

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



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

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

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2018

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под. ред. В.О. Никифорова – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 110 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 – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

Университет ИТМО, 2018

Авторы, 2018



*Студенты Университета ИТМО – победители конкурса грантов на церемонии награждения.
В центре – проректор по научной работе Университета ИТМО В.О. Никифоров*

В настоящее время Университет ИТМО располагает научными кадрами и современной научно-исследовательской и инновационной инфраструктурой, обеспечивающей проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Студенты активно участвуют в научно-исследовательской деятельности университета.

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

Наш университет занимает второе место среди вузов Санкт-Петербурга по количеству поданных и выигранных заявок. В 2017 году студентами Университета ИТМО было подано около 247 заявок, из них выиграно 44.

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

В настоящий сборник вошли работы студентов – победителей конкурса грантов 2017 года для студентов и аспирантов вузов, отраслевых и академических институтов Санкт-Петербурга. Представленные работы демонстрируют высокий уровень и широкий диапазон научных исследований, проводимых студентами университета под руководством ведущих ученых вуза.

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



Аширов Артем Наилевич
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра световодной фотоники
e-mail: tunerok93@gmail.com

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ КАМЕРЫ

А.Н. Аширов

Научный руководитель – аспирант А.А. Власов

В настоящее время наряду с процессом эксплуатации различного типа устройств и систем специального назначения возникает необходимость в определении координат объекта в статике и динамике, а также получение информации об их положении в пространстве на различных дистанциях.

Главной задачей измерительных систем, использующих в качестве приемника сигнала телевизионную камеру, является предварительное обнаружение и распознавание объекта с последующим сбором данных о его параметрах. Исходя из вышесказанного, к телевизионным измерительным системам можно отнести большое количество приборов и устройств для сбора и обработки различного вида информации.

Основная цель проекта – разработка измерительной системы на основе телевизионной камеры. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор рынка измерительных систем на основе телевизионных камер;
- исследовать существующие решения;
- провести исследование параметров телевизионной камеры;
- предложить способ дистанционной оценки геометрических параметров наблюдаемого объекта: размеров, углов поворота;
- произвести оценку чувствительности телевизионной камеры с точки зрения принимаемой оптической мощности;
- изготовить опытный образец устройства.

В ходе выполнения работы был проведен сравнительный анализ существующих решений данной задачи, выполнена их классификация, перечислены области применения, достоинства и недостатки каждого типа измерительных систем. Было решено использовать наименее затратный способ модернизации наблюдательной системы в измерительную с отсутствием излучателей, одним приемником сигнала и цифровой обработкой изображений.

Камера в измерительной установке в общем случае наблюдает объект интереса, который отделяется от фоновой составляющей методами цифровой обработки изображений. Далее определяются внешние параметры камеры. Объект интереса, наблюдаемый телевизионной камерой, в данном случае представляет собой прямую линию, нанесенную на наблюдаемую область. В качестве нее могут выступать проецируемые лазерным источником линии, источники структурированного света, полосы, нанесенные заранее на исследуемую поверхность с помощью красителя и т. д., следовательно, наблюдаемый объект представляет собой прямую линию, ширина которой много меньше длины.

Геометрические расчеты параметров наблюдаемого объекта выполняются для определения его размеров и углов поворота [1] в плоскости наблюдения вдоль одной или нескольких координатных осей (рис. 1).

Оценка линейных размеров измеряемых объектов при помощи телевизионной камеры может быть выполнена, если известны физические размеры области пространства, приходящегося на один пиксель матрицы при данном расстоянии и угловом поле [2].

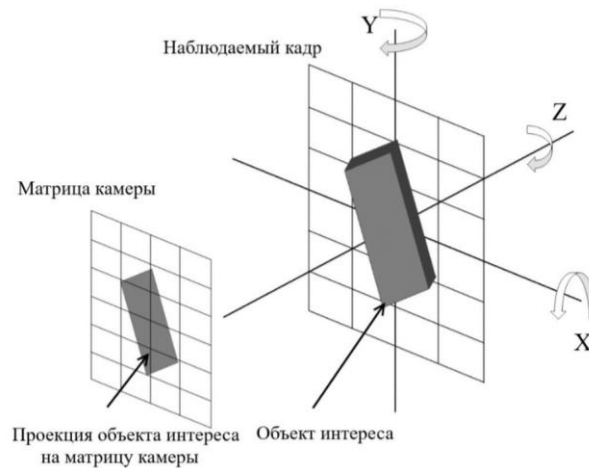


Рис. 1. Схема проекции наблюдаемого объекта на матрицу телевизионной камеры

Из рис. 2 следует, что диагональ кадра ac можно получить из треугольника, образованного диагональю, угловым полем β и расстоянием h :

$$ac = 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right). \quad (1)$$

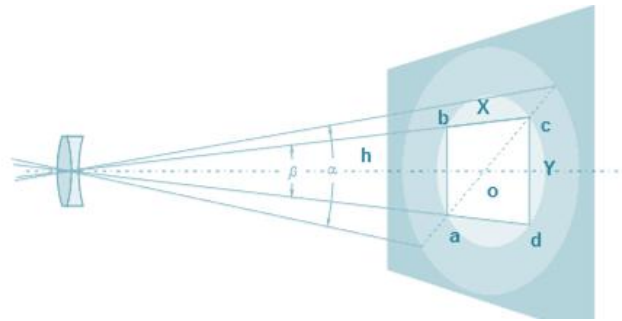


Рис. 2. Угловое поле (β) и угол зрения (α) объектива; X и Y – соотношения сторон кадрового окна; h – расстояние до экрана

Из расстояния от точки схода перспективы до ближайшей стороны объекта l_p получаем угол поворота объекта в невидимую для камеры область:

$$\tau_o = \operatorname{arctg} \left(\frac{l_p}{U} \right), \quad (2)$$

где U – константный нормирующий коэффициент, значение которого равно l_p при $\tau_o = 45^\circ$.

Запишем уравнение определяющее размер объекта L_r (м):

$$L_r = \frac{2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right) \cdot \sin(\alpha)}{r_x} \cdot \sqrt{(D_{mat} \cdot \operatorname{tg}(\tau_o))^2 + D_{mat}^2}, \quad (3)$$

где r_x – количество пикселей камеры по горизонтали, D_{mat} – длина проекции объекта на матрицу камеры в пикселях.

Однако следует учитывать, что угловое поле β – величина не постоянная и зависит от характеристик оптической системы телевизионной камеры.

Для оценки энергетических параметров измерительной установки на основе телевизионной камеры использовался телекоммуникационный подход [3]. Для расчета режимов работы, при которых возможно наблюдение объекта интереса телевизионной

камерой, а также для нахождения оптимальных режимов работы и динамического диапазона измерений самой системы необходимо рассчитать оптический бюджет системы.

Величина освещенности чаще всего может быть задана в люксах [3]. Для выполнения дальнейших расчетов было найдено соотношение светотехнической и энергетической величин:

$$P_{\text{пр}} = \left(\frac{S_o}{S_k}\right) \cdot \frac{S_m \cdot E_v}{683} \int_0^{\infty} V_{\text{п}}(\lambda) d\lambda, \quad (4)$$

где S_o – площадь наблюдаемого объекта (м), S_k – площадь кадра (м), S_m – площадь матрицы камеры (м), E_v – освещенность (люкс), $V_{\text{п}}(\lambda)$ – относительная спектральная эффективность принятого излучения (в долях единицы).

Величина мощности принятого излучения зависит также от времени накопления заряда на матрице. Тогда полное уравнение принятой энергии излучения имеет вид:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} P_{\text{пр}}(t) dt. \quad (5)$$

Для измерения спектральной чувствительности матрицы ТВ-камеры разработан калибровочно-испытательный стенд с самостоятельно модернизированным монохроматором МДР-3, дополненным шаговым двигателем под управлением программируемого микроконтроллера, анализатором спектра и галогенной лампой (рис. 3).

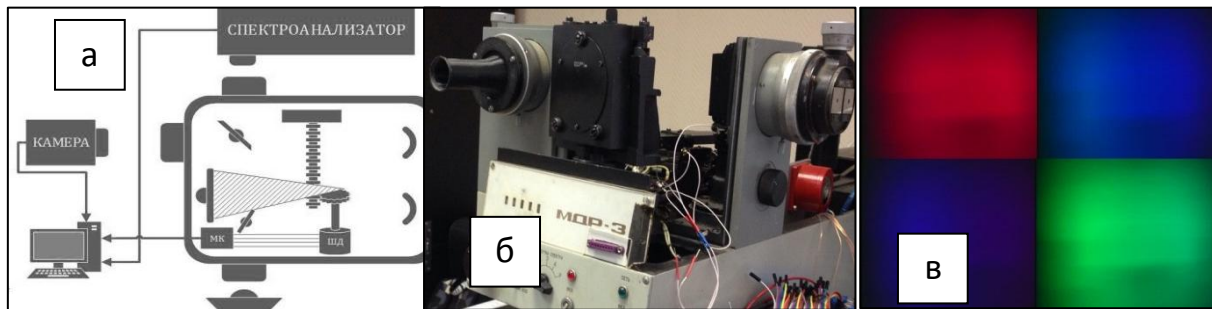


Рис. 3. Установка для измерения спектральной чувствительности матрицы: а – схема; б – фотография установки без защитного кожуха и ТВ-камеры; в – наблюдаемые камерой кадры

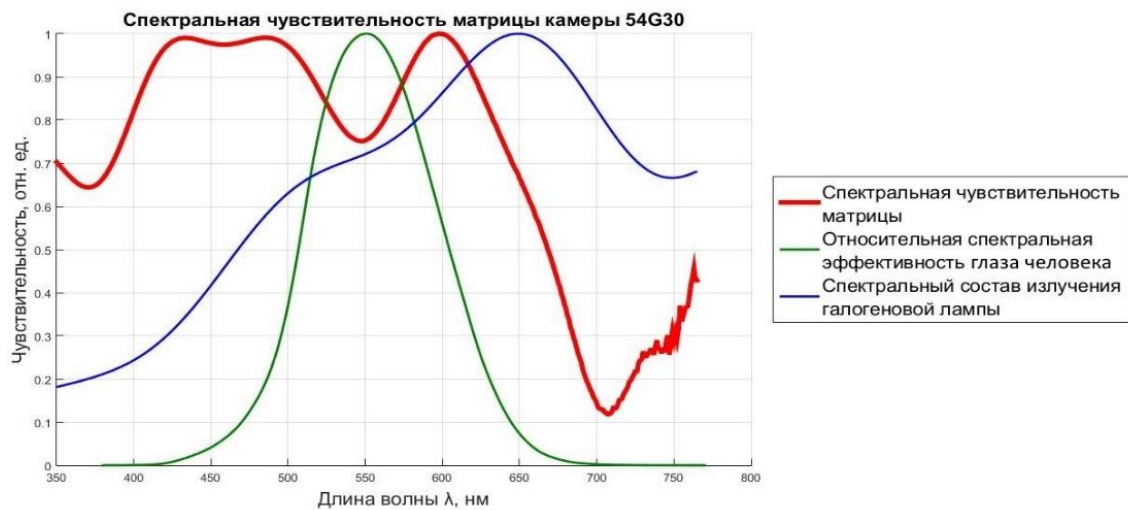


Рис. 4. Графики спектральной чувствительности

На данной установке были проведены измерения спектральной чувствительности матрицы используемой камеры. В качестве источника излучения выступала галогенная

лампа. С помощью спектрометра был получен спектральный состав ее излучения (рис. 4). Отношение полученных спектральных характеристик показывает спектральную чувствительность приемника.

Полученные экспериментально данные соответствия углового поля и расстояния позволяют найти соответствие размеров наблюдаемого кадра к одному пикселю матрицы приемника при определенном угловом поле.

На испытательно-калибровочном стенде был проведен ряд экспериментов. В Таблице представлены результаты геометрических расчетов, выполненные для различных значений угла поворота объекта по осям (OY и OZ), и величины погрешности измерений.

Таблица

Результаты вычисления погрешности геометрических расчетов предложенным методом

№ п/п	Исходное значение		Расчетное значение		Погрешность измерения, %	
	Угол поворота объекта в невидимую область, град.	Угол поворота объекта в плоскости наблюдения, град.	Угол поворота объекта в невидимую область, град.	Угол поворота объекта в плоскости наблюдения, град.	Погрешность расчета угла поворота объекта в невидимую область, %	Погрешность расчета угла поворота объекта в плоскости наблюдения, %
1	45	45	40,901	52,213	9,109	16,029
2	35	45	33,413	51,121	4,534	13,602
3	25	45	20,487	48,763	18,052	8,362
4	10	45	10,454	45,253	4,540	0,562
5	45	-	41,156	-	8,542	-
6	35	-	33,954	-	2,989	-
7	25	-	24,567	-	1,732	-
8	10	-	10,164	-	1,640	-

Среднее значение погрешности данного метода составило 7,474 %, что является более чем приемлемым с учетом характеристик камеры.

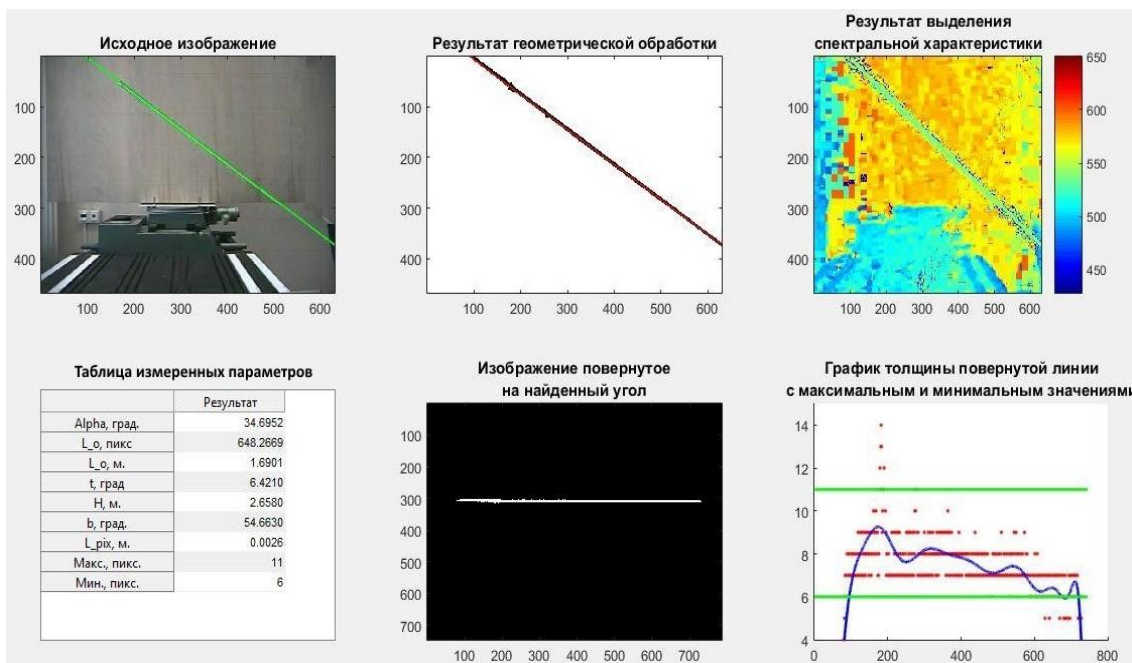


Рис. 5. Результаты работы программы готовой измерительной установки

Собранный макет измерительной установки включает в себя: телевизионную камеру, устройство оцифровки, последовательный порт для управления параметрами камеры и ЭВМ с установленным программным обеспечением для функционирования камеры и среды разработки *MatLab*.

Разработанная программа для данной телевизионной камеры позволяет найти угол поворота объекта в плоскости параллельной плоскости наблюдения, длину объекта в пикселях и метрах, восстановленную с учетом поворота, поворот объекта по оси Y (в глубину), расстояние до объекта наблюдения, текущее угловое поле камеры, длину пикселя в метрах, а также расчетное значение длины волны света (рис. 5). Как видно из рисунка, система справляется с поставленной задачей. В качестве дальнейшей работы можно обозначить вопрос оценки точности результатов измерений и определение погрешности.

Заключение

В ходе выполнения работ по данной тематике были получены следующие результаты:

- рассмотрены основные концепции построения существующих измерительных систем с телевизионной камерой в качестве приемника. Найдено наименее затратное решение для модификации существующей наблюдательной системы;
- рассмотрены основные методы цифровой обработки сигналов, которые понадобились для решения дальнейших задач. Проведено моделирование работы большинства из них;
- предложен и реализован геометрический расчет параметров наблюдаемого объекта. Найдены его углы поворота со средней точностью 7,474 %, а также длина объекта в метрах и пикселях;
- рассмотрены свойства и параметры телевизионной камеры как приемника оптического испытательного сигнала, предложен метод расчета возможности наблюдения картины с учетом внешних условий;
- выполнено измерение спектральной чувствительности матрицы камеры на модернизированном своими силами монохроматоре;
- изготовлен макет измерительной системы. Его испытания подтвердили работоспособность методов анализа наблюдаемого кадра.

Публикации

1. Власов А.А., Макаренко А.А., Макаров А.Д., Моторин Е.А., Исаев Е.Г., Аширов А.Н. Устройство формирования и передачи оптического испытательного сигнала системы посадки летательного аппарата // Наука и инновации в технических университетах: материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. СПб., 2016. С. 11–12.
2. Власов А.А., Аширов А.Н., Моторин Е.А., Макаренко А.А. Измерительная система на основе телевизионной камеры [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017.
URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5490/5490.pdf> (дата обращения: 10.03.17).
3. Аширов А.Н., Щеколдин А.И., Анфимов Е.О., Воробьев В.В., Дема Н.Ю., Лекшин П.А., Тарасов М.С., Чепуровский Д.И., Шевяков А.Д. Метод маркировки объектов для системы технического зрения мобильной платформы под управлением устройства дополненной реальности [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5497/5497.pdf> (дата обращения: 11.03.17).

Литература

1. Волосов Д.С. Фотографическая оптика. М., 1978. – 543 с.
2. Патрик Э.А. Основы теории распознавания образов. М., 1980. – 408 с.
3. Листвин А.В. и др. Оптические волокна для линий связи. М., 2003. – 296 с.



Вундер Нина Александровна
Факультет систем управления и робототехники
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: wunder.n@mail.ru

ПРИЧИННЫЕ ФАКТОРЫ ОТКЛОНЕНИЙ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ И ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ ОТ МОНОТОННОЙ СХОДИМОСТИ И АНАЛИЗ ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Н.А. Вундер

Научный руководитель – профессор А.В. Ушаков

Цели и задачи проекта

Тема исследования «Причинные факторы отклонений траекторий движения непрерывных и дискретных систем от монотонной сходимости и анализ их последствий» подсказана необходимостью вскрыть неочевидные обстоятельства технических катастроф в антропогенных системах последних лет. Известно, что системы управления существуют не сами по себе, они функционально агрегированы с неким технологическим процессом, формирующим определенную антропогенную продукцию. Таким образом, основной режим функционирования систем управления в составе технологических процессов – установившийся вынужденный. Как следствие, разработчики этих систем наделяют их динамическими свойствами, которые в переходном режиме обеспечивают плавность старта технологического процесса, а в установившемся обеспечивают показатели, гарантирующие его высокую производительность и хорошее качество антропогенной продукции. Однако могут возникнуть такие ситуации, при которых технологический процесс по совокупности причин приостанавливается. При восстановлении нормального его протекания система управления, агрегированная с ним, оказывается возмущенной ненулевыми начальными условиями.

Системы в общем случае по своим динамическим свойствам несимметричны относительно ситуации «скачкообразное внешнее воздействие на входе – ненулевое начальное условие». Так система, обладающая монотонно развивающейся переходной характеристикой, может иметь кривую, порожденную ненулевым начальным состоянием и характеризующуюся заметными отклонениями траектории от монотонно убывающей кривой. Это отклонение специалистами по теории управления замечено достаточно давно [1–3]. Исследованием этого вопроса занимались А.А. Фельдбаум, Р.Н. Измайлов, Б.Т. Поляк, М.В. Хлебников, П.С. Щербаков, Г.В. Смирнов [4, 5] и некоторые зарубежные ученые [6–10]. При этом указанные отклонения в траекториях свободного движения изучались в связи с фактором кратности корней характеристического уравнения системы. В этой связи основные исследования проводились с использованием модельного представления системы в форме дифференциального уравнения «вход – выход».

Метод пространства состояний с его векторно-матричным формализмом дал возможность по новому взглянуть на проблему влияния фактора кратности собственных чисел матрицы состояния системы на характер траекторий свободного движения. Более того векторная природа процессов обнаруживает еще один причинный фактор появления отклонений траекторий свободного движения от монотонно убывающей кривой, который состоит в структуре собственных векторов матрицы состояния системы. Совокупность проблем, порождаемых указанными выше системными факторами, стала предметом исследований, проведенных автором. Исследования проводились как для случая

непрерывных систем, так и для случая дискретных систем с различными вариантами вывода сигнала управления в объект.

Цель настоящего исследования – установить причины отклонений траекторий движения непрерывных и дискретных систем от монотонной сходимости при ненулевых начальных условиях и анализ их последствий для технических объектов.

Использованные методы исследования

При проведении научных исследований использовались возможности аппарата передаточных функций, дифференциальных уравнений, рекуррентных (разностных) уравнений, линейной алгебры, векторно-матричного формализма метода пространства состояний как для непрерывных, так и для дискретных процессов, а также пакет прикладных программ *MatLab* с расширением *Simulink* последних версий.

Основные достигнутые результаты

В результате проведенных исследований обнаружилось, что в апериодических системах, то есть системах с вещественным спектром отрицательных собственных чисел, но со структурой собственных векторов, близкой к коллинеарности, порождающей модальную матрицу с большим значением числа обусловленности, при определенных реализациях вектора начального состояния возможны существенные отклонения (выбросы) траекторий по норме вектора состояния от монотонного их развития, не нарушающие в целом асимптотической сходимости. Более того установлено: что если апериодические системы обладают собственными числами по модулю меньшими единицы, образующими кратную структуру, то на траекториях системы по норме вектора состояния также наблюдаются заметные отклонения (выбросы) траекторий по норме вектора состояния от монотонного их развития, не нарушающие асимптотической сходимости.

Установлено, что в случае, если кратные собственные числа матрицы состояния автономной непрерывной системы оказываются комплексно-сопряженными, то при слабой их демпфированности отклонения траекторий по норме состояния от монотонного развития наблюдаются даже при отрицательной вещественной части по модулю большей единицы.

Наличие выбросов в траекториях обнаружено и у автономных дискретных систем, причем выбросы тем больше чем больше кратность собственных чисел матрицы состояния автономной дискретной системы и чем собственное число ближе к единичному значению.

Таким образом, как кратность собственных чисел матриц состояния устойчивых апериодических непрерывных систем, так и структура их собственных векторов оказываются важными системными факторами, наделяющими динамические процессы в системе весьма специфическими свойствами, которые могут приводить к нежелательным последствиям разрушительного характера.

В результате проведенных исследований:

- установлены причины возникновения отклонения траекторий в непрерывных и дискретных динамических системах по структуре собственных векторов матрицы состояния системы;
- установлены причины возникновения отклонения траекторий в непрерывных и дискретных динамических системах по спектру собственных чисел матрицы состояния системы;
- получен алгоритм конструирования матрицы состояния с желаемыми спектрами собственных чисел и векторов средствами обобщенного модального управления, гарантирующий отсутствие нежелательных отклонений траекторий в динамических системах;
- введен показатель оценки степени близости собственных чисел матрицы состояния апериодической непрерывной системы к кратной структуре, гарантирующей требуемые величины отклонений траекторий;

• проведен анализ причинных техногенных факторов, порождающих системные ситуации с ненулевым начальным состоянием в прикладных задачах.

Области возможного использования результатов проекта

Полученные результаты пополняют фундаментальную базу теории о динамических непрерывных и дискретных системах в области автоматического управления. Таким образом, областью возможного использования результатов проекта является область разработки систем автоматического управления техническими объектами.

Публикации

1. Вундер Н.А., Ушаков А.В. Особенности траекторий свободного движения непрерывной системы в виде последовательной цепочки однопериодических колебательных звеньев // Известия вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 9. С. 826–833.
2. Вундер Н.А., Павлов А.С., Ушаков А.В. Влияние собственных векторов на траектории дискретных систем с задержкой сигнала управления // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 2. С. 269–278.
3. Вундер Н.А., Нуйя О.С., Пещеров Р.О., Ушаков А.В. Исследование особенностей траекторий свободного движения непрерывной системы в форме последовательной цепочки однопериодических звеньев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1. С. 68–75.
4. Быстров С.В., Васильев А.С., Вундер Н.А., Ушаков А.В. Аналитическое конструирование последовательного компенсатора для систем управления техническим объектом с модуляцией // Мехатроника, автоматизация, управление. 2017. Т. 18. № 9. С. 597–604.
5. Быстров С.В., Вундер Н.А., Синетова М.М., Ушаков А.В. Аналитическое конструирование последовательного компенсатора для систем с запаздыванием на основе модификации типовых полиномиальных моделей // Труды СПИИРАН. 2017. № 3 (52). С. 115–136.
6. Vunder N.A., Ushakov A.V. The problem of forming the structure of eigenvectors of state matrix of continuous stable system which guarantees the absence of deviation of its trajectories from monotonically decreasing curve of free motion // Journal of Automation and Information Sciences. 2017. Vol. 49. No 1. P. 27–40.

