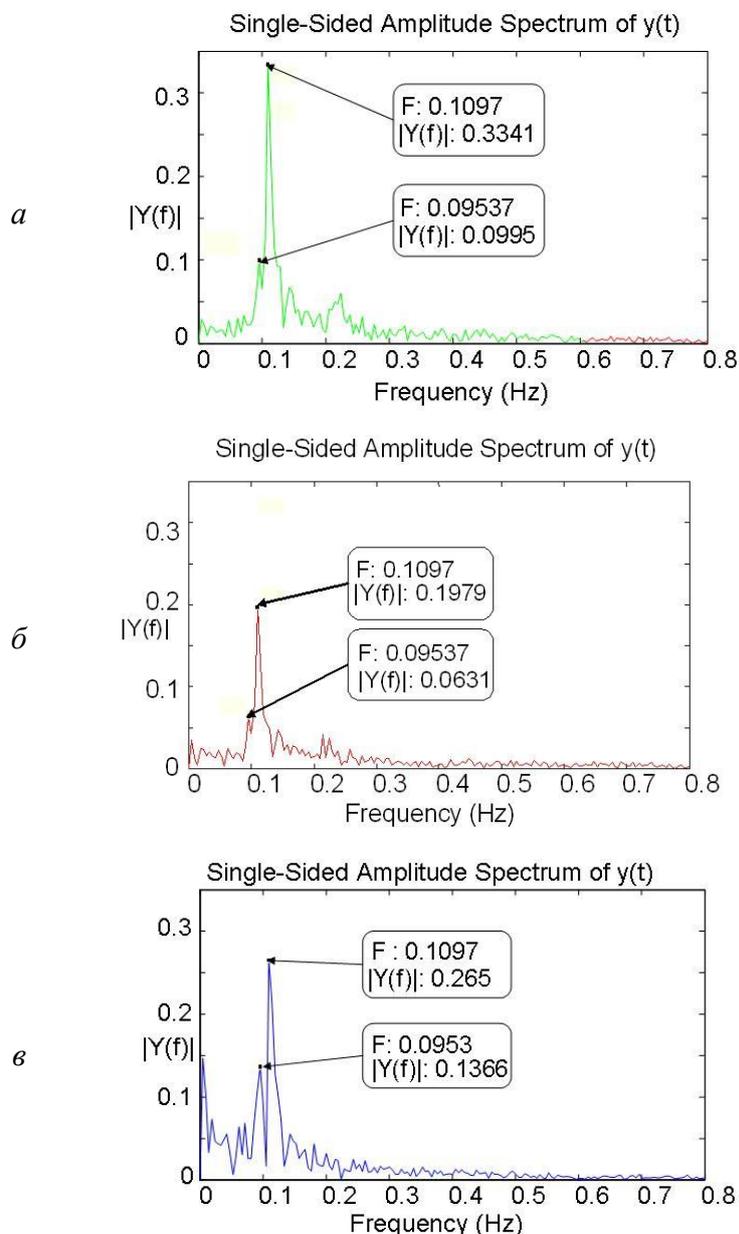


Рис. 2. Графики спектральной плотности мощности: а – давление в левой ноздре; б – давление в правой ноздре; в – концентрация углекислого газа

После спектрального анализа с помощью метода Грассберга – Прокаччия были восстановлены фазовые пространства. Они используются для расчета корреляционной размерности, по которой можно судить о состоянии здоровья человека по следующему принципу: при заболевании дыхание затруднено или искажено, что влияет на степень усложнения и хаотизации процесса, а следовательно, на значение корреляционной размерности, которое растет. Для этого необходимо каждый отдельно взятый вектор выбранной переменной сдвигать относительно начального момента на время сдвига  $\tau$ , которое определяется из автокорреляционной функции (время сдвига – это окончательное время затухания функции). Таким образом, мы получаем множество независимых друг от друга временных промежутков. Определить это можно по значению взаимнокорреляционной

функции: когда она будет равняться нулю – тогда можно считать два временных ряда независимыми друг от друга.

Корреляционную размерность получаем из спектра размерностью Реньи:

$$D_q = \frac{1}{q-1} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log \sum_{i=1}^{N(\varepsilon)} p_i^q}{\log \varepsilon}, \quad (1)$$

где  $q$  – любое действительное число ( $q = 1$  – информационная размерность,  $q = 2$  – корреляционная размерность),  $i$  – номер ячейки покрытия,  $p_i$  – вероятность попадания точки траектории в  $i$ -ую ячейку,  $\varepsilon$  – размер ребра куба или радиуса окружности.

В зависимости от значения  $q$  получается корреляционная размерность ( $q = 2$ ),

$$D_2 = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{C(\varepsilon)}{\log \varepsilon}, \quad (2)$$

где  $C(\varepsilon)$  – корреляционный интеграл.

$$C(\varepsilon) = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{1}{m^2} \sum_{i=1}^m H(\varepsilon - \|x_i - x_j\|), \quad (3)$$

где  $H$  – ступенчатая функция Хевисайда [3].

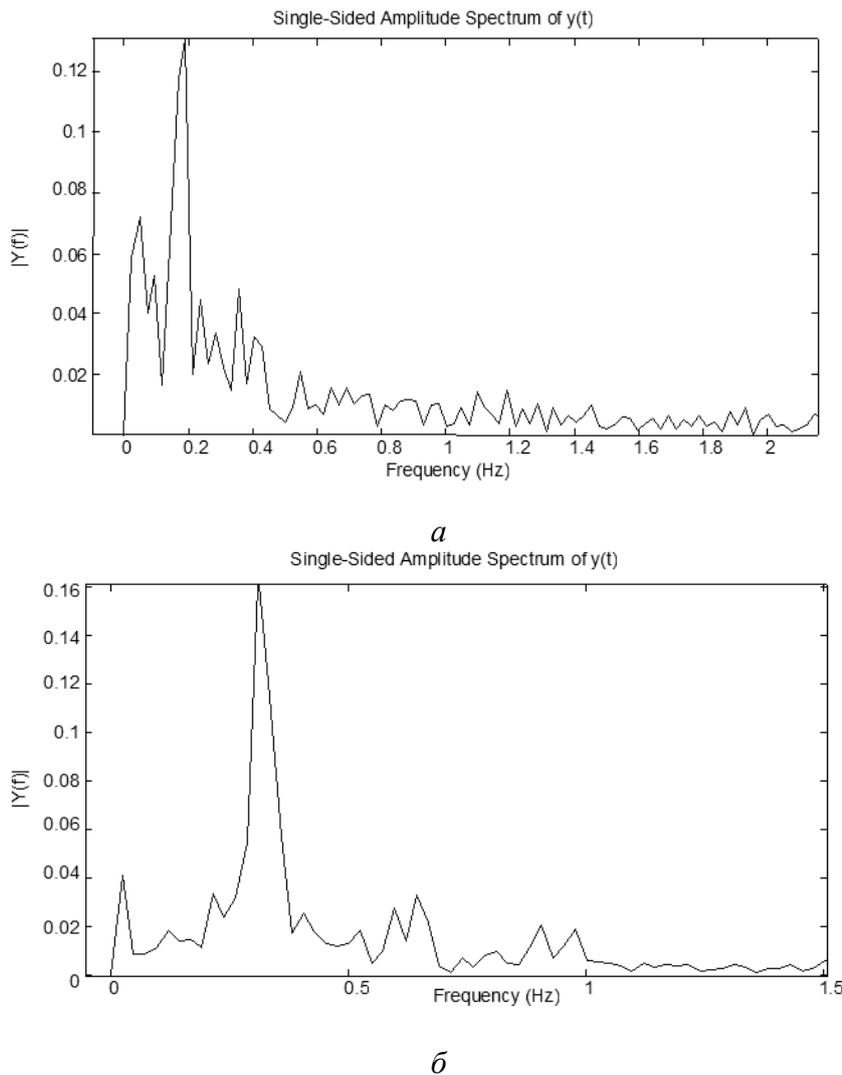


Рис. 3. Спектральные плотности мощности: а – во время заболевания; б – после выздоровления

В ходе обработки результатов эксперимента были получены корреляционные размерности для двух систем, которые достигли насыщения около значения 2,4. Основываясь на результатах, можно сказать, что дыхание представляет собой хаотический процесс, описываемый дифференциальным уравнением с более чем двумя переменными. Кроме того, эти данные позволяют сделать вывод о пригодности оптической системы для анализа человеческого дыхания. После получения удовлетворительных показателей была проведена тестовая диагностика пациента больного ринитом, обработка данных которой осуществлялась с помощью преобразования Фурье. Кривые спектральной плотности мощности (СПМ) изображены на рис. 3.

После выздоровления пациента кривая СПМ формирует единственный пик, соответствующий основным фазам вдоха – выдоха, тогда как во время заболевания, помимо него, было множество мелких пиков, что говорит о хаотизации процесса прохождения воздуха через верхние дыхательные пути.

Также были восстановлены фазовые пространства и рассчитаны корреляционные размерности. Результаты показаны на рис. 4.

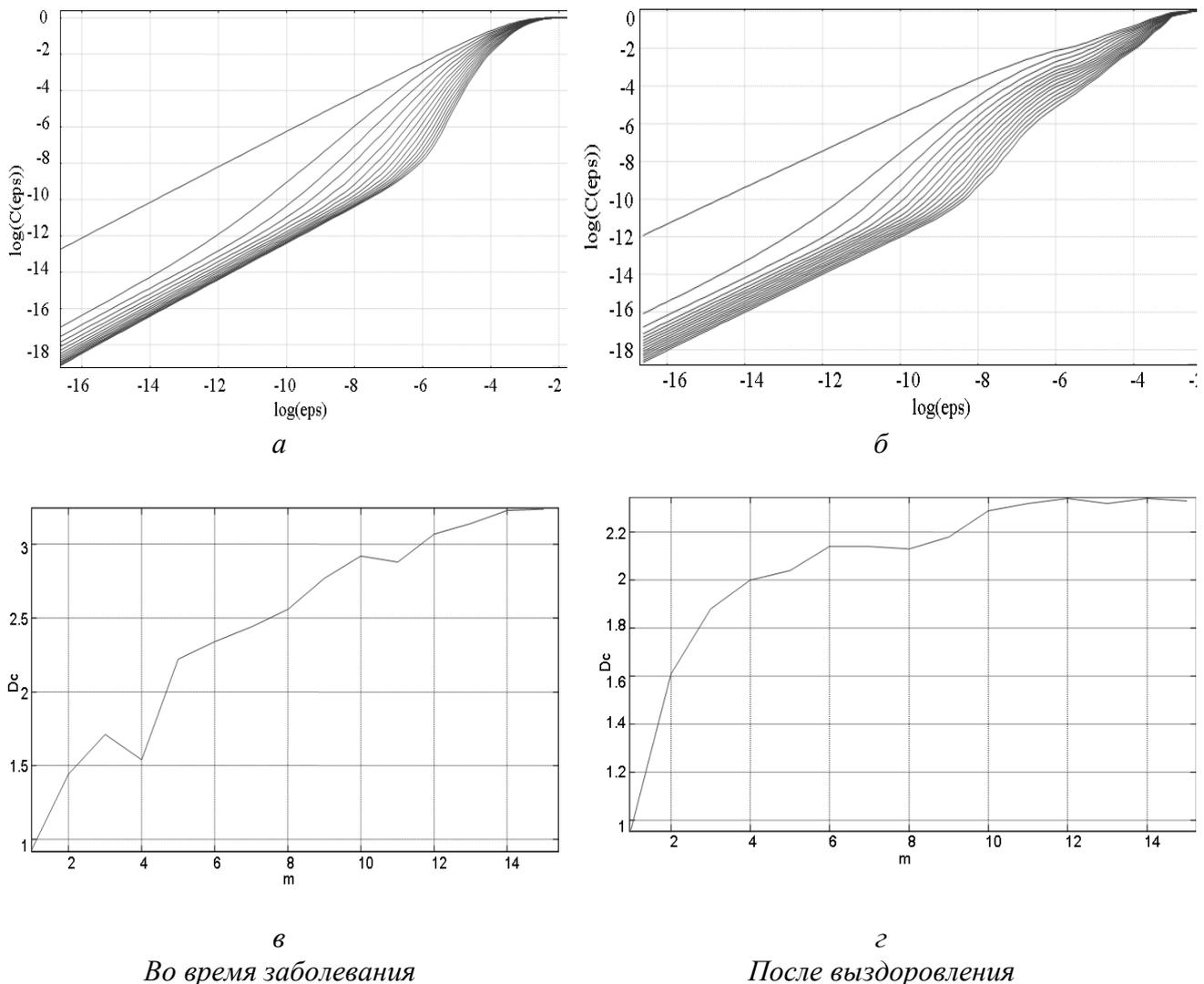


Рис. 4. а, б – зависимости значения корреляционного интеграла от размерности пространства; в, г – кривые Пакарда – Такенса

Во время заболевания значение корреляционной размерности составляет 3,2, в то время как после выздоровления – 2,3. Данные кривые также подтверждают тот факт, что хаотизация процесса прохождения воздушных масс через верхние дыхательные пути во время заболевания возрастает.

### **Заключение**

В данной работе для диагностики дыхания пациента предложено использовать новую бесконтактную оптическую систему, чувствительную к концентрации углекислого газа. На основе полученных значений концентрации углекислого газа можно диагностировать степень проходимости верхних дыхательных путей, их скрытые патологии, такие как искривление носовой перегородки. Также были проведены испытания оптической системы, подтвердившие возможность использования ее для диагностики пациентов.

### **Публикации**

1. *Malyshev A.G., Zhumashev N.K., Lukyanov G.N., Mynbaev K.D., Rassadina A.A.* Application of a LED-photodiode optocouple for the study of human respiratory function // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. Vol. 643. P. 012026.

### **Литература**

1. *Lukyanov G.N., Rassadina A.A., Makarov S.L.* A new method and a sensor for diagnosis of the respiratory diseases // *Symposium proceedings*. 2015. P. 219–222.
2. *Lukyanov G.N., Rassadina A.A. et al.* Method and device for researching and diagnostics of respiratory diseases // *Advances in Biotechnology and Bioscience*. 2015. P. 17–21.



**Маруев Иван Андреевич**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра оптико-электронных приборов и систем**  
**E-mail: ivshurm@mail.ru**

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

И.А. Маруев

Научный руководитель – младший научный сотрудник А.В. Пантюшин

Развитие экономики страны невозможно без повышения конкурентоспособности продукции и услуг, а это в современных условиях означает, что наиболее актуальными становятся проблемы качества продукции (услуг), в том числе и изделий машиностроения. Одной из основных предпосылок достижения требуемого качества изделий является метрологическое обеспечение производства. Необходимость в осуществлении контроля геометрических параметров при сборке и стыковке крупногабаритных деталей, а также во время динамических испытаний объектов существует, например, в таких областях производства, как судостроение и самолетостроение.

Имеющиеся методы контроля являются трудоемкими и затратными. Поэтому актуально применение автоматизированной и простой в использовании распределенной системы контроля, позволяющей производить измерения объектов произвольной конфигурации с заданной точностью.

Цели работы – создание математической модели функционирования оптико-электронной системы, включающей математические описания функционирования системы

и системы самокалибровки, а также анализ основных факторов, влияющих на точность измерений координат объектов.

Система состоит из нескольких сканирующих устройств. Каждое из них передает управляющий сигнал на датчик положения, содержащий уникальный идентификатор устройства, а также идентификатор блока формирования сигнала. На основе полученных данных и с помощью встроенного таймера датчик определяет расстояния до каждого устройства. При этом пространственные координаты сканирующих устройств известны [1]. В качестве источников и приемников оптического излучения используются лазерные диоды и фотодиоды [2].

При измерении расстояний до объекта предполагается, что сам объект будет находиться на поверхности сферы радиусом, равным расстоянию от сканирующего устройства до объекта.

Согласно методу трилатерации, задача определения координат объекта сводится к поиску точки пересечения четырех сфер, так как данная конфигурация необходима для однозначного определения искомой точки [1]. Поэтому для однозначного определения пространственных координат данным способом необходимо не менее четырех сканирующих устройств.

В этом случае задача поиска координат объекта сводится к поиску точки пересечения четырех (или более) сфер (число сфер равно числу сканирующих устройств), что упрощенно показано на рис. 1. Буквами  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  здесь обозначены сканирующие устройства, осуществляющие измерения расстояний до датчика  $S$ , положение которого определяется точкой пересечения четырех сфер, центры которых – координаты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ .

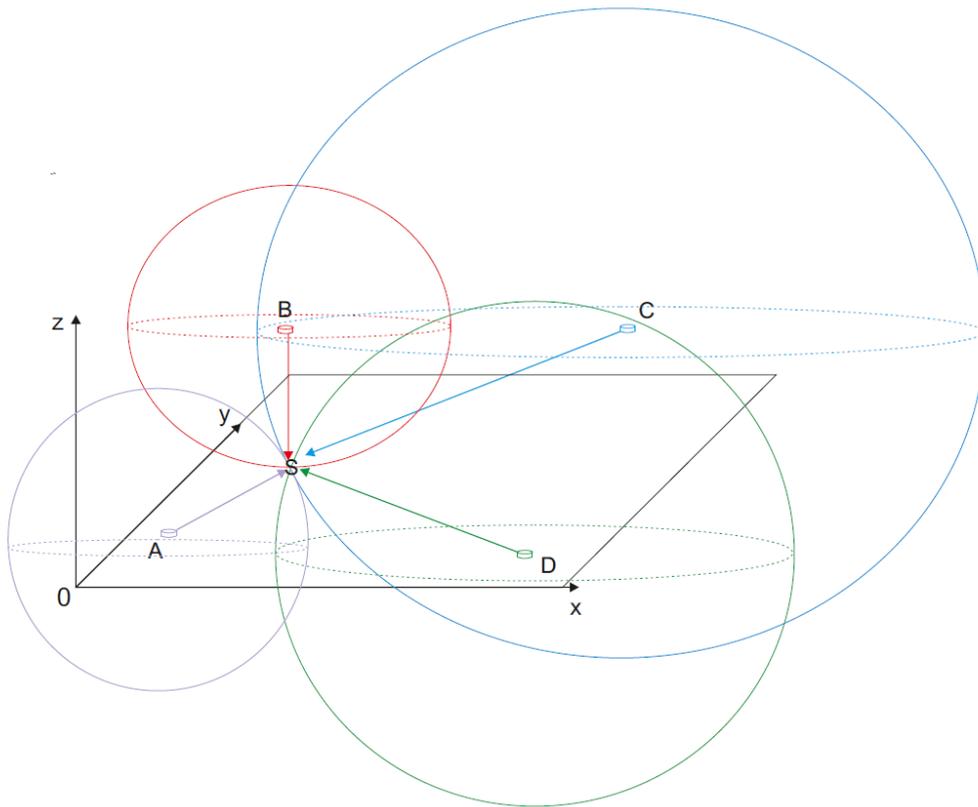


Рис. 1. Функционирование системы

#### Описание алгоритма определения координат датчика

Исходя из утверждения, что точка, имеющая координаты датчика  $(x_0, y_0, z_0)$ , является точкой пересечения четырех сфер, радиусы которых равны расстояниям  $R_i$  от сканирующих устройств до датчика (как показано на рис. 1), запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} R_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + z_0^2, \\ R_1^2 = (x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2, \\ R_2^2 = (x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 + (z_0 - z_2)^2, \\ R_3^2 = (x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 + (z_0 - z_3)^2. \end{cases} \quad (1)$$

При проведении ряда упрощений система вида (1) приводится к следующему:

$$\begin{cases} x_0 \cdot x_1 + y_0 \cdot y_1 + z_0 \cdot z_1 = A_1, \\ x_0 \cdot x_2 + y_0 \cdot y_2 + z_0 \cdot z_2 = A_2, \\ x_0 \cdot x_3 + y_0 \cdot y_3 + z_0 \cdot z_3 = A_3. \end{cases} \quad (2)$$

Входные данные в виде расстояний  $R_i$  обрабатываются алгоритмом RANSAC.

Решение системы (2) относительно координат датчика выполняется по формулам Крамера. В результате получаем точку с искомыми координатами датчика  $(x_0, y_0, z_0)$ .

### Описание принципа калибровки системы

Для осуществления измерений координат датчиков необходимы точные данные о координатах сканирующих устройств и о расстояниях от них до датчика.

Функционирование данной оптико-электронной системы предполагает проведение предварительных измерений координат сканирующих устройств относительно некоторого опорного сканирующего устройства с координатами  $(0, 0, 0)$ , которое используется в качестве точки отсчета. При этом возникают первичные погрешности определения координат сканирующих устройств, к которым относятся погрешности их установки и определения временных интервалов прохождения сигнала.

После проведения предварительных измерений и установки сканирующих устройств их переводят в режим калибровки, который состоит из нескольких этапов:

- измерение фактических расстояний между сканирующими устройствами;
- определение коррекционных величин для часов оптико-электронной системы, которое сводится к минимизации следующих уравнений, полученных из системы (2):

$$\begin{cases} R_1^2 = (x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2 + (z_0 - z_1)^2, \\ R_2^2 = (x_0 - x_2)^2 + (y_0 - y_2)^2 + (z_0 - z_2)^2, \\ R_3^2 = (x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2 + (z_0 - z_3)^2. \end{cases} \quad (3)$$

### Погрешность временных интервалов

Было выяснено, что основной погрешностью, влияющей на точность измерения координат, является погрешность определения временных интервалов. Так как  $R_{ij} = c \cdot t_{ij}$ , где  $c$  – скорость света, погрешность определения расстояния до объекта будет равна:

$$\Delta R_i = c \cdot \Delta t. \quad (4)$$

При этом общая ошибка определения координаты объекта составит:

$$\Delta_k = 0,5 \cdot \Delta R_i.$$

Для определения зависимости погрешности координаты датчика от погрешности определения временных интервалов была разработана математическая модель функционирования оптико-электронной системы в среде Matlab. Зависимость погрешности координаты датчика от погрешности определения временных интервалов регистрации сигнала сканирующих устройств представлена на рис. 2.

Увеличение погрешности определения временных интервалов приводит к отсутствию сходимости в уравнениях систем (2) и (3). При осуществлении коррекции для получения

точки пересечения сфер погрешность определения положения датчика будет возрастать пропорционально погрешности временных интервалов [3].

В связи с этим предпочтительно использование высокоскоростных источников и приемников оптического излучения [2].

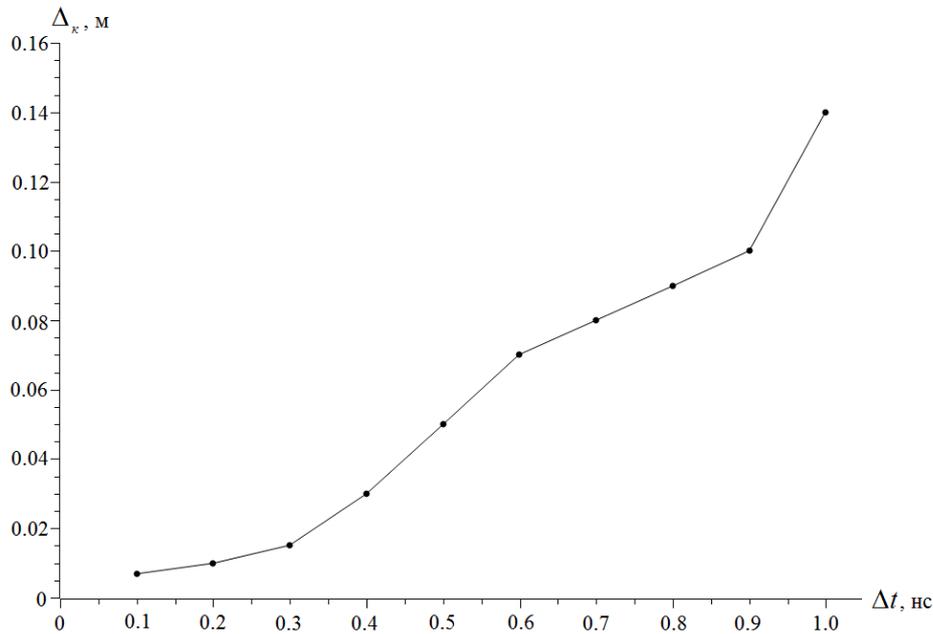


Рис. 2. Зависимость погрешности определения координаты объекта от погрешности определения времени прохождения сигнала

### Влияние количества сканирующих устройств

Проведено исследование влияния количества сканирующих устройств на ошибку определения координаты объекта для различных значений ошибки определения временного интервала (рис. 3).

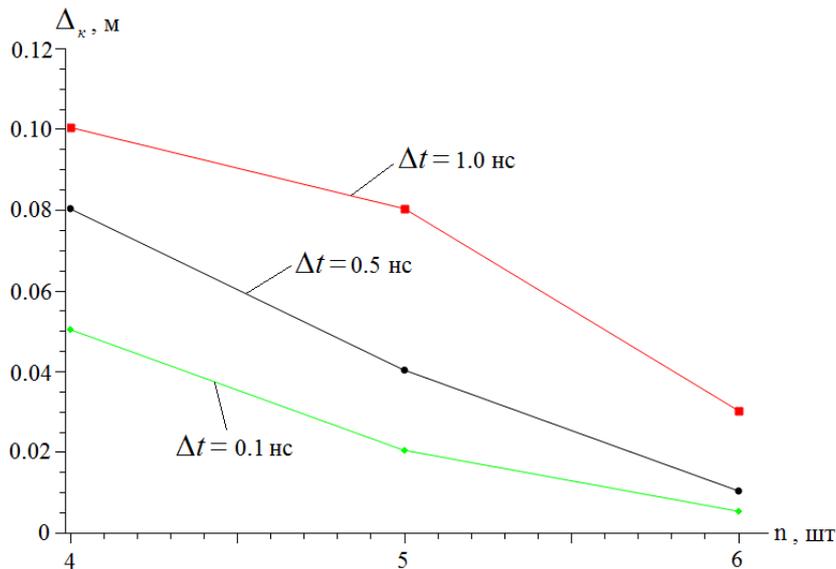


Рис. 3. Влияние количества сканирующих устройств на общую ошибку определения координат объектов

Увеличение количества сканирующих устройств позволяет получить больший размер выборки значений координат объекта для последующей аппроксимации. Кроме того, наличие дополнительных устройств снижает границы сходимости уравнений систем (2) и (3).

### Заключение

В ходе выполнения проекта было разработано математическое описание функционирования системы. Для однозначного определения координат объекта необходимо обеспечение сходимости полученных систем уравнений, что достигается введением дополнительной калибровки. Для достижения указанной цели было предложено математическое описание калибровки системы, позволяющее производить коррекцию временных интервалов, что существенно увеличивает точность определения координат объекта.

Кроме того, было проведено исследование математической модели системы и анализ влияния первичных погрешностей на точность определения координат объекта (датчика). В результате получены зависимости погрешности определения координат объекта от погрешностей определения временных интервалов, а также от числа сканирующих устройств.

Сделан вывод, что погрешность определения координат объекта уменьшается при введении дополнительных сканирующих устройств и увеличивается при увеличении погрешности определения временных интервалов. Диапазон погрешности составляет от 0,05 до 0,10 м. В связи с этим было предложено одновременное использование большего числа сканирующих устройств, высокоскоростных источников и приемников оптического излучения.

В будущем планируется решить следующие задачи:

- разработать электрическую схему системы;
- усовершенствовать реализованную и разработать новые методики определения положения объектов в пространстве;
- провести испытания оптико-электронной системы контроля в условиях, приближенных к реальным, с целью выявления дополнительных факторов, влияющих на погрешность измерений положения объектов, и методов ее компенсации.

### Публикации

1. *Maruev I.A., Lebedko E.G., Nikulin A.V.* Control system of warehouse robots' position // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9530. P. 95300M.
2. *Маруев И.А.* Разработка и исследование распределенной оптико-электронной системы контроля пространственного положения объектов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб., 2015. С. 153–155.

### Литература

1. *Lou P. et al.* Fundamental analysis for indoor visible light positioning system // 2012 1st IEEE International Conference on Communications in China Workshops (ICCC). 2012. P. 59–63.
2. *Ишанин Г.Г., Козлов В.В.* Источники оптического излучения. Учебное пособие для вузов. СПб., 2009. – 415 с.
3. *Stewart C.V.* Robust parameter estimation in computer vision // SIAM review. 1999. Vol. 41. No 3. P. 513–537.



**Машаро Татьяна Олеговна**  
**Факультет инфокоммуникационных технологий**  
**Кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере**  
**E-mail: tanyamasharo@gmail.com**

## **ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЛИЧНОСТНЫХ КАЧЕСТВ СТУДЕНТОВ КАК ОСНОВА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК НА ВЫПУСКНИКОВ**

Т.О. Машаро

Научный руководитель – ассистент Н.Ф. Насыров

### **Цель проекта**

Цель – проанализировать и систематизировать подходы по формализации личностных качеств обучающихся для дальнейшего создания модуля автоматической генерации характеристик на студентов. Реализация модуля производится в системе chamilo.org. В качестве основы рассматривается многокритериальная методика визуализации результатов обучения [1]. После обработки данных получаем автоматически сформированную характеристику на студента с возможностью внесения уточнений.

Характеристики составляются индивидуально после анализа полученной информации. На основе данных подсистемы визуализации результатов обучения формируются соответствующие строки в характеристиках, описывающих итоги общественной и учебной деятельности студента.

### **Задачи проекта**

В рамках задачи реализации программного модуля для выбранной системы управления обучением (Learning Management System) выделены этапы:

- исследование предметной области;
- выбор личностных качеств обучающихся для последующей их систематизации и формализации;
- алгоритмизация, систематизация данных, характеризующих студента (выпускника);
- реализация программного решения для LMS Chamilo 1.9.10 с оформлением соответствующей документации.

### **Методы исследования**

Рассматриваемая модель визуализации позволяет студенту грамотно распределить свою учебную нагрузку на всем протяжении освоения зачетных единиц, рационально выстроить собственную линию поведения и выполнения самостоятельных работ, сформировать соответствующее отношение к изучаемому материалу. Рассматриваемый подход также помогает формировать способность самостоятельно принимать важные решения и нести за них ответственность, что, безусловно, является важным аспектом последующей профессиональной деятельности студента. Таким образом, система визуализации результатов обучения (ВРО) способствует формированию ряда общекультурных компетенций, дополняя использующиеся в образовательном процессе компетентностно-ориентированные методики обучения.

В данной работе подробно рассматривается деятельностная составляющая структурной модели компетенций, формирующихся у индивида в процессе обучения. Изучаются научные труды, которые наиболее полно и подробно описывают подход. Проводится исследование характеристик, формируемых в настоящее время, их наиболее важные критерии, направления и т. п. В рамках исследования предметной области путем анализа выявлено

отсутствие общедоступных аналогов, ни одна характеристика не основывалась на фиксированных данных, их подсчете и анализе.

По имеющимся в общем доступе материалам произведено абстрагирование от несущественных черт образа выпускника. Выделены существенные компоненты для построения модели личности, наиболее подходящие для изучения и представления соответствующих данных [2]. В частности анализируются черты личности, формируемые и проявляющиеся в период обучения. Прорабатываются возможные критерии оценивания, дающие однозначные решения. Обращается внимание на то, что при составлении характеристики на обучающегося (выпускника) одним из важнейших показателей является уровень сформированности профессиональных и общекультурных компетенций. При организации учебного процесса происходит сопоставление дисциплин и компетенций, определенных образовательным стандартом.

Исследованные данные подверглись анализу и синтезу. Было проведено объединение наиболее известных моделей личности, проанализировано их взаимодействие и запущен алгоритм в режиме реального времени.

Анализ упомянутых выше критериев подразумевает плавное обращение к инструментам индукции и дедукции. Современные системы управления обучением не предоставляют инструменты, способные определить такие черты студента, как дисциплинированность, исполнительность, не дают возможности оценить их готовность к выполнению задач будущей профессиональной деятельности. Подобные черты остаются субъективными и не могут быть полностью автоматизированы.

После проведения исследований предметной области будет разработана  $\alpha$ -версия модуля автоматизации формирования характеристик на студентов, генерирующая варианты документов в конечном виде, что составляет экспериментальную часть проекта.

По окончании этого этапа для своевременного устранения недочетов выполняется сравнение характеристики студента, которую пишет уполномоченное лицо, с автоматически формируемой характеристикой.

С целью повышения объективности формируемых характеристик особое внимание в работе уделяется вопросу корреляции подходов преподавателей к оцениванию уровней сформированности компетенций.

Различия в интерпретации результатов могут быть связаны с разным подходом преподавателей, обусловленным субъективным видением составляющих образовательного процесса, сложности дисциплин, количеством часов, выделяемых на работы, формирующие соответствующие компетенции, рядом других причин.

С целью нивелирования оценок, характеризующих работу студентов по формированию тех или иных компетенций на различных дисциплинах и у разных преподавателей, зачастую связанных с ее субъективностью, необходимо разработать систему соотнесения получаемых оценок.

В представленной работе рассматривается решение формирования подхода по корреляции получаемых результатов по разным дисциплинам.

Рассмотрим пример выполнения работы, направленной на формирование некоторой компетенции, студентами одной группы. Работа характеризуется оценкой, описывающей уровень выполнения задания по формированию определенной компетенции. Таким образом, каждый из  $N$  студентов может выполнить работу по одному из заранее определенных  $X$  уровней. Каждому из представленных числовых значений уровня соответствует словесное описание, например «высокий», «средний», «низкий» и так далее. Уровень 0 соответствует значению «не приступал к заданию», дальнейшие вычисления производятся только по студентам, получившим оценку, определяющую уровень формируемости компетенций, отличную от нуля.

Пусть  $x_i$  – уровень, характеризующий работу  $i$ -го студента ( $i = 1, 2, \dots, N$ ). Тогда значения  $0, 1, \dots, X$  – все возможные уровни, которые образуют генеральную совокупность,

а  $f_i$  – частота получения уровня  $i$  по работе в группе. В общем случае рекомендуется выделять не более 4-5 уровней сформированности компетенции с большей степенью вероятности.

Определим математическое ожидание уровней формируемости компетенций  $\bar{X}$  :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}.$$

Для решения поставленной выше задачи необходимо определить дисперсию  $D_x$  и среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ :

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}.$$

$$\sigma = \sqrt{D_x}.$$

Применяя правило трех сигм, возможно определить граничные значения интервала  $[x_{\min} = \bar{X} - 3\sigma; x_{\max} = \bar{X} + 3\sigma]$ , которые следует учитывать для вычисления соответствующего значения показателя  $\bar{r}$  по группе в целом за определенную работу:

$$\bar{r} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i},$$

где  $x_i \in [x_{\min} = \bar{X} - 3\sigma; x_{\max} = \bar{X} + 3\sigma]$ ,  $n$  – количество студентов с уровнем выполнения работ, соответствующим указанному диапазону,  $n < N$ .

Данный показатель косвенно может характеризовать уровень освоения материала (или выполнения работ по формированию соответствующих компетенций) учебной группы. Показатель  $\bar{r}$  в этом случае выступает также в качестве индикатора готовности группы к следующим работам по формированию рассматриваемой компетенции.

Далее необходимо определить показатель, выступающий в качестве характеристики общих требований преподавателя по рассматриваемой дисциплине.

Совокупность показателей  $\bar{r}_j$  ( $j \in [1; Y]$ ,  $Y$  – общее количество работ по рассматриваемой дисциплине) образует интервальный статистический ряд. Используя формулу Стерджеса:

$$h = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{1 + \log_2 M} \approx \frac{y_{\max} - y_{\min}}{1 + 3.322 \lg M},$$

где  $M$  – количество интервалов определения уровня сформированности компетенции,  $y_{\max} - y_{\min}$  – разница между максимальной и минимальной оценками сформированности соответствующих компетенций по всем видам работ соответствующей дисциплины, можно определить частичные интервалы статистического распределения.

Тогда математическое ожидание оценивания формируемости компетенций имеет вид:

$$\bar{Y} = l = \frac{\sum_{i=1}^M y_i \cdot f'_i}{\sum_{i=1}^M f'_i},$$

где  $f'_i$  – частота получения уровня  $i$  по работе в группе.

Аналогичным образом рассмотрев показатели остальных преподавателей, можно вычислить показатель  $R$ , определяющий коэффициент для корреляции оценок

сформированности соответствующих компетенций, получаемых студентом за каждую работу по каждой дисциплине:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^P l_i \cdot f_i^n}{\sum_{i=1}^P f_i^n},$$

где  $P$  – общее количество преподавателей.

В результате фиксируемый уровень  $M$  выполнения задания по формированию определенной компетенции может быть описан следующей формулой:

$$Z = \frac{z \cdot R \cdot t}{y},$$

где  $z$  – уровень выполнения задания, определенный преподавателем,  $t$  – регламентное время на выполнение работы,  $y$  – математическое ожидание уровней формируемости компетенций по работе с учетом среднеквадратического отклонения.

Таким образом, введение показателя  $R$  позволяет систематизировать и скоррелировать подходы различных преподавателей к оцениванию степени сформированности профессиональных и общекультурных компетенций.

Данные тезисы также являются основополагающими положениями при формализации личностных качеств студентов для последующей автоматизированной генерации характеристик на выпускников.

### **Планируемые результаты**

Среди образовательных учреждений набирает популярность тенденция размещения на сайте учебного заведения резюме выпускников. Формируемые в режиме онлайн характеристики могут способствовать повышению заинтересованности потенциальных работодателей, приглашению учащихся к прохождению производственных практик и стажировок.

Результаты исследований могут быть реализованы в виде функциональных элементов программного обеспечения, использующегося в учебных комплексах, в том числе на базе персональных электронных устройств.

Разработанные алгоритмы позволяют создавать программные модули для широко применяемых в современном образовании систем управления обучением, таких как Moodle, Chamilo, myVLE, ILIAS и других. Программные модули, сформированные по описанным алгоритмам, также могут быть интегрированы в информационные образовательные системы, создаваемые учебными заведениями самостоятельно.

Ожидаемые результаты интеграции программных модулей:

- повышение объективности характеристик, формируемых на студентов;
- возможность ознакомления студента, обучающегося на старших курсах, с предварительным вариантом формируемой характеристики и возможность влияния на генерируемые формулировки, что в конечном итоге должно способствовать повышению уровня подготовки будущего специалиста (бакалавра);
- уменьшение времени, затрачиваемого на формирование характеристик (со стороны тьютора/куратора);
- фиксация основных показателей формируемости профессиональных и общекультурных компетенций обучающихся.

### **Область планируемого использования результата**

- официальный портал высшего учебного заведения, информационные образовательные системы учебных заведений, реализующих программы среднего и высшего образования;

- информационные образовательные системы организаций, реализующих различные программы дополнительного профессионального образования, повышения квалификации, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий и форм электронного обучения;
- формируемые характеристики могут быть востребованы при трудоустройстве выпускников, переводе в другие учебные заведения, во время кампании по призыву в вооруженные силы России и ряде других случаев.

### Публикации

1. *Маширо Т.О.* Формализация личностных качеств в рамках разработки модуля автоматизации формирования характеристик на студентов [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1755/1755.pdf> (дата обращения: 27.09.2015).

### Литература

1. *Насыров Н.Ф.* Визуализация результатов обучения как средство повышения качества подготовки технических специалистов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. Т. 8. № 5. С. 72–74.
2. *Маширо Т.О.* Формализация личностных качеств в рамках разработки модуля автоматизации формирования характеристик на студентов [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1755/1755.pdf> (дата обращения: 27.09.2015).



**Моисеева Анастасия Алексеевна**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра оптико-электронных приборов и систем**  
**E-mail: nastiakor@gmail.com**

## **ДВУХКООРДИНАТНАЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ АВТОКОЛЛИМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КРИТИЧЕСКИХ УГЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ КРУПНОГАБАРИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

А.А. Моисеева

Научный руководитель – профессор И.А. Коняхин

Верное решение задач угловой пространственной ориентации важно для прогнозирования и предотвращения таких техногенных катастроф, как разрушение конструкций крыш и мостов, нефте- и газопроводов, прорыв плотин, дамб и т. д. В приборостроении часто возникает необходимость высокоточного измерения углов и угловых перемещений деталей и узлов, проверки прямолинейности, параллельности или плоскостности поверхностей деталей [1, 2].

Обычно объекты, угловую ориентацию которых необходимо определить, имеют большие габариты или располагаются в труднодоступных местах, и проконтролировать их положение контактным способом невозможно. В таких ситуациях наиболее перспективным и удобным является автоколлимационный метод, так как в этом случае измерения осуществляются бесконтактным способом, а погрешность очень мала.

Целью данного проекта является исследование и разработка двухкоординатного оптико-электронного автоколлиматора для определения угловой ориентации объектов, позволяющего производить мониторинг деформаций крупных сооружений и прогнозировать техногенные катастрофы. Исследование также направлено на увеличение рабочей дистанции и снижение стоимости оптико-электронной измерительной системы.

### Принцип работы оптико-электронного автоколлиматора

Оптико-электронная автоколлимационная система включает в себя автоколлиматор, который установлен на неподвижном основании, и контрольный отражательный элемент, размещенный на контролируемом объекте (рис. 1).

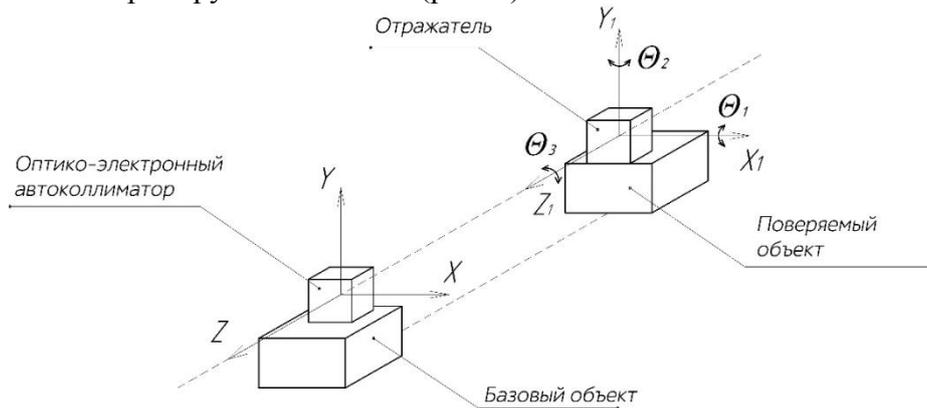


Рис. 1. Системы координат измерительной системы

Неподвижная система координат  $XYZ$  связана с самим автоколлиматором, ось  $OZ$  совпадает с его оптической осью, проходящей через заднюю узловую точку объектива и центр матрицы. Плоскость  $XOY$  параллельна плоскости матрицы-анализатора, а оси  $OX$  и  $OY$ , соответственно, параллельны строкам и столбцам матрицы.

Подвижная система координат  $X_1Y_1Z_1$  связана с контрольным элементом, который размещен на проверяемом объекте. При исходном положении контролируемого объекта оси системы координат  $X_1Y_1Z_1$  параллельны осям системы координат  $XYZ$ .

Угловое перемещение контролируемого объекта в пространстве условно разложим на три эквивалентных поворота  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta_3$ , где  $\theta_1$  – угол поворота вокруг оси  $OX_1$ ;  $\theta_2$  – вокруг нового положения  $O_1Y_1$ , то есть вокруг  $O_1Y'_1$ ;  $\theta_3$  – вокруг дважды нового положения  $O_1Z_1$ , то есть вокруг  $O_1Z''_1$ . Таким образом,  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – коллимационные углы, а  $\theta_3$  – угол скручивания.

Когда отражатель поворачивается, отраженные лучи отклоняются от первоначального направления, что вызывает изменение положения изображения на матрице-анализаторе. Угловые координаты  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta_3$  отражателя определяются в результате обработки сигнала, полученного с матрицы [3].

Автоколлиматоры рассмотренных фирм [4–7] используются вместе с плоским зеркалом, которое крепится на контролируемом объекте. Если зеркало наклонить на углы  $\alpha$  – в одной плоскости и  $\beta$  – в плоскости, ортогональной первой, относительно начального положения, то выходящий из объектива параллельный пучок лучей, отразившись от плоского зеркала, вернется в объектив под углами  $2\alpha$  и  $2\beta$  относительно первоначального направления. Таким образом, изображение коллимационной марки построится в точке, отстоящей от центра плоскости матрицы на некоторое расстояние  $y$  – по одной оси и  $x$  – по другой, которые принято называть смещением автоколлимационного изображения. Программа определяет величину смещений перекрестья  $y$ ,  $x$  по формулам:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{y}{f'_{ob}}, \operatorname{tg} 2\beta = \frac{x}{f'_{ob}}. \quad (1)$$

После чего нетрудно вычислить значение неперпендикулярности отражающей поверхности плоского зеркала и оптической оси автоколлиматора.

В данной работе рассматривается призмный отражатель в виде четырехугольной пирамиды с прямым углом при вершине, позволяющий увеличить рабочую дистанцию (рис. 2а).

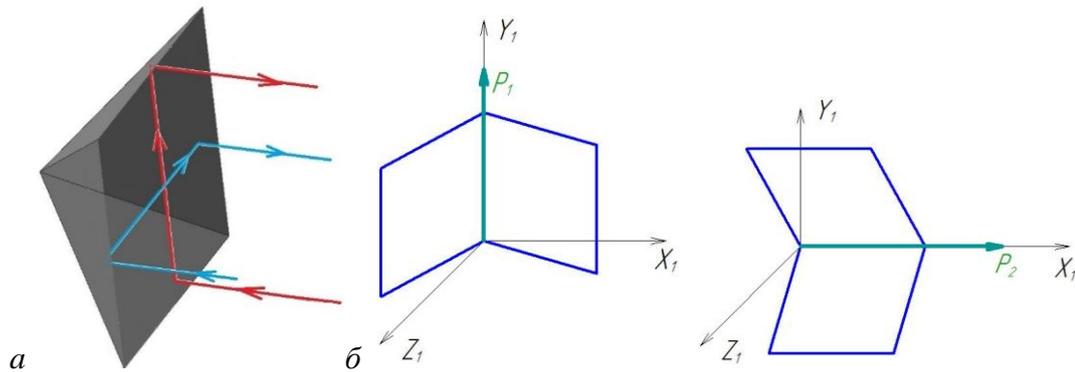


Рис. 2. а – пирамидальный отражатель; б – отражающие грани эквивалентных призм БР-180

Характерной его особенностью является то, что противоположные грани составляют одну рабочую поверхность и по этой причине параллельный пучок лучей, падающих на преломляющую грань при отражении, разделяется на два, каждый из которых формирует соответствующая эквивалентная призма БР-180 (рис. 2б).

При вращении пирамиды относительно оси  $X_1$  каждый отраженный пучок в плоскости апертуры объектива будет перемещаться только вдоль ортогональной оси  $Y$ , в то время как по координате  $X$  его положение меняться не будет. В результате при двухкоординатных измерениях необходимый диаметр объектива для приема этих двух пучков будет в  $\sqrt{2}$  раз меньше, чем при приеме пучка, отраженного от плоского зеркала при тех же углах поворота (рис. 3). Это позволяет соответственно в  $\sqrt{2}$  раз увеличить рабочую дистанцию автоколлиматора простой заменой отражающего контрольного элемента [8], что имеет важное значение, если автоколлиматор применяется для контроля положения крупногабаритных объектов [1, 9].

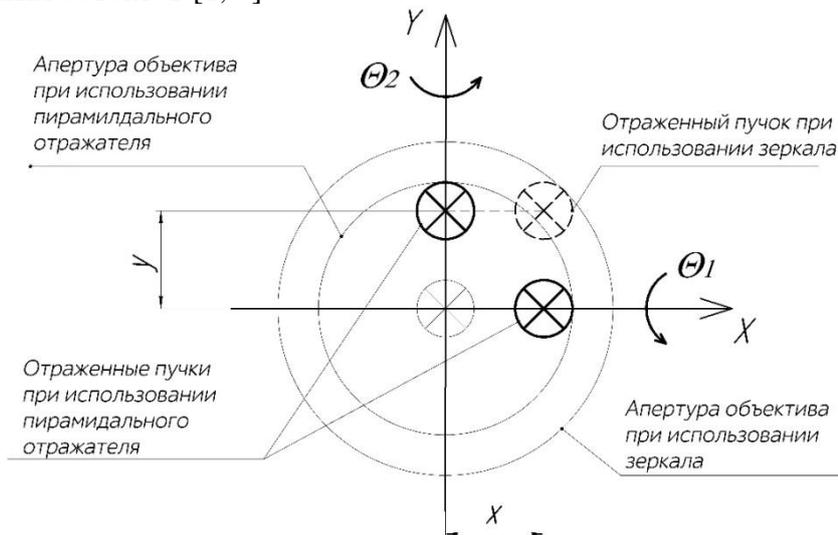


Рис. 3. Плоскость анализа автоколлимационного изображения

В известных оптико-электронных автоколлиматорах заложен упрощенный алгоритм (1) вычисления угла по смещениям автоколлимационных изображений  $x$ ,  $y$  марки от центра матрицы, где  $\alpha = \Theta_1$ ,  $\beta = \Theta_2$ . Алгоритм, исследованный в работе, позволяет более точно вычислять угол отклонения объекта. Из-за используемого упрощения при наличии всех трех составляющих поворота  $\Theta_1$ ,  $\Theta_2$  и  $\Theta_3$  появляется существенная методическая погрешность  $\Delta_{\text{method}}$ , которая растет с увеличением диапазона измеряемых углов (рис. 4).

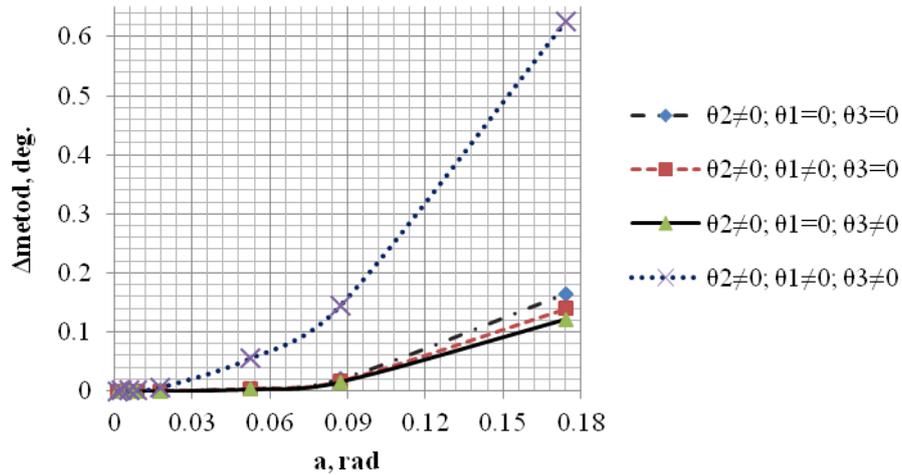


Рис. 4. Погрешность измерения при упрощенном алгоритме

Таким образом, у разработчика есть два варианта действий:

- использовать дополнительный микропроцессор, который будет обрабатывать измерения по точному алгоритму;
- использовать упрощенный известный алгоритм в тех задачах, где погрешность будет очень мала.