Литература

1. Фельдбаум А.А. О распределении корней характеристического уравнения системы регулирования // Автоматика и телемеханика. 1948. № 4. С. 253–279.
2. Измайлов Р.Н. Эффект «всплеска» в стационарных линейных системах с многомерными входами и выходами // Автоматика и телемеханика. 1988. № 1. С. 52–60.
3. Измайлов Р.Н. Эффект «всплеска» в стационарных линейных системах со скалярными входами и выходами // Автоматика и телемеханика. 1987. № 8. С. 56–62.
4. Поляк Б.Т. и др. Большие отклонения в линейных системах при ненулевых начальных условиях // Автоматика и телемеханика. 2015. № 6. С. 18–41.
5. Polyak B.T., Smirnov G.V. Large deviations for non-zero initial conditions in linear systems // Automatica. 2016. Vol. 74. P. 297–307.
6. Whidborne J.F., McKernan J. On the minimization of maximum transient energy growth // IEEE Transactions on Automatic Control. 2007. Vol. 52. No 9. P. 1762–1767.
7. Whidborne J.F., Amar N. Computing the maximum transient energy growth // BIT Numerical Mathematics. 2011. Vol 51. No 2. P. 447–457.
8. Halikias G. et al. Non-overshooting stabilization via state and output feedback // International Journal of Control. 2010. Vol. 83. No 6. P. 1232–1247.
9. Francis B.A., Glover K. Bounded peaking in the optimal linear regulator with cheap control // IEEE Transactions on Automatic Control. 1978. Vol. 23. No 4. P. 608–617.
10. Kimura H. A New approach to the perfect regulation and the bounded peaking in linear multivariable control systems // IEEE Transactions on Automatic Control. 1981. Vol. 26. No 1. P. 253–270.



Гарбуз Семен Александрович
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии
Кафедра прикладной биотехнологии
E-mail: sboma@bk.ru

ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПЕПТИДОВ МОЛОКА, ОБЛАДАЮЩИХ ИММУНОСТИМУЛИРУЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

С.Е. Гарбуз

Научный руководитель – профессор Л.А. Забодалова

Цель проекта – получение иммуностимулирующих пептидов методом гидролиза молочных белков. Были поставлены и решены следующие задачи.

Задача № 1

Для оптимизации процесса гидролиза необходимо в первую очередь выбрать инструмент гидролиза – протеазу. Это должна быть эндопептидаза (или смесь эндопептидаз), так как экзопептидазы будут лишь отщеплять отдельные аминокислоты от концов белковой молекулы, а под действием эндопептидаз будут образовываться короткие пептидные фрагменты.

Методы, применяемые для оптимизации процесса гидролиза молочных белков, просты, но, учитывая количество изменяемых факторов, объем работ предстоит довольно большой. Необходимо поставить значительное количество экспериментов, чтобы оценить влияние температуры и времени ферментации на конечный результат.

Проведенные эксперименты позволили выбрать оптимум температуры фермента и определить время ферментации, а также влияние перемешивания (Таблица).

Таблица
Оптимизация времени гидролиза

№ опыта	Время, час	Перемешивание	Результат, у. е.
1	12	-	100
2	12	+	120
3	24	+	135
4	36	+	138

Согласно данным в таблице, наибольший выход пептидов достигается при перемешивании (что объясняется более частыми контактами белка и фермента), температуре 43 градуса (что соответствует оптимуму работы протелитических ферментов, представленных в ферментативном препарате «Панкреатин») и оптимальном времени гидролиза 24 часа.

Задача № 2

Для выделения пептидной фракции можно использовать несколько методик, но наиболее простая и доступная, а также широко встречающаяся в литературе – это гель-хроматография. В качестве носителя для нее используется *sephadex g-25* с размером пор, задерживающим пептиды, массой от 3 до 20 кДа. Первоначально была собрана аналитическая колонка высотой 15 см с соотношением высота к диаметру 30:1, что является достаточным для аналитического разделения, согласно литературе. Однако при этом

наблюдалось перекрывание фракций из-за низкой ее высоты. Данная проблема была решена использованием колонки с высотой 50 см и соотношением высоты к диаметру 50:1. В этом случае разделение 10 мл гидролизата происходит порядка восьми часов и перекрывания фракций не наблюдается.

В результате применения гель-хроматографии были получены пептиды длиной от трех до 20 аминокислотных остатков, но из-за большого соотношения высоты к диаметру колонки разделение происходило длительное время. Было принято решение оптимизировать и этот процесс. С помощью литературы была подобрана коммерчески доступная колонка *Vivaspin 20* объемом 5 мл, в результате центрифугирования которой удалось выделить пептиды размером 3–25 аминокислотных остатков в течение 30 минут.

Таким образом, были не только выделены пептиды, но и уменьшено время их получения в 16 раз.

Выводы

В результате экспериментов был оптимизирован процесс гидролиза молочного белка с использованием «Панкреатина», определены оптимальная температура и длительность процесса. Получена искомая фракция пептидов, обладающая различными биологически активными функциями, в том числе иммуностимулирующим действием, а процесс их выделения ускорен в 16 раз.

Области применения

Оптимизированный процесс гидролиза молочных белков ферментативным препаратом «Панкреатином» может быть использован как для производства пептида, обладающего иммуностимулирующими свойствами, так и для дальнейшего изучения этой пептидной фракции, которая не ограничивается одним типом активности, а обладает целым спектром, что представляет высокий научный интерес к дальнейшему изучению ее функций.

Подобранный размер колонки, условия проведения фильтрации, материал, выбранный в качестве носителя, могут быть также применены как в промышленном производстве пептида, так и для дальнейших исследований, а усовершенствованный метод его выделения позволит сократить время процесса в несколько раз.

Всю фракцию легко использовать как компонент для выпуска продуктов функционально питания, стимулирующих иммунитет человека.

Публикации

1. *Забодалова Л.А., Гарбуз С.А., Забодалова Л.А.* Биологически активные пептиды: получение и оценка активности [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017.

URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4692/4692.pdf> (дата обращения: 18.10.2017).

2. *Гарбуз С.А., Корытова В.Е.* Гипоаллергенное молоко и его место на российском рынке // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 8-2 (55). С. 22–23.



Груздева Мария Николаевна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра управления государственными информационными системами
E-mail: gruzdevamariia@ya.ru

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

М.Н. Груздева

Научный руководитель – кандидат политических наук А.В. Чугунов

Цель исследовательского проекта состоит в изучении процесса учета и мониторинга технического состояния многоквартирных домов с выявлением проблем, возникающих в автоматизированной информационной системе.

Под мониторингом технического состояния многоквартирных домов понимается комплекс мероприятий по периодическому сбору, обобщению и анализу сведений о состоянии их основных конструктивных элементов, влияющих на прочностные и эксплуатационные характеристики, а также внутридомовых инженерных систем и оборудования [1]. В Санкт-Петербурге мониторинг осуществляется с помощью автоматизированной информационной системы «Учет жилого фонда» (АИСУЖФ). На данный момент название системы: «Мониторинг технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге» (МТС МКД) в соответствии с постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 4 августа 2016 г. № 666 «О мониторинге технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге» [2], [5].

Методологическую базу исследования составляют функциональный и объектно-ориентированный подходы. Первый позволил выявить особенности системы учета жилищного фонда и проанализировать процессы, которые выполняются в системе МТС МКД. Применение его способствовало построению схемы технологического процесса в виде последовательности операций, выполняемых специалистами в информационной системе, а также осуществлению моделирования ее функциональной структуры.

Объектно-ориентированный подход выделил операции, осуществляемые над объектами, тем самым решил задачу определения целесообразности их существования. Подход использовался для описания процесса учета и мониторинга технического состояния многоквартирных домов.

Методология и поддерживающий ее набор инструментальных средств (CASE-средств моделирования предметной области), с помощью которых был смоделирован процесс учета и мониторинга, позволили представить его в наглядном виде.

С помощью эмпирического метода (опроса) среди пользователей информационной системы были выявлены проблемы, возникающие при работе с ней. Многие операции выполнялись операторами системы вручную, что приводило к неполноценному их учету, неоднократно повторяющиеся – отнимали много времени. Отсутствовали такие необходимые операции, как возможность сформировать и выгрузить отчет. Автоматизация операций, которые проделываются вручную, позволит повысить эффективность работы операторов и сократит время на их выполнение.

Для устранения указанных проблем предложено два способа: создание новой информационной системы МТС МКД или выполнение реинжиниринга существующей. Любая информационная система имеет функциональные и обеспечивающие подсистемы. К последним относят программное, техническое, информационное, математическое,

организационное, правовое, лингвистическое и экономическое обеспечения. Функциональные подсистемы включают модули (бизнес-приложения), функциональные задачи, модели и алгоритмы. Реинжиниринг информационной системы состоит в дополнении ее новым функционалом, доработке существующих модулей, развитии их функций и задач.

Анализ проектов по разработке новых информационных систем (ИС) показывает, что совершенствование их связано в основном с изменением состояния существующих. Новые системы разрабатываются с целью интеграции с уже созданными или с целью их замены [3].

В Таблице представлены преимущества и недостатки способов совершенствования ИС

Таблица

Преимущества и недостатки способов совершенствования ИС [4]

Название	Преимущества	Недостатки
Создание новой информационной системы	<ul style="list-style-type: none"> – достаточная изученность процесса разработки; – более точная прогнозируемость по времени, стоимости и другим ресурсам; – возможность отказа от устаревших технологий и применение новых. 	<ul style="list-style-type: none"> – высокая ресурсоемкость; – необходимость наличия резерва времени; – высокая вероятность повторного решения задач, выполненных на приемлемом уровне.
Модификация существующей информационной системы (реинжиниринг)	<ul style="list-style-type: none"> – небольшая ресурсоемкость; – малые затраты на переобучение пользователей; – потенциально меньший срок выполнения проекта; – возможность широкого использования компонентов существующей (ИС), функционирующих хорошо или удовлетворительно (экономия времени на разработке новых компонентов); – отсутствие необходимости полной остановки системы; – плавный переход со старой ИС на новую. 	<ul style="list-style-type: none"> – сложность прогнозирования процесса и оценки необходимых ресурсов; – сложность структурной модели, описывающей реинжиниринг ИС; – высокая вероятность «волны изменений»; – отсутствие гарантии, что путем модификации удастся привести информационную систему в соответствие новым требованиям; – необходимо наличие аналогичной ИС; – наличие правового аспекта. Исполнителю необходимо иметь право исследовать и изменять ИС .

Из анализа представленной таблицы видно, что создание новой информационной системы повлечет за собой большие затраты как временные, так и финансовые, в отличие от реинжиниринга и модификации существующей системы.

Исследовательская работа выполняется в тесной координации с отделом управления развития и сопровождения информационных систем жилищно-коммунальной сферы и дежурных служб № 30-5 СПб ГУП «Санкт-Петербургский информационно-аналитический центр» в рамках соглашения о сотрудничестве. Результаты исследования будут использованы специалистами Санкт-Петербургского информационно-аналитического центра в ходе осуществления модернизации существующей информационной системы.

Публикации

Груздева М.Н., Чугунов А.В. Изучение процесса учета и мониторинга технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017.
URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5873/5873.pdf> (дата обращения: 15.05.2017).

Литература

1. Ресурсы Интернет [Электронный ресурс] // Электронная библиотека. Научно-образовательная литература [Офиц. сайт]. URL: <http://libraryno.ru/2-4-resursy-internet-mir2/> (дата обращения 16.05.2017).
2. Ахтырченко К.В., Сорокваша Т.П. Методы и технологии реинжиниринга ИС [Электронный ресурс] // Труды Института системного программирования РАН. 2003. Т. 4. С. 141–162. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=15272010> (дата обращения: 20.05.2017).
3. Реинжиниринг информационных систем [Электронный ресурс] // IT-сервис: Outsourcing Company [Офиц. сайт]. URL: http://it-rzn.ru/Reinzhiniring_informacionnih_sistem (дата обращения: 15.05.2017).
4. О мониторинге технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге [Электронный ресурс]: постановление Правительства Санкт-Петербурга от 4 августа 2016 г. № 666. Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Государственная информационная система «Мониторинг технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге» [Электронный ресурс].
URL: <http://test.dice.spb.ru/NotLogged.aspx?SpecifyArguments> (дата обращения: 15.05.2017).



Захаров Иван Дмитриевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра технологий приборостроений
E-mail: 34x4p08@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОЛЛЕКТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ

И.Д. Захаров

Научный руководитель – доцент Е.И. Яблочников

Цель проекта – реализация универсального алгоритма коллективного взаимодействия роботов на примере стенда киберфизических систем, а также апробация полученных алгоритмов управления на практике.

На кафедре технологий приборостроения был разработан прототип киберфизической системы, который представляет собой многоагентную систему имитации координации действий роботов очистительно-покрасочного производственного участка. Структура системы содержит две основные части: виртуальную и физическую.

Виртуальная часть предназначена для взаимодействия администратора с системой, выполнения и визуализации алгоритмов в графическом интерфейсе, внесения корректировок в надстройки системы. Она включает программную часть, состоящую из графического интерфейса, моделей роботов, цехов, блоков и двух складов (граничных паллет). Все

компоненты системы реализованы в виде отдельных агентов, составляющих многоагентную систему. Прототип графического интерфейса представлен на рис. 1.

При инициализации нового проекта в системе необходимо задать входные условия работы. Этими характеристиками являются длительность и условный бюджет проекта.

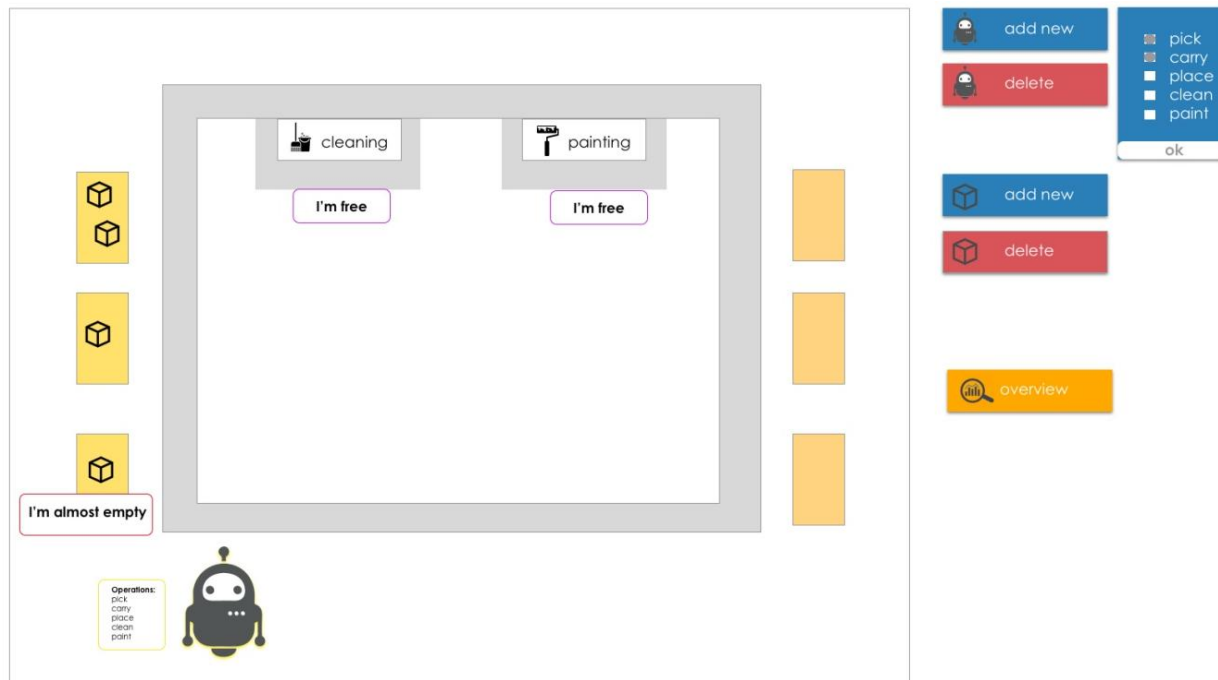


Рис. 1. Модель графического интерфейса

Транспортные роботы в системе перемещают строительные блоки с одной паллеты (стартовой) на другую (финальную), между которыми расположены два цеха: очистки и окраски соответственно. Сначала строительные блоки находятся на стартовой паллете. Роботы могут их поднимать, перемещать, чистить и красить. Эти умения, или операции, различны для каждого робота, каждое из них характеризуется стоимостью и длительностью. Каждый робот выполняет отдельную операцию за определенное время и стоимость. На основе этого осуществляется выбор в пользу конкретного робота. Это необходимо для эффективного распределения заданий [1].

Архитектура системы включает активных и пассивных агентов. В качестве активных выступают роботы. В качестве пассивных – цеха, блоки и склады.

Программная часть системы реализована на объектно-ориентированном языке программирования *JAVA* с использованием фреймворка для разработки многоагентных систем *JADE (Java Agent DEvelopment)*. У *JADE* гибкая инфраструктура, которая позволяет настраивать систему в соответствии с пользовательскими требованиями, используя прикладные модули. Этот фреймворк обладает собственной средой выполнения, которая облегчает процесс разработки приложения и предоставляет реализацию базовой модели жизненного цикла агента и его основной логики, а также большой набор графических инструментов. Благодаря тому, что *JADE* полностью разработан на *JAVA*, сохранены все преимущества и возможности *JAVA*, что дает возможность создавать многоагентную систему *JADE* без специальных знаний теории агентов, используя сторонние библиотеки.

Так как разработка системы на начальных этапах велась совместно со студентами из Германии, для представления текстовых данных, связанных с проектом, использован английский язык (в том числе комментарии к программному коду, графический интерфейс и документация).

Система также имеет физическую часть: роботы *LEGO MindStorm*, *Raspberry Pi* и прикладные элементы, необходимые для создания прототипа кибер-физической системы.

Основная концепция системы предполагает самоконфигурацию действий роботов для достижения поставленной цели. У каждого активного агента системы есть свои характеристики, такие как стоимость выполнения операции и длительность. При этом количество агентов может быть как увеличено до максимального значения (зависит от габаритных размеров производственного участка), так и уменьшено (зависит от количества уникальных операций, необходимых для достижения цели), что не повлечет сбоя в работе системы.

За основу алгоритма были взяты данные из проекта о том, что мобильный робот обладает собственным набором характеристик, записанных в конфигурационном файле, таких как умения очистки, покраски и транспортировки. Создаваемые в системе проекты в свою очередь также имеют характеристики, такие как стоимость и длительность.

Для уменьшения количества несогласований с экономической точки зрения было решено ввести зависимость между стоимостью и длительностью операций, исполняемых роботами. «Умение» робота отражает совокупную оценку его эффективности, представляется в виде числа и находится в интервале $[0, 4]$. Наглядная иллюстрация такого подхода изображена на рис. 2. Согласно введенной концепции, робот, обладающий умением очистки равным «4» наиболее производительный, но в то же время наиболее дорогостоящий для реализации данной операции. В свою очередь, стоимость операции очистки роботом с навыком очистки «4», покраски «4» и транспортировки «4» будет превышать аналогичную стоимость робота с навыками «4», «3», «4» соответственно, а также любого другого со всеми остальными наборами характеристик, так как рассматриваемый робот наиболее производителен для всех операция. Следовательно, самым бюджетным для конкретной операции окажется выбор того робота, у которого значения нецелевых навыков минимальны.

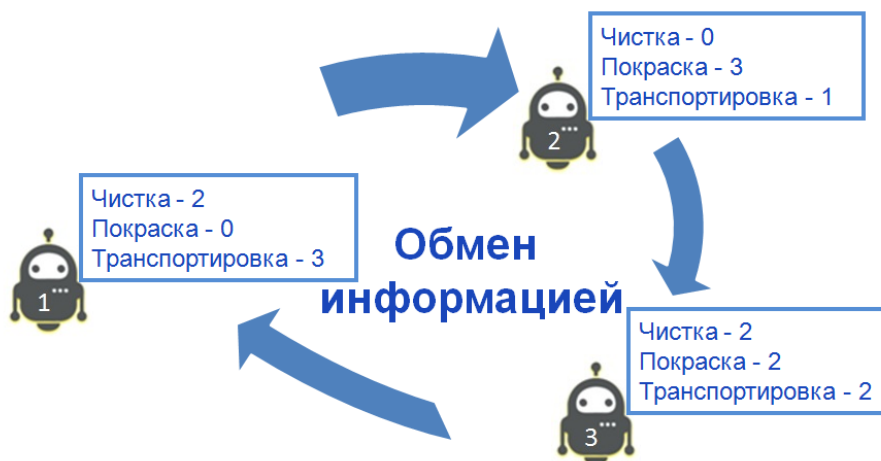


Рис. 2. Роботы с указанными значениями навыков

Алгоритм распределения ролей основан на концепции, представленной выше. Его работа строится на оценке стоимости выполнения требуемой операции каждым агентом системы, которая определяется исходя из характеристик роботов. Формула присваивания стоимости представлена на рис. 3. Символ «У» в формуле означает «умение» (навык) робота – оценка эффективности робота для определенной операции [2]. Как было сказано выше, в системе определены три операции, навык выполнения которых есть у каждого робота: чистка, покраска, транспортировка. «У1» обозначает навык, для которого рассчитывается стоимость операции, «У2» и «У3» – остальные навыки.

$$\begin{aligned} \text{Стоимость} &= 20 \times U_1 + U_2 + U_3 \\ \text{если } U_1 < U_2 \text{ или } U_1 < U_3, \\ \text{то стоимость} &= \text{стоимость} + 1. \end{aligned}$$

Рис. 3. Формула присваивания стоимости операции

Основываясь на характеристиках проекта, алгоритм подбирает подходящую конфигурацию задействованных в процессе роботов [3]. Принцип работы алгоритма распределения ролей представлен на рис. 4.

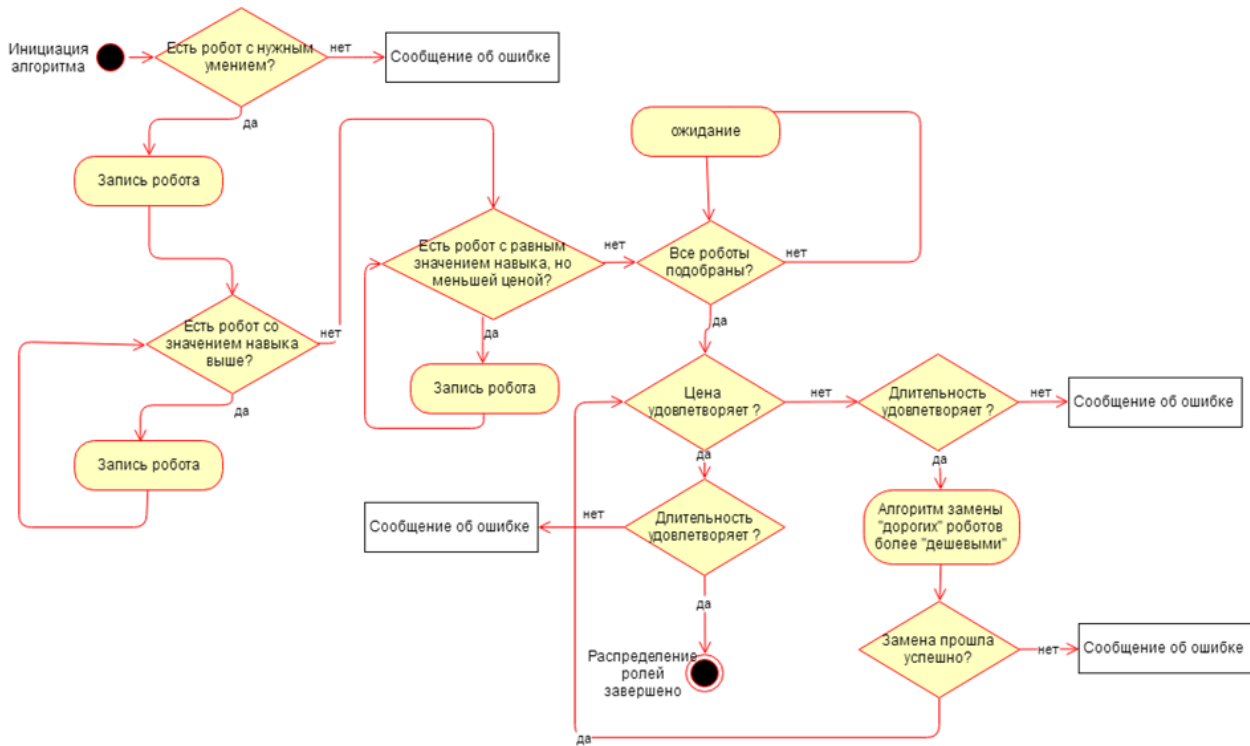


Рис. 4. Алгоритм распределения ролей

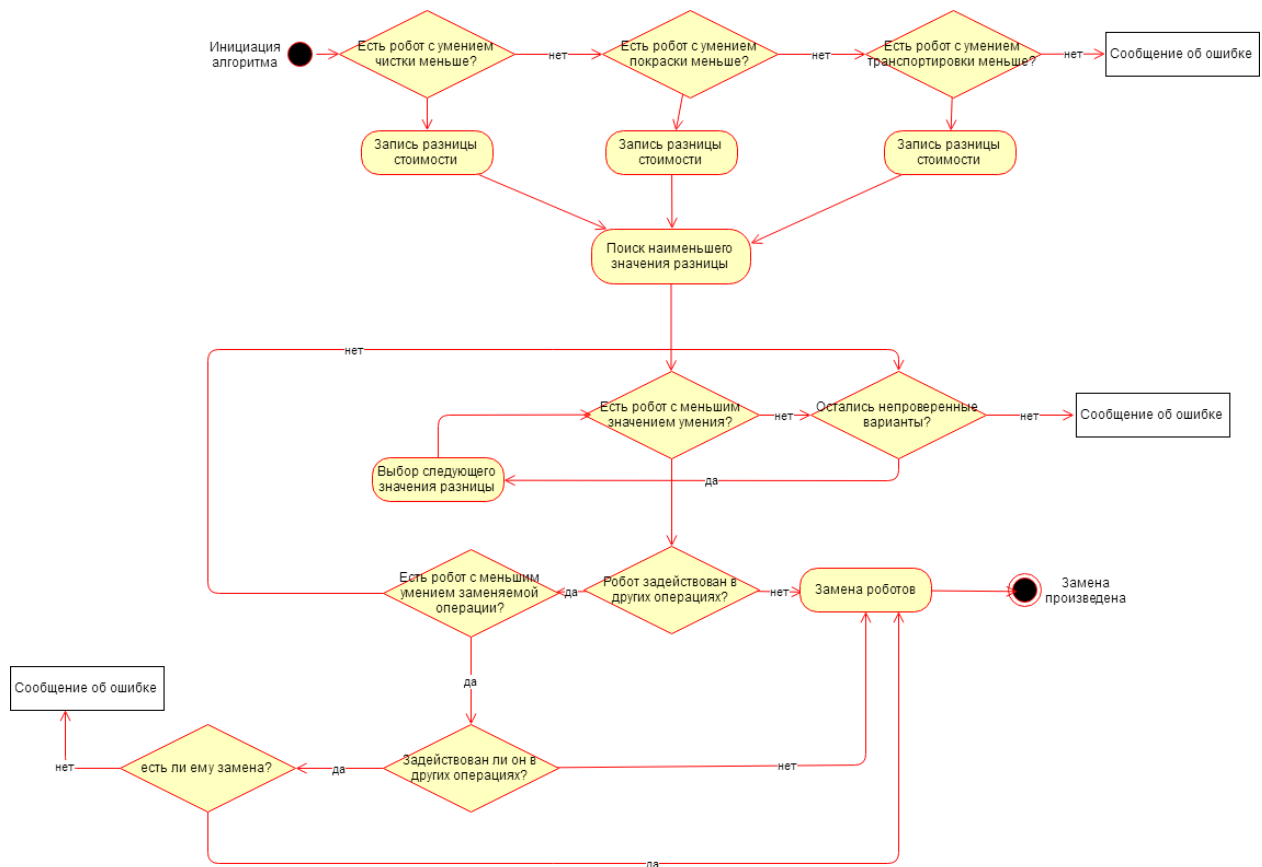


Рис. 5. Алгоритм бюджетизации

Данный алгоритм содержит внутренний алгоритм, который реализует эффективную замену дорогостоящих роботов более бюджетными. Алгоритм замены роботов вызывается после первоначального присвоения роботам ролей и только в том случае, если итоговая стоимость выполнения всех операций для достижения поставленной цели превышает заданный бюджет проекта [4, 5].