**Другие возможные конструкции отражателя**

В соответствии с классификацией систем зеркал по их отражательным свойствам те системы, в которых отраженный пучок распространяется зеркально-антисимметрично падающему относительно геометрически выделенного (неизменного) направления – прямой линии, отнесем к первому классу. А если выделенное направление будет плоскостью – ко второму.

К системам зеркал I класса относятся: плоское зеркало и двугранные зеркальные углы  $\pi/s$ , где  $s$  – нечетное.

К системам зеркал II класса относятся: двугранные зеркальные углы  $\pi/s$ , где  $s$  – четное, трехгранные углы  $\pi/2, \pi/2, \pi/(2s+1)$  и трехгранный угол  $\pi/2, \pi/3, \pi/3$ . Геометрически выделенное направление в них определяется плоскостью  $Y = 0$  [10].

Если каждую из предложенных зеркальных систем этого класса повернуть вокруг оси  $X$  на  $90^\circ$  и совместить с исходной, можно получить отражатели, эквивалентные выбранному ранее четырехугольному пирамидальному отражателю.

Более подробно рассмотрим отражатель, состоящий из двух двугранных зеркальных углов  $\pi/s$ , где  $s = 4$  (рис. 5а). На рис. 5б представлен ход лучей в двугранном угле  $45^\circ$ . Из анализа следует, что точка следующего отражения расположена значительно ближе к ребру двугранного угла по сравнению с рассмотренным прямоугольным отражателем (рис. 2).

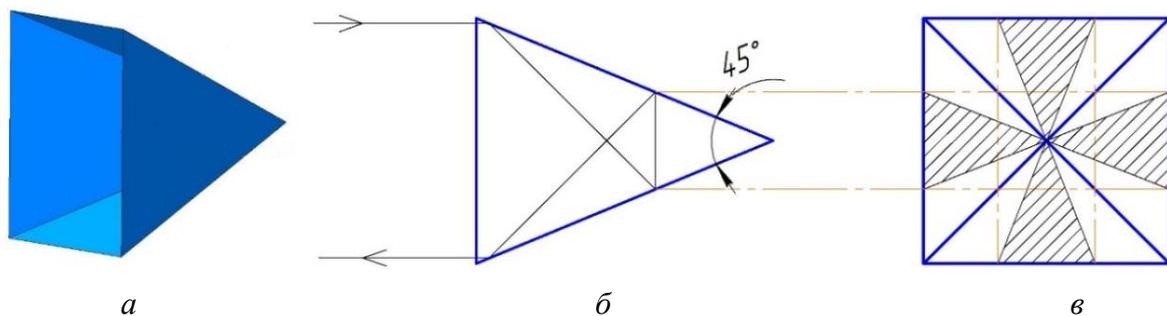


Рис. 5. Отражатель, состоящий из двух двугранных углов в  $45^\circ$

При формировании отражателя в виде двух двугранных углов с взаимно-перпендикулярными ребрами по этой причине реализуется внутреннее виньетирование (срезание) отражаемого пучка. В результате апертура отражателя предстает в виде креста (рис. 5в). Такой отражатель формирует отраженный пучок с малой энергией, поскольку для падающего пучка эффективной является не более 40 % апертуры отражателя (рис. 5б). Отсюда следует, что другие отражатели, эквивалентные рассмотренному четырехгранному, не могут использоваться как отражатели при автоколлимационных измерениях.

### Заключение

В рамках выполнения проекта был исследован принцип действия оптико-электронного автоколлиматора и выявлен главный его недостаток – малая рабочая дистанция, что недопустимо при решении задачи мониторинга положения частей крупногабаритных конструкций. Рабочая дистанция автоколлиматора с четырехугольным пирамидальным отражателем ( $90^\circ$  при вершине пирамиды) в  $\sqrt{2}$  раз больше, чем при использовании автоколлиматора с плоским зеркалом, что позволяет расширить круг решаемых задач и применений прибора.

Также были рассмотрены другие возможные варианты конструкций отражателя. Анализ показал, что четырехугольный пирамидальный отражатель ( $90^\circ$  при вершине пирамиды) является наиболее эффективным, а другие аналогичные конструкции не могут использоваться как отражатели при автоколлимационных измерениях.

Анализ методических погрешностей, возникающих при использовании выбранного отражателя, показал, что если смещение объекта происходит только в коллимационных плоскостях и без скручивания, то для расчетов можно использовать известный алгоритм (1). При этом погрешность будет очень мала. При требуемом диапазоне измерения  $\pm 5$  угл. мин, погрешность не превышает  $\Delta_{\text{метод}} = 6 \cdot 10^{-4}$  угл. мин.

Проведенные исследования позволяют реализовать прототип автоколлимационной системы для контроля деформаций крупногабаритных сооружений.

### Публикации

1. Моисеева А.А., Коняхин И.А. Исследование автоколлимационного сенсора углового положения на основе четырехгранного отражателя // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб., 2014. С. 162–164.
2. Moiseeva A.A., Konyakhin I.A. Investigation of optical-electronic autocollimator with quadrangular pyramidal reflector for measuring the angular position of the object // Latin America Optics and Photonics Conference. 2014. Vol. LTh4A. P. LTh4A.46.
3. Моисеева А.А. Исследование оптико-электронного автоколлиматора с увеличенной рабочей дистанцией [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: [http://kmu.ifmo.ru/collections\\_article/1340/issledovanie\\_optiko-elektronnogo\\_avtokollimatora\\_s\\_ovelichennoy\\_rabochey\\_distanciey.htm](http://kmu.ifmo.ru/collections_article/1340/issledovanie_optiko-elektronnogo_avtokollimatora_s_ovelichennoy_rabochey_distanciey.htm) (дата обращения: 13.12.2015).
4. Konyakhin I.A., Moiseeva A.A. Method of increasing the working distance of optical-electronic autocollimator // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95252M.

### Литература

1. Konyakhin I.A. et al. Optic-electronic systems for measuring the angle deformations and line shifts of the reflecting elements at the rotateable radio-telescope // Proceedings of SPIE. 2011. Vol. 8082. P. 80823R.
2. Konyakhin I.A., Petrochenko A.V., Tolochek N.S. Optic-electronic systems for measurement a position of radio-telescope components // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9446. P. 94460M.
3. Konyakhin I.A., Timofeev A.N., Konyakhin A.I. Three-axis optic-electronic autocollimation system for the inspection of large-scale objects // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8788. P. 87882C.

4. TriAngle® electronic autocollimator [Electronic resource] // TRIOPTICS [Official website]. URL: <http://www.trioptics.com/triangle/description.php> (accessed date: 10.02.2014).
5. Цифровой двухкоординатный автоколлиматор с разрешением 0.001 угловой секунды: [Электронный ресурс] // Оптротех: оптические цифровые измерительные системы [Официальный сайт]. URL: <http://www.optrotech.ru/issl3.php> (дата обращения: 10.02.2014).
6. Elektronische autokollimatoren [Electronic resource] // Möller-Wedel Optical International [Official website]. URL: <http://www.moeller-wedel-optical.com/produkte/elektronische-autokollimatoren> (accessed date: 10.02.2014).
7. Автоколлиматор Ultra [Электронный ресурс] // Taylor Hobson Ltd [Official website]. URL: <http://taylor-hobson.ru/katalog-produktsii/avtokollimator-ultra.html> (accessed date: 10.02.2014).
8. *Moiseeva A.A., Konyakhin I.A.* Investigation of optical-electronic autocollimator with quadrangular pyramidal reflector for measuring the angular position of the object // Latin America Optics and Photonics Conference. 2014. Vol. LTh4A. P. LTh4A.46.
9. *Anisimov A.G., Timofeev A.N., Korotaev V.V.* Choice of the reflector for the autocollimating alignment telescope // Proceedings of SPIE. 2011. Vol. 8082. P. 80823E.
10. *Процко С.В., Хапалюк А.П.* Отражатели в форме зеркально-симметричных // Известия вузов. Приборостроение. 1984. № 27 (12). С. 53–57.



**Муравьев Сергей Борисович**  
**Факультет информационных технологий и программирования**  
**Кафедра компьютерных технологий**  
**E-mail: mursmail@gmail.com**

## **ПРОБЛЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ АЛГОРИТМОВ В РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ АЛГОРИТМОВ ВЫБОРА ПРИЗНАКОВ**

С.Б. Муравьев

Научный руководитель – доцент А.А. Фильченков

Цель исследования – разработка системы рекомендации для определения алгоритмов выбора признаков в задачах кластеризации. Рост числа алгоритмов машинного обучения опережает рост экспертных знаний о них [1], поэтому автоматизация их выбора становится все более актуальной задачей. В частности эта проблема характерна для области выбора признаков (feature selection). Алгоритмы выбора признаков связаны с предобработкой данных, которые применяются в высокоразмерных задачах классификации, восстановления регрессии и кластеризации. Подходом к автоматизации решения данной проблемы является разработка системы рекомендации для алгоритмов выбора признаков. Наиболее перспективно в данном случае применение мета-обучения, которое строится на предсказывании лучшего с точки зрения некоторой меры качества алгоритма для новой задачи. Поскольку алгоритмы выбора признаков являются алгоритмами предобработки, а задача кластеризации – задачей обучения без учителя, то оценку качества работы алгоритмов выбора признаков для задач кластеризации можно получить только через оценку качества работы алгоритма кластеризации, который будет применен к измененному набору данных.

В рамках этой работы были проведены исследования, в результате которых выявлено, что единой метрики оценки качества для всех типов данных разработать невозможно. Предлагается предсказывать метрику оценки алгоритма кластеризации и сам алгоритм на основе мета-информации в каждом наборе данных. В работе также предложена трехуровневая система рекомендации алгоритмов выбора признаков для задач кластеризации на основе мета-обучения.

Принцип мета-обучения базируется на том, что для эффективного решения новой задачи машинного обучения на основе ранее обработанных наборов данных будет автоматически определен подходящий алгоритм выбора набора признаков. Схема работы системы мета-обучения, основанная на концептуальной схеме Райса, сформулированной им для решения общей задачи выбора алгоритмов, представлена на рис. 1.

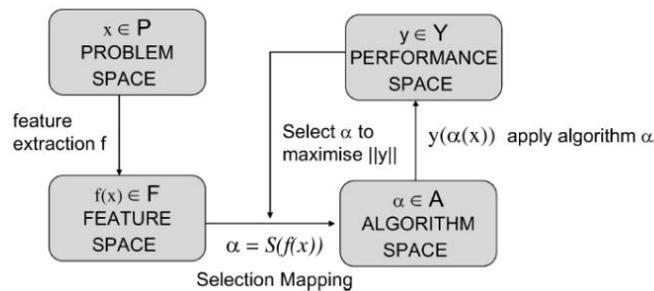


Рис. 1. Схема Райса [2]

В системе мета-обучения ключевым аспектом является критерий оценки качества работы такого алгоритма, на основе которого будет строиться дальнейшая рекомендация. Для того чтобы на новом наборе  $D_{new}$  данных не проверять все имеющиеся в системе алгоритмы, необходимо также учитывать схожести между ними. Для этого нужно вычислять наборы мета-признаков характеристик, которые не зависят ни от самих данных, ни от их типов (статистические метрики, метрики из теории информации). При поступлении в систему нового набора данных  $D_{new}$  для него вычисляются набор мета-признаков, расстояния между  $D_{new}$  и другими уже имеющимися в системе наборами данных по следующей формуле:

$$dist(D_i, D_j) = \|F_i - F_j\|_1 = \sum_{p=1}^h |f_{i,p} - f_{j,p}|,$$

где  $F_i = \langle f_{i,1}, f_{i,2}, \dots, f_{i,h} \rangle$  – набор мета-признаков  $D_i$ . На основании посчитанных оценок расстояний выбирается  $D_{km} = \{D_1, D_2, \dots, D_k\}$  – множество  $k$  ближайших наборов данных к  $D_{new}$ . Оценка качества работы алгоритма выбора признаков на новом наборе данных будет вычисляться исходя из заранее рассчитанных оценок работы этого алгоритма на множестве  $D_{km}$ .

Ранее была реализована система мета-обучения для алгоритмов выбора признаков в задаче классификации [3]. В рамках настоящего проекта рассматривается задача кластеризации, для которой на данный момент не найдено систематизированных подходов к оценке работы алгоритмов выбора признаков, подобных метрике EARR, введенной в исследовании [3]. Поскольку единой системы оценки таких алгоритмов не существует, предлагается проверять их результаты при помощи метрик оценки самих алгоритмов кластеризации. Это наиболее естественное решение для алгоритмов предобработки данных.

Однако на сегодняшний день не существует универсального по качеству алгоритма кластеризации, работающего одинаково хорошо на всех наборах данных. В литературе [4] был предложен подход по оптимальному выбору алгоритма кластеризации на основе мета-признакового описания, в котором для оценки результата использовалась система метрик.

Алгоритмы оценивались одной из 15 метрик, а затем строилась композиция из полученных результатов.

Существует два типа метрик оценки качества алгоритмов кластеризации: внутренние (*internal*) и внешние (*external*) [5]. Внешние метрики анализируют, насколько качественно была проведена кластеризация в соответствии с уже заранее известным образцом, что существенно ограничивает их применимость. Такие метрики неприменимы в рамках данной задачи, поскольку в системе отсутствуют заранее подсчитанные кластеризации. Внутренние метрики отображают различия между кластерами внутри одной кластеризации. Они отлично подходят для сравнения работы разных алгоритмов кластеризации на одном и том же наборе данных, следовательно, подходят для решения данной задачи. Известно множество внутренних функционалов оценки качества кластеризации [5], с каждым годом появляются новые, однако до сих пор среди них нет «самого правильного».

В ходе работы было проведено исследование ряда популярных алгоритмов кластеризации, а также метрик их оценки для того, чтобы попытаться выявить оптимальные для большинства конфигураций наборов данных.

Для экспериментов были сгенерированы синтетические наборы данных различных конфигураций, представленных ниже на рисунках, и рассмотрены следующие алгоритмы кластеризации:

1. *k*-means [6];
2. X-means [7];
3. EM [8];
4. DBSCAN [9];
5. Farthest First [10];
6. Иерархический алгоритм [11].

В работе были рассмотрены следующие популярные метрики:

1. Индекс Дэвиса-Болдина (DB) [12];
2. Индекс Данна (Dunn-index) [13];
3. Силуэтный индекс (Silhouette) [14];
4. Индекс Калински-Харабаза (CH) [15];
5. Индекс S\_Dbw [16];
6. Индекс Score Function (SF) [17].

Подробные реализации каждой из метрик приведены в статье [18]. Выполнение экспериментов проводилось следующим образом: рассматривался набор данных, на котором запускались имеющиеся алгоритмы кластеризации. Далее результат каждого алгоритма оценивался ассессорами на предмет качества и сортировался по его убыванию, образуя вектор оценок. Стоит отметить, что качество определялось бинарным способом, то есть результат либо релевантный (+), либо нерелевантный (-). После этого каждый результат оценивался набором имеющихся метрик. Далее результаты работы алгоритмов кластеризации ранжировались по каждой метрике, образуя перестановку оценок ассессоров. Затем для каждой перестановки измерялись точность и средняя точность. Для вычислений и визуализации кластеризаций использовалась система Weka [19].

На рис. 2 приведены результаты применения различных алгоритмов кластеризации к наборам данных. В Таблице представлены результаты оценки метрик и ассессоров для каждого результата алгоритма кластеризации, примененного к наборам данных, изображенных на рис. 2.

Метрики для разных алгоритмов ранжируются по возрастанию или убыванию согласно определению метрики, образуя перестановку ассессорских оценок. Далее вычисляется средняя точность выборки:

Пусть  $y(q, d) \rightarrow Y \in \{0, 1\}$  – бинарная ассессорская оценка;  $d$  – результат работы алгоритма кластеризации на наборе данных  $q$ ;  $a(q, d)$  – оценки работы алгоритмов

кластеризации по метрикам;  $d_q^{(i)}$  –  $i$ -й документ по убыванию  $a(q, d)$  с точки зрения качества.

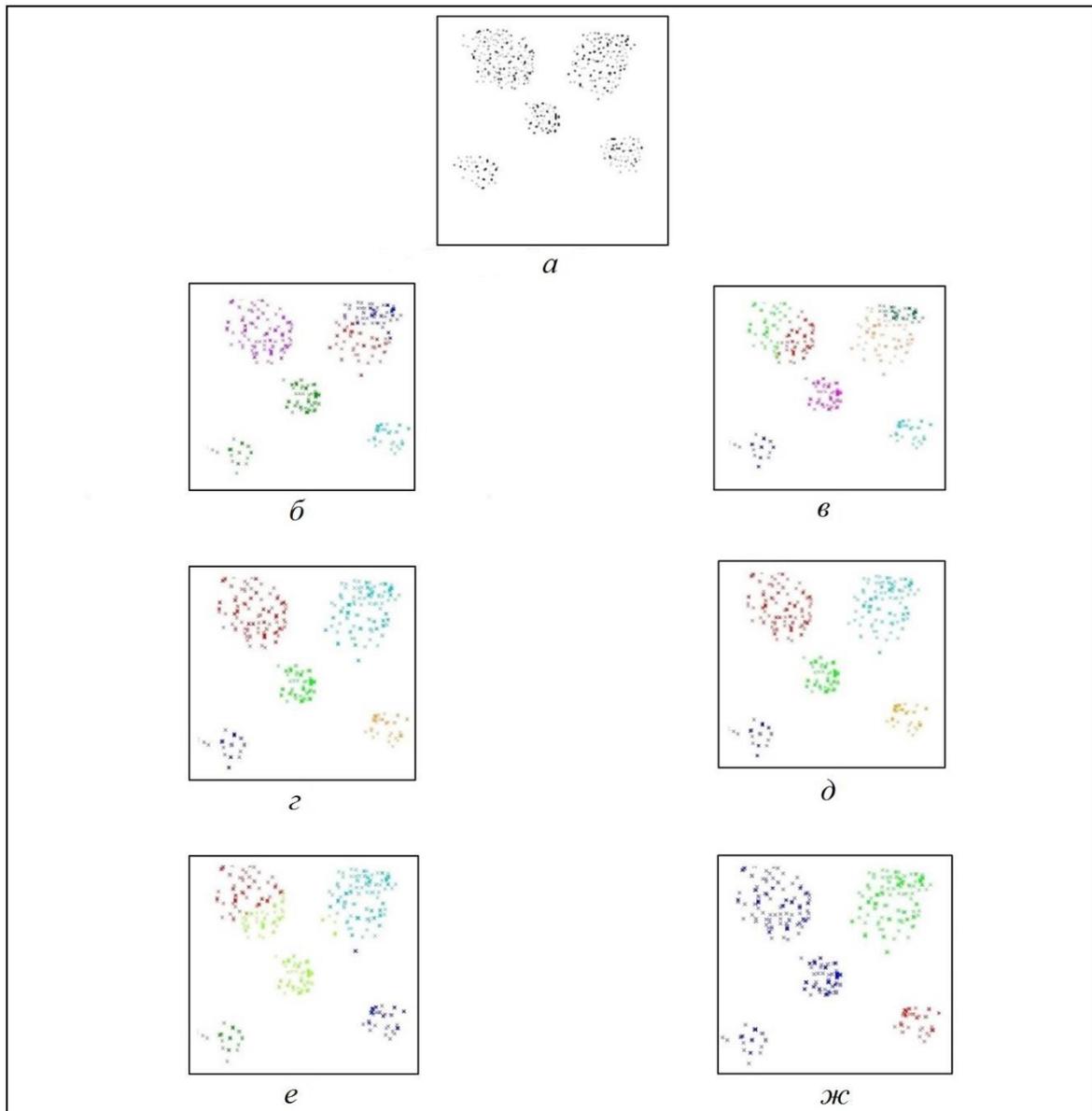


Рис. 2. Результаты применения алгоритмов кластеризации на наборе данных с хорошо разьединенными кластерами: а – исходный набор данных; б –  $k$ -means; в – EM; г – DBSCAN; д – иерархический алгоритм; е – Farthest First; ж – X-means

Точность выборки определяется по следующей формуле:

$$P_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y(q, d_q^{(i)}),$$

однако в таком виде не очевидно, как выбрать параметр  $n$ . Чтобы от него избавиться, будем рассчитывать среднюю точность:

$$AP(q) = \sum_n y(q, d_q^{(n)}) P_n(q) / \sum_n y(q, d_q^{(n)}).$$

В ходе проведенных экспериментов было выявлено, что средняя точность выборки сильно варьируется на разных наборах данных для одних и тех же метрик оценки качества. Таким образом, ни одна из метрик не отражает в полной мере качества построенных

кластеризаций, полученных различными алгоритмами. В работе продемонстрировано, что задача оценки алгоритмов кластеризации является экспертной.

В связи с тем, что выделить метрику, которая одинаково хорошо оценивала бы большинство существующих алгоритмов кластеризации на различных конфигурациях наборов данных, на сегодняшний день не представляется возможным, а экспертная оценка слишком затратная по времени и ресурсам, предлагается для выбора подходящей метрики выделять набор мета-признаков из каждого набора данных.

Таблица

Сравнение оценок результатов алгоритмов кластеризации для набора данных из рис. 2

|                 | DB     | Dunn-index | Silhouette | CH       | S_Dbw  | SF     | Ассесоры |
|-----------------|--------|------------|------------|----------|--------|--------|----------|
| <i>k</i> -means | 1,5367 | 1,4229     | 0,9764     | 235,5119 | 0,5258 | 2,9976 | -        |
| EM              | 2,2962 | 0,1164     | 0,9666     | 110,3842 | 0,3332 | 2,8971 | -        |
| DBSCAN          | 1,1570 | 1,4602     | 0,9755     | 183,7501 | 0,4615 | 2,9904 | +        |
| FarthestFirst   | 1,1752 | 0,0061     | 0,9786     | 178,5245 | 0,4977 | 2,9575 | -        |
| Hierarchical    | 1,1570 | 1,4602     | 0,9755     | 183,7501 | 0,4615 | 2,9904 | +        |
| X-means         | 0,7083 | 0,4790     | 0,9862     | 676,5061 | 0,9372 | 3,0178 | -        |

Таким образом, для оценки алгоритма выбора признаков для задачи кластеризации предлагается подход, схема которого представлена на рис. 3.

Для каждого набора данных  $X$  выбирается набор мета-признаков  $m_{metric}(X)$ . На его основе алгоритм  $L_{metric}$  выбирает подходящую для данного набора данных метрику  $M$ . Аналогично для алгоритмов кластеризации: по набору мета-признаков  $m_{CL}(X)$  по алгоритму  $L_{CL}$ , реализованному в статье [4], выбирается наилучший алгоритм кластеризации. Таким образом, выбор метрики и алгоритма кластеризации производится при помощи вычисления мета-признаков обрабатываемого набора данных.

Следует обратить внимание на то, что выявленная проблема отсутствия «единой метрики» и, как следствие, необходимость выбора наиболее подходящей под каждый набор данных является отдельной задачей, сопоставимой по сложности с решаемой в данном исследовании. Поэтому для нахождения меры  $M$  для каждого набора данных предлагаем использовать алгоритм  $L_{metric}$ , реализацией которого еще только предстоит заняться. В этом случае возможно использование любого из алгоритмов выбора метрики. Таким образом, общая задача выбора алгоритма сведена к частной задаче выбора метрики.

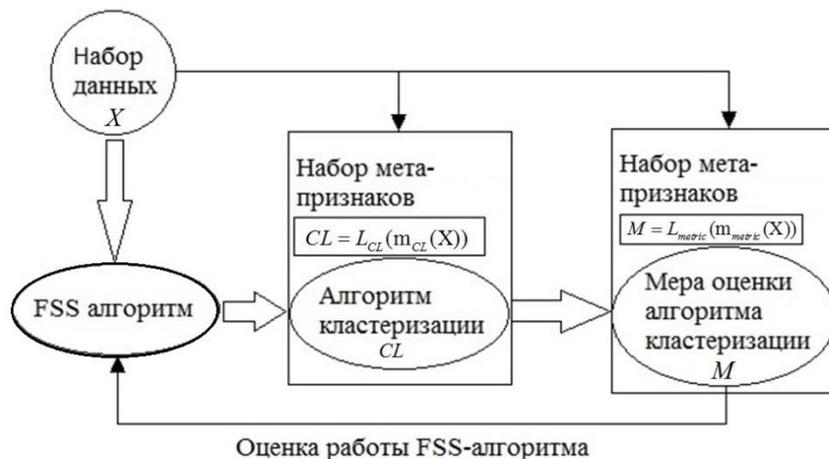


Рис. 3. Схема работы системы рекомендации определения алгоритма выбора признаков для задачи кластеризации

### Заключение

В рамках данной работы были проведены эксперименты, которые показали, что не существует универсальной метрики для оценки результатов работы алгоритмов кластеризации. С учетом выявленных ограничений был предложен способ оценки качества работы алгоритмов выбора признаков для задач кластеризации на основе мета-обучения. В дальнейшем планируется разработать алгоритм выбора метрики оценки качества кластеризации на основе мета-признаков.

### Литература

1. *Wolpert D.H., Macready W.G.* No free lunch theorems for search: technical report SFI-TR-95-02-010. The Santa Fe Institute, Santa Fe, 1995. – 38 p.
2. *Smith-Miles K.A.* Cross-disciplinary perspectives on meta-learning for algorithm selection // ACM Computing Survey. 2009. Vol. 41. No 1. P. 1–25
3. *Wang G., Song Q., Sun H., Zhang X., Xu B., Zhou Y.* A feature subset selection algorithm automatic recommendation method // Journal of Artificial Intelligence Research. 2013. Vol. 47. P. 1–34.
4. *Ferrari D.G., De Castro L.N.* Clustering algorithm selection by meta-learning systems: A new distance-based problem characterization and ranking combination methods // Information Science. 2015. Vol. 301. P. 181–194.
5. *Liu Y., Li Z., Xiong H., Gao X., Wu J.* Understanding of internal clustering validation measures // IEEE International Conference on Data Mining. 2010. P. 911–916.
6. *Arthur D., Vassilvitskii S.* K-means++: The advantages of careful seeding // Proceedings of the eighteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. 2007. P. 1027–1035.
7. *Dempster A.P., Laird N.M., Rubin D.B.* Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm // Journal of the Royal Statistical Society: Series B. 1977. Vol. 39. No 1. P. 1–38.
8. *Pelleg D., Moore A.W.* X-means: Extending k-means with efficient estimation of the number of clusters // Seventeenth International Conference on Machine Learning. 2000. P. 727–734.
9. *Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X.* A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. 1996. P. 226–231.
10. *Rosenkrantz D.J., Stearns R.E., Lewis P.M.* An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem // SIAM Journal on Computing. 1977. Vol. 6. No 3. P. 563–581.
11. *Rokach L., Maimon O.* Clustering methods // Data Mining and Knowledge Discovery Handbook. 2005. P. 321–352.
12. *Davies D.L., Bouldin D.W.* A cluster separation measure // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1979. Vol. 1. No 2. P. 224–227.
13. *Dunn J.C.* A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters // Journal of Cybernetics. 1973. Vol. 3. No 3. P. 32–57.
14. *Rousseeuw P.J.* Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis // Journal of Computational and Applied Mathematics. 1987. Vol. 20. P. 53–65.
15. *Calinski T., Harabasz J.* A dendrite method for cluster analysis // Communications in Statistics. 1974. Vol. 3. No 1. P. 1–27.
16. *Halkidi M., Vazirgiannis M.* Clustering validity assessment: finding the optimal partitioning of a data set // ICDM 2001. Proceedings IEEE International Conference on Data Mining. 2001. P. 187–194.
17. *Saitta S., Raphael B., Smith I.* A bounded index for cluster validity // Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. 2007. Vol. 4571. P. 174–187.
18. *Arbelaitz O., Gurrutxaga I. et al.* An extensive comparative study of cluster validity indices // Pattern Recognition. 2013. Vol. 46. No 1. P. 243–256.
19. Weka 3: Data mining software in Java [Electronic resource] // Machine Learning Group at the University of Waikato [Official website]. URL: <http://www.cs.waikato.ac.nz/~ml/weka/> (accessed date: 12.12.2015).



**Никулин Антон Владимирович**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра оптико-электронных приборов и систем**  
**E-mail: a.v.nikulin@live.ru**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНЕШНЕБАЗНОЙ СХЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ В ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕ И ПЛАНЕ**

А.Н. Никулин

Научный руководитель – доцент А.Н. Тимофеев

### **Введение**

Определение фактического положения железнодорожных путей и оценка полученных результатов с помощью технических средств контроля являются важными аспектами совершенствования процесса установки путей в проектное положение как при строительстве, так и при ремонтах путей современными высокопроизводительными путевыми машинами [1, 2].

Так, например, задача увеличения интервалов обслуживания железнодорожного пути может быть решена за счет постановки пути в проектное положение с привязкой к абсолютной системе координат [2]. Требуется контролировать изменения пространственного положения железнодорожного пути в продольном профиле (выправка) в диапазоне  $\pm 360$  мм и в плане (рихтовка) от 2 до 7 м с погрешностью, не превышающей 1 мм.

Измерения должны осуществляться с использованием реперной сети, рабочие репера которой обычно установлены на опорах контактной сети. Известные способы решения этой задачи, основанные на применении стандартного геодезического оборудования (лазерные трекеры, тахеометры, теодолиты, приемники GPS/ГЛОНАСС), обладают низкой производительностью (до 3 км/ч). Предлагаемый же метод, использующий внешнебазовую систему технического зрения (СТЗ), при сохранении необходимой точности обеспечивает высокую производительность (до 10 км/ч). Он имеет высокую гибкость за счет выноса измерительной базы на контрольный элемент (КЭ) (внешняя база).

Целью работы является компенсирование недостатков новых и перспективных СТЗ для контроля положения железнодорожного пути в продольном профиле и плане, что в конечном итоге позволит улучшить процесс постановки пути в проектное положение.

Для достижения поставленной цели в рамках данного исследования необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ искажения изображения, формируемого с помощью контрольного элемента;
- исследовать влияния свойств отражательного контрольного элемента на погрешность СТЗ;
- исследовать факторы, наиболее сильно влияющие на погрешность СТЗ.

### **Принципы построения внешнебазной СТЗ**

Принцип работы внешнебазной СТЗ заключается в регистрации изображения контрольного элемента с помощью одного матричного фоточувствительного прибора (МФП), расположенного в задней фокальной плоскости объектива. При этом величины

продольного и поперечного смещений контрольного элемента определяются размером изображения базы в плоскости МФП.

Предлагаемая к рассмотрению схема (рис. 1) включает в себя базовый модуль 1, модуль обработки 2 и контрольные элементы (КЭ) (тест-объект). Базовый модуль состоит из МФП, телеобъектива (ОБ) и осветительного устройства (ОУ). С помощью телеобъектива на МФП строится изображение КЭ. При этом отношение  $B$  – размера базы к  $B'$  – размеру базы на МФП называется масштабом и используется для определения фактического положения пути. В состав системы может быть включено ОУ, увеличивающее отношение «сигнал/шум» и вероятность правильного обнаружения КЭ. Далее измерительная информация поступает в модуль обработки 2, состоящий из промышленного компьютера (ПК) и преобразователя напряжения (ПН). В ПК измерительная информация приводится к виду, удобному для оператора и далее поступает на пульт управления путевой машины.

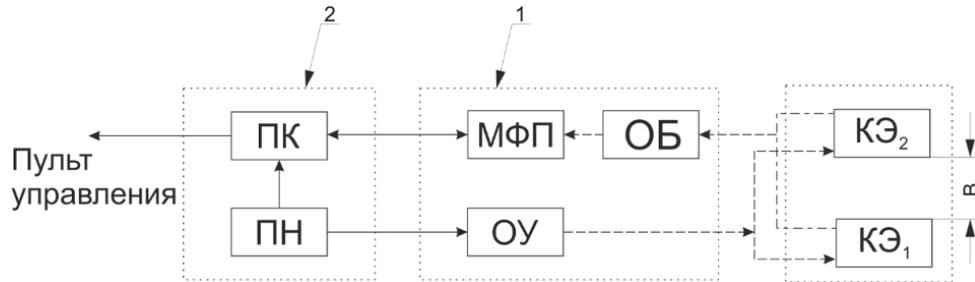


Рис. 1. Структура СТЗ

СТЗ работает следующим образом (рис. 2). В момент прохождения измерительной тележкой опоры контактной сети, на которой закреплен тест-объект, происходит включение подсветки с последующим захватыванием кадра. При этом скорость измерительной тележки должна составлять 10 км/ч. Изменение скорости движения возможно лишь после внесения измерений в программное обеспечение ПК. Видеокамера (ВК) содержит встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). После захвата кадра измерительная информация поступает в ПК модуля обработки.



Рис. 2. Принцип работы СТЗ

ПК вычисляет смещение пути относительно его проектного положения и далее эта информация поступает на пульт управления оператора. Так как в системе использована лишь одна телевизионная камера, то для определения дистанции до цели необходима внешняя база, то есть контрольные элементы должны быть смещены с оптической оси на величину  $B/2$ . От размера базы в основном зависит потенциальная точность, которая может быть достигнута в данной системе, ее размер ограничен лишь полем зрения объектива.

Определение координат  $Z$  и  $Y$  в этом случае происходит по следующим соотношениям:

$$Y = \frac{(y_1 + y_2) \cdot B}{2 \cdot B' \cdot p}, \quad Z = \frac{a' \cdot p \cdot B}{B'}, \quad (1)$$

где  $Y, Z$  – координаты реперной сети,  $B$  – размер базы,  $B'$  – размер базы на матрице,  $a'$  – рабочий отрезок объектива,  $p$  – линейный размер пикселя матрицы.

Захват кадров, осуществляемый ВК и подсвечивание тест-объекта, осуществляемое ОУ, происходят в импульсном режиме, что дает выигрыш в потреблении электроэнергии, а также позволяет экономить вычислительную мощность ПК. Скорость измерительной тележки достигает 10 км/ч, дистанция между опорами контактной сети составляет от 20 м на кривых и до 70 м на прямых участках. Понятно, что в таком случае период появления в кадре тест-объекта составляет 0,5 с, следовательно, необходимо обеспечивать работу подсветки в постоянном режиме.

### Расчет и анализ погрешностей внешнебазной СТЗ

Все погрешности СТЗ можно разделить на случайные и систематические. Если систематические составляющие могут быть скомпенсированы в результате введения некоторых поправок в алгоритм обработки изображения [3], то случайные – нет. Именно поэтому они являются качественной и количественной оценкой точности всей системы в целом.

К наиболее существенным погрешностям, возникающим во внешнебазных СТЗ, можно отнести следующие:

- погрешность, возникающая в результате влияния вертикального градиента температуры [4];
- погрешность, возникающая вследствие температурной деформации элементов;
- погрешность, вызванная шумами электронного тракта.

Одним из важнейших факторов, необходимых для учета является тепловое расширение элементов системы, которое может привести к изменениям фокусного расстояния, рабочего отрезка объектива и размера базы. Одним из таких параметров является рабочий отрезок объектива, изменение величины которого особенно сказывается на точности всей системы [5]. Особый интерес для анализа представляет погрешность, вызванная тепловым расширением КЭ.

$$\delta Y = \frac{a' \cdot B \cdot y_1' \cdot y_2'}{(a' \cdot y_2' - a' \cdot y_1')^2}, \quad \delta Z = \frac{a' \cdot B \cdot y_1'}{(a' \cdot y_2' - a' \cdot y_1')^2}. \quad (3)$$

Здесь  $y_1'$  и  $y_2'$  – координаты центров тяжести первого и второго элементов тест-объекта,  $B$  – размер базы, мм,  $a'$  – рабочий отрезок объектива, мм.

На рис. 3 представлены графики зависимостей (3).

Наиболее сильное влияние температурные деформации оказывают на погрешность определения вертикальных координат –  $\delta Y = 0,5$  мм, погрешность определения расстояния  $\delta Z = 0,2$  мм.

### Составляющая погрешности, вызванная шумами электронного тракта

Погрешность определения координат изображения точечного источника по алгоритму определения энергетического центра (центра тяжести) может быть определена со среднеквадратическим отклонением, которое зависит от разрядности АЦП и соотношения «сигнал/шум» (рис. 4).

Динамический диапазон работы матрицы можно принять равным отношению «сигнал/шум»  $\mu = 100$ , а разрядность АЦП, встроенного в матрицу,  $N = 10$ . Координаты точечного источника на матрице могут быть получены со среднеквадратическим

отклонением  $0,0112 \cdot p$ , где  $p$  – линейный размер пикселя, равный 4,4 мкм. Погрешность определения координат  $Y$  и  $Z$  может составлять:  $\delta y_N = 0,02$  мм и  $\delta z_N = 0,46$  мм.

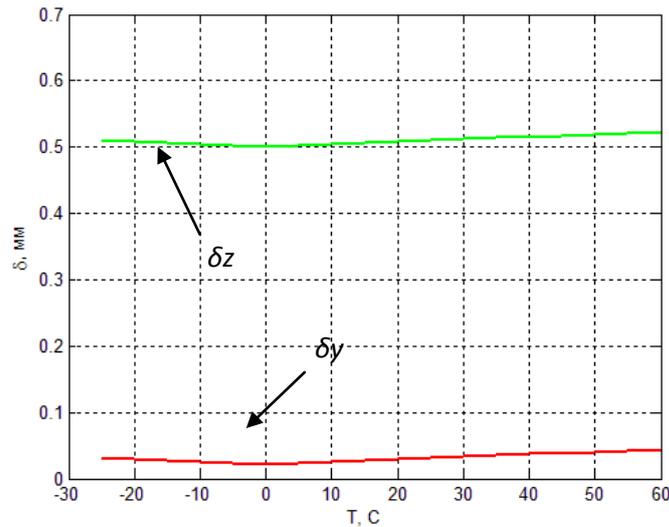


Рис. 3. Зависимость погрешности определения координат в продольном профиле и плане от температуры окружающей среды

### Погрешность, обусловленная воздействием вертикального градиента температуры воздушного тракта

Наибольшее воздействие на погрешность СТЗ оказывает вертикальный градиент температуры, приводящий в конечном счете к смещению по координате  $OY$ . Для рассматриваемых дистанций  $L$  градиент температуры можно определять с помощью выражений:

$$\delta Y = -\frac{n-1}{T} \text{grad}_y T \frac{Z^2}{2}, \quad \delta Z = -\frac{n-1}{T} \text{grad}_y T \cdot Z, \quad (4)$$

где  $n$  – показатель преломления воздуха для рабочей длины волны;  $T$  – температура окружающей среды, К;  $\text{grad}_y T$  – вертикальный градиент температуры, 0,5 К/мм.

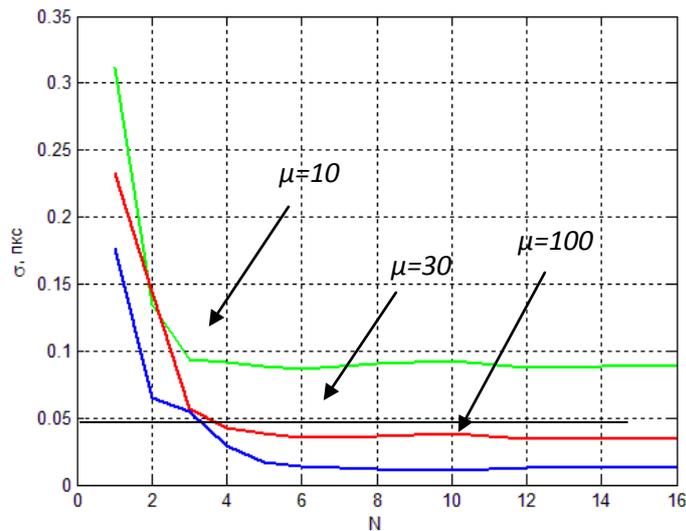


Рис. 4. Значения среднеквадратического отклонения определения координат изображения на МФП в зависимости от  $\mu$  – отношения «сигнал/шум» – и разрядности АЦП –  $N$

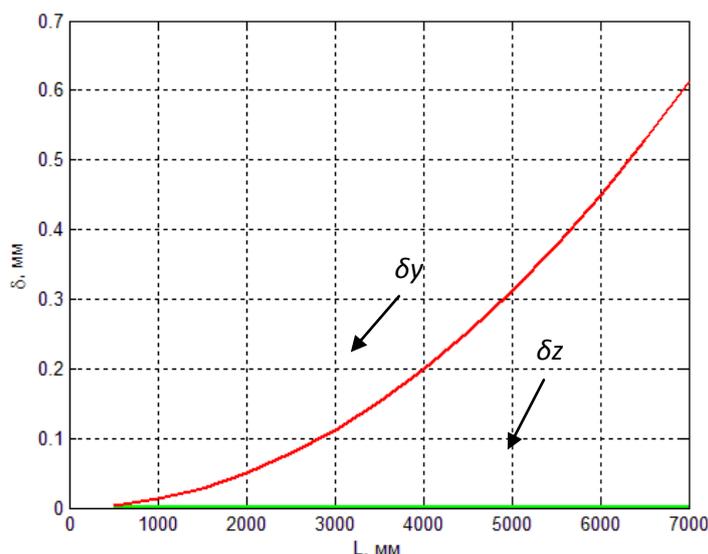


Рис. 5. Зависимости погрешностей  $\delta y$  и  $\delta z$  при изменении  $Z$  и действии нормального  $grad_y T = 0,5 \text{ K/m}$

Из хода графиков рис. 5 видно, что наибольшее влияние вертикальный градиент температуры оказывает на погрешность измерения координаты  $Y$ . На рабочей дистанции  $L_0 = 7000 \text{ мм}$  погрешность  $\delta y_G$  при  $grad_y T = -0,5 \text{ K/мм}$  (типичное значение дневного градиента температуры в приземном слое воздуха может достигать величины  $0,6 \text{ мм}$ ). Погрешность  $\delta z_G$  во всем диапазоне перемещений объекта по  $Z$  и  $Y$  можно считать несущественной.

### Заключение

Исследовались условия, влияющие на погрешность работы системы и прецизионные алгоритмы обработки изображения, позволяющие частично их компенсировать. Результаты исследований на математической модели подтверждены экспериментально на собранном лабораторном стенде.

В дальнейшем планируется провести более подробный анализ погрешностей СТЗ, в частности детальнее исследовать влияние скорости движения путевой машины, запыленности воздушного тракта, а также влияние условий недостаточной освещенности на погрешность измерения координат в продольном профиле и плане.

### Публикации

1. Никулин А.В., Тимофеев А.Н., Некрылов И.С. Исследование внешнебазной системы для контроля пространственного положения железнодорожного пути // Труды XI Международной конференции «Прикладная оптика – 2014», 21–24 октября 2014 г. Т.1. СПб., 2014. С. 125–127.
2. Nikulin A.V., Timofeev A.N., Nekrylov I.S. The definition of the railway position control error in the plane and profile using the optical-electronic system // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95253N.
3. Nikulin A.V., Nekrylov I.S., Timofeev A.N., Yarishev S.N. The research of the nonexcluded air control error component using the optical-electronic system based on the dispersion method // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95253M.

### Литература

1. Arakantsev K.G., Zhukov D.V., Konyakhin I.A. Methods of data processing and estimation of measuring accuracy in stereoscopic system for the control of objects displacements // Sixth

International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation. 2010. Vol. 7544. P. 75446E.

2. Коротаев В.В., Пантюшин А.В., Тимофеев А.Н. Оптико-электронные системы контроля положения реперных меток // Путь и путевое хозяйство: Научно-популярный, производственно-технический журнал. 2012. № 11. С. 34–37.

3. Pantyushin A.V., Korotaev V.V. Control measurement system for railway track position // Proceedings of SPIE. 2012. Vol. 8486. P. 84861B.

4. Arakantsev K.G., Konyakhin I.A., Timofeev A.N. Inner-base optoelectronic system for the control of linear displacements // Key Engineering Materials. 2010. Vol. 437. P. 237–241.

5. Pantyushin A.V., Serikova M.G., Timofeev A.N. Optoelectronic system for monitoring displacements, based on LED fiducial marks // Journal of Optical Technology. 2009. Vol. 76. No 8. P. 507–510.



**Погорелая Дарья Андреевна**  
Факультет инфокоммуникационных технологий  
Кафедра светодиодной фотоники  
E-mail: pdaria@mail.ru

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА**

Д.А. Погорелая

Научный руководитель – доцент В.Е. Стригалева

Одним из наиболее перспективных и давно исследуемых волоконно-оптических интерферометрических датчиков является волоконно-оптический гироскоп (ВОГ). Принцип его действия основан на эффекте Саньяка – появлении фазового сдвига встречных световых волн во вращающемся кольцевом интерферометре. Исследования методов создания высокоточных ВОГ на сегодняшний день являются актуальными благодаря ряду их преимуществ по сравнению традиционными механическими и лазерными гироскопами.

ВОГ – интерферометрический датчик. Чувствительность интерференционного измерения во многом зависит от положения рабочей точки интерферометра. Одним из самых распространенных методов ее поддержания является применение электрооптического фазового модулятора. Самые распространенные из них создаются на основе кристалла ниобата лития ввиду высокой линейности электрооптического эффекта и высокого быстродействия. Однако такие фазовые модуляторы имеют и свои недостатки. Наиболее существенный из них выражается в паразитной амплитудной модуляции (ПАМ) светового луча, проходящего по волноводам кристалла. В результате световой луч получает не только обусловленный модуляцией фазовый сдвиг, но и изменение его интенсивности [1]. Чем больше амплитуда ПАМ, тем сложнее определить фазовый сдвиг светового луча [2]. Следствием действия ПАМ является снижение точностных характеристик волоконно-оптических интерферометрических датчиков. Следовательно, для повышения точности измерений ВОГ необходимо бороться с ПАМ электрооптического фазового модулятора.

Цели данной работы – исследование ПАМ фазового модулятора и ее влияния на сигнал ВОГ, а также разработка методов компенсации ПАМ в алгоритме модуляции/демодуляции сигнала ВОГ.

В основе оптической схемы ВОГ лежит интерферометр Саньяка. Интенсивность его выходного сигнала изменяется по косинусу в зависимости от вызванной вращением разности фаз  $\Delta\varphi_r$  [3] и разности фаз, вносимой модуляцией  $\Delta\varphi_m$  :

$$I(\Delta\varphi_r) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\Delta\varphi_m + \Delta\varphi_r), \quad (1)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  – интенсивности интерферирующих волн [4].

Величина ПАМ оценивается коэффициентом, который рассчитывается по формуле:

$$k_{ПАМ} = \Delta I / I_{cp},$$

где:  $\Delta I$  – размах колебаний интерференционного сигнала, вызванный ПАМ,  $I_{cp}$  – среднее значение интенсивности сигнала без модуляции.

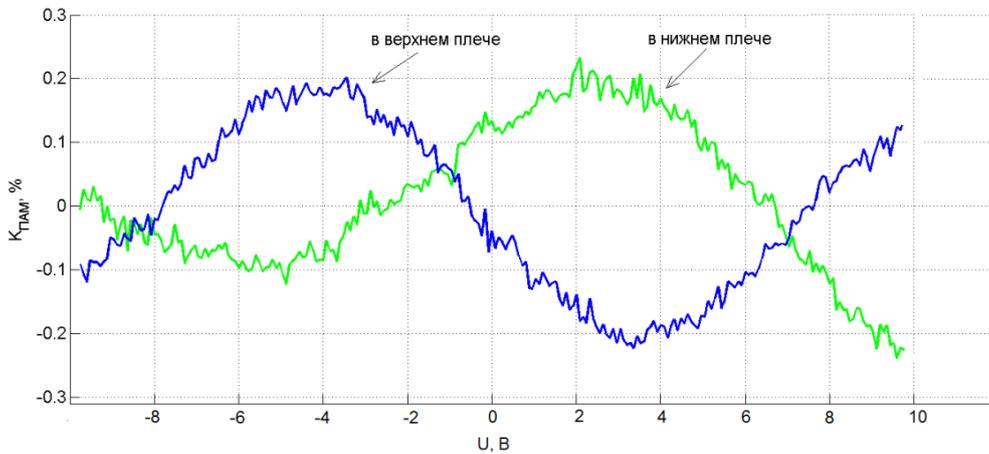


Рис. 1. Зависимости коэффициентов ПАМ, измеренных в верхнем и нижнем плечах модулятора, от модулирующего напряжения

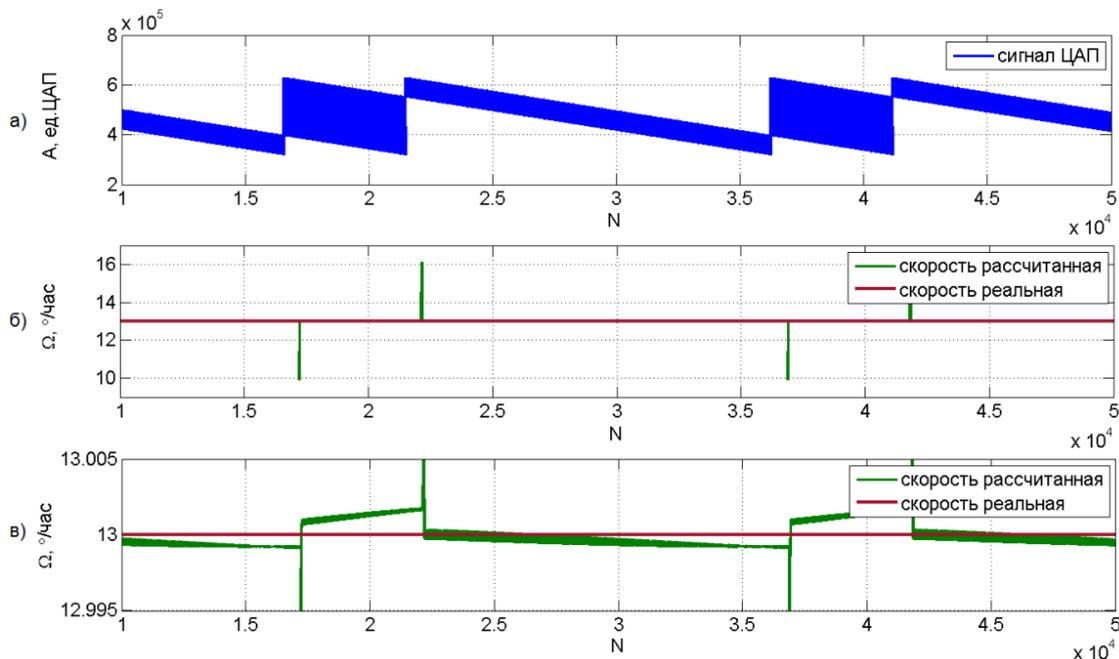


Рис. 2. Влияние ПАМ на выходной сигнал ВОГ: а – сигнал модуляции на выходе цифро-аналогового преобразователя (ЦАП); б – выходной сигнал скорости вращения ВОГ; в – выходной сигнал скорости вращения в крупном масштабе

Для измерения ПАМ фазового модулятора к его электродам прикладывалось постепенно нарастающее напряжение и снимался выходной сигнал каждого из двух плеч модулятора. По результатам измерений получили зависимости коэффициента ПАМ от напряжения для верхнего  $k_{ПАМ}^B(U)$  и нижнего  $k_{ПАМ}^H(U)$  плечей модулятора (рис. 1).