При возникновении ситуации, когда получившаяся в результате работы алгоритма стоимость выполнения проекта не удовлетворяет заданному условию по величине, но при этом длительность входит в допустимый интервал, реализован алгоритм замены роботов менее дорогими (при наличии), представленный на рис. 5.

Заключение

Реализация алгоритма позволила достичь максимальной автоматизации процесса распределения ролей в системе *SmartMASON*. Эксперименты в лаборатории продемонстрировали эффективность работы алгоритма при различных входных условиях.

Несмотря на то, что алгоритм относительно прост в реализации, его работа обеспечивает возможность автоматического реконfigurирования системы в зависимости от входных условий при инициализации проекта. С внедрением алгоритма повышена надежность работы системы *SmartMASON*, так как частично исключен человеческий фактор. Она приобрела целостный вид. Роботы самостоятельно распределяют роли и в зависимости от этого – задачи. Система может быть масштабируема путем увеличения числа активных агентов. Временные, а следовательно и финансовые, затраты сокращены. Алгоритм является предсказуемым, так как действует по заданным правилам, что обеспечивает выполнение одно и того же задания приблизительно за одно время [6].

Публикации

Захаров И.Д., Яблочников Е.И. Разработка алгоритма коллективного взаимодействия мобильных роботов на примере многоагентной системы *SmartMASON* [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5731/5731.pdf> (дата обращения: 01.06.2017).

Литература

1. Капустян С.Г. Методы и алгоритмы коллективного управления роботами при их групповом применении: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Таганрог, 2008. – 31 с.
2. Охоцимский Д. Е. и др. Система моделирования игры роботов-футболистов // Мобильные роботы и мехатронные системы: материалы научной конференции. М., 2000. С. 45–49.
3. Капустян С.Г. и др. Метод оптимального распределения целей в коллективе роботов // Информационные технологии. 1998. № 4. С. 29–34.
4. Капустян С.Г. Метод организации мультиагентного взаимодействия в распределенных системах управления группой роботов при решении задачи покрытия площади // Искусственный интеллект. 2004. № 3. С. 715–727.
5. Капустян С.Г. Алгоритмы коллективного улучшения плана в задачах группового управления роботами // Искусственный интеллект. 2006. № 3. С. 409–420.
6. Юревич Е.И. Принципы группового управления роботами // Экстремальная робототехника – 2003: материалы научной молодежной школы. Таганрог, 2003. С. 165–171.



Изгаршева Юлия Александровна
Факультет институт международного бизнеса и права
Кафедра таможенного дела и логистики
E-mail: julik_izik@mail.ru

РАЗРАБОТКА НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ СВОБОДНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ТЕХНИКО-ВНЕДРЕНЧЕСКОГО ТИПА «САНКТ-ПЕТЕРБУРГ» С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТАМОЖЕННОЙ ПРОЦЕДУРЫ СВОБОДНОЙ ТАМОЖЕННОЙ ЗОНЫ

Ю.А. Изгаршева

Научный руководитель – доцент А.В. Агапова

Цель работы – разработка путей развития свободной экономической зоны технико-внедренческого типа «Санкт-Петербург» (СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург»).

Целью создания СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» является организация производства новых видов продукции в высокотехнологичных отраслях экономики, а также разработка современных технологий и коммерциализации их результатов [1].

СЭЗ представляет собой территорию, на которой действует особый режим осуществления предпринимательской деятельности, отвечающий интересам потенциальных зарубежных и национальных инвесторов. Такой режим включает:

- «налоговые каникулы»;
- возможность применения таможенной процедуры СТЗ (кроме СЭЗ туристско-рекреационного типа);
- готовую «базовую» инфраструктуру (водоснабжение, электроэнергия, тепловые сети и т. д.);
- систему «единого окна» по вопросам взаимодействия частного сектора с государственными органами [2].

По результатам исследования СЭЗ, проведенного российской консалтинговой компанией ООО «Финансовый и организационный консалтинг», все эти льготы позволят резидентам СЭЗ, в том числе среднему бизнесу, добиться снижения издержек до 30 % [3].

В ходе исследования установлено, что в настоящее время условия «налоговых каникул» для резидентов СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» определяются в соответствии с Налоговым кодексом РФ и Законом Санкт-Петербурга от 14.07.1995 № 81-11 «О налоговых льготах». При этом отмечено, что действие «налоговых каникул», как правило, ограничено и распространяется на первые 5–10 лет осуществления деятельности резидентом СЭЗ, в течение которых ставки по некоторым налогам могут расти. Тем не менее, даже при достижении максимальных значений налоговые ставки, действующие на территории СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург», остаются ниже общероссийских.

В целях разработки предложений по развитию СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» был проведен сравнительный анализ таможенных процедур, которые может заявить резидент при осуществлении им внешнеэкономической деятельности (ВЭД) [4]. Это позволило выявить следующие преимущества применения именно таможенной процедуры свободной таможенной зоны (СТЗ), способные стимулировать развитие СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург»:

- освобождение от уплаты таможенных платежей при помещении товаров под таможенную процедуру СТЗ;

– отсутствие ограничений, связанных с использованием и распоряжением ввозимыми товарами, то есть совершение производственных операций, в том числе потребление товаров;

– отсутствие обязанности по обеспечению уплаты сумм ввозных таможенных пошлин, налогов, что позволяет не замораживать часть капитала для таможенных нужд;

– возможность выбора таможенной процедуры, завершающей действие таможенной процедуры СТЗ, которая повлияет на сумму подлежащих уплате таможенных платежей;

– нет обязанности по уплате процентов за отсрочку платежа в случае нарушения условий таможенной процедуры СТЗ.

Благодаря выявленным преимуществам при декларировании товаров в таможенной процедуре СТЗ у резидентов СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» возникает возможность экономии денежных средств за счет освобождения от уплаты таможенных пошлин, налогов без предоставления обеспечения и без уплаты процентов в случае несоблюдения условий таможенной процедуры СТЗ. Таким образом, при меньших издержках резидент СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» получает значительно больше прав по распоряжению и пользованию товарами, чем, например, лицо, получившее разрешение на переработку товаров на таможенной территории или на переработку для внутреннего потребления.

Автором установлено, что при завершении таможенной процедуры СТЗ резидент СЭЗ должен уделить особое внимание суммам таможенных платежей, которые будут подлежать уплате в соответствии с избранной таможенной процедурой. Доказано, что значительную роль в формировании итоговой суммы таможенных платежей играют два фактора: статус товаров, а также направление их перемещения относительно таможенной границы Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Наиболее распространенные пути завершения таможенной процедуры СТЗ представлены в Таблице.

Таблица

Примеры таможенных процедур, завершающих действие таможенной процедуры СТЗ, с указанием подлежащих уплате таможенных платежей

Направление перемещения товара Статус товара	Ввоз на таможенную территорию ЕАЭС	Вывоз за пределы таможенной территории ЕАЭС
Товар таможенного союза	реимпорт: без уплаты ввозных таможенных пошлин, налогов	экспорт: вывозные таможенные пошлины
Иностранный товар	выпуск для внутреннего потребления: ввозные таможенные пошлины, налоги, с учетом тарифных преференций, льгот по уплате таможенных пошлин, налогов	реэкспорт: без уплаты и (или) с возвратом уплаченных сумм ввозных таможенных пошлин, налогов

Анализ современного состояния СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» выявил, что значительная доля ее резидентов осуществляют деятельность в сфере фармацевтики и медицинских технологий [2]. С учетом этого разработаны как общие рекомендации, так и конкретные с указанием кода Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности ЕАЭС (ТН ВЭД ЕАЭС):

– во-первых, рекомендуется введение в гражданский оборот на территории ЕАЭС товаров, имеющих статус товаров союза, без уплаты ввозных таможенных пошлин и налогов, то есть рекомендуется помещать товары, ранее задекларированные в таможенной процедуре СТЗ, под таможенную процедуру реимпорта;

– во-вторых, резидентам СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург», осуществляющим деятельность в сфере фармацевтики и медицинских технологий, рекомендуется

реализовывать произведенную продукцию (товары, имеющие статус товаров таможенного союза) за пределами таможенной территории ЕАЭС. То есть помещать готовые, произведенные товары под таможенную процедуру экспорта, поскольку на товары группы 30 (фармацевтическая продукция) по ТН ВЭД ЕАЭС не установлены ставки вывозных таможенных пошлин;

– в-третьих, рекомендуется реализация продукции (товаров, имеющих статус иностранных товаров) за пределами таможенной территории ЕАЭС без уплаты и (или) с возвратом уплаченных сумм ввозных таможенных пошлин, налогов, то есть помещение товаров под таможенную процедуру реэкспорта.

Таким образом, применение резидентом СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» таможенной процедуры СТЗ, а именно, перечисленных выше рекомендаций, позволит сокращать издержки, связанные с перемещением товаров через таможенную границу, что, в свою очередь, делает возможным перенаправлять «свободные» средства на расширение инфраструктуры предприятия, совершенствование производственных технологий, оснащение научных лабораторий и привлечение высококвалифицированных специалистов.

Заключение

В ходе проведения исследования и достижения поставленной цели были сформулированы следующие выводы.

Во-первых, выявлены действующие условия «налоговых каникул» для резидентов СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург». В результате их анализа установлено, что особенностью этой СЭЗ является сниженная ставка по страховым взносам, так как значительная часть расходов резидентов связана с выплатой заработной платы работникам, большая часть которых является высококвалифицированными и высокооплачиваемыми специалистами в силу их сферы деятельности.

Во-вторых, в рамках исследования автором был проведен сравнительный анализ таможенных процедур, обладающих сходным назначением, с таможенной процедурой СТЗ. По итогам данного анализа установлены преимущества применения именно таможенной процедуры СТЗ для резидентов СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург», в том числе в части распоряжения товаром и уплаты таможенных платежей:

– снижение затрат, связанных с перемещением товаров через таможенную границу ЕАЭС, возможное благодаря освобождению от уплаты ввозных таможенных пошлин, налогов по условиям анализируемой таможенной процедуры, а также отсутствие обязанности по обеспечению уплаты сумм ввозных таможенных пошлин, налогов;

– отсутствие ограничений, связанных с использованием и (или) распоряжением ввозимыми товарами на территории СЭЗ;

– возможность выбора таможенной процедуры, завершающей действие таможенной процедуры СТЗ;

– нет обязанности по уплате процентов за отсрочку платежа в случае нарушения условий таможенной процедуры СТЗ.

Все это позволяет резиденту СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» при меньших издержках, в первую очередь за счет освобождения от уплаты таможенных пошлин и налогов, обладать большим количеством прав по распоряжению товарами, чем, например, лицо, получившее разрешение на переработку товаров на таможенной территории или на переработку товаров для внутреннего потребления.

По результатам исследования, автором разработаны рекомендации для участников ВЭД по организации и осуществлению предпринимательской деятельности на территории СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» с учетом применения таможенной процедуры СТЗ. Они заключаются в установленных преимуществах применения резидентами СЭЗ таможенной процедуры СТЗ, а также в разработанных предложениях по наиболее экономически выгодным способам ее завершения. Под такими способами понимается помещение товаров, ранее прошедших таможенную процедуру СТЗ:

- под таможенные процедуры экспорта и реэкспорта для целей реализации произведенной продукции за пределами таможенной территории ЕАЭС;
- под таможенную процедуру реимпорта в случае ввода готовой продукции в гражданский оборот на таможенной территории ЕАЭС.

Области возможного использования результатов исследования

Во-первых, разработанные автором предложения по развитию СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» с учетом возможности применения таможенной процедуры СТЗ позволят реализовать п. 20 «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», утвержденной Указом Президента РФ. Поскольку в перспективе результатом применения резидентами СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» таможенной процедуры СТЗ как одного из инструментов развития данной территории может стать:

- для резидента – возможность производства высококачественного продукта по рыночной цене или чуть ниже за счет снижения издержек, связанных с уплатой таможенных платежей при осуществлении ВЭД, то есть производство продукта конкурентоспособного на любом рынке;
- для государства – укрепление позиций на мировой арене в сфере высокотехнологичной инновационной продукции, в том числе фармацевтической, а также развитие импортозамещения в этой области;
- для СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» – расширение занимаемой территории, наращивание экономического и научного потенциала, увеличение объемов инвестирования за счет роста числа и экономического развития ее резидентов.

Во-вторых, в учебном процессе при проведении лекций и практических занятий в рамках дисциплины «Таможенные платежи», а именно в части расчета таможенных платежей при помещении товаров под таможенную процедуру СТЗ и при ее завершении наиболее экономически выгодными таможенными путями.

В-третьих, результаты исследования могут использоваться в практической деятельности участников ВЭД с целью осуществления предпринимательской деятельности на территории СЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург», в частности с применением рекомендованных автором проекта наиболее выгодных способов завершения таможенной процедуры СТЗ.

Публикации

1. *Изгаршева Ю.А.* Свободная экономическая зона технико-внедренческого типа Санкт-Петербург: перспективы развития с учетом возможности применения таможенной процедуры свободной таможенной зоны // Стратегии бизнеса. 2017. № 1. С. 9–17. URL: <http://www.strategybusiness.ru/jour/article/view/284> (дата обращения: 24.04.17).
2. *Изгаршева Ю.А., Аганова А.В.* Направления развития особой экономической зоны технико-внедренческого типа [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5616/5616.pdf> (дата обращения: 28.09.17).

Литература

1. Федеральный закон от 22.07.2005 № 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об особых экономических зонах в Российской Федерации».
2. ОЭЗ ТВТ «Санкт-Петербург» [Электронный ресурс] // Россия. Особые экономические зоны [Офиц. сайт]. URL: http://www.rusez.ru/oez/innovation/speterburg/sankt_peterburg/ (дата обращения: 28.09.17).
3. *Фурцик М.А. и др.* Особые экономические зоны: опыт и перспективы. М., 2014. – 212 с.
4. Соглашение по вопросам свободных (специальных, особых) экономических зон на таможенной территории Таможенного союза и таможенной процедуры свободной таможенной зоны от 18.06.2010 (ред. от 08.05.2015).



Карманова Наталия Андреевна
Факультет безопасности информационных технологий
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
E-mail: natali.karmanova@gmail.com

СИСТЕМНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ АНТЕННЫХ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Н.А. Карманова

Научный руководитель – заместитель начальника НТО Б.П. Папченко

Цель проекта – разработка концепции теплоотвода антенных фазированных решеток (АФАР) для бортовых радиолокационных станций (РЛС) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Задачи:

- исследовать особенности потенциальных беспилотных летательных аппаратов в качестве носителей радиолокационных станций с антенными фазированными решетками;
- провести анализ использования бортовых радиолокационных станций с антенными фазированными решетками на беспилотных летательных аппаратах;
- разработать требования к системному теплоотведению антенных фазированных решеток;
- определить способ теплоотведения антенных фазированных решеток;
- провести апробацию предложенного решения теплоотведения антенных фазированных решеток на борту беспилотных летательных аппаратов.

Существующие стандартные системы охлаждения для наземных и пилотируемых летательных аппаратов не обеспечивают необходимый теплоотвод на БПЛА [1]. Воздушное охлаждение в этом случае не может применяться, так как БПЛА не развивает достаточной скорости и летает преимущественно на низких высотах. Водное охлаждение не удовлетворяет по габаритно-весовым характеристикам. Можно ли в таком случае строить систему охлаждения [2]? Ответ был найден в новых материалах, а именно в алмаз-карбидокремниевом композите (АКК) «Скелетон».

Таблица 1
Алмаз и SiC керамики

	SSiC	RBSiC	Алмаз
Плотность, г/см ³	3,0	3,1	3,5
Модуль упругости, ГПа	400	400	1100
Твердость, ГПа	23	21	100
Теплопроводность Вт/м*К	80	150	2000
ТКЛР, 10 ⁻⁶ /К	4,5	4,5	1,5

Рассмотрев характеристики этих веществ (Табл. 1), становится понятно, что получение композитов (усиление SiC-керамик алмазными частицами) должно приводить к получению

материалов с уникальной комбинацией жесткости, теплопроводности, твердости и износостойкости.

Согласно Табл. 2, АКК «Скелетон» превосходит многие материалы по плотности, теплопроводности, коэффициенту линейного расширения, сопротивлению, а также является диэлектриком [3].

Таблица 2

Высокотеплопроводные материалы (показатели плотности, теплопроводности, вязкости, температурного коэффициента линейного расширения и сопротивления)

Материал	ρ , г/см ³	λ , Вт/м*К	α , см ² /с	ТКЛР. 10^{-6} , 1/К	R, мкОм*м
Cu	8,9	390	1,15	17	0,017
Al	2,7	220	0,85	24	0,03
Si	2,3	150	0,9	2,3	10^4
BeO	3,0	250	0,85	7,0	10^{13}
SiC	3,2	150	0,73	4,3	10^9
АКК «Скелетон»	3,3	300–600	1,8–3,2	2,0–2,3	10^5
Алмаз	3,5	2000	10,3	1,5	10^{16}

Для аналитического расчета теплопроводности использовалась программа «Композит». Была получена зависимость теплопроводных свойств АКК «Скелетон» от концентрации алмазной крошки (рис. 1).

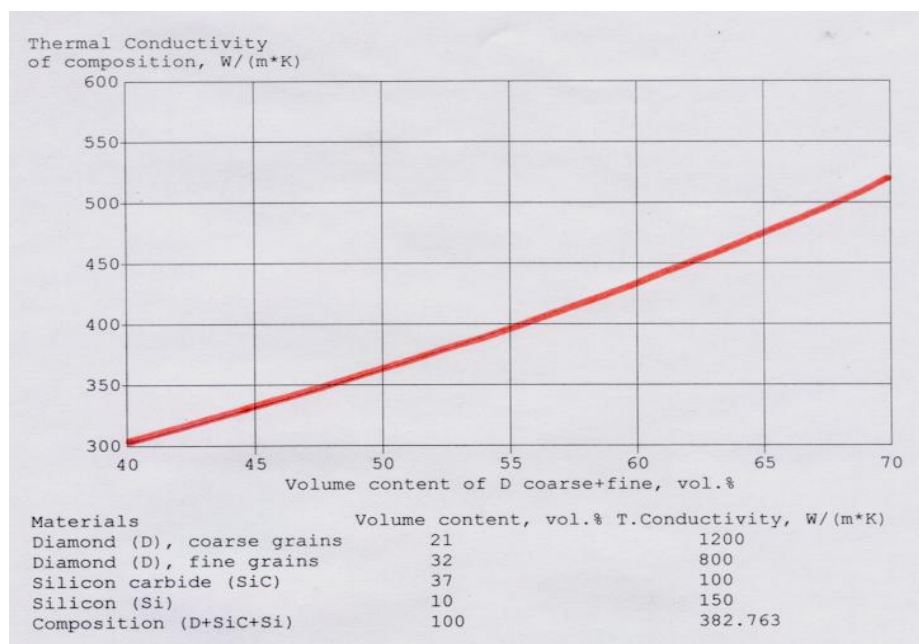


Рис. 1. Зависимость теплопроводных свойств от концентрации алмазной крошки

На рис. 2 представлена упрощенная схема экспериментального определения теплопроводности композитов. На испытуемый образец (рис. 2а) подается тепловой удар

лазеров ближней ИК-области, и фиксируется время достижения импульсной волной половины амплитуды теплового удара.

Для расчета поглощения энергии лазерного импульса использовались следующие выражения:

$$D = 1,38d^2/\pi^2t_{1/2},$$

$$\lambda = \rho CD,$$

где D – поглощенная энергия лазерного импульса (дж/см²), C – теплоемкость, d – толщина образца, $t_{1/2}$ – время достижения половины амплитуды $T_{\max}/2$.

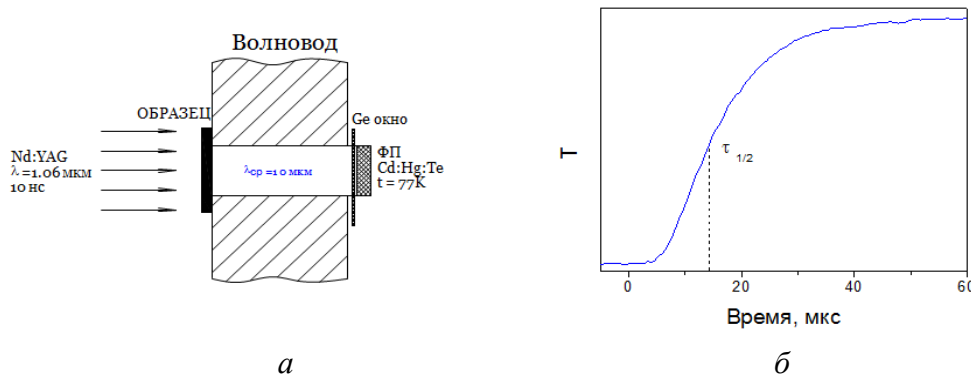


Рис. 2. Определение теплопроводности композитов:

a – установка ; *б* – полученный результат (график зависимости $T(t)$)

В Табл. 3 представлены результаты: аналитические и экспериментальные данные при определенном процентном соотношении материалов.

Таблица 3

Результаты эксперимента

Состав материала, % об.			Теплопроводность, Вт/м К	
Алмаз	SiC	Si	эксперимент	расчет
43	46	11	280 ± 0,009	264
52	37	11	370 ± 0,010	365
58	30	12	490 ± 0,011	480
59	30	11	510 ± 0,020	480
68	25	7	610 ± 0,013	580
70	23	7	600 ± 0,023	605

В результате проделанной работы:

- проанализированы типы БПЛА с целью размещения на их борту РЛС с АФАР;
- определены основные проблемы, возникающие БРЛС с АФАР при размещении БРЛС с АФАР на БПЛА;
- предложен способ термоотведения АФАР;
- проведены аналитическое и экспериментальное исследования, а также апробация термоотведения с использованием материала АКК «Скелетон».

Публикации

Елисеева В.В., Карманова Н.А., Усачев И.Е., Карманов А.Г. Системное охлаждение антенных фазированных решеток беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/4785/4785.pdf> (дата обращения: 14.10.2017).

Литература

1. Вендик О.Г. Антенны с немеханическим движением луча. М., 1965. – 360 с.
2. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: учебное пособие. М., 1994. – 592 с.
3. Кипер Р.А. Свойства веществ: справочник. Хабаровск, 2009. – 387 с.



Квитко Катерина Борисовна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра управления транспортными системами
E-mail: kvitko_kb@corp.ifmo.ru

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО СООБЩЕНИЯ

К.Б. Квитко

Научный руководитель – доцент Л.И. Рогавичене

Цель работы – изучение перспективы внедрения технологии высокоскоростного рельсового транспорта (ВРТ) для повышения транспортной доступности городов Северо-Западного федерального округа (СЗФО).

В ходе выполнения проекта проведен сравнительный анализ стран Европы и Азии, использующих в своей транспортной системе высокоскоростные магистрали (ВСМ). Из 43 европейских государств, находящихся на одном материке, 16 имеют высокоскоростное сообщение, составляющее единую сеть. К ним относятся Великобритания, Португалия, Испания, Греция, Франция, Италия, Германия, Дания, Швеция, Норвегия, Финляндия, Нидерланды, Польша, Австрия, Бельгия и Швейцария. Самая крупная сеть этих стран соединяет Восточную, Западную и Южную Европу, существует также высокоскоростное сообщение в Северной Европе, существующее отдельно от южных соседей.

Исследование выявило два европейских государства – Грецию и Португалию, – имеющих ВСМ, но обособленных от высокоскоростного сообщения с другими странами, что объясняется их территориальными особенностями.

Пример внедрения ВСМ в странах Азии демонстрирует другой путь развития данной инновации. Высокоскоростное сообщение в этих государствах имеет строго локальный характер и межгосударственного взаимодействия не наблюдается.

Внедрение ВСМ в странах Европы и Азии, учитывающее экономические, территориальные, климатические и политические факторы их развития, может послужить примером для развития ВСМ и на территории Российской Федерации.

В работе проведен сравнительный анализ регионов СЗФО РФ на предмет транспортной доступности, среднего уровня доходов населения, экономической развитости на основе анализа их доли в валовом региональном продукте (ВРП) СЗФО, наличия крупных промышленных предприятий и т. д. Анализ транспортной доступности регионов показал существенную долю автомобильного сообщения, превышающего в разы железнодорожное и на порядок речное сообщение внутри СЗФО. Железнодорожная инфраструктура СЗФО по

протяженности и густоте также уступает автодорожной, в несколько раз меньше обслуживает пассажирские и грузовые перевозки.

Проведенный анализ среднедушевых доходов населения СЗФО РФ за последние годы показал их рост в среднем на 9 %, 13 %, 3 % в 2014, 2015 и 2016 годах соответственно. При этом в 2016 году выявлено снижение среднедушевых доходов населения в таких регионах, как Республика Коми (3,12 %), Ненецкий автономный округ (0,94 %), Калининградская область (1,23 %), Мурманская область (1,9 %), Новгородская область (0,28 %). Отличительными характеристиками в данном экономическом анализе обладает Ненецкий автономный округ – среднедушевые доходы населения данного субъекта РФ более чем в два раза превышают среднедушевые доходы населения СЗФО в целом (рис. 1).

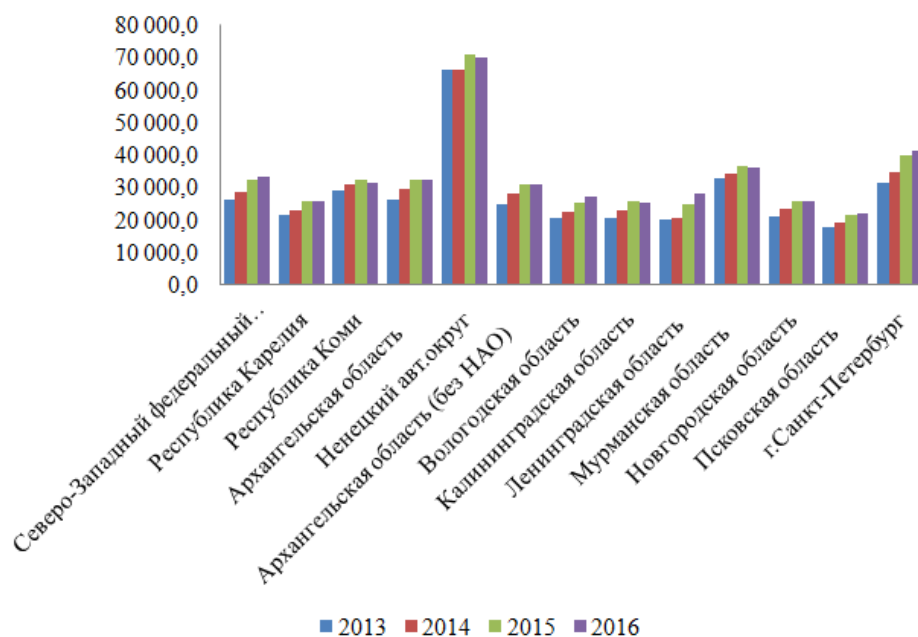


Рис. 1. Динамика среднедушевых доходов населения СЗФО с 2013 по 2016 год

Наряду с изучением среднедушевых доходов населения регионов СЗФО, необходимо изучить долю субъектов в валовом региональном продукте (ВРП) округа (рис. 2).

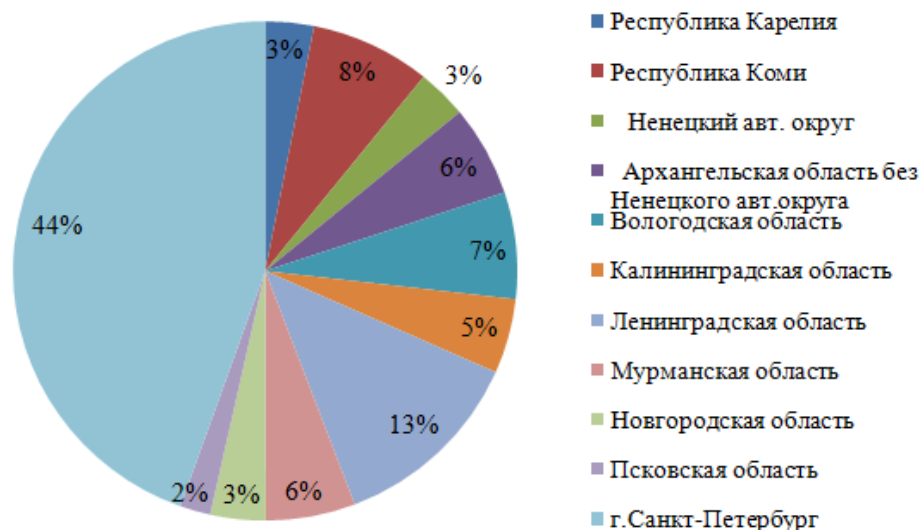


Рис. 2. Доля регионов в ВРП СЗФО на 2015 год

Регионы, входящие в СЗФО, по их доле в ВРП можно разделить на четыре основных группы. В первую и вторую войдут соответственно Санкт-Петербург (44 %) и Ленинградская область (13 %), чья суммарная доля составляет большую часть ВРП СЗФО. К третьей группе относятся Республика Коми, Вологодская, Архангельская, Мурманская и Калининградская

области. Их вклад в ВРП примерно равноценен 5–8 % и суммарно составляет 32 % ВРП СЗФО. К четвертой группе с наименьшей долей в ВРП (2–3 %) относятся Республика Карелия, Ненецкий АО, Новгородская и Псковская области. Их суммарный вклад составил 11 %.

Анализ рассмотренной региональной структуры закрепляет за Санкт-Петербургом, Республикой Коми, Ленинградской и Вологодской областями право лидеров регионального экономического развития среди субъектов СЗФО.

В ходе исследования изучены уже существующие проекты: ВСМ 2 «Москва – Казань» и ВСМ 3 «Центр – Юг», реализацию которых планируется завершить к 2035-му и 2040 году соответственно. Также рассмотрена проблема развития высокоскоростных железных дорог с точки зрения равномерного развития городов России, повышения транспортной доступности регионов страны и качества транспортных услуг по перевозке пассажиров.

В краткосрочной перспективе внедрение ВСМ отразится на отдельных отраслях промышленности, таких как строительство и образование, а в долгосрочной – на развитии бизнеса, финансового сектора и остальных отраслей экономики. Такой мощный социально-экономический эффект напрямую скажется на росте благосостояния граждан, поскольку повысит их уровень жизни за счет возможности трудиться в крупных административных центрах (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Казань и других), а проживать в более мелких, но выгодных с экономической и экологической сторон населенных пунктах.

На основе Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, выработан следующий проект высокоскоростной магистрали на территории СЗФО: «Москва – Ярославль – Вологда – Карпогоры – Индига». В условиях активного развития Северного морского пути строительство ВСМ позволит снять нагрузку с существующей железнодорожной инфраструктуры для использования ее под грузовые перевозки, обеспечит пассажирооборот и будет способствовать экономическому, промышленному и туристическому росту Вологодской и Архангельской областей СЗФО.

Заключение

Исследование анализирует сущность понятия и перспективы внедрения технологии ВРТ для повышения транспортной доступности городов СЗФО.

Изучен мировой опыт строительства и внедрения ВСМ, а также организации высокоскоростного движения на примере Европейской и Азиатской систем. Выявлены отличительные особенности их подходов к данной проблеме, что предоставляет возможность для РФ ознакомиться с успехами и неудачами зарубежных коллег при построении собственного высокоскоростного сообщения.

Проведен экономический анализ регионов СЗФО РФ, позволивший выделить субъекты, готовые к внедрению ВСМ для повышения их транспортной доступности.

Анализ проектов строительства ВСМ 2 «Москва – Казань» и ВСМ 3 «Центр – Юг» выявил ряд решений проблемы транспортной доступности и развития экономики регионов Северо-Западного федерального округа РФ.

Результатом проведенных исследований стало построение альтернативного проекта ВСМ для развития транспортной доступности регионов СЗФО.

Публикации

1. *Рогавичене Л.И., Квитко К.Б.* Перспективы развития высокоскоростных железных дорог в России // Бюллетень транспортной информации. 2017. № 9(267). С. 8–12.
2. *Квитко К.Б.* Технологические особенности проекта ВСМ-2 «Москва – Казань» // Инновационное развитие транспорта: материалы II Всероссийской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов 12 мая 2017. СПб., 2017. С. 20–23.
3. *Квитко К.Б.* Анализ возможности использования существующей инфраструктуры железнодорожного транспорта под потребности высокоскоростного рельсового транспорта //

4. Магистерские слушания: материалы IVсероссийской конференции магистрантов и преподавателей. Т. 1. СПб., 2017. С. 262–265.

Литература

1. Сазонов С.Л. Скоростные железные дороги КНР // Общество и государство в Китае. 2015. Т. 45. № 18-2. С. 609–618.
2. Мишарин А.С. Железные дороги: будущее за скоростями // Большая Москва. 2015. № 28 (59). С. 2–5.
3. Киселев И.П. Высокоскоростной железнодорожный транспорт и перспективы его развития в мире // Транспорт Российской Федерации: журнал о науке, экономике, практике. 2012. № 5 (42). С. 44–51.



Кормилина Татьяна Константиновна
Мегафакультет фотоники
Международный научно-образовательный центр физики наноструктур
Кафедра оптической физики и современного естествознания
E-mail: vemavra@mail.ru

УЛЬТРАТОНКИЕ КОЛЛОИДНЫЕ НАНОПЛАСТИНЫ СЕЛЕНИДА КАДМИЯ ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Т.К. Кормилина

Научный руководитель – научный сотрудник С.А. Черевков

Цель проекта – разработка методики синтеза и исследование оптических свойств ультратонких полупроводниковых нанопластин на основе *CdSe*.

Для получения двумерных нанокристаллов были выбраны методы коллоидного синтеза, позволяющие с высокой точностью контролировать толщину пластины, а значит – и добиваться желаемых оптических свойств [1]. Синтез нанопластин толщиной пять монослоев проводился, как описано в работе [2]. В трехгорлую колбу объемом 25 мл посредством шприца загружалось 106,6 мг ацетата кадмия дегидрата, 8 мг элементарного селена, 28,4 мг стеариновой кислоты и 10 мл некоординирующего растворителя октадецена. Реакция проходила в атмосфере аргона при повышенной температуре 170 °С в течение 15 минут.

Для синтеза ультратонких пластин методика была модифицирована. В трехгорлой колбе смешивалось 106,6 мг ацетата кадмия дегидрата, 28,4 мг стеариновой кислоты, 125 мкл олеиламина и 9 мл октадецена. Отдельно готовился 0,1-молярный раствор элементарного селена в октадеcene. После полного растворения селена 1 мл этого раствора добавлялся в колбу, и дальнейшая реакция проходила при тех же условиях. По окончании реакции нанокристаллы *CdSe* осаждались из реакционной смеси добавлением изопропанола. Осадок растворялся в хлороформе с добавлением олеиновой кислоты в качестве стабилизатора коллоидных наночастиц *CdSe*.

Электронно-микроскопические изображения нанокристаллов, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа *Merlin (Zeiss)* (рис. 1), подтверждают, что разработанные методы синтеза позволяют получать практически монодисперсные по толщине и по латеральным размерам образцы нанопластин *CdSe* заданной толщины.

Пластины обоих размеров имеют квадратную форму со сторонами порядка 20 нм. На изображениях можно наблюдать самоорганизацию нанопластин в стековые структуры.

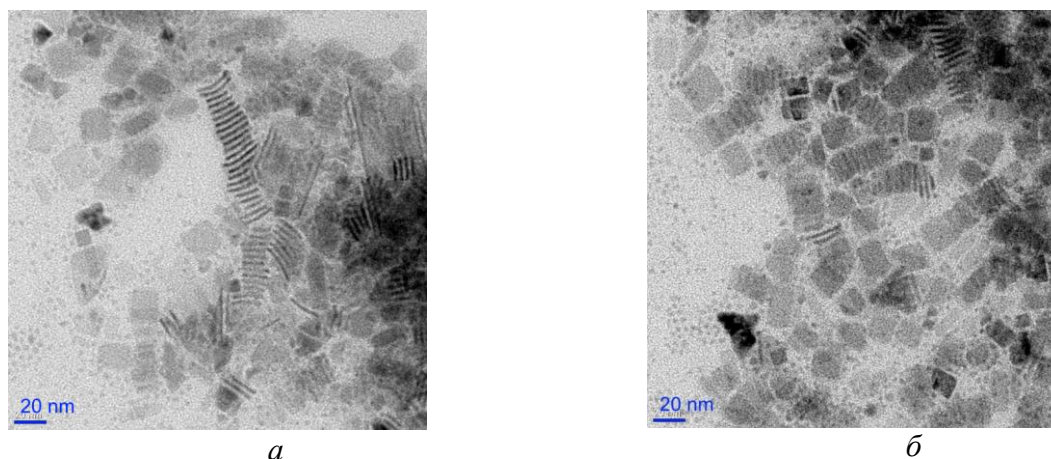


Рис. 1. Изображения нанопластин CdSe толщиной четыре (а) и пять (б) монослоев

В работе был проведен анализ электронной энергетической структуры двумерных нанокристаллов селенида кадмия методами абсорбционной и люминесцентной спектроскопии. Спектры поглощения были получены на спектрофотометре *UV-Probe 3600* (Shimadzu), а спектры люминесценции исследуемых в данной работе нанокристаллов с оптическими переходами в видимой области спектра проводились на спектрофлуориметре *Cary Eclipse* (Varian).

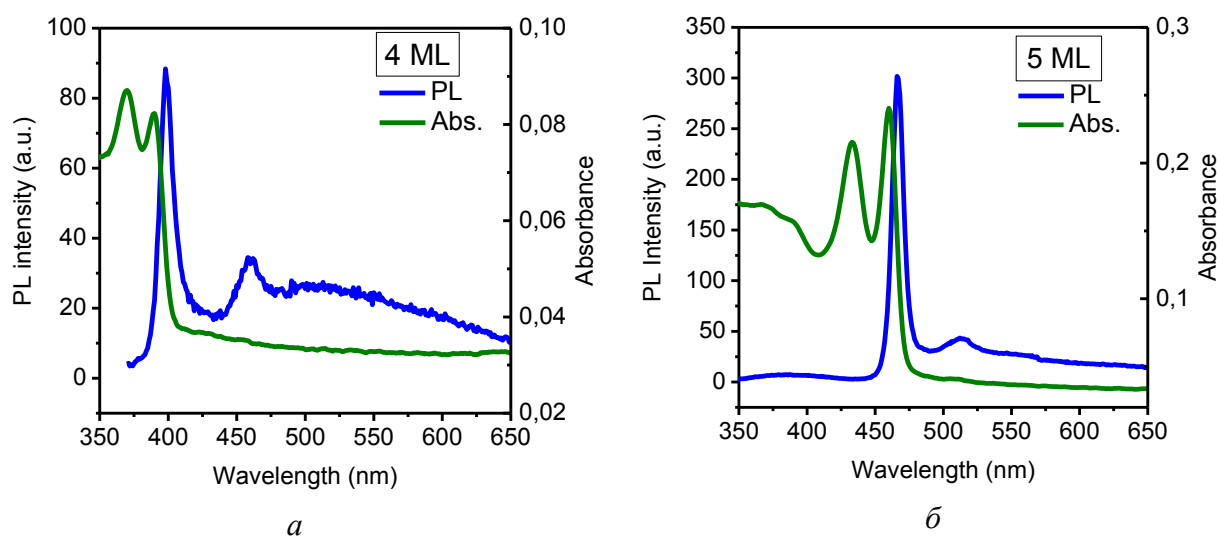


Рис. 2. Спектры поглощения (PL) и люминесценции (Abs.) нанопластин толщиной: а – четыре; б – пять монослоев

Как видно из рис. 2б, нанопластины в пять монослоев имеют максимумы поглощения и люминесценции, лежащие практически на границе видимой области с фундаментальным экситонным переходом в области 460 нм. Более тонкие нанопластины, представленные на рис. 2а, имеют оптические переходы уже в ультрафиолетовом диапазоне с переходом в области 398 нм. Полученные спектры демонстрируют крайне узкие максимумы излучения полушириной около 10 нм, свидетельствующие о высоком качестве и однородности пластин в образце. Незначительный Стоксов сдвиг всего в 6 и 8 нм соответственно для пластин толщиной пять и четыре монослоя показывает, что очень малая часть поглощенной энергии теряется в безызлучательных процессах.

Для исследования кинетики затухания люминесценции был использован флуоресцентный микроскоп *MicroTime 100* (PicoQuant), в котором реализован метод

коррелированного счета одиночных фотонов на базе конфокального микроскопа. Измерения проводились при комнатной температуре. На рис. 3 и 4 приведены кривые затухания люминесценции, полученные нами для нанокристаллов разных толщин на предметном стекле. В обоих случаях первый график, обозначенный буквой *а*, соответствует затуханию в области основного максимума люминесценции, а второй под буквой *б*, отражает затухание в области дефектной люминесценции, которую можно видеть на рис. 5 справа от основного максимума. Приведены также двумерные карты люминесценции исследуемых образцов (маленькие изображения возле графиков), где цвет соответствует времени жизни на этом участке.

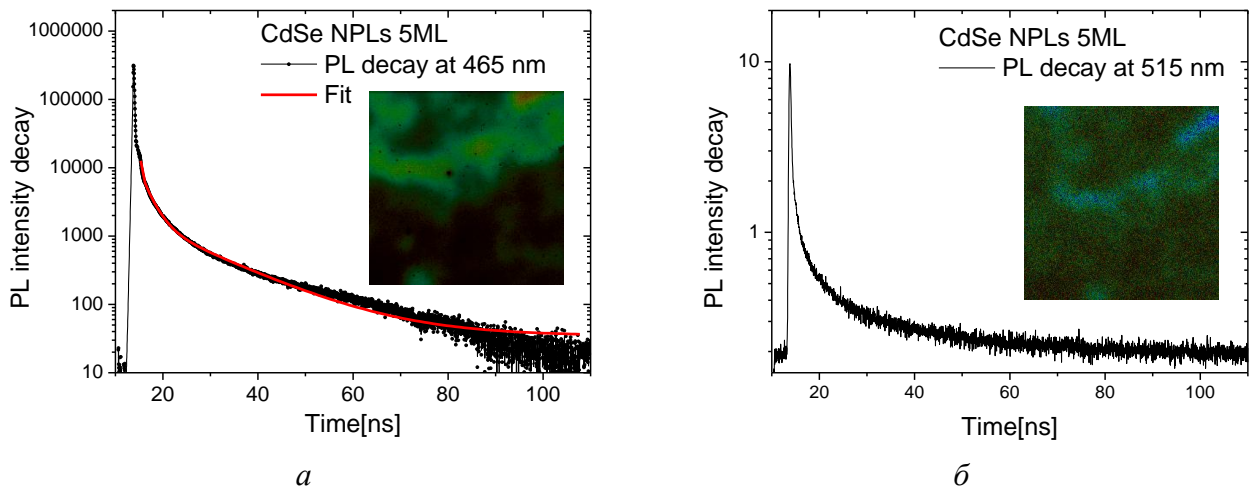


Рис. 3. Кривые затухания люминесценции нанокристаллов толщиной пять монослоев: *а* – в области основной люминесценции; *б* – в области дефектной люминесценции

Времена жизни люминесценции нанопластин толщиной пять монослоев составили 10 нс в растворе и приблизительно 3 нс на подложке в виде предметного стекла. Для ультратонких нанопластин удалось получить времена жизни всего 3 нс в растворе и менее наносекунды на подложке. Это делает данные полупроводниковые нанопластины наиболее быстро излучающими из всех исследованных прежде для этих целей нанокристаллов.

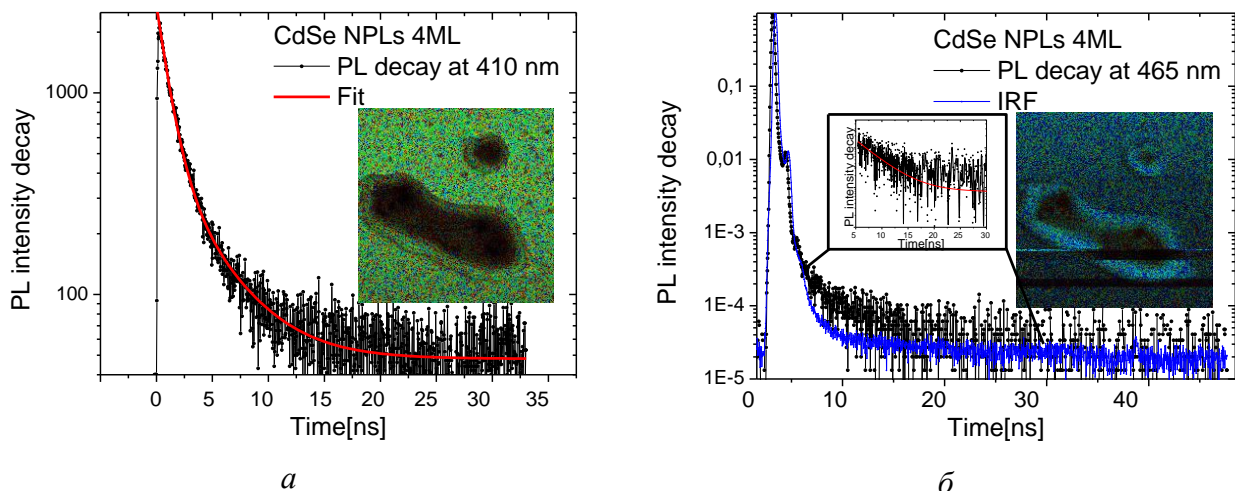


Рис. 4. Кривые затухания люминесценции нанокристаллов толщиной четыре монослоя: *а* – в области основной люминесценции; *б* – в области дефектной люминесценции

Было проведено дополнительное сравнение кинетики затухания люминесценции в нанопластинах с кинетикой, характерной для квантовых точек. Для этого использовались нанопластины толщиной пять монослоев и квантовые точки CdSe с той же полосой

поглощения и близким квантовым выходом, как показано на рис. 5а. Из рис. 5б видно, что затухание люминесценции в нанопластинах происходит намного быстрее.

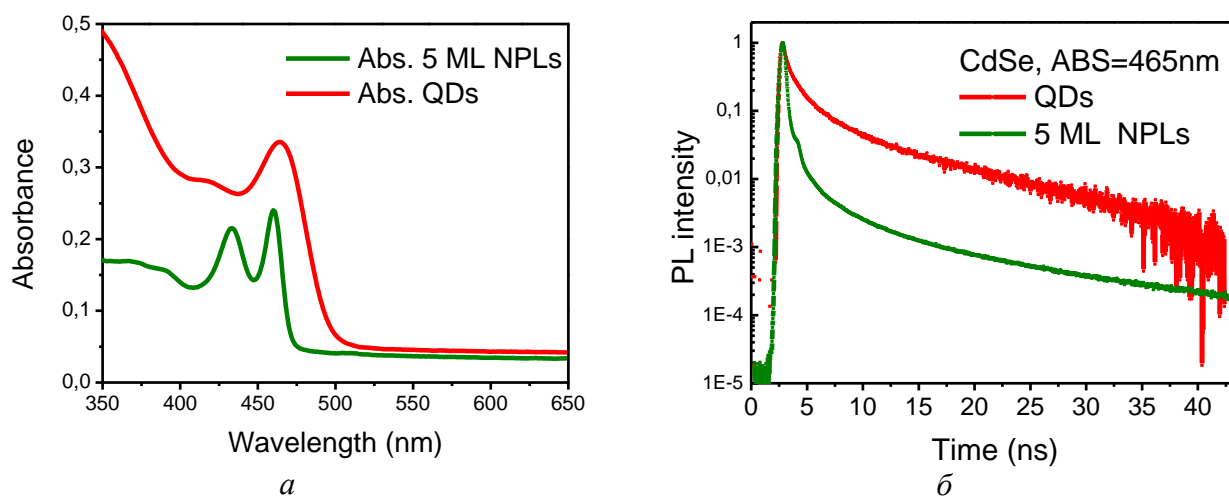


Рис. 5. Сравнение с квантовыми точками: а – спектры поглощения; б – кривые затухания люминесценции нанопластин (NPLs) и квантовых точек (QDs)

Анализ кинетики затухания образцов нанокристаллов CdSe показал, что время затухания люминесценции зависит от формы и размера нанокристаллов: во-первых, время затухания люминесценции нанопластин меньше, чем у сферических нанокристаллов, во-вторых, время затухания люминесценции уменьшается с толщиной нанопластин. Это открывает возможность создавать активные элементы источников излучения с заданными параметрами кинетики затухания люминесценции, подбирая нужные форму и размер нанокристаллов. Нанопластины таким образом являются крайне перспективными для разработки светодиодов и полупроводниковых лазеров, чему уже есть наглядные примеры [3, 4], а ультратонкие нанопластины позволят достичь таких результатов и для коротковолнового диапазона.

Заключение

В работе исследовались оптические свойства двумерных нанокристаллов селенида кадмия. Был разработан протокол воспроизводимого синтеза ультратонких нанопластин. Синтезированы нанопластины толщиной четыре и пять монослоев с фундаментальным экситонным переходом в областях 398 и 460 нм.

Изучались абсорбционно-люминесцентные свойства пластин, анализ которых показал, что они обладают крайне узкими максимумами люминесценции и незначительным стоксовым сдвигом.

Исследовалась кинетика затухания люминесценции нанопластин в растворе и на предметном стекле, проводилось сравнение с квантовыми точками. Было выявлено, что затухание люминесценции в нанопластинах происходит намного быстрее, чем в сферических нанокристаллах. Для ультратонких нанопластин были зарегистрированы времена жизни, составляющие всего единицы наносекунд.

Крайне узкий максимум излучения пластин свидетельствует об их высоком качестве и однородности в образце, а незначительный Стоксов сдвиг показывает, что очень малая часть поглощенной энергии теряется в безызлучательных процессах. Данные свойства в сочетании с быстрым затуханием люминесценции подтверждают предположение о наличии у нанопластин огромной силы осциллятора, что, согласно проведенному литературному обзору, делает двумерные нанокристаллы крайне перспективным для их применения в оптоэлектронике.