Измеренные зависимости были внесены в программную модель обработки сигнала ВОГ, созданную в Matlab Simulink. Результаты моделирования приведены на рис. 2.

Из графика на рис. 2 видно, что в моменты перехода с «узкой» пины на «широкую», и наоборот, в выходном сигнале скорости вращения наблюдаются выбросы, обусловленные большой разницей амплитудных коэффициентов в моменты сбросов. Более того, эти моменты используются второй обратной связью для подстройки масштабного коэффициента модулятора. Ошибка подстройки масштабного коэффициента также влечет за собой ошибку в выходном сигнале ВОГ. Из результатов моделирования стало ясно, что величина ошибки сигнала гироскопа зависит от угла наклона зависимостей  $k_{ПАМ}^B(U)$  и  $k_{ПАМ}^H(U)$ . Для простоты дальнейшего изложения введем понятие амплитудных коэффициентов  $k_B(U)$  и  $k_H(U)$ :

$$\begin{aligned} k_B(U) &= 1 + k_{ПАМ}^B(U), \\ k_H(U) &= 1 + k_{ПАМ}^H(U). \end{aligned}$$

Рассмотрим алгоритмический способ компенсации влияния ПАМ на сигнал ВОГ. Предлагается корректировать сигнал фотоприемника, умножая его на некоторый поправочный коэффициент. Чтобы определить его величину, рассмотрим сигнал на выходе фотоприемника в случае, когда обратная связь полностью компенсирует скорость вращения, и результирующий фазовый сдвиг  $\Delta\varphi_m + \Delta\varphi_r$  равен  $\pi/2$ , а  $\cos(\pi/2) = 0$ . Тогда выражение (1) приобретает вид:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{I_0}{2} * [k_B(U_1)k_H(U_2) + k_H(U_1)k_B(U_2)], \quad (2)$$

где  $I_0$  – интенсивность оптического излучения интерферирующих волн;  $U_1$  и  $U_2$  – напряжения на нечетном и четном шаге сигнала модуляции соответственно.

Согласно выражению (2) скорректированный сигнал фотоприемника  $I'$  предлагается считать по формуле:

$$I' = I * 2 * [k_B(U_1)k_H(U_2) + k_H(U_1)k_B(U_2)]^{-1}.$$

В программную модель обработки сигнала ВОГ был внесен предложенный алгоритм компенсации ПАМ, что позволило уменьшить среднеквадратическое отклонение (СКО) выходного сигнала угловой скорости ВОГ, а также дрейф сигнала ВОГ.

Приведенный выше способ алгоритмической компенсации ПАМ снижает погрешность определения скорости вращения ВОГ. Однако для его применения необходимо знать зависимость коэффициента ПАМ от модулирующего напряжения отдельно в каждом плече модулятора. Для этого необходимо измерять  $k_{ПАМ}^B(U)$  и  $k_{ПАМ}^H(U)$  заранее до сборки оптической схемы ВОГ. Удобнее измерять суммарную зависимость  $k_{ПАМ}(U)$  в собранном гироскопе и по ней компенсировать влияние ПАМ.

Компенсация при этом будет проводиться исходя из предположения, что  $k_B(U_1)k_H(U_2) = k_H(U_1)k_B(U_2)$ . Введем понятие амплитудного коэффициента  $k(U) = 1 + k_{ПАМ}(U)$ . Тогда интенсивности первого и второго интерферирующих лучей имеют вид:

$$I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} \sqrt{k(U_1)} \sqrt{k(U_2)}.$$

Аналогично выражению (2) сигнал на выходе фотоприемника при условии, что обратная связь полностью компенсирует угловую скорость, определяется выражением:

$$I = I_1 + I_2 = \frac{I_0}{2} [\sqrt{k(U_1)}\sqrt{k(U_2)} + \sqrt{k(U_1)}\sqrt{k(U_2)}] = I_0 \sqrt{k(U_1)}\sqrt{k(U_2)}. \quad (3)$$

Согласно (3) скорректированный сигнал фотоприемника  $I'$  предлагается считать по формуле:

$$I' = I * [\sqrt{k(U_1)k(U_2)}]^{-1}.$$

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы. Предложенный алгоритм компенсации ПАМ по суммарной зависимости:

- обеспечивает уменьшение выбросов в выходном сигнале угловой скорости в момент сброса пилы сигнала модуляции;
- снижает СКО выходного сигнала;
- снижает дрейф выходного сигнала в условиях усреднения особенно для больших угловых скоростей.

Результаты исследований сведены в Таблицу, где приведены значения дрейфа сигнала угловой скорости при усреднении по 10 с для разных алгоритмов компенсации ПАМ, для алгоритма без компенсации, для случаев с работающей второй обратной связью ( $k_{2oc} = 0,01$ ) и нулевой ( $k_{2oc} = 0$ ). Результаты приведены с точностью до  $10^{-9}$ , обусловленной расчетной ошибкой Matlab.

Таблица

Дрейф сигнала угловой скорости  $\delta$ , °/час при усреднении по 10 с

| Угловая скорость | Дрейф сигнала угловой скорости $\delta$ , °/час |                  |                |                         |
|------------------|-------------------------------------------------|------------------|----------------|-------------------------|
|                  | $k_{2oc} = 0$                                   | $k_{2oc} = 0,01$ |                |                         |
|                  | Без компенсации                                 | Без компенсации  | С компенсацией | С компенсацией по сумме |
| 1 °/час          | 1,2e-5                                          | 3,3e-5           | 0              | -6,0e-7                 |
| 13 °/час         | 1,8e-5                                          | 2,0e-4           | 0              | -2,8e-6                 |
| 130 °/час        | 7,3e-5                                          | 2,2e-3           | 0              | -2,2e-5                 |
| 2000 °/час       | 1,0e-3                                          | 3,3e-2           | 0              | -3,0e-3                 |
| 18000 °/час      | 9,5e-3                                          | 1,9e-1           | 0              | 2,2e-3                  |

Согласно приведенной таблице, ПАМ вносит основной вклад в дрейф сигнала угловой скорости при работающей второй обратной связи, которая ошибочно подстраивает масштабный коэффициент модулятора, тем самым увеличивая погрешность вычислений. Однако подстройка масштабного коэффициента в ВОГ необходима, поэтому дальнейшие исследования проводились при работающей второй обратной связи с довольно малым коэффициентом  $k_{2oc} = 0,01$ . Из данных таблицы видно, что дрейф сигнала при  $k_{2oc} = 0,01$  особенно существенен при больших скоростях: он увеличивается на два порядка по сравнению со случаем, когда  $k_{2oc} = 0$ .

В условиях моделирования алгоритм компенсации по зависимостям  $k_{ПАМ}^B(U)$  и  $k_{ПАМ}^H(U)$ , измеренным отдельно соответственно в верхнем и нижнем плечах модулятора, позволяет скомпенсировать ошибку, обусловленную ПАМ, полностью с точностью до расчетной ошибки Matlab ( $10^{-9}$ ). Алгоритм компенсации ПАМ по сумме не компенсирует ошибку, обусловленную ПАМ, полностью, но способствует снижению дрейфа сигнала на несколько порядков.

Измерение суммарной зависимости  $k_{ПАМ}(U)$  в собранном приборе представляется более простой задачей, чем измерение  $k_{ПАМ}^B(U)$  отдельно в разных плечах перед сборкой оптической схемы ВОГ. Поэтому предлагается использовать алгоритм компенсации по суммарной зависимости  $k_{ПАМ}(U)$ .

### Заключение

Предложенные в работе методы компенсации влияния паразитной амплитудной модуляции на сигнал волоконно-оптического гироскопа позволяют уменьшить среднеквадратичное отклонение и дрейф выходного сигнала ВОГ. Работоспособность методов подтверждена моделированием в Matlab, причем при создании модели учитывались зависимости ПАМ от модулирующего напряжения, измеренные в реальном приборе. В дальнейшем планируется внедрение разработанного алгоритма повышения точности ВОГ в программное обеспечение реального прибора.

Результаты проекта могут быть использованы в волоконно-оптических интерферометрических датчиках, в оптической схеме которых необходим электрооптический фазовый модулятор. Например, в волоконно-оптических датчиках давления, температуры, напряженности электрического поля и других. В особенности результаты проекта применимы к волоконно-оптическому гироскопу.

Волоконно-оптический гироскоп может быть использован в навигационных системах для выработки навигационных параметров курса, направления и для мгновенного вычисления положения объекта в пространстве, например в системах стабилизации и наведения корабля.

### Публикации

1. *Мирошниченко Г.П., Дейнека И.Г., Погорелая Д.А., Шуклин Ф.А., Смолвик М.А.* Способ измерения фазы интерферометрического сигнала // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. № 6 (88). С. 61–67.
2. *Дейнека И.Г., Мехреньгин М.В., Смолвик Н.А., Погорелая Д.А., Никитенко А.Н., Волковский С.А.* Цифровые методы стабилизации фазового отклика волоконно-оптического гироскопа в условиях изменяющейся температуры // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2013». СПб., 2013. С. 82–83.
3. *Мехреньгин М.В., Киреев А.Ю., Погорелая Д.А., Плотников М.Ю., Шуклин Ф.А.* Компенсация температурной зависимости выходного сигнала в схеме гомодинного приема сигнала фазовых волоконно-оптических датчиков // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. СПб., 2015. № 2 (15). С. 227–233.

### Литература

1. *Ishibashi C., Ye J., Hall J.L.* Analysis/reduction of residual amplitude modulation in phase/frequency modulation by an EOM // Technical Digest. Summaries of papers presented at the Quantum Electronics and Laser Science Conference. 2002. P. 91–92.
2. *Sathian J., Jaatinen E.* Reducing residual amplitude modulation in electro-optic phase modulators by erasing photorefractive scatter // Optics Express. 2013. Vol. 21. No 10. P. 12309–12317.
3. *Lefevre H.C.* Fiber optic gyroscope. London, 1992. – 314 p.
4. *Алейник А.С.* Исследование и повышение точностных параметров волоконно-оптических гироскопов: дис. канд. техн. наук. НИУ ИТМО. СПб., 2012. – 131 с.



**Романенко Алексей Николаевич**  
**Факультет информационных технологий и программирования**  
**Кафедра речевых информационных систем**  
**e-mail: AlexeySk8@gmail.com**

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НАСТРАИВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕКОДЕРА В ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ**

А.Н. Романенко

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук В.С. Менделев  
 (ООО «Центр речевых технологий»)

Одним из важнейших аспектов распознавания речи, влияющих на качество и скорость распознавания, является задача оптимизации свободных параметров декодера. Существующие методы решения данной задачи можно подразделить на две группы:

- эмпирические методы (на основании экспертных оценок специалиста);
- алгоритмические методы (сеточный, оптимизация с использованием градиента Эль Ханнани и Хейна [1], эволюционные стратегии Какура и Короши [2]).

Оба представленных метода обладают рядом таких недостатков, как зависимость функции градиента от количества оптимизируемых параметров, низкая скорость сходимости и необходимость привлечения человеческих ресурсов. Однако метод рандомизированной стохастической аппроксимации [3] лишен данных недостатков. Кроме того, он обладает важными преимуществами, а именно: простотой реализации, сравнимой с градиентными методами, скоростью сходимости и необходимостью всего двух измерений целевой функции для вычисления градиента на каждой итерации.

### **Математическая модель решаемой задачи**

Пусть  $\theta$  – вектор оптимизируемых свободных параметров декодера. Тогда  $\hat{\theta}_k$  – это приближение вектора на  $k$ -ой итерации. Обозначим  $a_k$  – как последовательность положительных коэффициентов, необходимых для вычисления градиента  $\hat{g}_k(\cdot)$  на  $k$ -ой итерации. Тогда алгоритм можно записать в следующей форме:

$$\hat{\theta}_{k+1} = \hat{\theta}_k - a_k \hat{g}_k(\hat{\theta}_k).$$

Введем также  $\Delta_k$  – вектор взаимно независимых переменных с нулевым средним, и  $c_k$  – последовательность положительных коэффициентов, необходимых для получения измерений целевой функции на  $k$ -ой итерации. Для получения вектора  $\Delta_k$  будем использовать предложенное в [3] распределение Бернулли. Тогда формулы для вычисления двух новых векторов свободных параметров декодера будут иметь вид:

$$\hat{\theta}_k^+ = \hat{\theta}_k + c_k \Delta_k,$$

$$\hat{\theta}_k^- = \hat{\theta}_k - c_k \Delta_k.$$

В качестве целевой определим функцию потерь  $L(\cdot)$  – как разницу между эталонной (100 %) и фактической точностью распознавания. Следовательно, формулу вычисления градиента можно записать как:

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

$$\hat{g}_k(\hat{\theta}_k) = \begin{bmatrix} \frac{L(\hat{\theta}_k^+ - \hat{\theta}_k^-)}{2c_k \Delta_{k1}} \\ \vdots \\ \frac{L(\hat{\theta}_k^+ - \hat{\theta}_k^-)}{2c_k \Delta_{kp}} \end{bmatrix},$$

где  $p$  – это количество оптимизируемых параметров.

Для получения последовательностей положительных коэффициентов  $a_k$  и  $c_k$  мы используем следующие стандартные соотношения:

$$a_k = \frac{a}{(A + k + 1)^\alpha},$$

$$c_k = \frac{c}{(k + 1)^\gamma}.$$

### Эксперимент

Были проведены эксперименты на двух наборах данных: базе спонтанной речи и базе подготовленного диктора. В качестве оптимизируемых параметров были выбраны: `wd_add`, `lm_scale`, `thr_common`, `max_hyp_num`. Целевыми значениями были  $Acc$  – точность распознавания и  $RTF$  – (real time factor) показатель скорости распознавания. Результаты приведены в Табл. 1.

Таблица 1  
Результаты экспериментов

| Имя тестового набора данных | Начальные показатели |       | Выходные показатели |       | Количество запусков декодера |
|-----------------------------|----------------------|-------|---------------------|-------|------------------------------|
|                             | $Acc$                | $RTF$ | $Acc$               | $RTF$ |                              |
| A                           | 91,021               | 0,115 | 91,972              | 1,870 | 350                          |
| A                           |                      |       | 92,657              | 1,369 |                              |
| A                           |                      |       | 92,224              | 2,034 |                              |
| B                           | 38,665               | 3,294 | 42,171              | 1,123 | 160                          |
| B                           |                      |       | 42,717              | 0,658 |                              |
| B                           |                      |       | 42,658              | 0,815 |                              |

По результатам экспериментов были сделаны следующие выводы:

- низкая скорость сходимости реализованного алгоритма;
- проблема локальных минимумов;
- целевая функция не учитывает фактор скорости распознавания речи.

Для повышения скорости сходимости была проведена модификация алгоритма, частично решающая проблему локальных минимумов. Добавлена штрафная функция, учитывающая скорость распознавания. Результаты второй серии экспериментов приведены в Табл. 2.

Как видно из результатов экспериментов:

- удалось повысить скорость сходимости алгоритма;
- был учтен фактор скорости распознавания;
- частично решена проблема локальных минимумов.

### Выводы

Разработанная методика позволяет автоматически оптимизировать свободные параметры декодера, учитывая качество и скорость распознавания. В дальнейшем будет

рассмотрена возможность добавления дополнительных параметров и пути повышения скорости сходимости алгоритма.

Таблица 2

Результаты экспериментов

| Имя тестового набора данных | Целевой показатель скорости <i>RTF</i> | Начальные показатели |            | Выходные показатели |            | Количество итераций алгоритма | Количество запусков декодера |
|-----------------------------|----------------------------------------|----------------------|------------|---------------------|------------|-------------------------------|------------------------------|
|                             |                                        | <i>Acc</i>           | <i>RTF</i> | <i>Acc</i>          | <i>RTF</i> |                               |                              |
| A                           | 0,1                                    | 91,021               | 0,115      | 92,505              | 0,090      | 22                            | 42                           |
| A                           | 0,3                                    |                      |            | 92,581              | 0,154      | 23                            | 43                           |
| A                           | 0,5                                    |                      |            | 92,619              | 0,321      | 25                            | 45                           |
| B                           | 0,1                                    | 38,665               | 3,294      | 42,201              | 0,092      | 22                            | 42                           |
| B                           | 0,2                                    |                      |            | 42,597              | 0,165      | 21                            | 41                           |
| B                           | 0,3                                    |                      |            | 42,745              | 0,281      | 22                            | 42                           |

### Литература

1. *El Hannani A., Hain T.* Automatic optimization of speech decoder parameters // IEEE Signal Processing Letters. 2010. Vol. 17. No. 1. С. 95–98.
2. *Kacur J., Korosi J.* An accuracy optimization of a dialog ASR system utilizing evolutionary strategies // ISPA 2007. 5th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis. 2007. P. 180–184.
3. *Stein D., Schwenninger J., Stadtschnitzer M.* Simultaneous perturbation stochastic approximation for automatic speech recognition // Fraunhofer IAIS. 2013. P. 622–626.



**Рубинштейн Ирина Васильевна**  
 Факультет компьютерных технологий и управления  
 Кафедра мехатроники  
 E-mail: rubinshteiniv@gmail.com

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ OPENSIM

И.В. Рубинштейн

Научный руководитель – профессор В.М. Мусалимов

Цель работы – создание модели движения человека, объединяющей систему захвата движения, устройство для получения данных о давлении и распределении нагрузок на стопу при ходьбе и программное обеспечение.

Данная цель достигается посредством решения нескольких задач.

1. Выбор системы захвата движения.
2. Получение данных при помощи систем захвата движения.
3. Выбор устройства для получения данных о давлении и распределении нагрузок на стопу при ходьбе.
4. Получение данных о давлении и распределении нагрузок на стопу при ходьбе.

5. Обработка полученных данных в программном пакете OpenSim.

6. Создание модели движения человека в OpenSim.

Для выбора системы захвата движения был проведен сравнительный анализ аппаратно-программного комплекса захвата движения Vicon и технологии захвата движения Microsoft Kinect for Windows, в результате которого были выявлены плюсы и минусы каждой из систем.

1. Аппаратно-программный комплекс захвата движения Vicon имеет 53 оптически-пассивных маркера, которые крепятся на специальный костюм, что позволяет строить точный макет скелета и верно захватывать движения человека. Однако это оптически-пассивные маркеры, и их перемещения захватывают одновременно 10 синхронизированных инфракрасных камер, расположенных по периметру квадрата  $5 \times 5 \text{ м}^2$ . Площадь, используемая при реальной записи захвата движения, составляет менее  $3 \times 3 \text{ м}^2$ , а макет скелета иногда имеет ошибки в расположении маркеров, так как они «меняются местами». Программный пакет Vicon Blade позволяет восстановить движение каждого маркера, если они выставлены по стандартному скелету Vicon.

2. Технологии захвата движения Microsoft Kinect for Windows. У системы отсутствуют маркеры, которые крепятся на человека, камеры автоматически распознают человека и создают на базе стандартных скелетов скелет данного человека. В Kinect первой версии скелет строится по 20 точкам, во второй версии он имеет уже 25 точек. Рабочая зона Kinect составляет до 8 м, но после 4 м устройство начинает терять данные [1].

В результате сравнительного анализа было принято решение в данной работе использовать аппаратно-программный комплекс захвата движения Vicon, так как он создает более точную модель.

При выборе устройства для получения данных о давлении и распределении нагрузок на стопу при ходьбе были рассмотрены педографическая платформа Emed и сканеры iQube и Pedcad 2D (работа со сканерами iQube и Pedcad 2D проводилась на Санкт-Петербургской фабрике ортопедической обуви). Результаты следующие.

- Педографическая платформа Emed дает возможность записывать в статических и динамических условиях движения человека по платформе. В итоге имеем данные распределения подошвенного давления стопы в каждый период шага, а также графики распределения силы подошвенного давления стопы на платформу, что дает нам понятие о том, как ходит человек и какие у него ортопедические заболевания. Графики можно использовать для анализа и загрузки при моделировании движения [2].

- Сканер iQube позволяет проводить сканирование стопы и делать ее фотографию, следовательно, возможно оцифровывать не только изображение стопы человека, но и ее слепок. Сканер дает только статические результаты, а информация о распределении подошвенного давления стопы отсутствует [3].

- Сканер Pedcad 2D дает возможность производить сканирование стопы и записывать в статических условиях информацию о распределении ее подошвенного давления [4].

В результате сравнительного анализа рассмотренных устройств была выбрана педографическая платформа Emed, так как это единственное средство, которое позволяет получать данные в динамических условиях, что необходимо для создания модели.

Далее был рассмотрен программный пакет OpenSim, в котором планируется создание модели. В нем свой макет скелета, отличный от имеющегося стандартного в программном пакете Vicon Blade [5]. Были проанализированы существующие модели движения нижних конечностей, созданные в данной программе, на наличие особенностей их скелетов и получены необходимые данные для понимания, как расположить маркеры при захвате движения нижних конечностей с использованием аппаратно-программного комплекса захвата движения Vicon [6]. На рис. 1 представлены позиции маркеров для захвата модели с последующей возможностью загрузки ее в программный пакет OpenSim.

Затем был произведен захват движения человека, получены координаты перемещения каждого из маркеров во время движения.



Рис. 1. Позиции маркеров для создания скелета в OpenSim

Так как маркеры были расположены не в соответствии со стандартным скелетом, имеющимся в программном пакете Vicon Blade, необходимо было их проверить на наличие «потери» и восстановить верное движение каждого. Полученные данные были проанализированы при помощи программного пакета MatLab, который дал возможность создать модель скелета нижних конечностей для определения положения каждого маркера. На рис. 2 представлено облако точек, относительно которого можно сравнить расположение маркеров при захвате движения (рис. 1) и полученные данные.

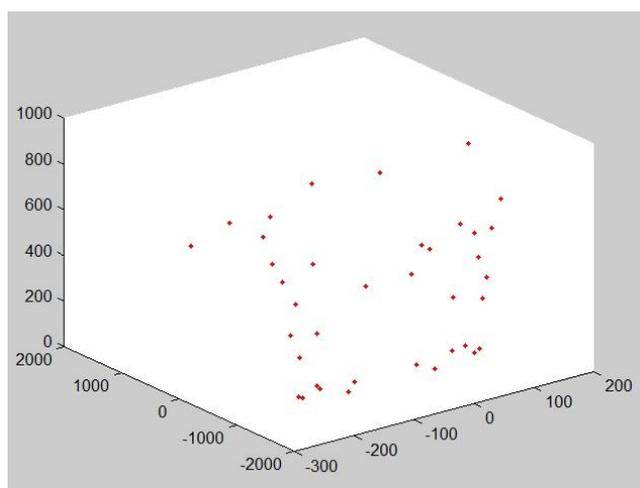


Рис. 2. Расположение маркеров в MatLab

После подтверждения верного расположения маркеров была создана модель движения нижних конечностей в программном пакете OpenSim с использованием полученных данных (рис. 3).

### Заключение

В ходе выполнения данной работы предложен вариант создания модели движения человека в программном пакете OpenSim с использованием данных, полученных при помощи аппаратно-программного комплекса захвата движения Vicon и педографической платформы Emed, которая позволила найти информацию о движении нижних конечностей человека и распределении силы подошвенного давления стопы. Используя данную модель, можно проанализировать движение нижних конечностей человека в каждый момент времени.

Представленный проект может быть использован в медицинских целях для анализа походки пациента при отсутствии его в кабинете врача, что позволит проводить удаленные

консультации и ставить верный диагноз. Модель также помогает создавать более верные средства реабилитации для каждого конкретного пациента.

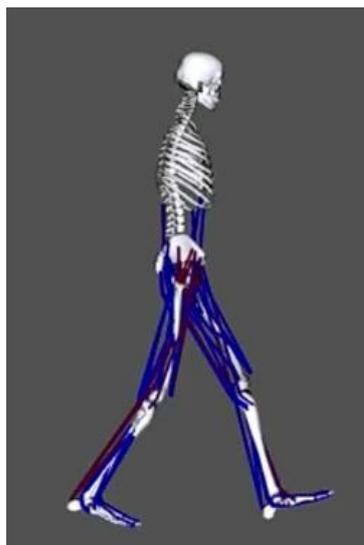


Рис. 3. Модель в OpenSim

### Публикации

1. Rubinstein I.V., Musalimov V.M., Lavrov A.V., Chachaeva A.V., Krivtsova S.I., Khlebushev L.S., Smolin A.A. Hardware capturing analysis and synthesis of human gait // Proceedings of the 14th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» and «Doctoral School of Energy and Geotechnology». 2014. P. 268–271.
2. Рубинштейн И.В., Кривцова С.И. Математический анализ данных по захвату движения нижних конечностей человека // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2014. С. 372–374.
3. Rubinstein I.V., Krivtsova S.I. The usage of Vicon data for motion modeling via OpenSim // Closing Conference of the Project «Doctoral School Of Energy and Geotechnology II». 2015. P. 178.
4. Рубинштейн И.В., Кривцова С.И. The usage of Vicon data for motion modeling via OpenSim [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1790/1790.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).
5. Рубинштейн И.В., Кривцова С.И. Использование данных Vicon для моделирования движения в OpenSim // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2017/2017.pdf> (дата обращения: 15.10.2015).