Результаты исследований, касающиеся ультратонких нанопластин, свидетельствуют о том, что уменьшение их толщины позволяет перейти в ультрафиолетовую область спектра, сохранив характерные для пластин оптические параметры. На основе этого можно утверждать, что ультратонкие нанопластины действительно обладают всеми необходимыми качествами для их применения в коротковолновых источниках излучения.

Публикации

1. Cherevko S.A., Kormilina T.K., Ushakova E.V., Fedorov A.V., Baranov A.V. Ultrathin colloidal CdSe nanoplatelets for short-wavelength light emitters // 8th International Conference on Nanomaterials — Research & Application (NANOCON). Proceedings. 2017. P. 155–160.
2. Kormilina T.K., Cherevko S.A., Fedorov A.V., Baranov A.V. Cadmium chalcogenide nano-heteroplatelets: creating advanced nanostructured materials by shell growth, substitution, and attachment // Small. 2017. Vol. 13. No 41. P. 1702300.
3. Kormilina T.K. Ultrathin colloidal CdSe nanoplatelets for black light emitting devices // International Conference for Physics Students (ICPS). Abstracts. 2017. P. 199–200.

Литература

1. Ithurria S., Dubertret B. Quasi 2D colloidal CdSe platelets with thicknesses controlled at the atomic level // Journal of American Chemical Society. 2008. Vol. 130. No 49. P. 16504–16505.
2. Li Z., Peng X. Size/shape-controlled synthesis of colloidal CdSe quantum disks: ligand and temperature effects // Journal of American Chemical Society. 2011. Vol. 133. No 17. P. 6578–6586.
3. Vitukhnovsky A.G. et al. Electroluminescence from colloidal semiconductor CdSe nanoplatelets in hybrid organic–inorganic light emitting diode // Chemical Physics Letters. 2015. Vol. 619. P. 185–188.
4. Guzelturk B. et al. Amplified spontaneous emission and lasing in colloidal nanoplatelets // ACS Nano. 2014. Vol. 8. No 7. P. 6599–6605.



Королев Тимофей Константинович
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра оптико-электронных приборов и систем
e-mail: tkkorolev@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Т.К. Королев

Научный руководитель – ведущий инженер В.С. Перетягин

Введение

Одним из результатов интенсивного развития светодиодных технологий стало создание многокомпонентных управляемых устройств освещения/облучения, применяемых в различных областях производства (например, в пищевой промышленности при анализе качества продуктов питания). Использование излучающих диодов стало возможно благодаря

их конструкции, определяющей пространственно-энергетические, электрические, тепловые и другие характеристики. Тем не менее разработка устройств освещения/облучения требует более пристального внимания в том случае, если необходимо обеспечить определенный характер засветки зоны анализа, расположенной на заданном расстоянии от источника излучения.

Настоящая работа посвящена исследованиям по созданию кольцевого источника излучения на основе инфракрасных диодов для оптико-электронных систем анализа продуктов питания. В предлагаемой работе представлены математические модели, описывающие пространственное распределение облученности как от всего устройства излучения кольцевой структуры, так и от отдельных его элементов – инфракрасных диодов.

Обоснование структурной схемы

На основании проведенного аналитического обзора были выбраны источники излучения, разработана структурная схема многокомпонентного мультиспектрального источника излучения в составе прибора для определения свежести продуктов питания (рис. 1).

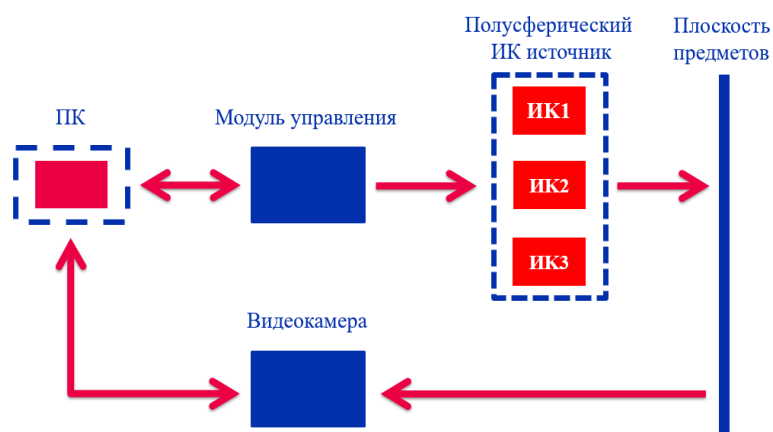


Рис. 1. Структурная схема прибора для анализа свежести продуктов

К компьютеру подключается программируемый модуль управления (микроконтроллер). Контроллер программируется так, чтобы была возможность управлять яркостью как одиночного диода, так и каждого кольца по отдельности, добиваясь равномерного освещения и нужного спектрального распределения. Полусферический источник представляет собой три кольца диодов по 11, 11 и 7 штук на каждом соответственно. Каждое кольцо отвечает за конкретную спектральную составляющую (845, 900 и 975 нм). Управляя таким источником, мы освещаем поверхность исследования. Камера снимает показания и отправляет данные на компьютер, на котором алгоритм распознает состояние объекта.

Таким образом, имея спектральные данные об объекте, можно судить о его качестве, причем намного точнее, чем с помощью аналогичных приборов, которые представляют собой анализатор запаха по определенным составляющим. Например, по содержанию аммиака. При использовании такого прибора существует большая вероятность попадания других запахов в зону анализа (соседние продукты, фоновый запах). Предлагаемый же прибор исключает погрешности такого рода и теоретически должен распознавать состояния продукта точно.

Создание модели источника

Математическое моделирование выполнялось для идеального случая, когда излучение распределяется равномерно по всей зоне анализа. Такой случай можно описать, например, с помощью функций Ламберта или косинуса. Для построения моделей пространственного

распределения облученности в зоне анализа от многокомпонентного источника излучения, необходимо на излучающей поверхности в определенном порядке расположить излучатели, составляющие разрабатываемый источник [1].

Уравнение пространственного распределения облученности от излучающего диода имеет вид:

$$E_{CD}(x, y) = E_0 \cos^2 \left[\arctan \left\{ \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{r} \right\} \right], \quad (1)$$

где E_0 – максимальная облученность зоны анализа от одного элемента, r – расстояние от источника до зоны анализа [2]. Результат моделирования зоны облученности представлен на рис. 2.

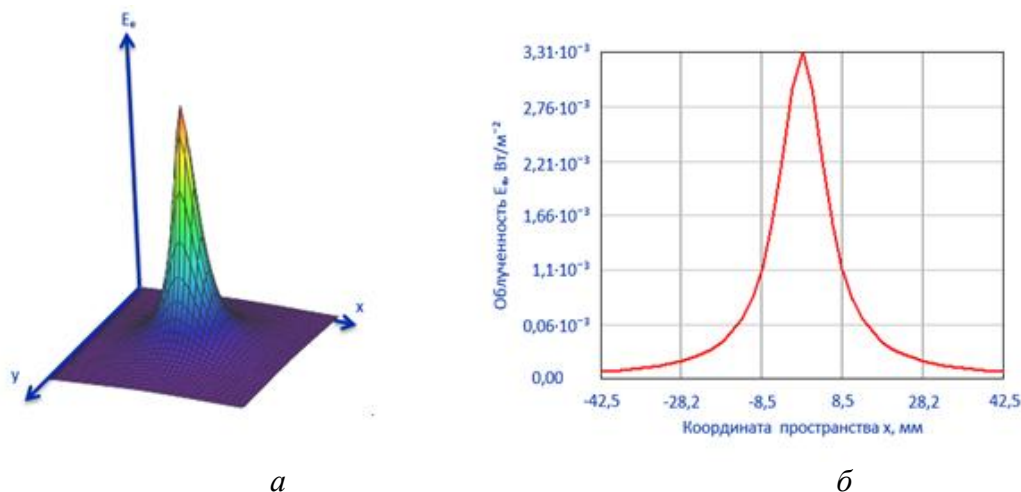


Рис. 2. Математическая модель пространственного распределения облученности в зоне анализа от ИК-диода марки «АЛ-108 АМ»:

а – трехмерная модель; б – осевое сечение (по координате $y = 0$ мм)

Уравнение пространственного распределения облученности в зоне анализа от многокомпонентного источника излучения кольцевой структуры выглядит следующим образом:

$$E_k(x, y) = \sum_N \exp \left\{ \frac{-\left(x - r \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot N^{-1})\right)^2 + \left(y - r \cdot \cos(2\pi \cdot i \cdot N^{-1})\right)^2}{2 \cdot r^2} \right\} \quad (2)$$

где x и y – координаты пространства, r – расстояние от излучающего диода до зоны анализа, N – количество колец. Результат моделирования представлен на рис. 3.

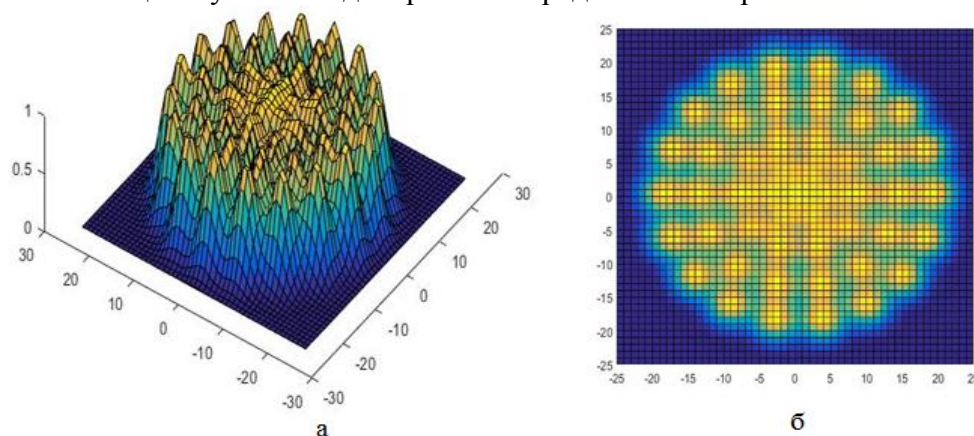


Рис. 3. Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец:

а – трехмерная модель; б – распределение излучения на поверхности

Для того чтобы регулировать конструктивные (количество диодов и колец, их расположение друг относительно друга), пространственные (угол излучения) и энергетические (сила излучения) параметры источника излучения было получено следующее уравнение:

$$E(x, y) = \sum_n \sum_N \exp \left\{ - \frac{\left(x - r_n \cdot \cos\left(2\pi \frac{i}{N_n} + H_n\right)\right)^2 + \left(y - r_n \cdot \cos\left(2\pi \frac{i}{N_n} + H_n\right)\right)^2}{\left(\tan\left(\frac{l}{2}\right) \cdot 2R_n\right)^2} \right\} \cdot \frac{I_n}{(R_n + O_n)^2}, \quad (3)$$

где H – осевой сдвиг колец, O и R – размер колец (O, R), l – угол половинной яркости диода, I – сила излучения.

Используя уравнение (2), были построены модели пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец и расположенного на расстоянии 200 мм (рис. 4) и 1 мм (рис. 5) от зоны анализа.

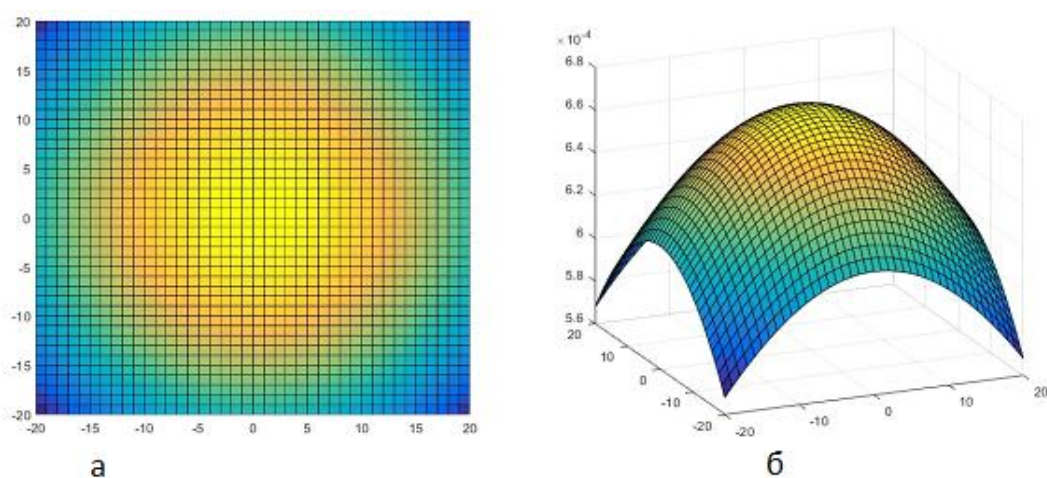


Рис. 4. Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец и расположенного на расстоянии 200 мм от зоны анализа: а – распределение излучения на поверхности; б – трехмерная модель

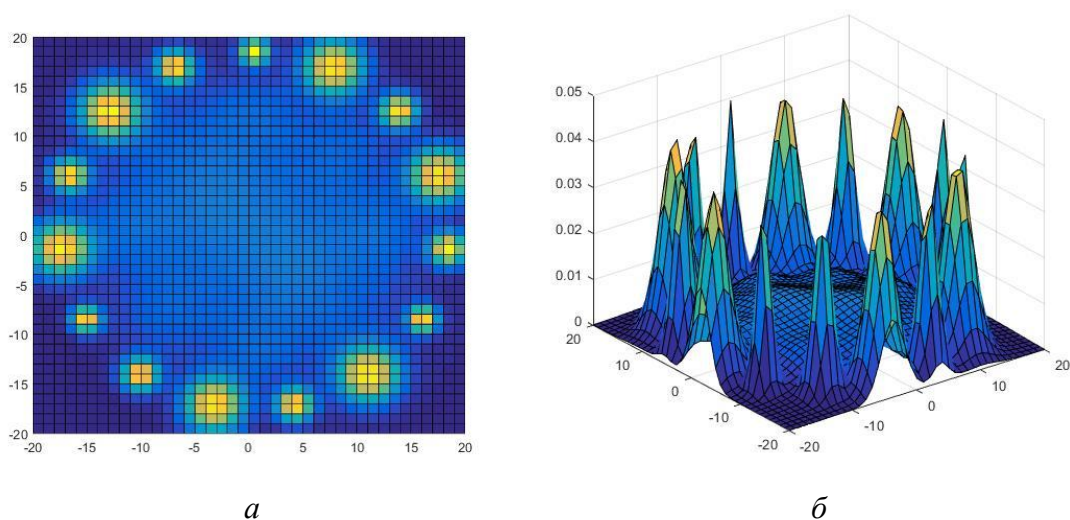


Рис. 5. Модель пространственного распределения облученности от многокомпонентного источника излучения, состоящего из трех колец и расположенного на расстоянии 1 мм от зоны анализа: а – распределение излучения на поверхности, б – трехмерная модель

Моделирование спектральной характеристики

Так как в данной работе рассматривается многокомпонентный источник инфракрасного излучения, ограничим спектральный диапазон интервалом от 780 до 1200 нм. Для моделирования спектральных характеристик диодов была взята их максимальная длина волны по паспорту и спектральная ширина по одну и другую сторону от максимума. Таким образом, составив уравнение распределения для каждого типа источника, были получены спектральные характеристики для каждого из них (рис. 6) [3].

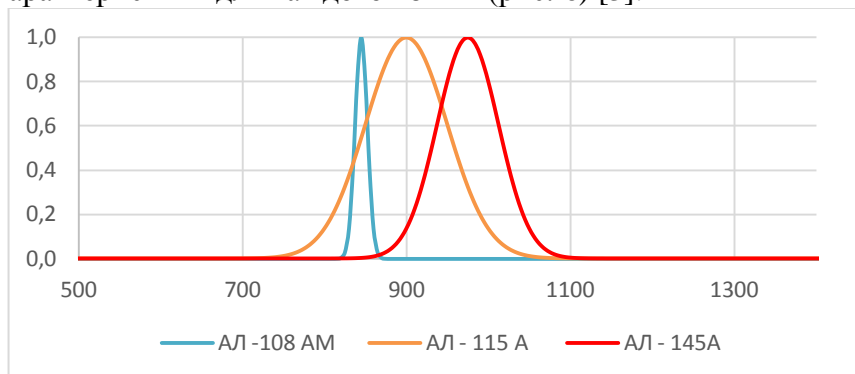


Рис. 6. Спектральные характеристики трех типов источников в относительных координатах

Для построения спектральной характеристики многокомпонентного источника излучения (рис. 7) получено следующее выражение:

$$f(\lambda) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_d)^2}{2 \cdot \sigma_1^2}\right), \lambda \leq \lambda_d \\ \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_d)^2}{2 \cdot \sigma_2^2}\right), \lambda \geq \lambda_d \end{cases}, \quad (4)$$

где σ_1 и σ_2 – переменные, связанные с полушириной спектральной характеристики диодов, λ_d – максимальная длина волны излучающего диода.

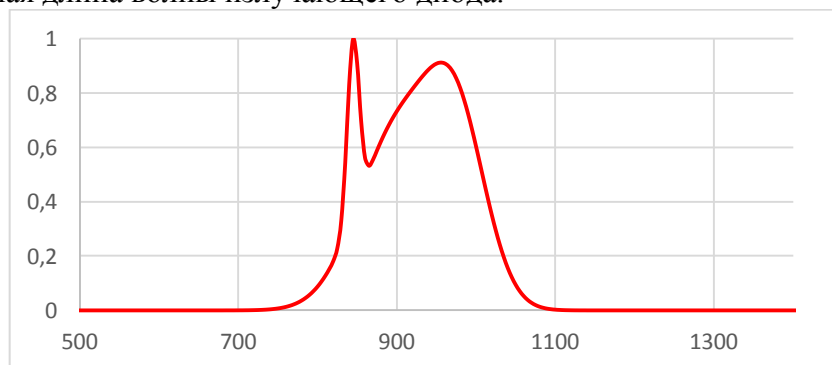


Рис. 7. Спектральная характеристика многокомпонентного источника инфракрасного излучения

Заключение

В качестве основы мультиспектрального источника (МИ) были выбраны инфракрасные диоды, которые благодаря своей конструкции обладают необходимыми энергетическими и пространственными характеристиками излучения.

Построена модель МИ, которая рассчитывает параметры каждого инфракрасного диода, расположение кластера диодов в пространстве относительно центра МИ, положение всего источника в пространстве, а также облученность поверхности от такого источника.

Габаритно-энергетический расчет показал, что для матрицы камеры *EVS VBA 351* (ее минимальная облученность составляет $0,015 \text{ Вт/м}^2$) будет хватать облученности, создаваемой МИ – $6,5 \text{ Вт/м}^2$. Отношение сигнал шум $\sigma = 432,2$. Вероятность безотказной

работы системы в течение заданного времени $t_1 = 1000$ час и $t_2 = 10000$ час равна соответственно 0,885 и 0,296.

Публикации

1. *Peretyagin V.S., Korolev T.K., Chertov A.N.* Simulation of multi-element multispectral UV radiation source for optical-electronic system of minerals luminescence analysis // Proceedings of SPIE. 2017. Vol. 10124. P. 101241F.
2. *Королев Т.К.* Моделирование многокомпонентного источника ИК излучения для оптико-электронных систем анализа продуктов питания [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5337/5337.pdf> (дата обращения: 15.05.17).
3. *Королев Т.К.* Кольцевой источник излучения на основе инфракрасных диодов // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб., 2017. С. 132–134.
4. *Korolev T.K., Peretyagin V.S.* Simulation of multispectral multisource for device of consumer and medicine products analysis // Proceedings of SPIE. 2017. Vol. 10329. P. 103293F.
5. *Королев Т.К., Перетягин В.С., Чертов А.Н.* Кольцевой источник излучения на основе инфракрасных диодов // XII Международная конференция «Прикладная оптика – 2016»: сборник трудов конференции. Т. 2. СПб., 2016. С. 48–51.

Литература

1. *Перетягин В.С.* Проектирование многокомпонентных светодиодных устройств освещения. СПб., 2016. – 133 с.
2. *Вольф У. и др.* Справочник по инфракрасной технике. Т. 1. М., 1995. – 606 с.
3. Инфракрасные излучатели [Электронный ресурс] // Языки программирования [Официальный сайт]. URL: life-prog.ru/1_30131_infrakrasnie-izluchateli.html (дата обращения: 21.03.16).



Крыкова Виктория Андреевна
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра оптоинформационных технологий и материалов
E-mail: viktoriaak08@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ОБЕСЦВЕЧИВАНИЯ НА ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХЛОРИДНОГО ФОТО-ТЕРМО-РЕФРАКТИВНОГО СТЕКЛА

В.А. Крыкова

Научный руководитель – инженер С.А. Иванов

Цель работы – сравнение голографических свойств объемных брэгговских решеток на хлоридном фото-термо-рефрактивном (ФТР) стекле до и после фотодеструкции серебряных наночастиц, образующихся в процессе записи с применением фемтосекундного лазерного излучения.

В задачи исследования входит: сравнение голографических свойств и определение области прозрачности материала до и после обесцвечивания. Ключевой задачей является определение характера зависимости изменения амплитуды модуляции первой гармоники

показателя преломления хлоридного ФТР-стекла от экспозиции после фотодеструкции серебряных наночастиц.

Использованные методы исследования

Во-первых, это двухступенчатый процесс записи голографических решеток на хлоридном ФТР-стекле [1]. Непосредственно в работе первый этап записи голограмм, заключающийся в регистрации интерференционной картины, осуществлялся по симметричной пропускающей схеме, для которой характерно падение опорного и предметного лучей на голографическую среду с одной стороны. Был записан ряд голограмм с экспозициями в интервале от 1 до 12 Дж/см², что необходимо для определения характера дозовой зависимости амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления хлоридного ФТР-стекла. Вторая стадия процесса, а именно термообработка (ТО) образцов, производилась в программируемой муфельной печи по оптимальному режиму для данного материала: разогрев образца до температуры в 546 °С в течение 90 минут, затем выдержка при заданной температуре продолжительностью 24 часа.

После тепловой обработки для определения амплитуд модуляции показателя преломления и коэффициента поглощения стекла, выполнялись изменения контуров угловой селективности голограмм на длине волны 632,8 нм, которая попадает на край полосы поглощения плазмонного резонанса наночастиц серебра. Схема измерения угловых характеристик состоит из He-Ne лазера (1), поворотного столика (2), двух фотоприемников (3) и компьютера (4) (рис. 1). Образец (5) устанавливался на поворотный столик *Newport 496B Series*, подключенный к контроллеру *Newport Model PMC200-P2*. Диапазон измерения составил 1 градус с шагом 0,005, что позволило прописать контур угловой селективности голограммы при отклонении от угла Брэгга до 0,5 градусов. Фотоприемники *Newport MODEL 918-IG*, измеряющие интенсивность, устанавливаются перпендикулярно падающим лучам нулевого и первого порядка дифракции. Задание всех параметров измерения и считывание данных производилось при помощи компьютера в программе, написанной в *LabView*.

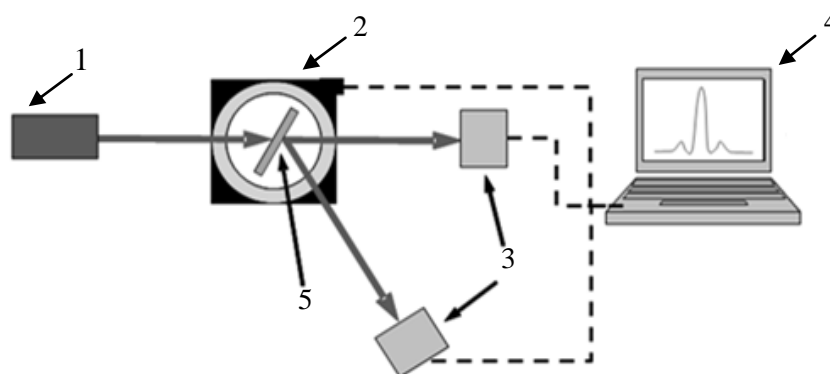


Рис. 1. Схема считывания голограмм

Определения величины вклада амплитудной и фазовой составляющих в периодическую структуру выполнялись методом сопоставления экспериментально измеренного и расчетного контуров угловой селективности в нулевом порядке дифракции, последний из которых строится по выражению [2]:

$$\eta_t(\theta) = \frac{\exp[-(2\alpha\Gamma/\cos\theta)]}{z_0} \left[\frac{(\Gamma^2 + z_0)}{2} \cosh(\varphi_{\cos}) - \frac{(\Gamma^2 - z_0)}{2} \cos(\varphi_{\sin}) + \Gamma\sqrt{z_0} \sin\left(\frac{\psi_0}{2}\right) \sinh(\varphi_{\cos}) - \Gamma\sqrt{z_0} \cos\left(\frac{\psi_0}{2}\right) \sin(\varphi_{\sin}) \right], \quad (1)$$

где

$$\varphi_{\cos} = \frac{\sqrt{z_0} T \cos\left(\frac{\psi_0}{2}\right)}{\cos\theta}, \quad (2)$$

$$\varphi_{\sin} = \frac{\sqrt{z_0} T \sin\left(\frac{\psi_0}{2}\right)}{\cos\theta}, \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{4\pi n_0 \sin\theta_b}{\lambda} (\sin\theta - \sin\theta_b), \quad (4)$$

$$\psi_0 = \arccos \frac{-\left\{ \Gamma^2 + 4 \left[\left(\frac{\pi n_1}{\lambda} \right)^2 - \left(i \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 \right] \right\}}{z_0}, \quad (5)$$

$$z_0 = \left[\left(\Gamma^2 + 4 \left[\left(\frac{\pi n_1}{\lambda} \right)^2 - \left(i \frac{\alpha_1}{2} \right)^2 \right] \right)^2 + \left(8i \frac{\alpha_1 \pi n_1}{2 \lambda} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (6)$$

α – постоянная поглощения, T – эффективная толщина голограммы, θ – угол считывания голограммы, λ – длина волны считывания, θ_b – угол Брэгга, Γ – параметр расфазировки, n_0 – средний показатель преломления среды, n_1 и α_1 – амплитуды модуляции показателя преломления и коэффициента поглощения среды соответственно.

Также производились измерения спектров поглощения голограмм в диапазоне от 250 до 900 нм с шагом 1 нм на спектрофотометре *Lambda 650* фирмы *PerkinElmer*.

После этого образцы были подвержены обесцвечиванию титан-сапфировым фемтосекундным лазером (*Quantronix Integra-C-3.5*) с энергией импульса 2,4 мДж, длительностью импульса 120 фс и длиной волны 790 нм. Используемая плотность энергии составляла 1,5 Дж/см² и скорость сканирования – 0,1 мм/с.

Для определения влияния обесцвечивания на голографические свойства материала были выполнены измерения и анализ контуров угловой селективности решеток по методикам, изложенным выше. Область прозрачности голограмм была определена на основе спектров поглощения. Параметры и внешние условия проведения измерений до и после обесцвечивания были идентичны.

Основные достигнутые результаты

На рис. 2 приведены спектры поглощения хлоридного ФТР-стекла с записанной брэгговской решеткой до и после фемтосекундного лазерного обесцвечивания. До обесцвечивания в стекле наблюдается сильное поглощение как в ближней ультрафиолетовой, так и в видимой областях спектра, что главным образом обусловлено наличием полосы поглощения плазмонного резонанса наночастиц серебра с максимумом в районе 450 нм. На вставке (рис. 2) приведен спектр поглощения образца после непродолжительной для данного типа стекла термической обработки (10 часов). На данном этапе концентрация наночастиц серебра низкая по сравнению со стеклом, прошедшим полную термообработку, так как полоса поглощения серебряных наночастиц различима на спектре и оптическая плотность материала в максимуме полосы составляет всего 140 см⁻¹. Видно, что лазерное обесцвечивание приводит к значительному снижению коэффициента поглощения стекла в видимом спектральном диапазоне.

Поскольку после обесцвечивания образца полоса поглощения плазмонного резонанса наночастиц серебра отсутствует, можно предположить, что после воздействия фемтосекундного лазерного излучения голограмма становится чисто фазовой.

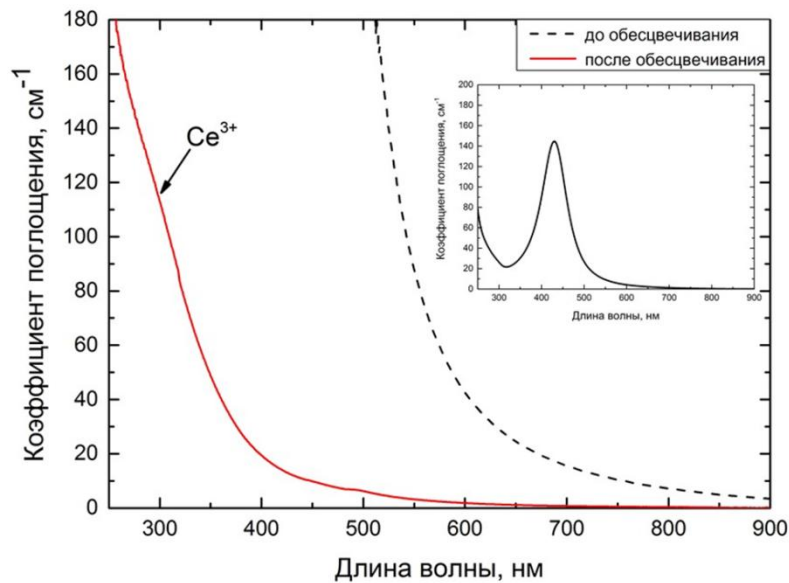


Рис. 2. Спектры поглощения хлоридного ФТР-стекла с записанной голограммой (после 21 часа термообработки при 546 °С) до и после обесцвечивания. На вставке: спектр поглощения хлоридного ФТР-стекла с записанной голограммой после 10 часов термообработки при 546 °С

В связи с тем, что контур селективности первого порядка дифракции одинаков как для фазовых, так и для амплитудно-фазовых голограмм, определение амплитуды модуляции коэффициента поглощения на основе его формы невозможно. С другой стороны, форма контура в нулевом порядке дифракции зависит как от α_1 , так и от амплитуды модуляции показателя преломления. Таким образом, сравнение голографических свойств стекла до и после обесцвечивания проводилось с помощью анализа нулевого порядка дифракции [2–4]. Результаты измерений контуров селективности голограмм представлены на рис. 3. Форма контура нулевого порядка дифракции до фотодеструкции наночастиц серебра (рис. 3а) асимметрична относительно угла Брэгга, что прямо указывает на смешанный характер решетки. После процедуры обесцвечивания контур становится симметричным, как показано на рис. 3б. Это указывает на то, что модуляции коэффициента поглощения в решетке больше нет и брэгговская голограмма стала чисто фазовой. Изменение формы контура указывает на уменьшение константы взаимодействия, состоящей из α_1 и n_1 :

$$\chi = \frac{\pi n_1}{\lambda} - \frac{i\alpha_1}{2}. \quad (7)$$

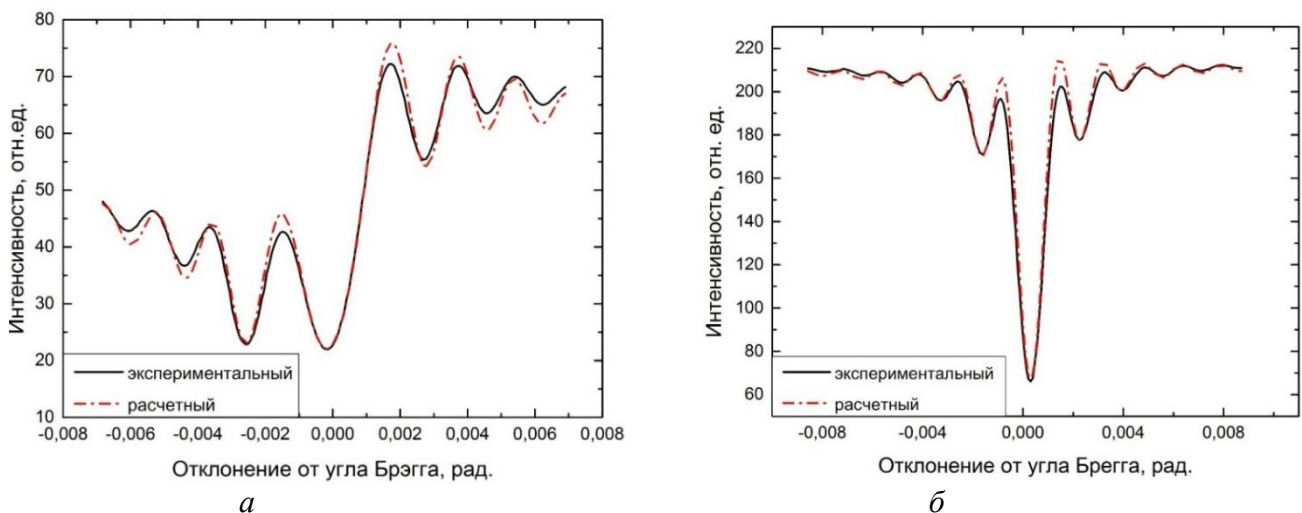


Рис. 3. Контурсы угловой селективности голограммы: а – до; б – после обесцвечивания

Выполненный анализ позволил оценить величину n_1 для каждой решетки в диапазоне экспозиций от 1 до 12 Дж/см² до и после обесцвечивания (рис. 4). Значения амплитуды модуляции показателя преломления выходят на насыщение при дозах облучения выше 6 Дж/см². Это указывает на то, что объемная доля кристаллической фазы и концентрация наночастиц одинаковы. А значит, все серебро и хлор, содержащиеся в стекле, задействованы в формировании периодической структуры. Значения n_1 после обесцвечивания также уменьшились для всех экспозиций. Однако величина этого снижения зависит от дозы облучения. Максимальное значение модуляции показателя преломления снижается с $8,6 \times 10^{-4}$ до $5,1 \times 10^{-4}$, то есть почти в два раза. На рис. 4 приведена разница значений n_1 до и после обесцвечивания (кривая с квадратами), а также амплитуда модуляции коэффициента поглощения (кривая с кружками), имеющая аналогичную зависимость от экспозиции. Эта закономерность указывает на то, что дополнительная n_1 , утраченная в результате обесцвечивания, обусловлена наличием серебряных наночастиц, а величина дополнительной модуляции определяется концентрацией этих частиц. Несмотря на то, что падение величины n_1 является значительным, полученного динамического диапазона изменения показателя преломления достаточно для создания высокоэффективных голограмм.

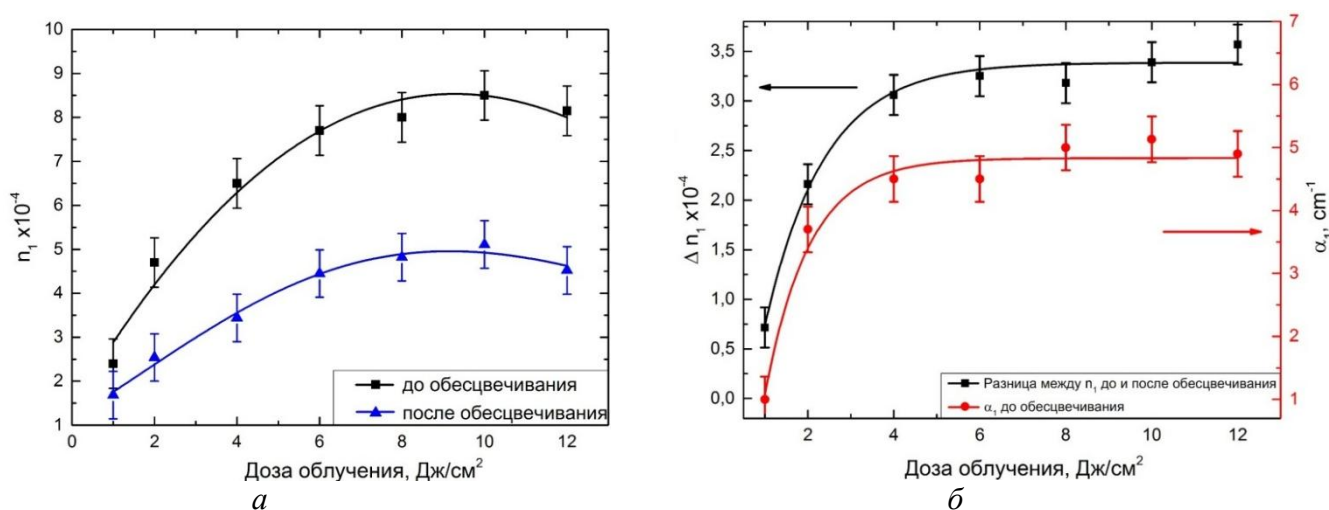


Рис. 4. Графики: а – зависимости амплитуд модуляции показателя преломления до и после обесцвечивания; б – разницы амплитуды модуляции показателя преломления до и после обесцвечивания и амплитуды модуляции коэффициента поглощения до обесцвечивания

Заключение

В ходе выполнения данной работы было установлено, что после фотодеструкции серебряных наночастиц, образующихся в процессе записи с применением фемтосекундного лазерного излучения, голограммы становятся чисто фазовыми и повышается качество дифрагированного излучения. Определен характер зависимости амплитуды модуляции первой гармоники показателя преломления хлоридного фото-термо-рефрактивного стекла от экспозиции. Установлено, что максимальная величина амплитуды модуляции показателя преломления после «обесцвечивания» снижается с $8,6 \times 10^{-4}$ до $5,1 \times 10^{-4}$. Однако полученного динамического диапазона изменения показателя преломления достаточно для создания высокоэффективных брэгговских решеток. Было показано, что разница между значениями модуляции показателя преломления до и после воздействия фемтосекундного лазерного излучения зависит от дозы облучения материала. Данный эффект связан с увеличением показателя преломления вблизи полосы поглощения плазмонного резонанса. Показано, что процедура обесцвечивания позволяет вернуть спектр поглощения материала к исходному состоянию, расширяя область его прозрачности в коротковолновую область. Таким образом, можно заключить, что небольшие размеры кристаллической фазы в сочетании с отсутствием поглощения в видимой области позволяют использовать данный материал для записи решеток с периодом меньше 500 нм.

Публикации

Klyukin D.A., Krykova V.A., Ivanov S.A., Obraztsov P.A., Silvennoinen M., Nikonorov N.V. Volume Bragg gratings in chloride photo-thermo-refractive glass after femtosecond laser bleaching // Optical Materials Express. 2017. Vol. 7. No 11. P. 4131–4137.

Литература

1. Nikonorov N.V. et al. New photo-thermo-refractive glasses for holographic optical elements: properties and applications // Holographic Materials and Optical Systems. 2017. P. 435–461.
2. Carretero L. et al. Study of angular responses of mixed amplitude-phase holographic gratings: shifted Borrmann effect // Optics Letters. 2001. Vol. 26. No 11. P.786–788.
3. Крыкова В.А. и др. Хлоридное фото-термо-рефрактивное стекло как новая голографическая среда [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017.
URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5255/5255.pdf> (дата обращения: 11.10.17).
4. Ivanov S.A. et al. Analysis of the hologram recording on the novel chloride photo-thermo-refractive glass // Proceedings of SPIE. 2017. Vol. 10233. P. 102330E-1–102330E-8.



Кувшинов Кирилл Витальевич
Факультет информационных технологий и программирования
Кафедра высокопроизводительных вычислений
E-mail: kvkuvshinov@yandex.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ СЛУЧАЙНЫХ БУЛЕВЫХ СЕТЕЙ

К.В. Кувшинов

Научный руководитель – доцент К.О. Боченина

Случайные булевы сети (СБС) нашли широкое распространение как средство моделирования сложных систем, в которых протекают информационные процессы, в частности, генетических регуляторных сетей.

Основной проблемой компьютерного моделирования СБС, в том числе адаптивных (АСБС), является высокая вычислительная сложность моделирования. В связи с этим становится актуальным вопрос о разработке комплекса методов повышения производительности моделирования АСБС с применением параллельных вычислений, а также создание инструментальных средств параллельного моделирования АСБС.

Целью работы являлась разработка модельно-алгоритмического и программного обеспечения параллельного моделирования эволюции адаптивных случайных булевых сетей, в том числе иерархических АСБС. Булева сеть (БС) представляет собой совокупность узлов и связей между ними, причем с каждым узлом ассоциировано его текущее состояние (ноль или единица) и некоторая булева функция, определяющая состояние узла в следующий момент времени на основе состояний его предков [1–5].

Количество состояний сети конечно, функция обновления состояний является детерминированной, сеть после некоторого (в общем случае – довольно большого) числа итераций достигает аттрактора – набора циклически повторяющихся состояний.

Выделяют три режима работы булевой сети: хаотический, упорядоченный, и критический. Последний представляет наибольший интерес, так как многие системы реального мира работают на грани хаоса и порядка, обнаруживая при этом не только способность к восприятию и обработке поступающей извне информации, но и устойчивость к случайным воздействиям внешней среды [3, 4, 6, 7].

В ходе работы были исследованы математические модели АСБС с неиерархической и иерархической топологиями. Основной сложностью является экспоненциальный рост длин аттракторов, поиск которых необходим для применения локального правила адаптации. Рассмотрены основные алгоритмы поиска аттрактора АСБС, в частности алгоритмы Кнута [5, 8] и Лиу-Басслера [6], которые являются основой предложенных параллельных алгоритмов. Исследованы основные пути ускорения моделирования АСБС, предложены модификации расчетных алгоритмов моделирования, а также способы параллельного вычисления состояний узлов АСБС общего вида, параллельного поиска аттрактора иерархических АСБС с использованием технологии *GPGPU* и параллельного моделирования иерархических АСБС [9] с использованием *OpenMP*.

В рамках технической реализации были разработаны программные модули для высокопроизводительного моделирования: АСБС без особенностей структуры, а также иерархических АСБС. Эти модули были интегрированы в состав программного комплекса для изучения АСБС, разработанного с использованием языков «C++» (подсистема моделирования АСБС) и *Python 3* (модуль визуализации результатов моделирования).

Повышение производительности было достигнуто решением следующих задач:

- модификации расчетных алгоритмов моделирования для ускорения сходимости сетей к критическому режиму;
- разработки набора алгоритмов параллельного моделирования эволюции случайных булевых сетей общего вида и иерархических случайных булевых сетей.

Для того чтобы оценить ускорение, получаемое за счет модификации расчетных алгоритмов моделирования, а также влияние этих модификаций на сходимость сети к критическому режиму работы, был проведен ряд экспериментов.

Процесс эволюции АСБС заключается в последовательном применении локального правила адаптации, то есть изменении количества связей в сети. Важным параметром, характеризующим этот процесс, является среднее количество связей, входящих на узел, определяемое по формуле:

$$K = \sum_{j=1}^N K_j,$$

где N – общее количество узлов в сети, K_j – количество входящих связей в узле j .

С приближением сети к критической среднее количество связей сходится к некоторому устойчивому значению K_{SS} . Таким образом, наблюдая изменения K в процессе эволюции, можно установить близость сети к критическому режиму работы. В частности, если в течение некоторого количества эпох отсутствует заметный тренд в динамике K , K_{SS} принимают равным среднему значению K за эти эпохи.

Модификация локального правила адаптации заключается в увеличении количества перевязываемых за эпоху узлов с одного до некоторого константного значения N_{rew} . Для определения того, как перевязка N_{rew} узлов вместо одного на каждой эпохе влияет на скорость сходимости к критическому режиму, был проведен следующий эксперимент: для АСБС размером $N = 1000$ узлов и начальным количеством входящих связей на узел $K = 2$ было промоделировано 1000 эпох эволюции с различными значениями $N_{rew} \in [1, 5]$. На каждой эпохе собирались сведения о средней входной полустепени узлов K . Данные усреднялись по десяти реализациям процесса для каждого значения N_{rew} . Для поиска аттрактора в эксперименте был использован алгоритм Кнута с установленным ограничением на длину аттрактора $\mu_{max} = 10^7$. Результаты данного эксперимента представлены на рис. 1.

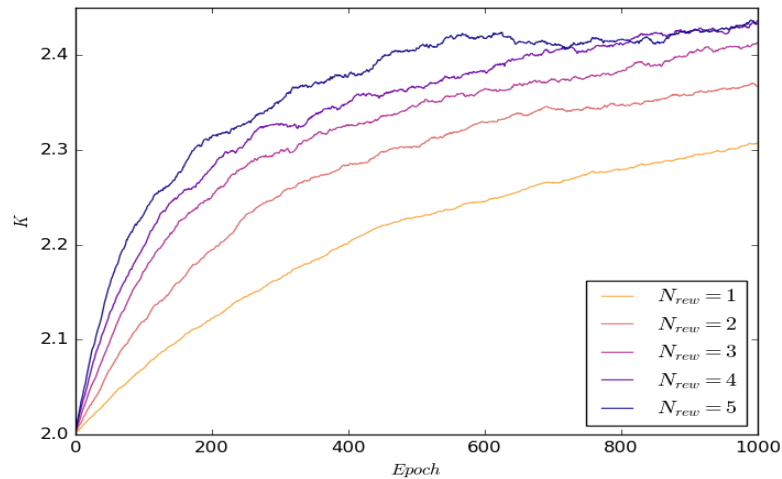


Рис. 1. Изменение средней связности сети во время эволюции при различном количестве перевязываемых за эпоху узлов

Как видно из графика, с увеличением количества перевязываемых узлов K растет быстрее и при $N_{rew} = 5$ достигает устойчивого значения $K_{SS} \approx 2,4$ уже на 500-й эпохе эволюции. Таким образом, можно заключить, что предложенная модификация локального правила адаптации позволяет уменьшить количество эпох, необходимое для достижения критического режима работы.

Идея ограничения длин рассматриваемых аттракторов, также как модификация оригинального алгоритма моделирования, уже использовалась авторами некоторых работ при моделировании АСБС. Однако вопрос, влияет ли такое ограничение на результаты моделирования, оставался открытым. В случаях, когда аттрактор не найден, перевязка узлов осуществляется на основе данных об их активности за последние μ_{max} состояний, которые, вообще говоря, могут не принадлежать аттрактору.

Для изучения этого влияния был проведен ряд экспериментов, оценивающих зависимость K_{SS} (средней входной полустепени узлов в установившемся режиме) от доли найденных аттракторов R , рассчитываемой по формуле как отношение количества эпох, в которых аттрактор был найден (N_{Ef}), к общему их количеству N_E :

$$R = \frac{N_{Ef}}{N_E} \cdot 100.$$

Результаты этих экспериментов представлены в Табл. 1, 2, из которых видно, что вариация процента найденных аттракторов не оказывает сильного влияния на результаты моделирования.

Таблица 1
Процент найденных аттракторов R

μ_{max}	Количество узлов				
	100	200	300	500	750
$5,0 \cdot 10^4$	99,77	88,19	71,19	45,48	29,62
$2,5 \cdot 10^5$	100,00	95,92	81,24	56,10	35,96
$5,0 \cdot 10^5$	100	99,14	92,99	68,74	46,46
$2,5 \cdot 10^6$	100	99,53	94,4	73	49,22
$5,0 \cdot 10^6$	100	99,75	96,08	77,73	53,81
$1,0 \cdot 10^7$	100	99,14	92,99	68,74	46,46

В процессе работы использовался подход измерения прироста производительности при параллельном обновлении состояний на основе расчета среднего времени, затрачиваемого на обновление состояний узлов сети, поскольку сравнение времени моделирования одной эпохи возможно при усреднении его по большому числу реализаций.

Таблица 2

Средняя входная полустепень узлов в установившемся режиме K_{ss}

μ_{max}	Количество узлов				
	100	200	300	500	750
$5,0 \cdot 10^4$	2,64	2,59	2,58	2,52	2,47
$2,5 \cdot 10^5$	2,66	2,6	2,56	2,51	2,48
$5,0 \cdot 10^5$	2,68	2,59	2,55	2,51	2,48
$2,5 \cdot 10^6$	2,69	2,6	2,55	2,51	2,48
$5,0 \cdot 10^6$	2,69	2,59	2,55	2,52	2,48
$1,0 \cdot 10^7$	2,68	2,62	2,55	2,51	2,48

Чтобы учесть влияние структуры сети на время, затрачиваемое на обновление состояний, промоделировано 100 эпох эволюции сети с ограничением $\mu_{max} = 10^7$. На каждой эпохе с помощью алгоритма Лиу – Басслера с контрольными точками собирались данные по активности узлов. Для исключения влияния длины аттрактора на время моделирования итерации алгоритма Лиу – Басслера не прекращались после нахождения аттрактора, таким образом, на каждой эпохе выполнялось $\mu_{max} = 2 \cdot 10^7$ обновлений состояния. Такой подход позволяет измерить время моделирования в худшем случае, когда $R = 0$.

Из результатов экспериментов (рис. 2), видно, что *GPU*-алгоритм обновления состояний узлов превосходит последовательный для сетей, содержащих больше 200 узлов. Для меньших по размеру сетей задержки на запуск функции обновления состояния на *GPU* не компенсируются приростом производительности от использования параллелизма.

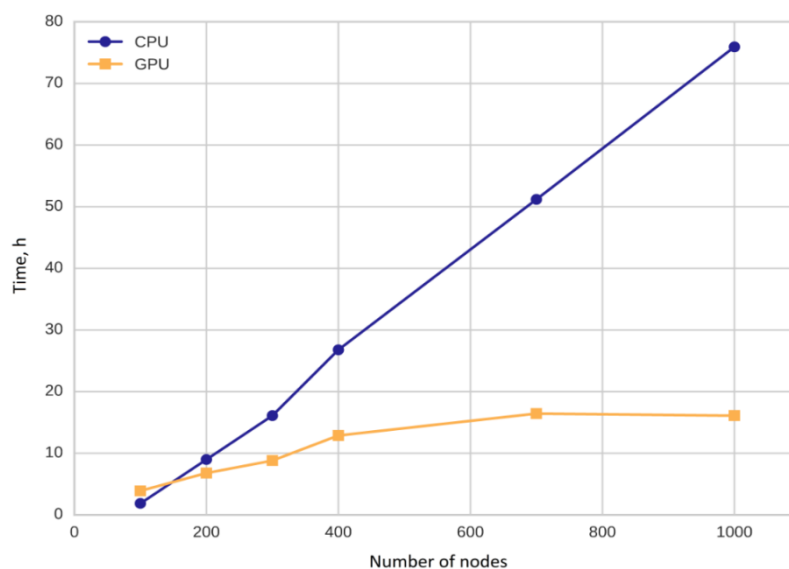


Рис. 2. Время исполнения 100 эпох по $2 \cdot 10^7$ операций обновления состояния для последовательного и *GPU*-алгоритма

Помимо параллельного алгоритма моделирования АСБС без особенностей структуры, в рамках работы было реализовано два вида параллельных алгоритмов для повышения производительности моделирования иерархических АСБС. Первый предполагает параллельное моделирование различных подсетей каждого конкретного уровня иерархии в независимых *OpenMP*-потоках. Второй – перенос алгоритмов поиска аттрактора на графический адаптер, что позволяет ускорить моделирование для уровней иерархии с небольшим числом подсетей.

Для определения оптимального количества потоков при моделировании конкретного уровня иерархии было запущено 100 эпох эволюции, причем каждую эпоху выполнялось ровно 10^5 итераций алгоритма Лиу – Басслера. Эксперименты были запущены для

иерархической АСБС, состоящей из $N = 512$ узлов одного уровня иерархии. Узлы были разделены на $N_M = \{1, 2, 4, 8, 16, 32\}$ независимых подсетей. Моделирование каждой из полученных конфигураций производилось с использованием $N_T = \{2, 4, 8, 10\}$ *OpenMP*-потоков. Для представленных конфигураций сетей оптимальным является использование не более чем восьми *OpenMP*-потоков. При увеличении числа потоков вычислительная нагрузка на один поток снижается и не окупает затрат на создание и синхронизацию потоков по завершению моделирования.