### Литература

1. Rubinstein I.V., Musalimov V.M., et al. Hardware capturing analysis and synthesis of human gait // Proceedings of the 14th International Symposium «Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering» and «Doctoral School of Energy and Geotechnology». 2014. P. 268–271.
2. Педографическая платформа Emed [Электронный ресурс] // Novel [Official website]. URL: [www.novel.de/novelcontent/emed](http://www.novel.de/novelcontent/emed) (accessed date: 15.10.2015).
3. Сканеры iQube [Электронный ресурс] // Delcam [Официальный сайт]. URL: <http://delcam-med.ru/content/iqube> (дата обращения: 15.10.2015). Pedcad 2D [Electronic resource] // Pedcad: foot technology [Official website]. URL: [www.pedcad.de/technisches-equipment](http://www.pedcad.de/technisches-equipment) (accessed date: 15.10.2015).

4. Delp S.L., Anderson F.C. et al. OpenSim: Open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. 2007. Vol. 54. No 11. P. 1940–1950.
5. OpenSim Community [Electronic resource]. URL: <http://opensim.stanford.edu> (accessed date: 15.10.2015).



Рузанкина Юлия Сергеевна  
Факультет лазерных и световых технологий  
Кафедра лазерных технологий и лазерной техники  
E-mail: ruzankinajulia@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛА ЗА СЧЕТ ЛАЗЕРНОГО ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ СТРУКТУРЫ

Ю.С. Рузанкина

Научный руководитель – профессор В.П. Вейко

Цели работы – повышение коррозионной стойкости стали и титана путем формирования на их поверхности защитной оксидной пленки лазерным излучением ближнего ИК-диапазона.

Процессы лазерного окисления металлов в настоящее время известны и активно применяются, в частности для повышения их коррозионной стойкости. В настоящее время существует множество различных способов, позволяющих изменить поверхностные свойства металлов для увеличения коррозионной стойкости, в том числе и с помощью лазерной обработки [1–5].

В ходе исследований были определены оптимальные режимы лазерной обработки поверхностей двух материалов, а именно Тi и Ст20. В данной работе применяется волоконный иттербиевый лазер с длиной волны 1064 нм, что позволяет эффективно обрабатывать большинство металлов. Общий вид лазерной установки представлен на рис. 1.

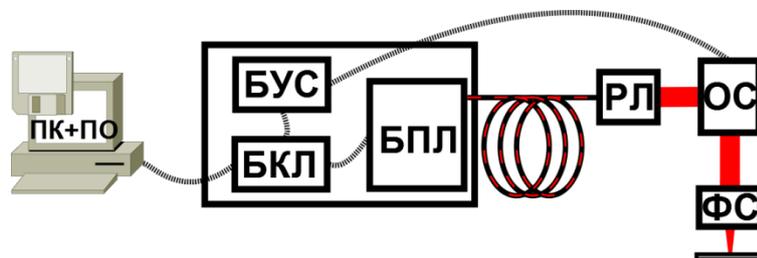


Рис. 1. Схема лазерной установки: ПК – персональный компьютер, ПО – программное обеспечение, БУС – блок управления сканаторами, РЛ – расширитель луча, ОС – отклоняющая система, БКЛ – блок контроля лазера, БПЛ – блок питания лазера, ФС – фокусирующая система

Повышение коррозионной стойкости Ст20 можно осуществить при формировании на ее поверхности оксидных пленок или при снижении шероховатости поверхности. Для этого исследовались различные режимы обработки поверхности стали. Так как процессы

обработки поверхности зависят от температуры ее нагрева, то при облучении осуществляется контроль поверхности с помощью ИК-камеры (рис. 2).

После обработки поверхности лазерным излучением сталь исследовали с помощью оптического микроскопа (рис. 3). Температура в области воздействия лазерного излучения (1) достигает значения 629,85 °С. На оптической фотографии представлено изменение внешнего вида структуры поверхности Ст20 в зависимости от температуры. Области воздействия лазерного излучения отличаются от тех структур поверхности, которые были вне зоны лазерного излучения, но также подвергались тепловой обработке.

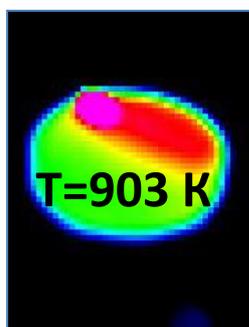


Рис. 2. Термодиаграмма Ст20

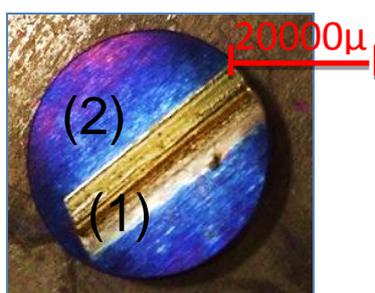


Рис. 3. Оптическая фотография поверхности Ст20: 1 – зона теплового воздействия; 2 – зона воздействия лазерного излучения

Изменение шероховатости поверхности стали, которое исследовали с помощью профилометра, представлено в Таблице (Ra – среднее арифметическое отклонение профиля, Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам). Можно заметить, что шероховатость обработанной поверхности под воздействием лазерного излучения уменьшилась.

Таблица

Изменение шероховатости поверхности Ст20

|    | Необработанный материал | Наличие оксидного слоя |
|----|-------------------------|------------------------|
| Ra | 0,53                    | 0,48                   |
| Rz | 3,66                    | 2,66                   |

Для исследования облученной поверхности на коррозионную стойкость проводилась ее химическая обработка в кислоте. В качестве химического реагента использовалась смесь медного купороса и соляной кислоты. На рис. 4а представлены: 1 – область, не обработанная кислотой; 2а – область после химической обработки в течение 10 с и 2б – после обработки более 10 с. Обнаружено, что при обработке металла лазерным излучением его поверхность покрывается особым защитным слоем (рис. 4).

В результате проведенных исследований была выявлена особенность лазерного окисления стали, заключающаяся в формировании измененной структуры поверхности

в местах теплового воздействия, которые не были подвержены лазерному облучению. На рис. 5 эти структуры представляют собой ореолы, окружающие область воздействия. Температура в этих областях оказалась вдвое меньше, чем в области воздействия излучения.

Для анализа этих областей с целью защиты металла были проведены дополнительные исследования на коррозионную стойкость. Перед химической обработкой подобные области создавались с помощью лазерного облучения в режиме дефокусировки, что позволило осуществить обработку поверхности широким пучком в низком температурном режиме  $T = 441$  К (рис. 6). После воздействия на исследуемый образец химического раствора, который представлял смесь медного купороса и соляной кислоты, обнаружили, что в области, обработанной непрерывным лазерным излучением, деградации материала не наблюдается. Таким образом, выбранный способ обработки стали позволяет повысить ее коррозионную стойкость.

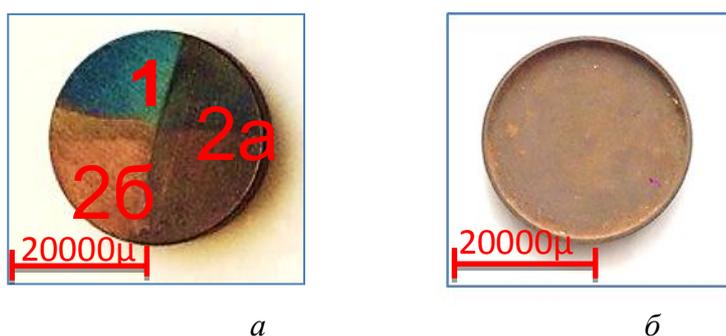


Рис. 4. Области взаимодействия кислоты с поверхностью:  
а – обработанной; б – необработанной

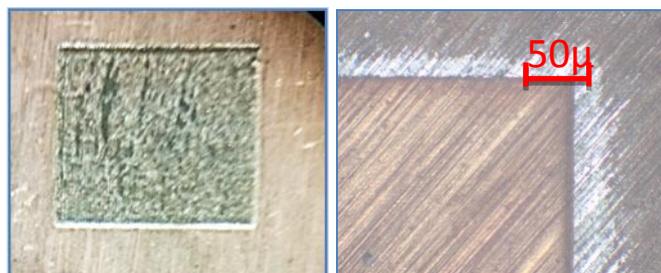


Рис. 5. Образование ореолов в областях, не подверженных лазерному облучению



Рис. 6. Обработка Ст20 в низком температурном режиме

Осуществлялся поиск режимов лазерной обработки с целью повышения коррозионной стойкости и для титана. Для дальнейшего исследования облученной поверхности на коррозионную стойкость проводилась химическая обработка в кислоте. В ходе проведенного

исследования были получены следующие результаты. На рис. 7а представлен внешний вид поверхности титана до взаимодействия с химическим реагентом. На рис. 7б отчетливо видно, что внешний вид участков титана, которые были подвержены лазерному излучению, практически не изменился в отличие от участков, которые не подвергались облучению. Таким образом, различие между облученной зоной и не облученной составило 0,17 мкм.

### Заключение

В ходе выполнения данной работы решена задача по определению оптимальных режимов лазерной обработки поверхности металла при формировании оксидной пленки излучением волоконного лазера.

Была исследована коррозионная стойкость обработанной поверхности материала. В качестве цели повышения коррозионной стойкости стали и титана были подобраны определенные режимы обработки поверхности металлов. Исходя из созданных условий, были получены желаемые защитные слои.

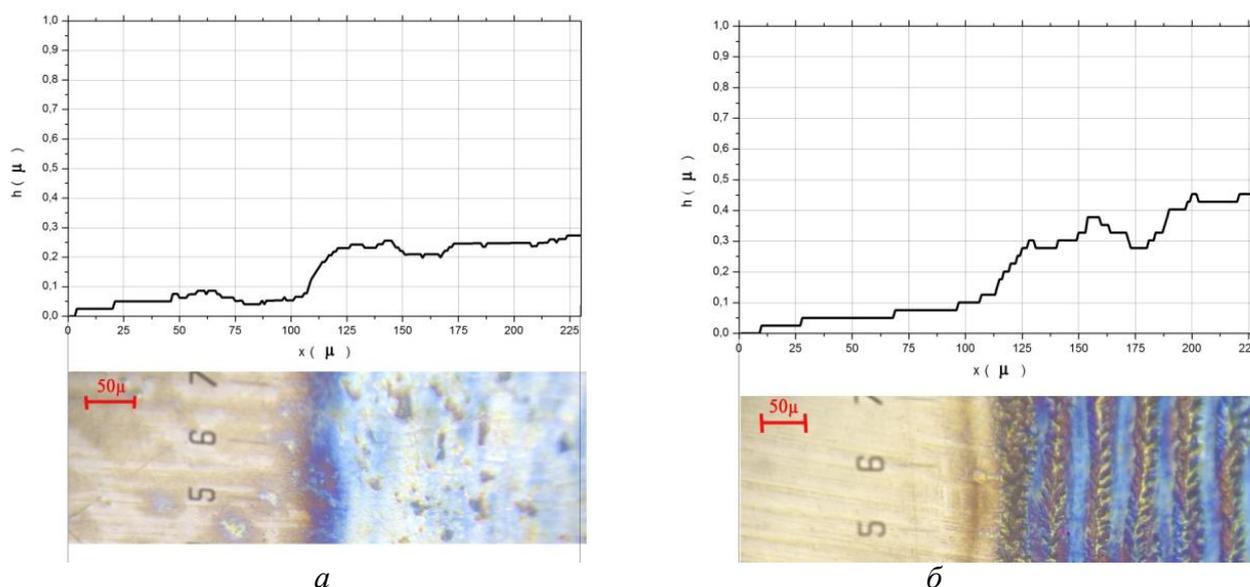


Рис. 7. Поверхность титана: а – до и б – после взаимодействия с химическим реагентом

Предложенные в статье методы и подходы по защите металла от коррозии могут быть применимы практически для всех металлов.

### Публикации

1. Васильев О.С., Вейко В.П., Горный С.Г., Рузанкина Ю.С. Лазерная установка для микроструктурирования поверхности металла с использованием волоконного лазера // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 12. С. 70–77.

### Литература

1. Montemor M.F. Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances // Surface and Coatings Technology. 2014. Vol. 258. P. 17–37.
2. Höche D., Kaspar J., Schaaf P. Laser nitriding and carburization of materials // Laser Surface Engineering. 2015. P. 33–58.
3. Emelyanenko A.M., Shagieva F.M. et al. Nanosecond laser micro- and nanotexturing for the design of a superhydrophobic coating robust against long-term contact with water, cavitation, and abrasion // Applied Surface Science. 2015. Vol. 332. P. 513–517.
4. Vorobyev A.Y., Guo C. Multifunctional surfaces produced by femtosecond laser pulses // Journal of Applied Physics. 2015. Vol. 117. P. 033103.
5. Muresan L.M. Corrosion protective coatings for Ti and Ti alloys used for biomedical implants // Intelligent Coatings for Corrosion Control. 2015. P. 585–602.



**Сергеева Дарья Сергеевна**  
**Факультет лазерной и световой инженерии**  
**Кафедра сенсорики**  
**E-mail: dhs.sergeeva@gmail.com**

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ**

Д.С. Сергеева

Научный руководитель – доктор технических наук А.В. Федоров

Во всех отраслях важную роль играет качество изготовления деталей: геометрическая точность, шероховатость, наличие дефектов и микротрещин, напряженно-деформированное состояние. Высокие требования предъявляются к ответственным деталям машиностроения, приборостроения, авиационной, атомной, энергомашиностроительной и автомобильной отраслей для повышения безопасности и увеличения срока эксплуатации. При этом важно контролировать требуемые параметры на каждом этапе технологического процесса изготовления деталей. Ручной контроль качества имеет определенные недостатки, связанные с человеческим фактором. Для повышения достоверности и оперативности контроля разрабатывается и вводится в производство большое количество автоматизированных установок неразрушающего контроля [1, 2].

Цель работы – обеспечение единства измерений при автоматизации ультразвукового метода контроля качества изделий.

В наше время существует широкий спектр автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля как отечественных, так и зарубежных производителей. Для достижения поставленной цели был проведен анализ конструкций современных ультразвуковых автоматизированных средств неразрушающего контроля зарубежных и отечественных производителей. Внешний вид некоторых из них представлен на рис. 1 [3, 4].

В результате подробного анализа конструкций автоматизированных установок оказалось, что в целом они устроены по одной функциональной схеме (рис. 2) и имеют в своем составе следующие основные узлы: средство измерения (блок генерации и обработки сигнала и преобразователь), механизмы и элементы обратной связи. Перед проведением контроля оператор вводит начальные данные в блок сбора и обработки информации, после чего формируется управляющая программа и направляется на различные средства автоматизации (двигатели, устройства обеспечения контакта и так далее), которые передают механическое воздействие на преобразователь. Последний входит в состав средства измерения, результаты которого попадают на блок сбора и обработки информации, где происходит корректировка управляющей программы для получения достоверной информации.

Для оценки точности автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля необходимо определить источники возникновения погрешностей. Для этого была проведена оценка факторов, влияющих на точность автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля. Согласно схеме (рис. 3) автоматизированные ультразвуковые средства состоят из средства измерения (СИ), которое позволяет проводить измерения механических величин, и средств автоматизации измерений (САИ), которые

обеспечивают надежный акустический контакт, позиционирование датчика на объекте контроля и перемещение его по заданной траектории. Погрешность СИ является величиной нормированной и определяется в результате его поверки, следовательно, является основной. Погрешность САИ зависит от точности механизмов и математических методов задания траектории движения датчика [5].

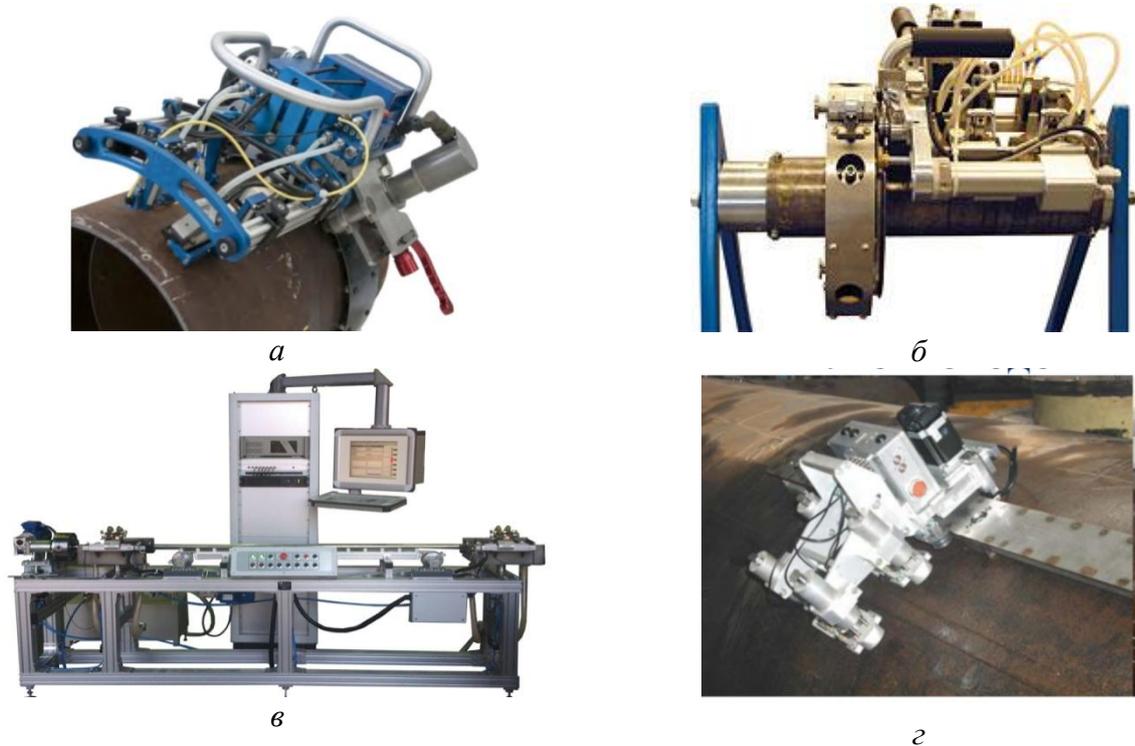


Рис. 1. Общий вид современных автоматизированных установок:  
а – TVP128 (Канада); б – PipeWIZARD (Канада);  
в – УКСШ-55 (Россия); г – Авгур Т (Россия)

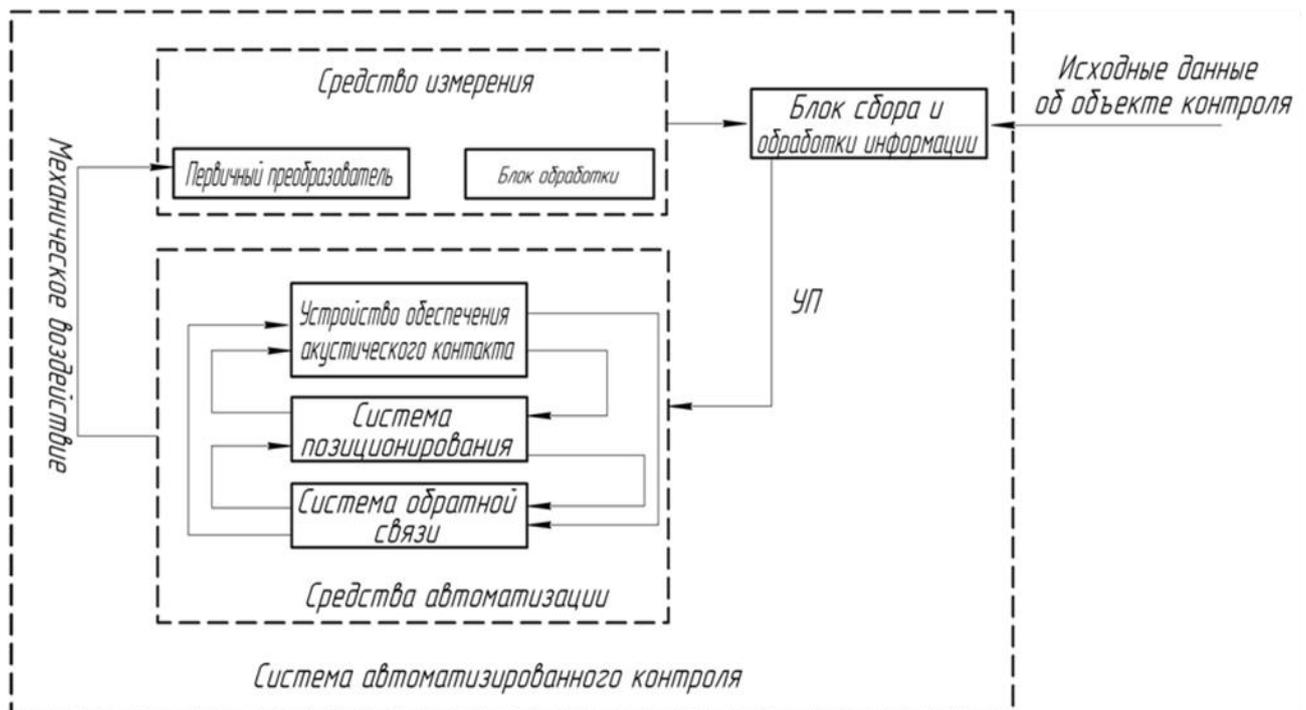


Рис. 2. Схема автоматизированной установки неразрушающего контроля

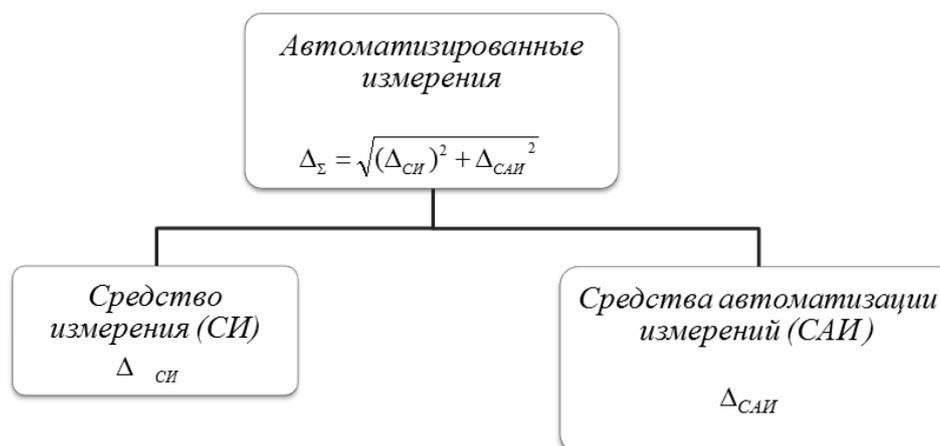


Рис. 3. Факторы, влияющие на точность автоматизированных измерений

Таким образом, модель оценки суммарной погрешности автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля имеет вид:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{СИ}^2 + \Delta_{САИ}^2}$$

Суммирование погрешностей в данном случае осуществляется геометрическим способом [6, 7]. Точность оценки погрешности САИ зависит от многих факторов. Для каждого автоматизированного ультразвукового средства неразрушающего контроля ее значение может существенно меняться. Оно может быть связано со сложностью механизмов, входящих в состав САИ, зависеть от количества конструктивных элементов, а также от особенностей технологического пути каждого конкретного изделия, входящего в состав САИ. Учет всех факторов, влияющих на точность САИ, необходимо осуществлять на этапе проектирования автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля [8, 9]. Для этого был разработан классификатор источников и методов оценки погрешностей (рис. 4).

Таким образом, разработанный классификатор позволяет провести оценку суммарной погрешности автоматизированного ультразвукового средства неразрушающего контроля на этапе проектирования, что в свою очередь повышает точность измерений и достоверность ультразвукового контроля. Стоит отметить, что предложенный классификатор применим для всех автоматизированных систем неразрушающего контроля.

### Заключение

Проведенные исследования привели к следующим результатам:

- выполнен анализ факторов автоматизированного ультразвукового контроля, влияющих на точность измерений;
- разработана модель оценки суммарной погрешности автоматизированных ультразвуковых средств неразрушающего контроля;
- разработан классификатор источников и методов оценки погрешностей.

Результаты, полученные в ходе исследований, проходят апробацию на кафедре сенсорики Университета ИТМО.

### Публикации

1. Сергеева Д.С. Анализ современных автоматизированных систем ультразвукового контроля и его метрологическое обеспечение [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1106/1106.pdf> (дата обращения: 10.09.2015).