Второй – гибридный – алгоритм моделирования предполагает использование оптимального числа *OpenMP*-потоков, в каждом из которых поиск аттрактора выполняется в рамках одного блока *GPU*-потоков. На рис. 3 представлен график параллельного ускорения для гибридного и *OpenMP*-алгоритмов при различном числе подсетей на текущем уровне иерархии.

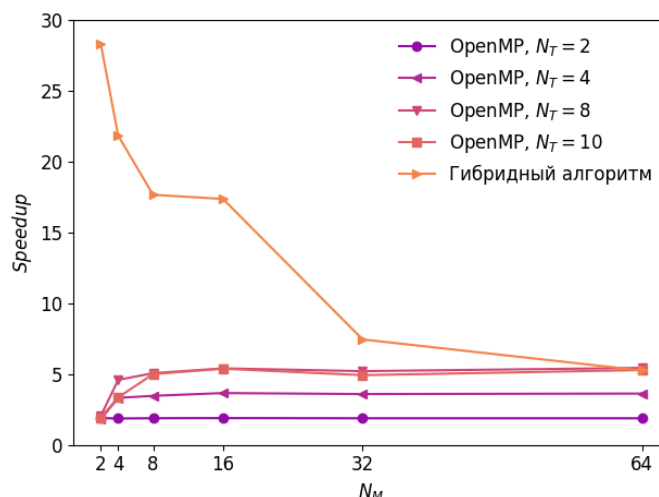


Рис. 3. Параллельное ускорение при использовании гибридного CPU-GPU-алгоритма в сравнении с *OpenMP*-алгоритмом для различного количества подсетей N_M на текущем уровне иерархии, $N = 1024$

Выполнение поиска аттрактора на *GPU* позволяет увеличить производительность моделирования примерно в 15 раз для сети размером 1024 узла, разделенной на две независимых подсети. Однако с увеличением количества подсетей параллельное ускорение снижается в связи с уменьшением числа узлов в сети и, соответственно, неполной утилизацией вычислительных ресурсов графического адаптера.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность предложенных решений. Параллельный алгоритм обновления состояний узлов АСБС обеспечивает прирост производительности при моделировании сетей, размер которых превышает 200 узлов. Описанный гибридный алгоритм моделирования иерархических АСБС демонстрирует ускорение до 30 раз по сравнению с последовательной версией. Показано также, что модификации расчетных алгоритмов, в частности перевязка нескольких узлов за эпоху и установка ограничения на максимальную длину рассматриваемых аттракторов, оказывают положительное влияние на скорость сходимости АСБС к критическому режиму.

Заключение

В рамках выполнения проекта разработаны модули параллельного моделирования иерархических АСБС и АСБС общего вида, которые впоследствии были интегрированы в состав программного комплекса для изучения АСБС. Разработанные модули реализуют предложенные в теоретической части подходы к повышению производительности моделирования АСБС.

В целях анализа эффективности предложенных решений было проведено экспериментальное исследование, показавшее прирост производительности при

использовании параллельных алгоритмов, а также продемонстрировавшее положительное влияние предложенных модификаций расчетных алгоритмов на скорость сходимости АСБС к критическому режиму.

Таким образом, в ходе исследования был разработан комплекс модельно-алгоритмических методов и программного обеспечения для параллельного моделирования эволюции случайных булевых сетей с применением вычислений на *GPGPU*, а также показана эффективность предложенных решений.

Публикации

Kuvshinov K.V., Bochenina K.O., Górski P.J., Holyst J.A. Parallel simulation of adaptive random Boolean networks // *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 101. P. 35–44.

Литература

1. *Kuvshinov K.V. et al.* Parallel simulation of adaptive random Boolean networks // *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 101. P. 35–44.
2. *Kauffman S.A.* Metabolic stability and epigenesis in randomly constructed genetic nets // *Journal of Theoretical Biology*. 1969. Vol. 22. No 3. P. 437–467.
3. *Gershenson C.* Introduction to random Boolean networks // *Workshop and Tutorial Proceedings. Ninth International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems (ALife IX)*. 2004. P. 160–173.
4. *Drossel B.* Random Boolean networks // *Reviews of Nonlinear Dynamics and Complexity* / ed. by Schuster H.G. Vol. 1. New York, 2008. P. 69–110.
5. *Bhattacharjya A., Liang S.* Median attractor and transients in random Boolean nets // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1996. Vol. 95. No 1. P. 29–34.
6. *Liu M., Bassler K.E.* Emergent criticality from coevolution in random Boolean networks // *Physical Review E*. 2006. Vol. 74. No 4. P. 41910.
7. *Kürten K.E.* Critical phenomena in model neural networks // *Physics Letters A*. 1988. Vol. 129. No 3. P. 157–160.
8. *Knuth D.E.* The Art of computer programming. Vol. 2. 1981. – 690 p.
9. *Górski P.J. et al.* Coevolution of information processing and topology in hierarchical adaptive random Boolean networks // *European Physical Journal B*. 2016. Vol. 89. No 2. P. 1–9.



Литвинов Егор Александрович
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра фотоники и оптоинформатики
E-mail: litviegor@yandex.ru

МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОМПОЗИТ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРЕНИЦАЕМОСТЬЮ ОКОЛО НУЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФАЗОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ В ТЕРАГЕРЦОВОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Е.А. Литвинов

Научный руководитель – доцент М.К. Ходзицкий

Цель работы – расчет геометрических и материальных параметров стержневого метаматериала, реализующего почти нулевой набег фазы проходящего электромагнитного

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

излучения [1–3] в терагерцовом диапазоне частот, который может быть использован для управления фазовыми характеристиками электромагнитных волн. Этого эффекта предполагается достичь путем разработки композитной металлодиэлектрической среды с диэлектрической проницаемостью около нуля, то есть изменяющейся от нуля до единицы.

В ходе проекта был выполнен расчет эффективной диэлектрической проницаемости металлодиэлектрических стержневых композитов и определены границы для их материальных и геометрических параметров, необходимых для получения среды с диэлектрической проницаемостью около нуля. Расчет параметров исследуемых композитов осуществлен в программном пакете *Maple*. Также было выполнено численное моделирование фазовой задержки в программном пакете *CST Microwave Studio* методом конечных разностей во временной области и по его результатам продемонстрирован эффект отрицательного набега фаз, ожидаемого в эксперименте.

В данной работе исследованы металлодиэлектрические стержневые композиты с почти нулевой диэлектрической проницаемостью. Их разработка проведена с использованием теории эффективной среды (ТЭС) [4], которая математически и концептуально проста и представляет собой метод, позволяющий быстро получить информацию об эффективных свойствах металлодиэлектрических композитов.

Композит должен быть структурой с периодом d и определенной дисперсией диэлектрической проницаемости в терагерцовом диапазоне частот с высокой мощностью излучения (0,1–1 ТГц). В случае стержневых структур, рассчитываемых с помощью ТЭС, дисперсия описывается выражением [5]:

$$\varepsilon_{eff} = \varepsilon_b - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega + i\gamma)},$$

где $\omega_p = \frac{2\pi c^2}{d^2 \ln \frac{2d}{d_a}}$ – плазменная частота, $\gamma = \frac{4\varepsilon_0 d^2 \omega_p^2}{\pi d_a^2 \sigma}$ – частота соударений свободных

электронов, c – скорость света, d_a – диаметр проволоки, σ – проводимость металла, ε_0 – электрическая постоянная и ε_b – диэлектрическая проницаемость пластика (2,76).

В качестве основы (диэлектрической компоненты) для данного материала планируется использовать перфорированный пластик *VisiJet M3* с полыми цилиндрами внутри, изготовленный методом трехмерной печати. Для создания композита в полученный таким образом диэлектрический параллелепипед будут вставлены металлические цилиндры (рис. 1).

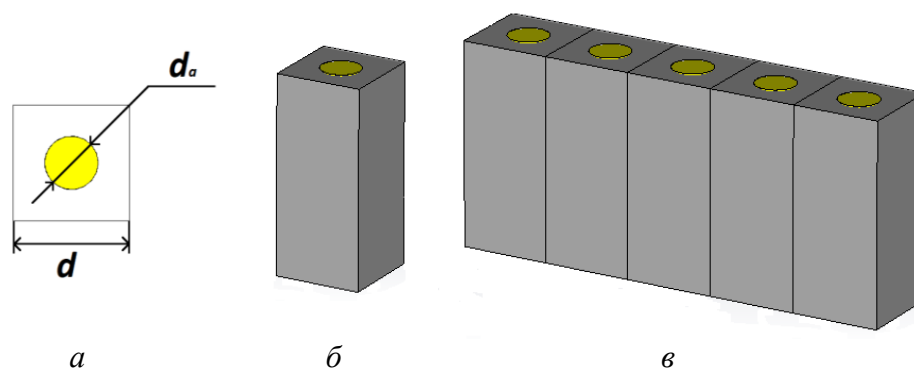


Рис. 1. Исследуемый стержневой металлодиэлектрический композит: а – схема элементарной ячейки; б – элементарная ячейка; в – исследуемая структура

Чтобы получить композиты с различной дисперсией эффективной диэлектрической проницаемости (рис. 2), используя при этом один и тот же пластик для основы и проволоку

с одинаковым диаметром, необходимо менять концентрацию металлических цилиндров в образце, которая зависит от периода d структуры композита. При этом надо учитывать ограничение на трехмерную печать, связанную с минимальным расстоянием между ее элементами, что соответствует 30 мкм.

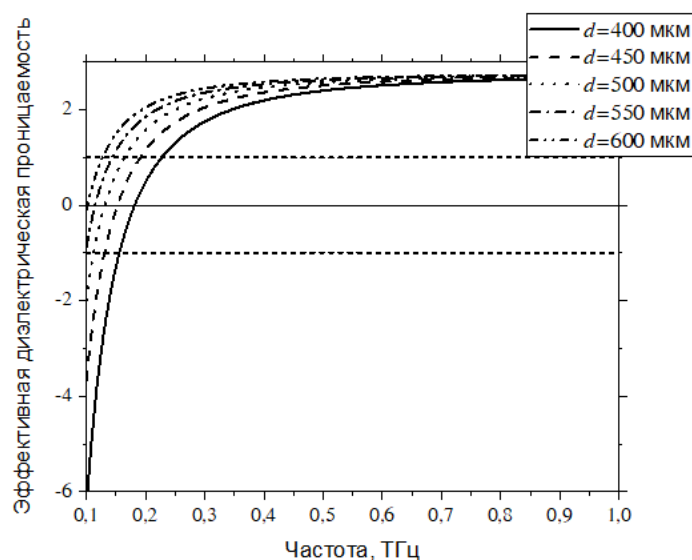


Рис. 2. Графики дисперсии эффективной диэлектрической проницаемости для композитов с различными периодами структуры. Пунктирными прямыми линиями обозначена область диэлектрической проницаемости около нуля

В предстоящем эксперименте предполагается увидеть эффект отрицательного набега фаз, который возникает при сравнении набега фаз для сигналов, проходящих через слой воздуха и через композит. Он вызван разными величинами их показателей преломления (у исследуемого композита он меньше, чем у воздуха) Определяется набег фаз следующим выражением:

$$\delta t = \frac{d}{c}(n - 1),$$

где n – показатель преломления исследуемого композита.

Рис. 3 иллюстрирует этот эффект для сигнала, прошедшего через композит (сплошная линия), относительно сигнала, прошедшего через воздух (штриховая линия).

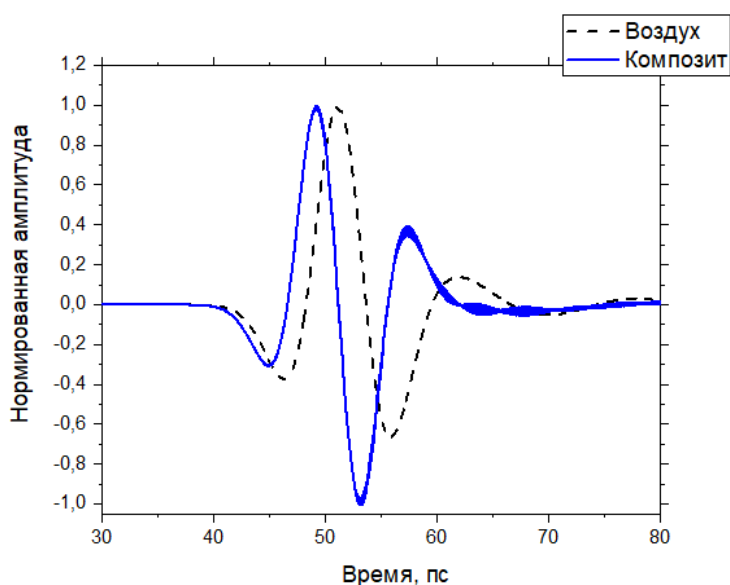


Рис. 3. Демонстрация отрицательного набега фазы для структуры с периодом 450 мкм. Сигналы нормированы по амплитуде

При выполнении работы было проведено численное моделирование процесса прохождения излучения через композиты с различными периодами структуры. Для каждого из них получены величины отрицательного набега фаз, представленные в Таблице.

*Таблица
Набеги фаз для композитов с различными периодами,
полученные в результате моделирования*

Период элементарной ячейки, мкм	Набег фазы, пс
650	-1,203
600	-1,480
550	-1,621
450	-1,768
400	-1,875

Таким образом, структура с периодом 400 мкм дает наибольший по модулю отрицательный набег фазы, из чего можно предположить, что при технологически минимально достижимом периоде в 330 мкм он будет еще больше. Однако из-за ожидаемых погрешностей изготовления структуры с периодом меньше 400 мкм в данной работе не рассматриваются.

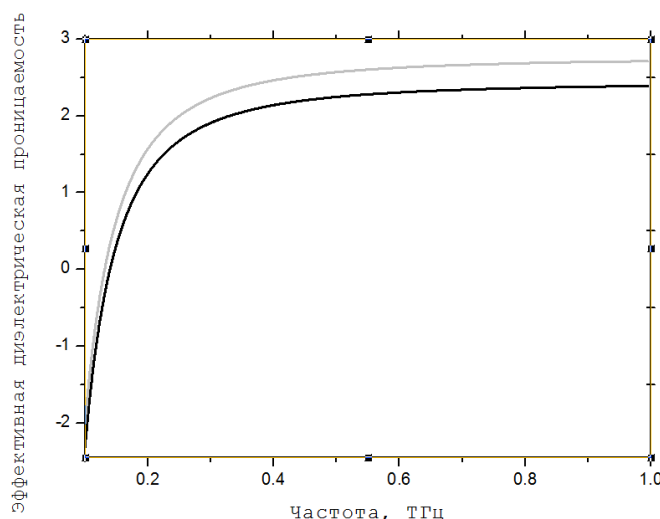


Рис. 4. Дисперсии диэлектрической проницаемости исследуемого двухслойного композита с периодом 500 мкм. Серая кривая – композит с серебряными проводниками, черная – композит с медными проводниками

Результаты численного моделирования также показали низкий уровень пропускания исследуемого композита, который может быть повышен за счет изменения его металлической составляющей. С этой целью можно заменить медную проволоку на серебряную, что повлияет на дисперсию эффективной диэлектрической проницаемости композита и, следовательно, на пропускание (рис. 4). При этом изменяются условия, при которых композит играет роль *ENZ*-материала и реализует эффект отрицательного набега фаз. Обнаружено, что при замене меди на серебро границы применимости смещаются с 0,11–0,17 ТГц на 0,10–0,15 ТГц.

Далее с целью уменьшения потерь излучения при его прохождении через материал можно использовать полимерный пластик полистирол, поглощение которым терагерцового излучения в целом меньше по сравнению с *VisiJet M3*. Смена пластика практически не изменяет дисперсию эффективной диэлектрической проницаемости, что объясняется малым приростом мнимой части эффективного параметра, отвечающего за потери в разрабатываемой среде.

Рассмотрение структуры с большим количеством слоев (рис. 1в) при частотах более 0,15 ТГц позволяет сделать вывод, что структура работает как фотонный кристалл с чередованием полос пропускания.

Публикации

1. *Литвинов Е.А., Чернядьев А.В., Сонг В., Возианова А.В., Ходзицкий М.К.* Исследование искусственных сред для управления фазовыми характеристиками электромагнитных волн терагерцевого диапазона частот // Сборник трудов Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики» (ФПО – 2016). СПб., 2016. С. 529–530.
2. *Литвинов Е.А., Масюков М.С., Возианова А.В.* Исследование стержневого композита с близким к нулю показателем преломления для терагерцевого диапазона частот [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5377/5377.pdf> (дата обращения: 15.10.2017).
3. *Litvinov E.A., Vozianova A.V., Khodzitsky M.K.* Epsilon-near-zero copper-dielectric composite for terahertz frequency range // Summer School on Optics and Photonics: Book of Abstracts. Oulu, 2017. P. 48.

Литература

1. *Ziolkowski R.* Propagation in and scattering from a matched metamaterial having a zero index of refraction // *Physical Review E*. 2004. Vol. 70. P. 046608.
2. *Alù A. et al.* Epsilon-near-zero metamaterials and electromagnetic sources: tailoring the radiation phase pattern // *Physical Review B*. 2007. Vol. 75. P. 155410.
3. *Edwards B. et al.* Verification of epsilon-near-zero metamaterial coupling and energy squeezing using a microwave waveguide // *Physical Review Letters*. 2008. Vol. 100. P. 033903.
4. *Bergman D.J., Stroud D.* Physical properties of macroscopically inhomogeneous media // *Solid State Physics*. 1992. Vol. 46. P. 147–269.
5. *Pendry J.B. et al.* Low frequency plasmons in thin-wire structures // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 1998. Vol. 10. No 22. P. 4785–4809.



Маркина Маргарита Анатольевна
Факультет информационных технологий и программирования
Кафедра компьютерных технологий
E-mail: margaritam2706@gmail.com

РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОГО АЛГОРИТМА НЕДОМИНИРУЮЩЕЙ СОРТИРОВКИ

М.А. Маркина

Научный руководитель – доцент М.В. Буздалов

Цель проекта – разработать гибридный алгоритм недоминирующей сортировки, который будет эффективнее существующих.

Задачами проекта являются:

- выбор наиболее подходящих для гибридизации алгоритмов недоминирующей сортировки;
- разработка стратегии переключения между различными алгоритмами в зависимости от входных данных, основанной на результатах экспериментов;
- реализация гибридного алгоритма на основе разработанной стратегии;
- сравнение производительности реализованного алгоритма с другими алгоритмами недоминирующей сортировки.

В качестве опорного алгоритма для гибридизации был выбран алгоритм Буздалова (*Fast*), так как он использует принцип «разделяй и властвуй», за счет чего возможно переключение на другой алгоритм недоминирующей сортировки [1].

Алгоритмом нижнего уровня выбрали алгоритм *BestOrderSort (BOS)*, показывающий наилучшие результаты при определенных входных данных [2].

Эксперименты проводились для разных чисел (N) и размерности (M) точек. Также использовались разные способы генерации входных данных:

- случайные точки в гиперкубе;
- случайно сгенерированные точки, имеющие фиксированное число фронтов.

Для подсчета времени работы алгоритма на каждом виде входных данных проводилось несколько запусков. Время засекалось с помощью *Java*-библиотеки *ThreadMXBean*. Для точного его подсчета алгоритм запускался не один раз, а n , например, начиная с 1. Если суммарное время n запусков было очень маленьким относительно точности, которую гарантирует вышеуказанная библиотека, алгоритм запускался на этих значениях $2*n$ раз, пока не достигалась желаемая точность измерений.

Предлагаемая схема гибридизации

На основе измеренной производительности алгоритмов была выбрана стратегия переключения гибридного алгоритма с алгоритма Буздалова на *BOS* в момент, когда размер входных данных становится таким, что время работы *BOS* на нем меньше, чем время работы алгоритма Буздалова. Переключение происходит во время рекурсивного запуска, однако нужно уметь быстро определять, какой алгоритм в данном случае лучше запустить.

Одним из способов быстрого выбора алгоритма является критерий размера и размерности данных. На основании результатов зашумленных экспериментов можно сказать, какой алгоритм на этих данных отработает быстрее, и выбрать его.

Таким образом, предлагается следующий гибридный алгоритм:

- запускаем алгоритм Буздалова;
- перед каждым запуском и спуском его на следующий уровень проверяем, не лучше ли на данном размере данных и размерности работает *BOS*;
- запускаем лучший из двух алгоритмов.

Выбор времени переключения

Был выявлен интервал, на котором алгоритм *BOS* работает лучше, чем алгоритм Буздалова. Левая и правая границы этого интервала размеров входных данных, зависят от их размерности, а также в некоторых случаях от числа различных рангов во входном множестве. На рис. 1 представлен один из получившихся графиков сравнения алгоритмов. Левая граница интервала почти не зависит от числа рангов, а ее поведение достаточно хорошо описывается выражением: $\ln(d+1)$.

С правой границей все гораздо сложнее: она ведет себя непредсказуемо даже для фиксированного числа рангов во входных данных. Было предложено следующее решение проблемы зависимости границ от данных: перед запуском алгоритма сначала необходимо искать границы эффективного интервала алгоритма *BOS* на однофронтном множестве. Для этого на размерностях не более M , где M – максимально возможная размерность, которая понадобится в задаче, запускается процедура нахождения границ. Она состоит из трех

этапов: поиск размера данных, на котором алгоритм *BOS* максимально эффективнее алгоритма Буздalова, затем поиск левой границы и, наконец, правой.

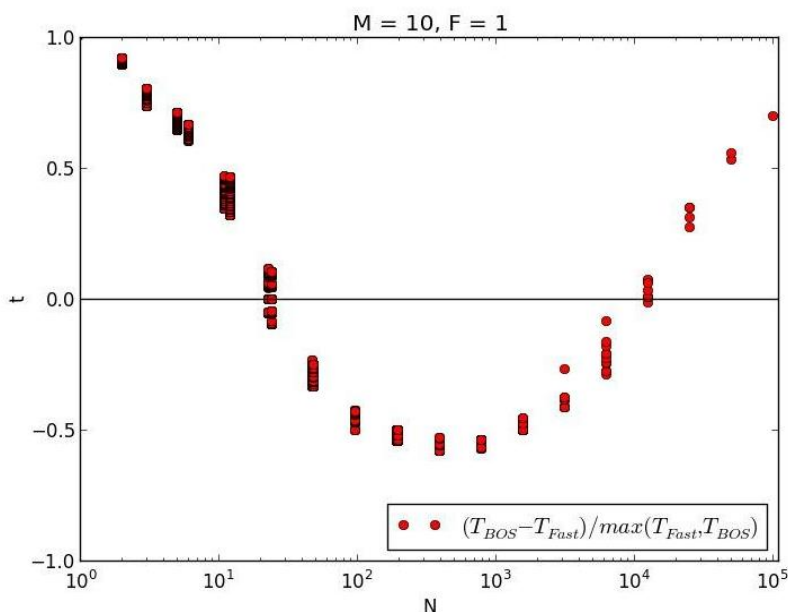


Рис. 1. Относительная разность времени работы вариантов алгоритмов для гибридизации (размерность $M = 10$, число рангов $F = 1$)

Первый этап был реализован с помощью троичного поиска. Результаты экспериментов показали, что производная функции относительной разницы времени работы алгоритмов имеет всего лишь один ноль производной. Таким образом, применив троичный поиск на интервале $[0, 2 * 10^4]$, можно найти минимум этой функции. Правая граница интервала поиска выбрана так, чтобы по результатам экспериментов она всегда значительно превышала правую границу интервала эффективности *BOS*, что гарантирует успешное нахождение минимума.

Стоит заметить, что модуль производной функции сильно падает с ростом N . Также мы можем в достаточной мере пренебречь точностью значения границ при достаточно больших значениях входных данных. Из этого можно сделать вывод, что троичный поиск можно производить по логарифмической шкале, а не по линейной.

После нахождения размера входных данных X , на котором алгоритм *BOS* имеет максимальную относительную эффективность, процедура поиска границ приступает к поиску границ интервала эффективности *BOS* с помощью двоичного поиска на интервалах $[1; X]$ и $[X; 2 * 10^4]$ для левой и правой границ соответственно.

Описанная процедура способна достаточно быстро находить границы интервала размеров входных данных, на котором стоит запускать *BOS*, что необходимо для работы гибридного алгоритма.

После нахождения всех значений для однофронтного множества можно подобрать коэффициент, на который надо умножить уже полученную ранее функцию, чтобы примерно аппроксимировать получившиеся результаты.

Сравнение с существующими алгоритмами

На рис. 2 изображено сравнение гибридного алгоритма (*Hybrid*) с алгоритмом Буздalова и *BOS*. Поскольку при $N < 100$ гибридный алгоритм не имеет преимуществ, которые можно было бы рассмотреть на рисунке даже с логарифмической шкалой по обеим координатам, то результаты представлены для $N > 100$. На рис. 2 изображено среднее время работы алгоритмов Буздalова, *BOS* и гибридного при одних и тех же входных данных. Видно, что относительное время работы гибридного алгоритма с увеличением N уменьшается. Даже есть подозрение на асимптотическое ускорение.