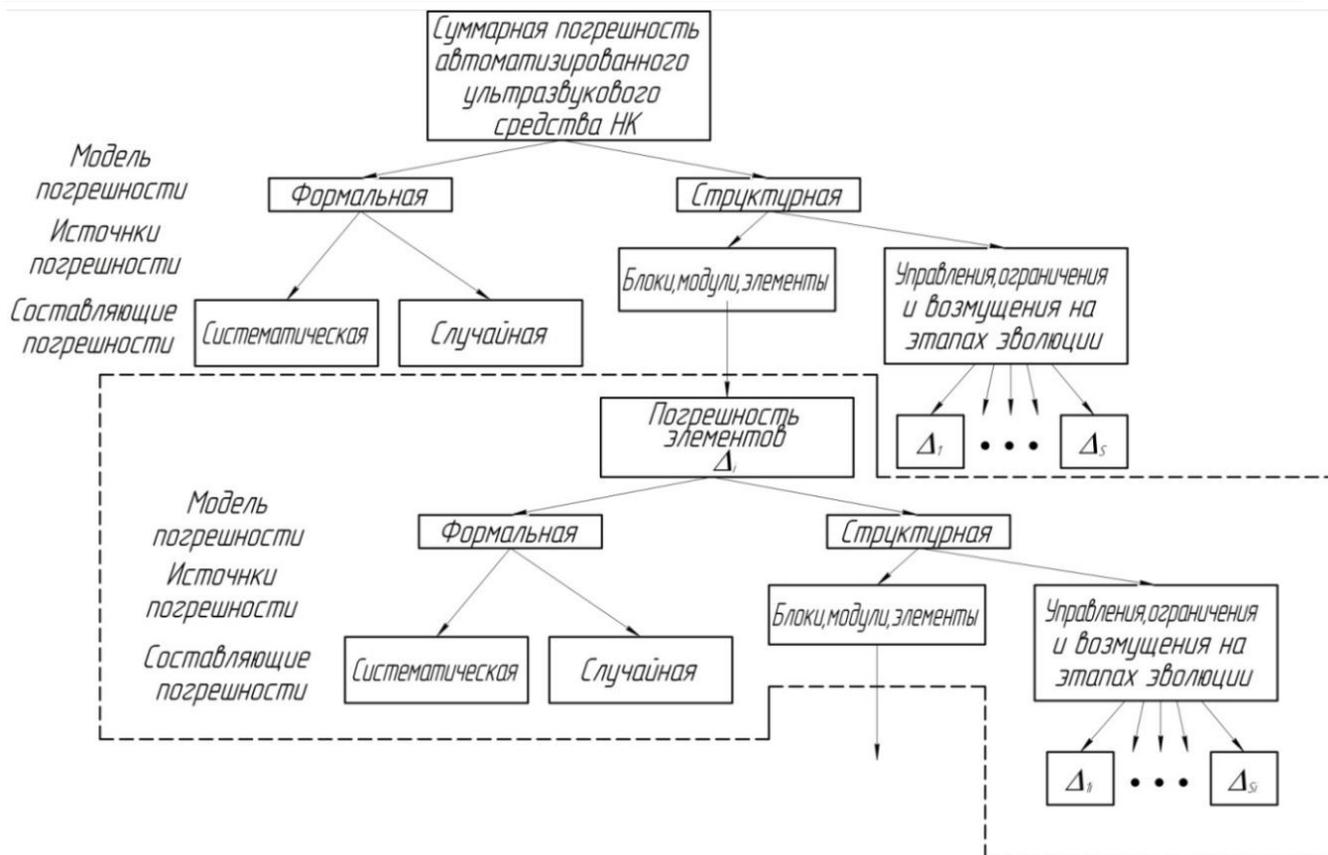


Рис. 4. Классификатор погрешностей

### Литература

1. Самокрутов А.А., Бобров В.Т. и др. Акустические методы и средства исследования напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений // В мире неразрушающего контроля. 2005. № 1. С. 22–26.
2. Ермолов И.Н, Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль. Учебник для специалистов 1 и 2 уровней квалификации. М., 2006. – 208 с.
3. Балдев Р., Раджендран В., Паланичами П. Применения ультразвука. М., 2006. – 576 с.
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 6: В 3 кн. Кн. 3: Радиоволновой контроль / В.И. Матвеев. М., 2004. – 832с .
5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 2: В 2 кн. М., 2003. – 688 с.
6. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений: учебник для вузов. СПб., 2010. – 192 с.
7. N&K Technology [Electronic resource]. URL: <http://www.nandk.com> (accessed date: 10.09.2015).
8. Practical examples on traceability, measurement uncertainty and validation in chemistry / Edited by Majcen N., Taylor P. Vol. 1. 2010. – 221p.
9. Practical examples on traceability, measurement uncertainty and validation in chemistry / Edited by Majcen N., Taylor P., Martisius T. Vol. 2. 2011. – 264 p.



**Смирнова Людмила Александровна**  
**Факультет технологического менеджмента и инноваций**  
**Кафедра экономики и стратегического менеджмента**  
**E-mail: lud.koryagina@yandex.ru**

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ**

Л.А. Смирнова

Научный руководитель – профессор Е.А. Павлова

Целью работы являлась разработка комплексного и универсального метода оценки инновационного потенциала предприятия с учетом влияния условий внешней среды и внутренних ресурсов предприятия. Данная цель достигалась посредством решения следующих задач:

- анализ структуры и механизма развития инновационного потенциала предприятия;
- разработка метода оценки влияния основных групп факторов внешней среды на инновационное развитие;
- разработка метода комплексной оценки инновационного потенциала предприятия с расчетом интегрального показателя.

В результате проведенного исследования для удобства последующей оценки предложено инновационный потенциал предприятия разделить на составляющие, представленные на разработанной автором пирамиде развития (рис. 1), характеризующей механизм и последовательность формирования и развития его сегментов [1]. Данный вид структуры предполагает всесторонний подход к оценке комплексного потенциала, который учитывает все необходимые его составляющие. При этом в нем отсутствует чрезмерно мелкое деление на структурные единицы, которое могло бы помешать в ходе последующей оценки величины потенциала. Подобная структура отражает все этапы и аспекты инновационной деятельности [2, 3].



*Рис. 1. Пирамида развития инновационного потенциала предприятия*

Был проведен анализ влияния факторов внешней среды на величину инновационного потенциала [4]. Для оценки этого влияния, на наш взгляд, целесообразно использовать метод экспертных оценок. При этом эксперт определяет значимость и силу (степень) влияния каждой группы факторов на потенциал конкретного предприятия с учетом специфики его деятельности и внутренних условий инновационного развития. В ходе реализации проекта была проведена корректировка балльной оценки влияния групп факторов. Значимость влияния группы факторов ( $x_i$ ) оценивается экспертным путем по шкале от 0 до 0,25 баллов

с шагом в 0,05 балла в зависимости от важности влияния данного фактора на деятельность конкретного предприятия. Сила влияния группы факторов ( $y_i$ ) также оценивается экспертным путем по шкале от – 1 до 1 балла с шагом в 0,2 балла. При этом анализу эксперта подлежит конкретная ситуация, сложившаяся во внешней среде.

Величины поправки показателя инновационного потенциала предприятия на влияние отдельной группы факторов внешней среды  $\alpha_i$  рассчитывается по следующей формуле:

$$\alpha_i = x_i * y_i, i \in [1; n], \quad (1)$$

где  $n$  – количество групп факторов влияния внешней среды;  $i$  – порядковый номер группы факторов.

Величина поправки на влияние факторов внешней среды  $\alpha$  при условии, что оценка производится одним экспертом, рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \alpha_i, \quad (2)$$

Итоговое значение поправки на влияние факторов внешней среды будет рассчитываться как среднее арифметическое взвешенное от частных показателей поправки:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_j * \alpha_j}{\sum_{j=1}^m \omega_j}, \quad (3)$$

где  $m$  – количество экспертов, участвующих в оценке,  $\omega_j$  – частота признака.

Данный метод оценки поправки показателя величины инновационного потенциала предприятия на влияние факторов внешней среды также является авторской разработкой.

Для оценки сегментов инновационного потенциала предприятия автор предлагает использовать группы показателей, представленные в Таблице. При этом часть показателей будет оцениваться экспертным путем, часть – расчетным, а некоторые из них – смешанным, когда эксперт анализирует полученное в результате расчета значение показателя. Для приведения значений показателей к единой шкале измерения полученные в ходе оценки значения переводятся в баллы.

Такой подход позволяет решить главную проблему существующих методов, а именно – отсутствие критериев оценки инновационного потенциала предприятия [5, 6].

Каждый из вышеуказанных показателей оценивается по школе от 0 до 0,5 балла (с шагом в 0,1 балла).

Следовательно, каждый сегмент, оцениваемый как сумма отдельных показателей, может принимать значение от 0 до 2,5 балла по шкале оценки.

Интегральный показатель инновационного потенциала  $P$ , рассчитываемый как сумма показателей сегментов, может варьироваться по шкале от 0 до 15 баллов. Тогда можно построить данную шкалу и разделить ее на три части, которые будут соответствовать высокому, среднему и низкому уровням развития инновационного потенциала (рис. 2).



Рис. 2. Шкала оценки инновационного потенциала предприятия

Таблица  
Показатели оценки инновационного потенциала предприятия

| Наименования показателя                                                           | Метод оценки |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>ФИНАНСОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                                       |              |
| Уровень финансовой устойчивости                                                   | Экспертный   |
| Рентабельность капитала                                                           | Смешанный    |
| Уровень кредитоспособности                                                        | Экспертный   |
| Инвестиционная привлекательность                                                  | Экспертный   |
| Состояние структуры финансирования инновационной деятельности                     | Экспертный   |
| <b>ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                    |              |
| Уровень информатизации предприятия                                                | Экспертный   |
| Состояние системы нормативов                                                      | Экспертный   |
| Ориентированность на создание научных и производственных связей                   | Экспертный   |
| Ориентированность руководства на инновационное направление развития               | Экспертный   |
| Состояние базы данных по актуальным исследованиям и разработкам                   | Экспертный   |
| <b>КАДРОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                                         |              |
| Доля персонала, задействованного в инновационном процессе                         | Расчетный    |
| Квалификационный уровень научно-технических специалистов                          | Расчетный    |
| Доля затрат на обучение персонала                                                 | Расчетный    |
| Состояние системы мотивации инновационной деятельности                            | Экспертный   |
| Степень сотрудничества с Вузами в целях подготовки кадров                         | Экспертный   |
| <b>НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                               |              |
| Средняя продолжительность разработки одного новшества                             | Смешанный    |
| Внедряемость новшеств                                                             | Смешанный    |
| Вес инновационной продукции в общем объеме производства                           | Смешанный    |
| Состояние интеллектуальной собственности предприятия                              | Экспертный   |
| Состояние опытно-конструкторской базы                                             | Экспертный   |
| <b>ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                  |              |
| Уровень автоматизации производства                                                | Смешанный    |
| Сертифицированность производства                                                  | Экспертный   |
| Уровень развития технологий производства                                          | Экспертный   |
| Коэффициент износа основных фондов                                                | Смешанный    |
| Уровень модернизации оборудования                                                 | Экспертный   |
| <b>МАРКЕТИНГОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ</b>                                                    |              |
| Состояние системы проведения маркетинговых исследований                           | Экспертный   |
| Отлаженность механизма обратной связи с потребителями                             | Экспертный   |
| Состояние информационной базы по направлениям государственной поддержки инноваций | Экспертный   |
| Отлаженность механизма сервисного обслуживания инновационной продукции            | Экспертный   |
| Состояние системы продвижения инновационной продукции                             | Экспертный   |

По мнению автора, если величина показателя попадает в первый интервал на данной шкале, то есть соответствует низкому уровню развития инновационного потенциала, это, согласно пирамиде развития, говорит в основном о проблемах предприятия в состоянии организационно-управленческого и финансового потенциала. Эксперт должен совместно с руководством проанализировать более подробно состояние двух данных сегментов и принять решение о способах повышения их качественного уровня.

В случае если рассчитанная величина показателя инновационного потенциала попадет во второй интервал данной шкалы, можно будет сделать вывод о наличии проблем в кадровом и научно-техническом сегментах. Эксперту будет необходимо более подробно исследовать их и сформулировать рекомендации по способам их развития.

Попадание значения интегрального показателя инновационного потенциала предприятия в третий интервал будет говорить о самом высоком уровне его развития. Для того чтобы еще больше повысить его качественное состояние, эксперт может выдвинуть дополнительные предложения по совершенствованию производственно-технологического и маркетингового потенциала.

Интегральный показатель инновационного потенциала предприятия, скорректированный на величину влияния факторов внешней среды, рассчитывается по формуле:

$$P' = P + \bar{\alpha} \quad (4)$$

Величина поправки на влияние факторов внешней среды колеблется по своему значению от -2,5 до 2,5 баллов. С учетом того, что величина интервала шкалы на рис. 2 составляет 5 баллов (то есть поправка предусматривает размер половины интервала), очевидно, что корректировка интегрального показателя в случае, когда он принимает пограничные значения, способна перенести значение показателя на другой интервал. Действие данного механизма доказывает, что в случаях, когда предприятие находится в переходном, нестабильном состоянии, влияние факторов внешней среды принимает наибольшее значение.

По итогам расчета скорректированного интегрального показателя величины инновационного потенциала предприятия эксперт должен выдвинуть дополнительные рекомендации относительно мер по преодолению влияния негативных факторов и использованию имеющихся во внешней среде возможностей по наращиванию инновационного потенциала. На основании данных рекомендаций руководству следует разработать совокупность стратегических целей и задач по повышению эффективности инновационного развития предприятия.

Подводя итог, можно сказать, что предложенная в рамках данного проекта методика:

- учитывает весь комплекс внутренних источников инновационного развития предприятия;
- предполагает учет влияния факторов внешней среды, которые постоянно оказывают как прямое, так и косвенное воздействие на деятельность компании;
- отличается наличием системы критериев оценки, которой не хватает существующим методам.

Результаты проекта, а именно разработанный метод оценки инновационного потенциала, по мнению автора, может быть использован на предприятии любой отрасли, так как является точными за счет использования расчетных показателей и гибким за счет применения метода экспертной оценки. Получаемое в результате расчетов значение показателя объективно в силу рационального, комплексного подхода к решению поставленной задачи.

### Публикации

1. Павлова Е.А., Смирнова Л.А. Влияние факторов внешней среды на формирование инновационного потенциала предприятия // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 5 (часть 3). С. 640–644.

### Литература

1. Шаймарданова П.А., Яковлева С.Г. Инновационный потенциал предприятия, его оценка и методы реализации [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Инвестиции, бизнес

- и право». URL: <http://www.ibl.ru/konf/180413/innovacionnyj-potencial-predpriyatija.html> (дата обращения: 25.10.2014).
2. Смирнова Л.А., Павлова Е.А. Оценка конкурентных преимуществ предприятия на основе анализа его инновационного потенциала [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1 (часть 1). URL: <http://www.science-education.ru/121-17988> (дата обращения: 20.03.2015).
3. Смирнова Л.А. Условия развития инновационных процессов в российской экономике [Электронный ресурс] // Материалы VII Международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум 2015». URL: <http://www.scienceforum.ru/2015/811/9854> (дата обращения 23.01.2015).
4. Посталюк М.П. Влияние разных факторов экономической системы на инновационные отношения в конкурентной среде [Электронный ресурс] // Проблемы конкурентоспособности в современной экономике. 2005. № 3/4. URL: <http://www.m-esopomy.ru/art.php?nArtId=822> (дата обращения: 20.10.2014).
5. Виноградова Е., Горелова Е. Учатся на малых оборотах [Электронный ресурс] // Ведомости. 2014. 21 мая. № 3593. URL: <http://www.vedomosti.ru/newspaper/articles/2014/05/21/uchatsya-na-malyh-oborotah> (дата обращения 15.01.2015).
6. Костицын Н. Оптимизация издержек на корпоративное обучение [Электронный ресурс] // Управление персоналом. 2005. № 5. URL: <http://www.top-personal.ru/issue.html?329> (дата обращения 15.01.2015).



**Федотова Виктория Николаевна**  
Факультет технологического менеджмента и инноваций  
Кафедра производственного менеджмента и трансфера технологий  
E-mail: [vika-1306@yandex.ru](mailto:vika-1306@yandex.ru)

## **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЗВИТИЮ ДЕТСКОГО ТУРИЗМА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

В.Н. Федотова

Научный руководитель – доцент С.А. Олехнович

Один из самых массовых видов туризма – путешествия детей и школьников в возрасте от 7 до 17 лет с различными целями. Проблема развития детского туризма очень актуальна на сегодняшний день. Экономические преимущества этого вида туризма очевидны: путешествуют школьники и студенты, как правило, организованными группами, поездки ритмично повторяются из года в год, что значительно облегчает планирование бизнеса [1].

Цель проекта – разработать комплекс мероприятий для развития детского туризма в Российской Федерации.

Достижение данной цели напрямую связано с решением следующих задач:

- рассмотрение понятия «детский туризм»;
- изучение проблемы развития рынка детского туризма в России;
- выявление проблем и перспектив индустрии детского туризма.

В ходе работы были проведены исследования и выявлены основные недостатки развития детского туризма в Российской Федерации, к которым относятся:

- специфичность и ограниченность спектра турпродуктов для детей;
- недостаточное развитие инфраструктуры;
- низкая ценовая доступность;
- отсутствие специализированных компаний, занимающихся детским туризмом;
- невысокая квалификация большинства специалистов, работающих в этой сфере;
- недостаточная информированность потребителя о предлагаемых детских туристических продуктах.

Несмотря на существующие проблемы, на сегодняшний день детский отдых является одним из наиболее востребованных видов туризма, поскольку имеет непосредственное отношение к социальной сфере. Устойчивая потребность и все возрастающий спрос на детский отдых объясняются ростом благосостояния населения, с одной стороны, и возможностью финансирования детского отдыха за счет Фонда социального страхования (ФСС) РФ – с другой. Это способствует перепрофилированию многих здравниц и использованию их для организации оздоровления и отдыха детей (или семейного отдыха) [2].

В основу проведенного исследования были положены следующие методы исследования:

- теоретический анализ нормативно правовой базы (проведен анализ и сделаны выводы по изученной литературе в сфере детского туризма и сферы гостеприимства как на отечественном рынке, так и за рубежом);
- метод научного синтеза и обобщения (обобщение точек зрения ученых и практиков);
- метод моделирования (на основе полученных данных авторского видения при раскрытии проблемных вопросов).

### **Заключение**

Рынок детского туризма в Российской Федерации имеет хорошие перспективы развития и предоставляет достаточно широкое пространство для воплощения уникальных идей, которые могут способствовать развитию туризма на мировом рынке.

Для достижения цели данного отчета были поставлены и решены следующие задачи:

- исследованы теоретические аспекты детского туризма в Российской Федерации посредством анализа научной литературы и нормативно правовой базы в данной отрасли;
- изучены проблемы развития рынка детского туризма в России;
- выявлены проблемы и перспективы индустрии детского туризма;
- разработан комплекс мероприятий по устранению недостатков и развитию детского туризма в Российской Федерации.

Выполнение поставленных задач базируется на научно-обоснованной методологии по повышению привлекательности данной отрасли и привлечению большего числа туристов в индустрию детского отдыха. В результате проведенного исследования была достигнута цель и решены поставленные задачи.

Анализ сферы услуг детского туризма позволяет сделать выводы о необходимости комплексного подхода для решения проблем данной отрасли. Для развития индустрии детского отдыха был разработан комплекс мероприятий:

- по обеспечению безопасности детей на маршрутах и непосредственно на местах отдыха;
- по решению кадровых вопросов;
- по развитию новых, эффективных и полезных видов отдыха детей с использованием передовых технологий и методов данной отрасли.

Кардинальное улучшение имиджа отечественной сферы детско-юношеского туризма, которое повлечет за собой повышение интереса к данной отрасли, возможно при проведении предложенных мероприятий:

- внедрение новой кадровой политики;
- внедрение стандартов по перевозке детей на всех видах транспорта;
- внедрение стандартов пребывания детей на местах отдыха;
- внедрение стандартов материально-технического оснащения данной отрасли;
- разработка нормативной базы для повышения инвестиционной привлекательности отрасли детского туризма;
- диверсификация предоставляемых услуг с использованием передовых инновационных технологий.

Результатом их внедрения станет повышение инвестиционной привлекательности и привлечение большого количества новых клиентов.

### Публикации

1. Федотова В.Н., Олехнович С.А. Основные черты и характерные тенденции развития детского туризма в России // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 3. СПб., 2015. С. 197–199.
2. Федотова В.Н., Акопян М.Г., Семенова Э.Н. Пути повышения конкурентоспособности национального сетевого гостиничного бизнеса на основании исследования отечественной и зарубежной индустрии гостеприимства // Теория и практика современной науки: материалы XVI Международной научно-практической конференции, 30 декабря 2014 г. М., 2014. С. 274–280.

### Литература

1. Константинов Ю.С. Детско-юношеский туризм. Учебно-методическое пособие. М., 2008. – 600 с.
2. Морозов М.А. Маркетинговое исследование российского рынка детского туризма // Маркетинг в России и за рубежом. 2004. № 2, – 144 с.



**Шаповал Екатерина Сергеевна**  
Факультет лазерной и световой инженерии  
Кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса  
E-mail: [katenka-shapoval@yandex.ru](mailto:katenka-shapoval@yandex.ru)

## КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДА-12, МОДИФИЦИРОВАННОГО НАНОЧАСТИЦАМИ $\text{Sr}2\text{O}_3$

Е.С. Шаповал

Научный руководитель – профессор В.В. Зуев

Цели работы: создание полимерного материала, обладающего высокими механическими характеристиками и магнитными свойствами; исследование механических

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

и термических свойств полиамида 12 (ПА-12), модифицированного наночастицами  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; изучение изотермической кинетики кристаллизации данных нанокомпозитов. В дальнейшем исследовании его магнитных и диэлектрических свойств.

### Введение

Полимерные материалы давно используются в быту и промышленности, поскольку обладают рядом преимуществ по сравнению с металлами: полимеры легкие, пластичные, их производятся массово, существует возможность их перерабатывать. Однако их прочностные свойства уступают металлу. Кроме того, они немагнитны и не проводят ток. Развитие современной техники требует создания материалов, сочетающих в себе свойства металла и полимера: высокую пластичность, восприимчивость к магнитным и электрическим полям и при этом низкий удельный вес. Именно такой материал в конечном итоге мы хотим получить. Традиционным способом изменения свойств полимерных материалов является введение наполнителя.

Нами был выбран наноразмерный  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  оксид хрома (III) по ряду причин [1]:

- обладает свойствами полупроводника и является антиферромагнетиком с температурой Нееля немногим выше 300 К;
- легко диспергируется в полимерах, являясь зеленым пигментом;
- придает материалу устойчивость к истиранию.

Выбор был сделан в пользу ПА-12 поскольку он сам по себе обладает хорошими механическими характеристиками и его синтезируют в промышленных масштабах.

### Практическая часть

Полимерные нанокомпозиты получали методом полимеризации *in situ*, то есть путем полимеризации лауролактама в присутствии стеариновой кислоты в качестве пластификатора, фосфорной кислоты как катализатора и частиц оксида хрома (III), предварительно диспергированных в реакционной среде. Реакция проходит при температуре 300 °С в течении 10 ч. Было сделано несколько образцов с разной концентрацией наночастиц от 0,1 до 10 мас. %.

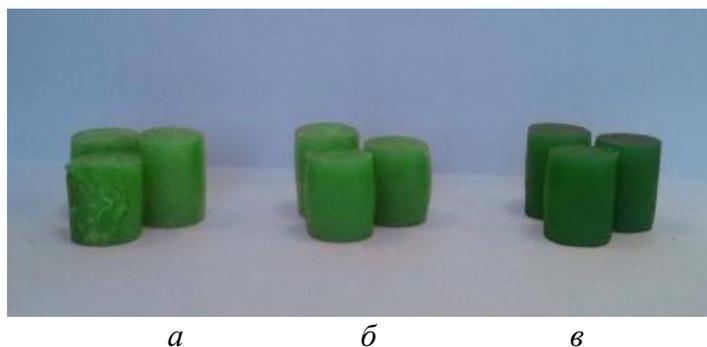


Рис. 1. ПА-12, содержащий: а – 1 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; б – 5 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; в – 10 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$

На рис. 1 представлены образцы композита с разной концентрацией наполнителя. Уже с первого взгляда становится понятно, что нанодобавка хорошо распределена в матрице полимера, поскольку образцы имеют равномерный зеленый цвет и он становится насыщеннее с увеличением концентрации. Для контроля распределения  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  были сделаны микроэлектронные фотографии сколов образцов. При максимальном увеличении ( $\times 150000$ ) даже для концентрации 10 вес. % не наблюдается агрегации наночастиц  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Это, во-первых, говорит о преимуществе разработанного нами метода синтеза, а во-вторых, свидетельствует о том, что выбранный наполнитель  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  обладает амфотерными свойствами, что способствует его совместимости с матрицей. Таким образом, взаимодействие между наночастицами и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  полимерной матрицы достаточно сильны.

Однако может возникнуть опасение, что в процессе синтеза наночастицы растворяются в полимерной матрице либо, активно взаимодействуя с ней, вызывают ее деградацию. Чтобы исключить эту возможность, нами были записаны инфракрасные спектры (ИК-спектры) чистого ПА-12 и полимерных нанокомпозитов, которые представлены на рис. 2.

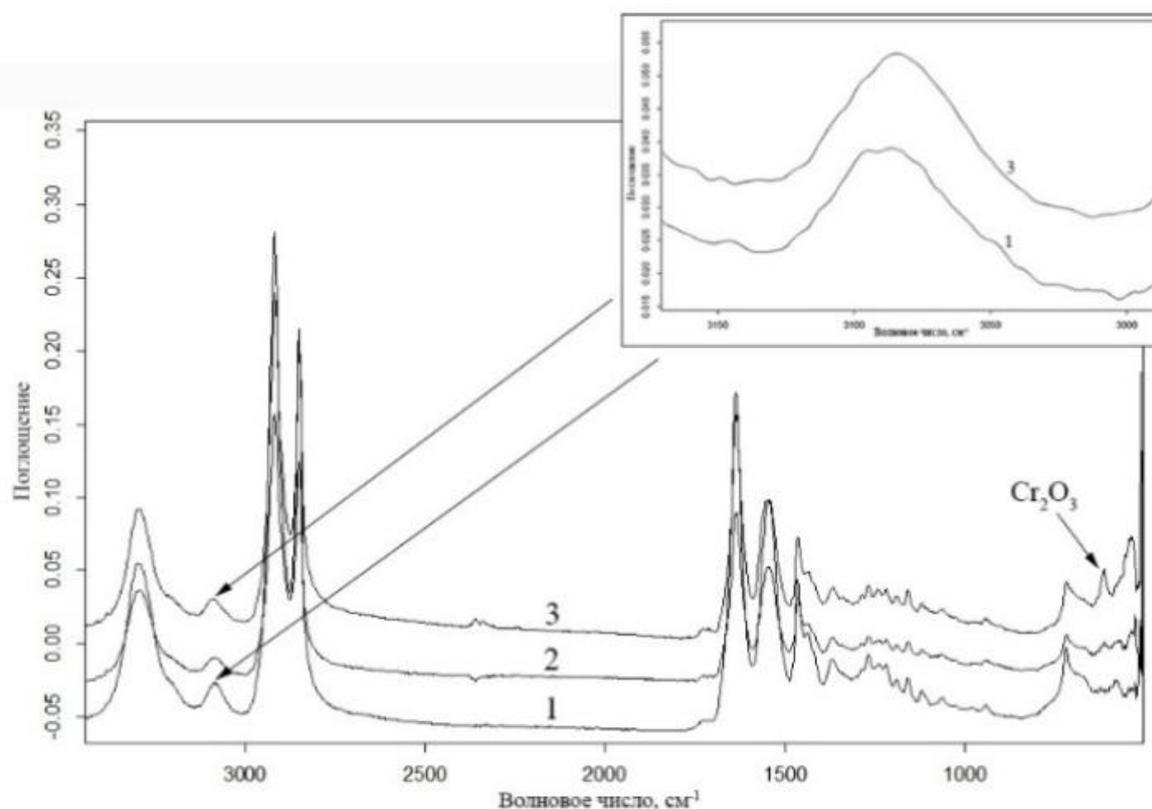


Рис. 2. Инфракрасные спектры: 1 – ненаполненного ПА-12; 2 – ПА-12, содержащий 1 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3 – ПА-12, содержащий 10 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(3)

Сравнение ИК-спектров показывает, что не наблюдается никаких признаков деградации полимерной основы, а в спектре композита с 10 мас.% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> отчетливо проявляется полоса при 613 см<sup>-1</sup>, которая отвечает отдельной фазе наноразмерного оксида хрома (III).

Эти положительные результаты позволяют перейти к изучению механических свойств полимера [2]. Испытания на сжатия проводились для всех нанокомпозитов со всеми концентрациями и с образцом сравнения с чистым ПА-12. Как видно из рис. 3 введение наполнителя приводит к снижению механических свойств, в то время как сами наночастицы обладают высокой твердостью и хорошо распределены внутри полимерной матрицы.

С чем же связаны такие результаты? Хорошо известно, что ПА-12 может существовать в виде двух кристаллических модификаций –  $\alpha$  и  $\gamma$ . У полиамида  $\gamma$ -фаза менее жесткая и более пластичная, чем  $\alpha$ -фаза. Следовательно, они имеют разную температуру плавления. Для качественного анализа структуры нами был изучен процесс плавления при помощи дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Пик плавления ненаполненного ПА-12 фиксируется при температуре 178 °С (рис. 4). При повышении концентрации наполнителя пик смещается в область более низких температур, что говорит о преобладании  $\gamma$ -фазы.

По энтальпии плавления (площадь под пиками) мы также можем определить степень кристалличности. Это важная характеристика полимера, поскольку ПА-12, используемый в качестве основы для композита, является частично кристаллизованным полимером. Проведенные расчеты показали, что введение добавки приводит к снижению кристалличности (Таблица).

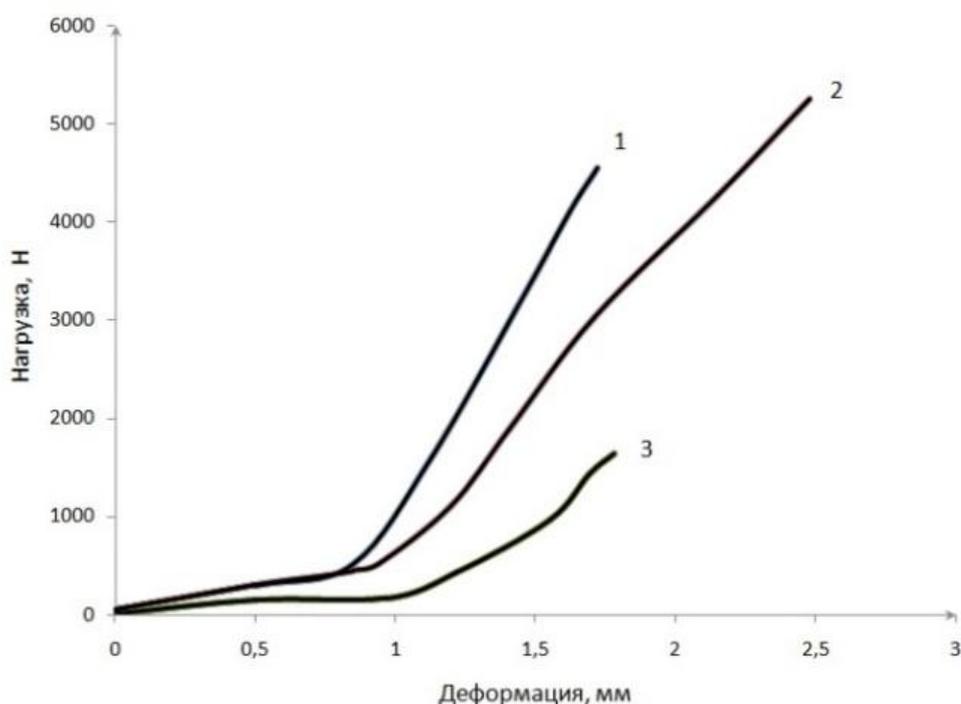


Рис. 3. Кривые сжатия для ПА-12, наполненного  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с концентрацией: 1 – 0,1 %, 2 – 1 % и 3 – 10 %

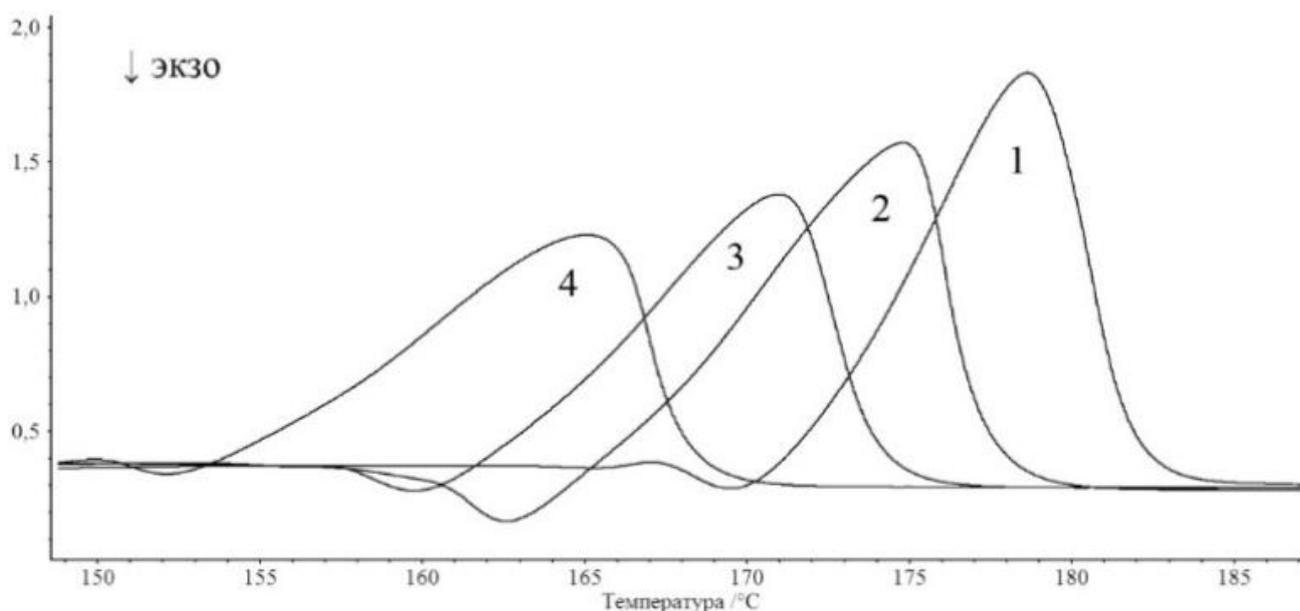


Рис. 4. ДСК-термограмма плавления для ненаполненного ПА-12 (1); для ПА-12, содержащего: 2 – 1 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 3 – 5 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ; 4 – 10 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Стрелкой показано направление экзотермического процесса

Это стимулировало нас изучить кинетику изотермической кристаллизации, чтобы оценить влияние наноразмерного наполнителя на параметры этого процесса. На рис. 5 представлены изотермические кривые для образцов с разной концентрацией наполнителя.

Эти измерения наглядно показывают нам присутствие  $\gamma$ -формы. Причем доля ее увеличивается с увеличением концентрации.

Таблица  
Свойства полимерных композитов

| Концентрация наполнителя             | Модуль Юнга, ГПа | Прочность, МПа | Степень кристалличности, % | Показатель $n$ в уравнении Аврами при 158 °С | Константа скорости кристаллизации при 158 °С, мин <sup>-1</sup> |
|--------------------------------------|------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Ненаполненный ПА-12                  | 0,97             | 55,6           | 63,0                       | 2,8                                          | 1,87                                                            |
| 0,1 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,65             | 34,8           | 63,0                       | 2,8                                          | 1,77                                                            |
| 1 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0,48             | 45,4           | 53,0                       | 1,9                                          | 2,89                                                            |
| 5 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 0,47             | 49,4           | 51,2                       | 1,9                                          | 3,30                                                            |
| 10 % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0,36             | 13,0           | 54,3                       | 2,9                                          | 2,38                                                            |

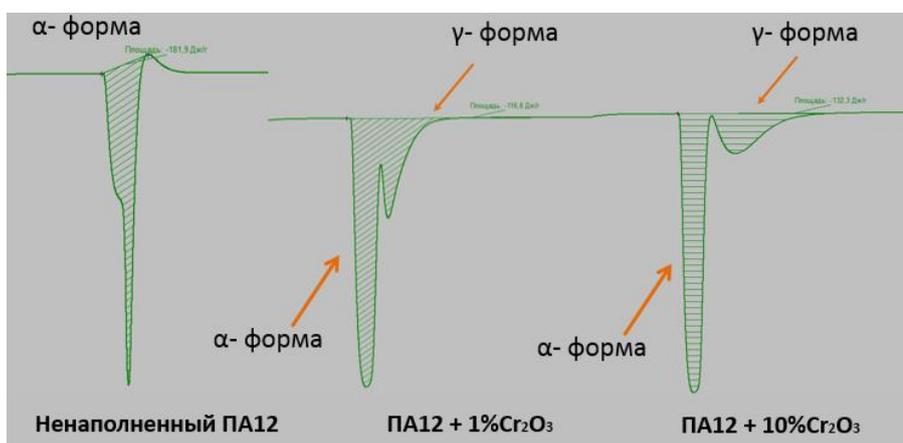


Рис. 5. Изотермические кривые для образцов с разной концентрацией наполнителя

Изучение процессов кинетики связано с расчетом скорости кристаллизации. Она может быть найдена как обратная величина от времени 10 % превращения. После проведенных расчетов выяснилось, что при введении нанодобавки скорость кристаллизации сильно зависит от температуры переохлаждения. Чем больше температура переохлаждения, тем меньшее влияние оказывает добавка. И далее мы переходим к количественному описанию процесса кристаллизации. Для этого проводится анализ данных с помощью двух математических моделей: Аврами и Лауритцена – Гоффмана.

Уравнение Аврами представляет экспоненциальную зависимость:

$$\Theta(t) = 1 - \exp(-kt^n), \quad (1)$$

где  $k$  – константа скорости, а показатель  $n$  связан с процессами нуклеации. Полученные зависимости показывают, что  $n$  и  $k$  не зависят от введения наполнителя. Нами также был определен показатель  $n$  и он равен 2-3, что соответствует атермическому зарождению кристаллов, то есть зародышеобразование происходит на полимерной матрице.

Модель Лауритцена – Гоффмана является более сложной, поскольку в отличие от модели Аврами, где учитывается только рост кристаллов, в ней учитывается энергия укладки цепей:

$$G = G_0 \exp\left[-\frac{U^*}{R(T_c - T_0)}\right] \exp\left[-\frac{K_g}{fT_c \Delta T}\right], \quad (2)$$

где  $G_0$  – предэкспоненциальный терм, независящий от температуры. Первый экспоненциальный терм, следуя теории Гоффмана, это транспортный терм, содержащий универсальную величину  $U^* = 6270 \text{ (Дж*моль)}^{-1}$ , который рассчитывается как  $T_0 = T_g - 51,2 \approx 264 \text{ К}$ . Зависимость второй экспоненты от переохлаждения,  $\Delta T = T - T_{mo}$ , где  $T_{mo}$  – является точкой равновесия плавления (более общее выражение).  $T_{mo}$  была принята равной  $190 \text{ }^\circ\text{C}$  согласно [3],  $f$  – поправочный коэффициент, учитывающий изменения равновесной энтальпии плавления при различной температуре и определяется как  $2T_c/(T_c - T_{mo})$ , где  $T_c$  – температура кристаллизации образцов. Для определения  $G_0$  и  $K_g$  данные для  $G$  были линеаризованы с помощью построения зависимости  $\ln G + U^*/R(T_c - T_0)$  от  $1/T\Delta T$ , как показано на рис. 6. Из графика ясно, что ненаполненный ПА-12 и ПА-12 с малым процентным содержанием наночастиц представляют одну и ту же зависимость.

Наклон зависимости увеличивается с понижением температуры, что говорит об увеличении скорости кристаллизации. Модель Лауритцена – Гоффмана постулирует, что наблюдаемое увеличение скорости роста  $G$  пропорционально скорости нуклеации. Это объясняет увеличение наклона прямых с увеличением концентрации, так как наночастицы могут участвовать в нуклеации.

Для композитов с высоким содержанием добавки (от 1 мас.%) разумно рассматривать процесс, разделив его на два режима. В низкотемпературном режиме зависимости представлены одинаково как для чистого ПА-12, так и для наполненного. В высокотемпературном режиме и при малой степени переохлаждения наблюдаются их сильные расхождения.

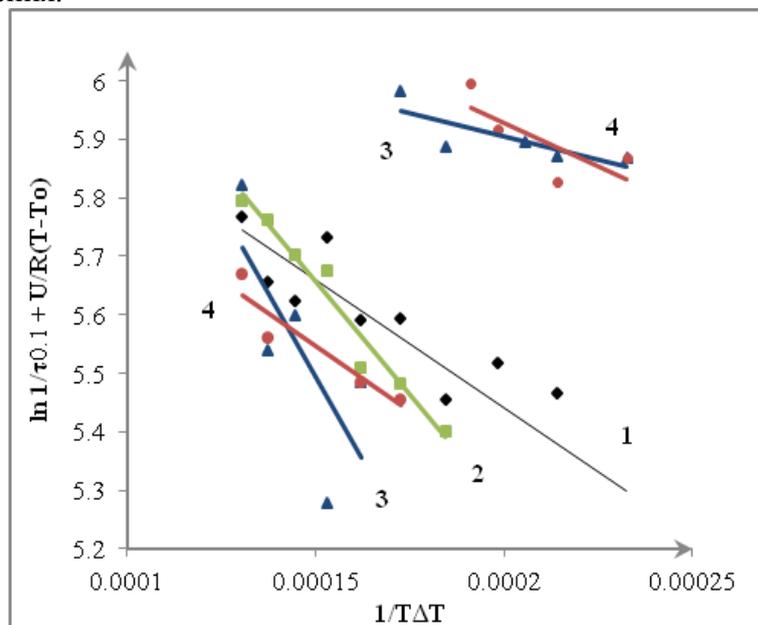


Рис. 6. Зависимость Лауритцена – Гоффмана: 1 – ненаполненный ПА-12 и нанокомпозиты с наполнением наночастицами  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ : 2 – 0,1 мас.%; 3 – 1 мас.%; 4 – 5 мас.%

Это может быть объяснено следующим образом. Так как скорость роста  $G$  пропорциональна скорости зародышеобразования, а при низкой степени переохлаждения зарождение кристаллов в ПА-12 происходит медленно, то в композитах с высоким содержанием наполнителя связь полимерной матрицы с наночастицами доминирует над остальными. Возможно, наиболее важным является участие наночастиц в первичной нуклеации, что вносит основной вклад в режим образования зародышей и, следовательно, в процесс кристаллизации полимера. Итак, найденное резкое изменение характера наклона роста для композитов с сильным усилением при относительно высоких температурах кристаллизации может быть объяснено кинетической теорией нуклеации.

Тем не менее по оценкам значения  $G_0 = 0,012 \text{ мс}^{-1}$  и  $K_g = 80,000 K_2$  очень похожи в обоих случаях и для всех исследуемых систем могут быть приняты равными этим значениям на всем диапазоне температур. Параметр  $K_g$  связан с энергией, необходимой для образования зародышей критического размера. Следовательно, независимость параметра  $K_{gom}$  концентрации наночастиц  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в системе поддерживает вывод, что они мало участвуют в росте кристаллитов для большинства нанокомпозитов. Однако при низкой степени переохлаждения, когда нуклеация в матрице ПА-12 происходит медленнее, присутствие большого количества наночастиц  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  стимулирует этот процесс, что приводит к появлению другого режима зародышеобразования.

### Выводы

1. Методом полимеризации *in situ* получены полимерные композиты на основе ПА-12 с наноразмерным  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (средний размер зерен около 1–5 нм) и исследованы их механические и термические свойства.

2. Гомогенная дисперсия наночастиц оксида хрома (III) в полиамидной матрице была достигнута на уровне отдельных частиц из-за амфотерного характера оксида. Тем не менее модуль упругости при растяжении и предел текучести нанокомпозитов уменьшился по сравнению с ненаполненным ПА-12. Было выяснено, что это связано с изменением типа кристаллизации ПА-12, вызванного наличием наночастиц (от  $\alpha$ - к  $\gamma$ -форме).

3. Кинетика кристаллизации нанокомпозита изучена и описана с помощью модели Авраами. Найдено значение параметра  $n = 2-3$ , что соответствует атермической природе зарождения кристаллов.

4. С помощью модели Лауритцена – Гоффмана показано, что при низких степенях переохлаждения и высокой концентрации наполнителя (от 5 мас.%) зародышеобразование начинается на самих наночастицах.

5. Наличие нанонаполнителя в матрице ПА-12 снижает его кристалличность. Следовательно, на механические свойства нанокомпозитов влияет не только тип и уровень дисперсности нанонаполнителя, но и тот эффект, который они оказывают на структуру и степень кристалличности полимерной матрицы.

### Публикации

1. Шаповал Е.С., Зуев В.В. Кинетика кристаллизации полимерных нанокомпозитов на основе полиамида 12, модифицированного наночастицами  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. № 5 (93). С. 57–63.
2. Shapoval E.S., Zuev V.V. Novel polyamide 12/chromium (III) oxide nanoparticles composites: Melting behavior and complex isothermal crystallization kinetics // Polymer Composites. 2015. Vol. 36. No 6. P. 999–1005.

### Литература

1. Makhlouf S.A., Bakr Z.H. et al. Structural, morphological and electrical properties of  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  nanoparticles // Materials Science and Engineering: B. 2013. Vol. 178. P. 337–343.
2. Zhao F. et al. Effect of POSS on morphology and mechanical properties of polyamide 12/montmorillonitenanocomposites // Applied Clay Science. 2010. Vol. 47. No 3. P. 249–256.
3. Hoffman J.D., Miller R.L. Kinetic of crystallization from the melt and chain folding in polyethylene fractions revisited: Theory and experiment // Polymer. 1997. Vol. 38. No 13. P. 3151–3212.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Исследование вариантов облегчения крупногабаритной оптики космического базирования на примере зеркал из различных материалов <i>П.А. Абдула</i> .....                                                   | 4  |
| Моделирование голографических свойств фотохромных кристаллов фторида кальция в ближней и средней ИК-области спектра <i>К.А. Аксенова</i> .....                                                          | 9  |
| Повышение эффективности решения задачи сопоставления локальных областей изображения <i>Г.А. Антонов</i> .....                                                                                           | 14 |
| Развитие методов цифровой голографической микроскопии для детектирования синглетного кислорода в биологических объектах <i>А.В. Белашов</i> .....                                                       | 17 |
| Синтез адаптивной системы управления соотношением «воздух/топливо» в инжекторных двигателях <i>М.Е. Беляев</i> .....                                                                                    | 21 |
| Исследование гидромеханических процессов при кипении жидкости в каналах <i>А.С. Большакова</i> .....                                                                                                    | 25 |
| Разработка антропоморфного протеза кисти с обратной связью и нейроинтерфейсом <i>И.И. Борисов</i> .....                                                                                                 | 28 |
| Оптико-электронная система контроля положения автотранспортных средств на железнодорожных переездах <i>Е.А. Вережинская</i> .....                                                                       | 32 |
| Разработка излучателя оптического испытательного сигнала для системы автоматической посадки БПЛА <i>А.А. Власов</i> .....                                                                               | 38 |
| Влияние термической обработки на оптические и электрические свойства гибридных структур на основе многослойного графена и квантовых точек <i>И.А. Вовк</i> .....                                        | 42 |
| Разработка айдентики для компании «New Print Studio» <i>К.Р. Гильфанова</i> .....                                                                                                                       | 48 |
| Адаптивная компенсация возмущения для неустойчивого объекта на основе параметризации Юлы-Кучеры <i>П.А. Гриценко</i> .....                                                                              | 51 |
| Автоматизированный анализ сетевых источников информации для поддержки учебного контента <i>В.А. Грозин</i> .....                                                                                        | 53 |
| Разработка устройств на основе метаматериалов для терагерцовой спектроскопии и трансформационной оптики методом трехмерной стереолитографии для терагерцового диапазона частот <i>Е.А. Гурвиц</i> ..... | 58 |
| Формирование философии инновационного мышления в российской образовательной среде <i>Е.А. Егорова</i> .....                                                                                             | 63 |
| Разработка алгоритмов динамической обработки данных в интерферометрических системах на основе последовательного метода Монте-Карло <i>П.А. Ермолаев</i> .....                                           | 68 |
| Перспективы развития бизнеса в высокотехнологичных отраслях экономики на примере здравоохранения <i>Е.А. Жебалова (Николаева)</i> .....                                                                 | 74 |

|                                                                                                                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Микроструктурирование поверхности кварцевого стекла лазерным излучением ближнего ИК-диапазона <i>Р.А. Заколдаев</i> .....                                                        | 79  |
| Система игрового обучения программированию с возможностью интеграции приложений <i>К.В. Ильина</i> .....                                                                         | 83  |
| Оптимизация характеристик пульсоксиметров для новорожденных и недоношенных детей <i>О.Д. Козырева</i> .....                                                                      | 87  |
| Методика оценки степени выполнения требований по составу организационно-распорядительных документов <i>А.С. Краснов</i> .....                                                    | 91  |
| Разработка состава лечебно-профилактического десерта «бланманже», обладающего радиопротекторными свойствами <i>О.М. Кукушкина</i> .....                                          | 94  |
| Анализ дыхания человека по флуктуациям концентрации углекислого газа при помощи системы светодиод – фотодиод <i>А.Г. Малышев</i> .....                                           | 97  |
| Разработка и исследование распределенной оптико-электронной системы контроля пространственного положения объектов <i>И.А. Маруев</i> .....                                       | 103 |
| Формализация личностных качеств студентов как основа для автоматизированной генерации характеристик на выпускников <i>Т.О. Машаро</i> .....                                      | 106 |
| Двухкоординатная оптико-электронная автоколлимационная система для контроля критических угловых деформаций крупногабаритных сооружений <i>А.А. Моисеева</i> .....                | 110 |
| Проблема оценки качества работы алгоритмов в рекомендательной системе алгоритмов выбора признаков <i>С.Б. Муравьев</i> .....                                                     | 115 |
| Исследование точностных характеристик внешнебазной схемы технического зрения для контроля положения железнодорожного пути в продольном профиле и плане <i>А.Н. Никулин</i> ..... | 121 |
| Разработка методов повышения точности волоконно-оптического гироскопа <i>Д.А. Погорелая</i> .....                                                                                | 126 |
| Разработка методики автоматической оптимизации настраиваемых параметров декодера в задаче распознавания речи <i>А.Н. Романенко</i> .....                                         | 131 |
| Моделирование движения человека в программном пакете opensim <i>И.В. Рубинштейн</i> .....                                                                                        | 133 |
| Исследование возможности повышения коррозионной стойкости металла за счет лазерного формирования оксидной поверхностной структуры <i>Ю.С. Рузанкина</i> .....                    | 137 |
| Разработка моделей погрешностей измерений при автоматизированном ультразвуковом контроле <i>Д.С. Сергеева</i> .....                                                              | 141 |
| Разработка метода оценки инновационного потенциала предприятия <i>Л.А. Смирнова</i> .....                                                                                        | 145 |

|                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Разработка комплекса мероприятий по развитию детского туризма<br>в российской федерации <i>В.Н. Федотова</i> .....                                             | 149 |
| Кинетика кристаллизации полимерных нанокомпозитов на основе<br>полиамида-12, модифицированного наночастицами $\text{Cr}_2\text{O}_3$ <i>Е.С. Шаповал</i> ..... | 151 |

Сборник трудов студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под редакцией проф. В.О. Никифорова. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 161 с.

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

Под редакцией проф. В.О. Никифорова

Дизайн обложки А.В. Чуркова

Редакторы:

А.В. Бутина, И.А. Лапшина, А.В. Рябчикова

Корректор А.В. Бутина

Верстка: И.А. Лапшина

Подписано в печать 5.05.2016

Заказ № 3598. Тираж 100 экз.