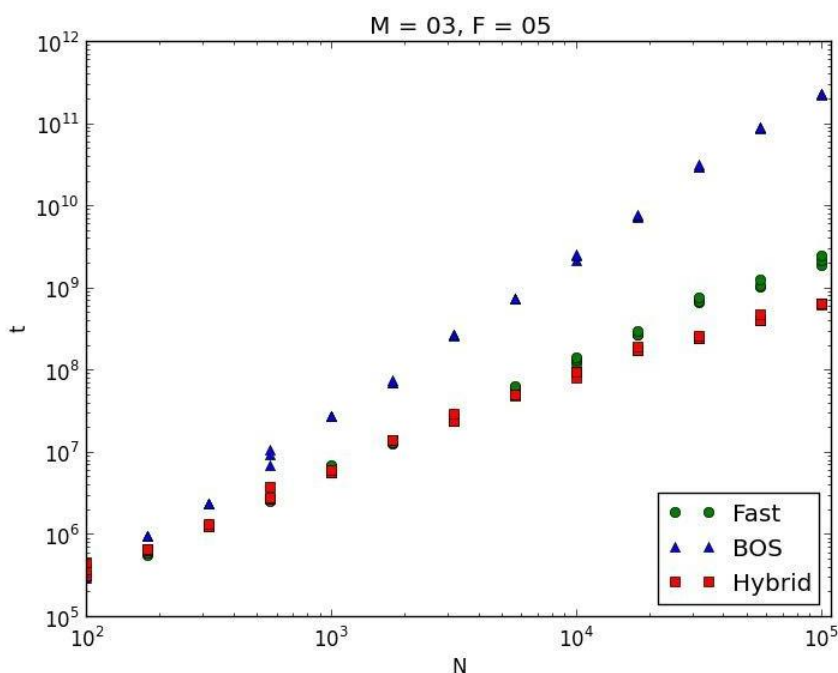


Рис. 2. Сравнение времени работы алгоритмов

В Таблице представлены численные значения времени на представленном выше графике. Последняя строчка описывает отношение гибридного алгоритма к самому быстрому на текущем множестве точек алгоритму: $\frac{T_H}{\min(T_{Fast}, T_{BOS})}$. Мы видим, что начиная с некоторого N , в данном случае порядка нескольких тысяч, гибридный алгоритм превосходит по скорости самый быстрый из двух рассматриваемых.

Таблица
Сравнение времени работы алгоритмов

N	31	316	5623	10000	31622	56234	100000
Fast	0,000026	0,0013	0,05	0,13	0,70	1,12	2,15
BOS	0,000025	0,0023	0,72	2,37	30,12	87,99	226,25
Hybrid	0,000026	0,0013	0,04	0,09	0,25	0,43	0,63
$\frac{T_H}{\min(T_{Fast}, T_{BOS})}$	0,93	1,0	1,2	1,44	2,85	2,64	3,39

Области возможного использования результатов проекта

Основной пример применения процедуры недоминирующей сортировки – алгоритмы многокритериальной оптимизации, особенно эволюционные алгоритмы. Последние на каждой итерации генерируют множество потенциальных решений и оценивают каждое по всем критериям. Если критериев M , то получается набор из N M -мерных векторов, где N – число потенциальных решений, и эволюционному алгоритму на каждой итерации надо отобрать лучшие решения, для чего и используется процедура недоминирующей сортировки. Если каждый критерий для каждого потенциального решения считается достаточно долго, то время выполнения недоминирующей сортировки становится неважным, так как асимптотика каждой итерации алгоритма зависит в основном от асимптотики времени подсчета критериев. Однако гораздо чаще встречаются задачи, в которых подсчет каждого критерия

занимает значительно меньшее время, чем необходимо для недоминирующей сортировки. Именно в таких случаях ускорение алгоритмов недоминирующей сортировки уменьшит время выполнения итерации алгоритма, а следовательно, и время выполнения всего алгоритма.

В настоящее время существует много алгоритмов недоминирующей сортировки, но каждый из них имеет свои недостатки. Разработанный алгоритм повышает эффективность недоминирующей сортировки, а значит, и эффективность всех алгоритмов, использующих эту процедуру, в том числе алгоритма многокритериальной оптимизации.

Публикации

Markina M.A., Buzdalov M.V. Hybridizing non-dominated sorting algorithms: divide-and-conquer meets best order sort // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion (GECCO'17). New York, 2017. P. 153–154.

Литература

1. *Shalyto A.A., Buzdalov M.V.* A provably asymptotically fast version of the generalized Jensen algorithm for non-dominated sorting // Parallel Problem Solving from Nature – PPSN XIII: 13th International Conference. Proceedings. Ljubljana, 2014. P. 528–537.
2. *Roy P.C. et al.* Best order sort: a new algorithm to non-dominated sorting for evolutionary multi-objective optimization // GECCO'16 Companion. Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion. New York, 2016. P. 1113–1120.



Марченко Олеся Николаевна
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра лазерных технологий и систем
E-mail: m-olesya94@mail.ru

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

О.Н. Марченко

Научный руководитель – заместитель начальника НТО Б.П. Папченко

Цель работы – создание устройства измерения показателя преломления твердых оптических материалов в форме плоскопараллельной пластины произвольной толщины в вакуумном УФ, видимой и ближней ИК-областях спектра и в неограниченно широком интервале значений показателя преломления.

Устройство для измерения показателя преломления (рис. 1) состоит из источника света 1 и последовательно расположенных по ходу его пучка объекта измерения (3) и экрана. Источник света содержит оптическую систему для формирования параксиального пучка (2), а объект измерения, установленный на поворотном столе (4) с системой отсчета угла поворота, имеет форму плоскопараллельной пластины с размерами, обеспечивающими прохождение параксиального пучка с энергией, достаточной для ее регистрации. Экран состоит из блока регистрации положения энергетического максимума пучка, выполненного в виде КМОП-матрицы (5), с блоком электроники и программным обеспечением (6) в виде интерфейса пользователя.

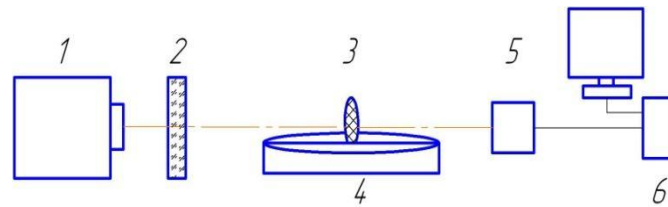


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Повышение точности измерения показателя преломления достигается за счет применения в блоке регистрации положения энергетического максимума параксиального пучка выпускающихся в настоящее время КМОП-матриц с размером пикселя до 2,5 мкм и разработанного программного обеспечения, позволяющего измерять величину смещения положения энергетического максимума с точностью 0,01 пикселя.

Сущность заявляемого устройства поясняется чертежом, где на рис. 2 представлена блок-схема устройства для измерения показателя преломления

Все конструктивные элементы полезной модели установлены на общее основание (1) в следующей последовательности: источник света (2), оптическая система формирования параксиального пучка (3), поворотный стол с системой отсчета угла поворота (4) и объектом измерения (5), блок регистрации энергетического максимума пучка (6) с блоком электроники (7).

Излучение от источника света 2 направляют в оптическую систему 3, которая формирует параксиальный пучок. Затем на поворотном столе с системой отсчета угла поворота 4 закрепляют объект измерения 5, имеющий форму плоскопараллельной пластины с известной толщиной. Блок регистрации энергетического максимума пучка 6 с помощью соединительных кабелей подключают к блоку электроники 7. Параксиальный пучок направляют на объект измерения 5. С помощью поворотного стола с системой отсчета угла поворота 4 ориентируют объект измерения 5 перпендикулярно параксиальному пучку. Регистрируют показание лимба поворотного стола 4, а на блоке электроники 7 – координаты энергетического максимум пучка. Далее объект измерения 5 с помощью поворотного стола 4 разворачивают на максимальный угол, при котором параксиальный пучок проходит через объект измерения 5 с энергией, достаточной для ее регистрации. Вторично регистрируют показание лимба поворотного стола 4, а на блоке электроники 7 – координаты энергетического максимума пучка. В результате вычисления разницы показаний лимба поворотного стола 4 получают значение угла, на который был повернут объект измерения 5. С помощью программного обеспечения блока 7 определяют расстояние, пройденное энергетическим максимумом пучка по поверхности КМОП-матрицы.

На рис. 3 представлен стенд для измерения показателя преломления твердых оптических материалов, имеющих форму плоскопараллельных пластин.

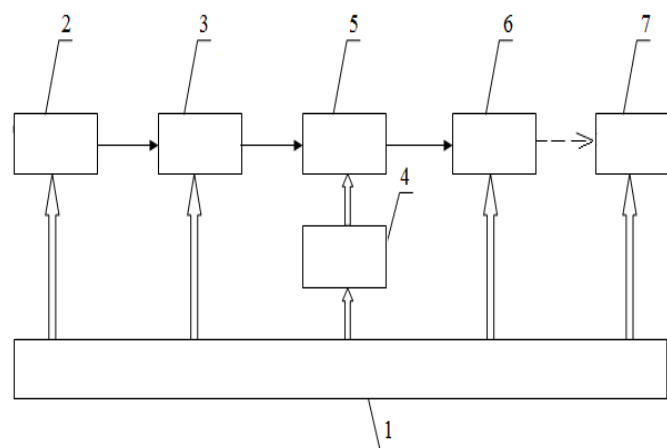


Рис. 2. Блок-схема устройства для измерения показателя преломления



Рис. 3. Стенд для измерения показателя преломления твердых оптических материалов, имеющих форму плоскопараллельных пластин

Был проведен ряд экспериментов. В качестве источника излучения использовали He-Ne-лазер (модель ЛГН-302, длина волны 630 нм, мощность излучения от 0,7 мВт, диаметр пучка до 0,8 мм). Поворотный стол с системой отсчета угла поворота СТ 9, цифровая телевизионная камера BR-5101LM-UF-SKP (фотоприемник); блок электроники – ноутбук Sony Vaio SVT1312LIRS с установленным программным обеспечением для работы с КМОП-матрицей BR-5101LM-UF-SKP. В качестве образцов исследования был использован каталог цветных оптических стекол следующих марок: ЖЗС5, ЖЗС6, ЖЗС9, ОС13, ОС17, ПС8, ПС14, БС4, БС7, БС8, БС12, НС1, НС3 и НС11. Измерения толщины проводились с помощью микрометра.

Для регистрации энергетического пучка телевизионной ПЗС-матрицы и расчета значения показателя преломления разработано специальное программное обеспечение (программа написана в Delphi) (рис. 4).

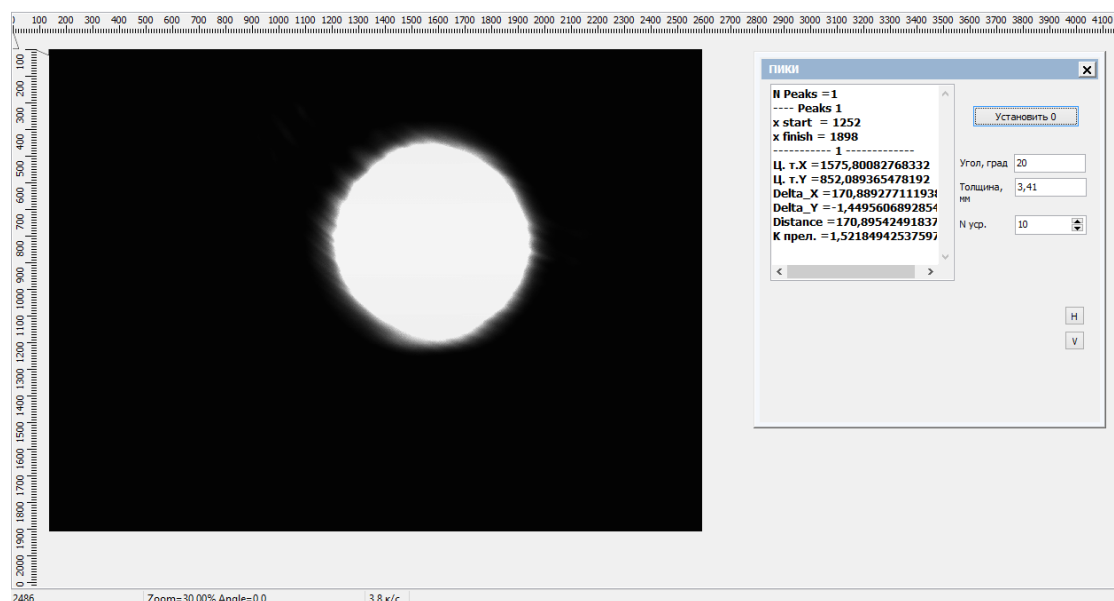


Рис. 4. Результаты измерения показателя преломления.
Образец ЖЗС5 (толщина $3,41 \pm 0,005$ мм, угол поворота – $20^\circ \pm 30'$).
Значение измеренного показателя преломления – $1,522 \pm 0,08$

Заключение

В ходе выполнения проекта было разработано устройство измерения показателя преломления твердых оптических материалов, имеющих форму плоскопараллельных пластин. Устройство позволяет повысить точность измерения во всем диапазоне возможных его значений, что достигается за счет применения в блоке регистрации КМОП-матрицы с размером пикселя до 2,5 мкм и разработанного программного обеспечения, позволяющего

измерять величину смещения положения энергетического максимума с точностью 0,01 пикселя.

Устройство измерения показателя преломления будет использоваться в исследовательских лабораториях, создающих оптико-электронные приборы для расчета оптических систем и измерения показателя преломления материалов. В дальнейшем планируется его модернизация, изготовление высокоточного дискретного устройства крепления, а также проведение измерений в другом спектральном диапазоне и исследование показателя преломления жидкостей с использованием кюветы.

Публикации

Марченко О.Н., Папченко Б.П. Создание устройства измерения показателя преломления оптических материалов, имеющих форму плоскопараллельных пластин [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5159/5159.pdf> (дата обращения: 10.10.2017).

Литература

1. Федосов И.В. Геометрическая оптика. Саратов, 2008. – 92 с.
2. Бутиков Е.И., Кондратьева А.С. Физика: учебное пособие. Т. 2. Электродинамика. Оптика. М., 2008. – 336 с.
3. Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов. М., 1970. – 156 с.



Мунько Анна Сергеевна
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра световодной фотоники
E-mail: qveenanna-93@mail.ru

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ТОЧНОЙ СИСТЕМЫ ОСЕВОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ЗАПИСИ РЕШЕТОК БРЭГГА В АНИЗОТРОПНЫХ СВЕТОВОДАХ

А.С. Мунько

Научный руководитель – доцент С.В. Варжель

Введение

Возможность модуляции оптического показателя преломления (ПП) материала излучением широко используется в производстве различных элементов, в том числе волоконных брэгговских решеток (ВБР). Из теории связанных мод известно, что коэффициент отражения брэгговской решетки зависит от глубины наведенной модуляции ПП внутри световода [1]. Наведенный ПП в свою очередь пропорционален плотности энергии в пучке излучения лазера.

Одной из областей применения ВБР является их использование в различных системах, измеряющих такие величины, как температура, влажность, давление, деформация, концентрация химических веществ [2]. Для систем такого рода были созданы специальные анизотропные одномодовые волоконные световоды (АОВС), сохраняющие поляризацию излучения. В данной работе рассматриваются решетки Брэгга, которые были записаны

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

в АОВС российского производства. Исследование свойств таких волокон и создание на их основе измерительных комплексов учитывает современные тенденции импортозамещения и делает данную работу актуальной.

Анизотропия оптических свойств световода и, как следствие, двулучепреломление, обычно достигаются с помощью эффекта фотоупругости путем ввода в конструкцию оптического волокна (ОВ) частей, создающих механические напряжения (ЧСМН). Примерами могут являться используемые в настоящей работе волокна с эллиптической напрягающей оболочкой. В ОВ данной конструкции медленная ось двулучепреломления (ОД) совпадает с длинной осью напрягающего эллипса. Некоторые свойства ЧСМН, например поглощение излучения материалом, их форма и ПП, влияют на эффективность записи различных структур в волокне. Следовательно, положение составляющих частей ОВ необходимо учитывать при записи ВБР.

В настоящее время существуют несколько способов определения ориентации элементов ОВ и, как следствие, ОД. Это можно осуществить, осмотрев сколотый или отполированный торец ОВ под микроскопом с большим увеличением, что, однако, сложно реализовать в месте создания ВБР (кроме того, этот способ является разрушающим). Можно приложить к участку волокна растягивающее напряжение и затем изучить изменение картины на его выходе [3]; или осветить источником белого света боковую поверхность ОВ с последующей обработкой полученного с камеры изображения торца [4].

Используемый в работе метод заключается в наблюдении за интерференционной картиной рассеяния вперед при освещении боковой поверхности волокна излучением когерентного источника [5–7]. Таким образом, цель проекта – моделирование зависимости интерференционной картины рассеяния вперед от положения ЧСМН анизотропного ОВ, а также создание оптической схемы, позволяющей предварительно ориентировать АОВС с последующим исследованием интерференционной картины, упомянутой выше.

Основная часть

Для записи ВБР была использована установка (рис. 1), представленная в работах [8, 9] и модифицированная с учетом применения метода определения положения ОД.

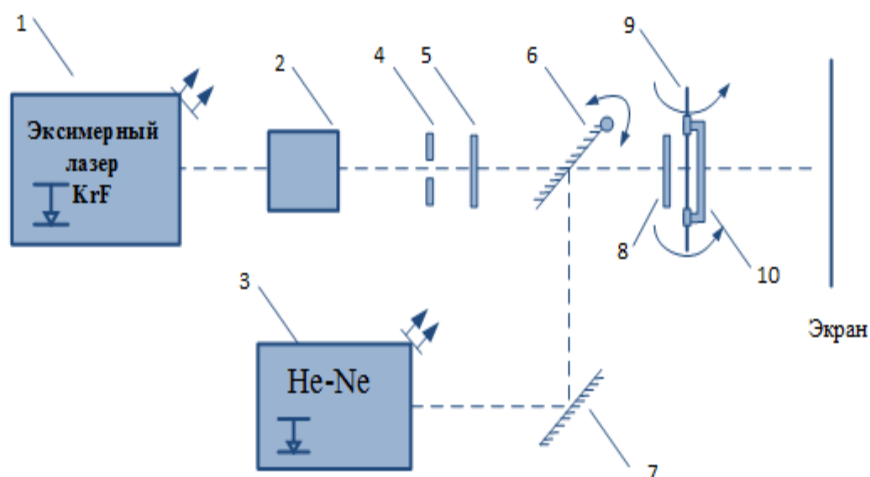


Рис. 1. Схема записи. 1 – KrF эксимерный лазер, 2 – аттенюатор, 3 – He-Ne лазер, 4 – щель, 5 – цилиндрическая линза, 6 – поворотное зеркало, 7 – зеркало, 8 – фазовая маска, 9 – волоконный световод, 10 – угловой микропозиционер

Предметом исследования являются двулучепреломляющие ОВ, имеющие эллиптическую напрягающую оболочку с 4 мол % GeO_2 в сердцевине (ESC-4) и с 12 мол % GeO_2 в сердцевине (ESC-12). Анизотропные волоконные световоды получены по технологии, представленной в работах [10, 11].

В начале проекта была рассчитана интерференционная картина рассеяния вперед по формуле Стреттона – Чу. В качестве исходных данных взяты ПП всех составляющих частей

двулучепреломляющего волокна ESC-4, предоставленные производителем: сердцевина (1,464), изолирующая (1,457), напрягающая (1,46), защитная (1,4562) и конструктивная (1,457) оболочки. Результаты расчета представлены на рис. 2.

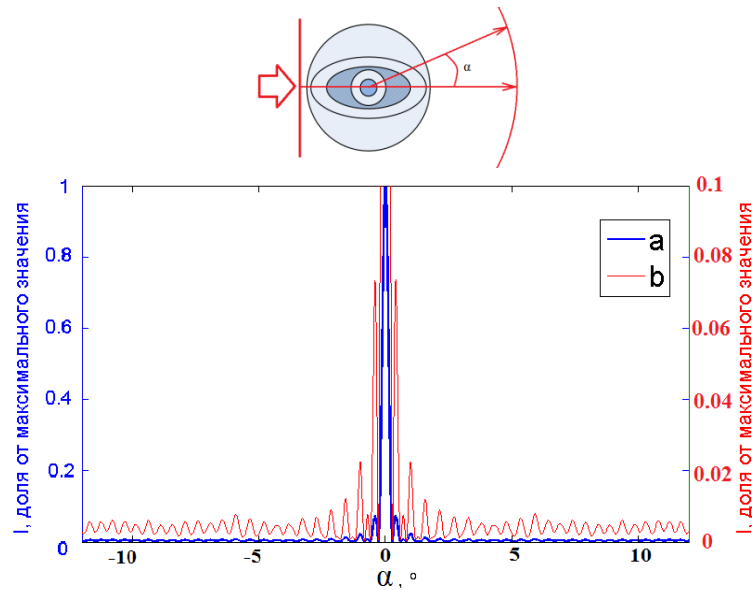


Рис. 2. Рассчитанная интерференционная картина рассеяния: на оси ординат (a) значения интенсивности относительно максимума от 0 до 1; на оси ординат (b) от 0 до 0,1

Для проведения предварительного тестирования использовалась установка, схема которой представлена на рис. 3, где 1 – линейно поляризованный источник излучения с FC-разъемом, ключ которого ориентирован вдоль медленной ОД; 2 – исследуемый образец ОВ; 3 – угловой микропозиционер; 4 – микрообъектив; 5 – поляризатор; 6 – фотоприемник; 7 – когерентный источник излучения (лазер); 8 – экран; 9 – средство регистрации интерференционной картины рассеяния.

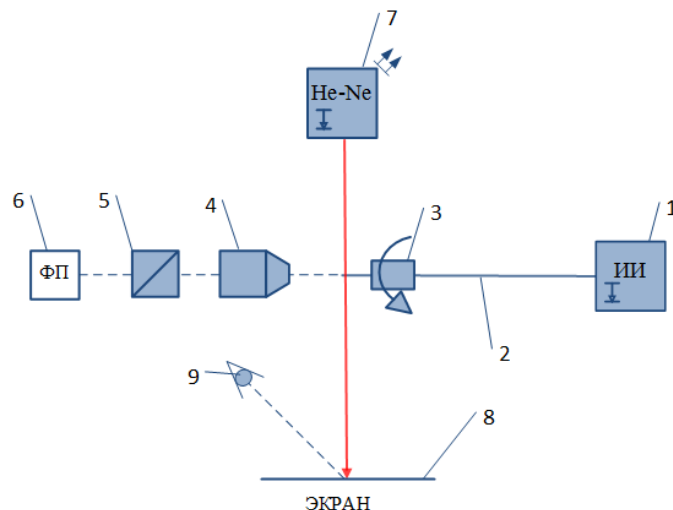


Рис. 3. Схема наблюдения интерференционной картины рассеяния вперед

После ввода излучения в медленную ОД ОВ ориентировалось по положению поляризатора и показаниям фотоприемника таким образом, чтобы эта ось была направлена перпендикулярно направлению распространения излучения He-Ne-лазера. Затем снимались интерференционные картины рассеяния вперед пучка He-Ne-лазера на ОВ при различных угловых положениях медленной ОД путем вращения углового микропозиционера с ОВ. На рис. 4a представлено схематичное положение исследуемого волокна относительно направления распространения пучка He-Ne-лазера, где 1 – сердцевина, 2, 3, 4 и 5 –

изолирующая, напрягающая, защитная и конструктивная оболочки соответственно, φ – угол между направлением распространения пучка *He-Ne*-лазера и медленной ОД ОВ, α – направление распространения пучка *He-Ne*-лазера.

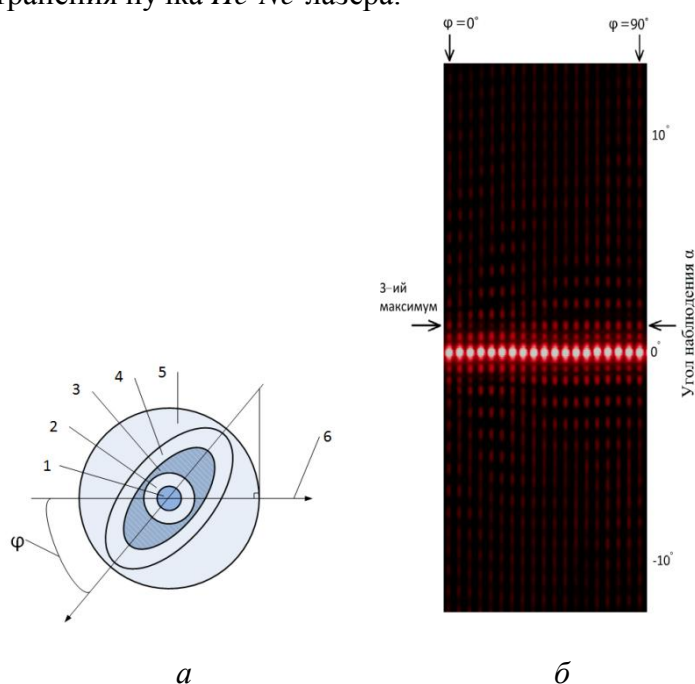


Рис. 4. а – схематичное изображение волокна; б – коллаж из интерференционных картин рассеяния вперед, каждая из которых представляет вертикально ориентированный набор минимумов и максимумов, значение угла φ соответствует ориентации ОВ на рис. 4а

На рис. 4б приведен коллаж интерференционных картин рассеяния вперед волокна *ESC-4*, зарегистрированных с шагом в 5° . Измерения начинались при предварительной ориентации положения медленной ОД перпендикулярно направлению распространения излучения *He-Ne*-лазера. Экран находился на расстоянии 140 см от ОВ. По рисунку видно, что интенсивность и угловые координаты порядков интерференционной картины зависят от углового положения ОД.

Затем непосредственно перед записью по интенсивности и угловым координатам порядков наблюдаемой интерференционной картины определяется требуемый угол поворота углового микропозиционера. Запись проводилась в положениях ОВ, при которых медленная ОД ориентирована перпендикулярно направлению распространения излучения *He-Ne*-лазера (угол $\varphi = 90^\circ$ на рис. 4а), а соответственно, и излучению эксимерного лазера; а также когда медленная ОД ориентирована параллельно направлению распространения излучения *He-Ne*-лазера ($\varphi = 0^\circ$).

Основные достигнутые результаты

В результате эксперимента, а также путем построения математической модели получена зависимость интенсивности излучения в третьем максимуме интерференционной картины рассеяния вперед на ОВ *ESC-4* от положения его ОД (рис. 5). Показано, что минимальная интенсивность в третьем порядке соответствует положению угла φ равному 20° для измеренных и рассчитанных значений.

В исследуемых волокнах *ESC-4* и *ESC-12* одиночным лазерным импульсом при плотности энергии около 140 мДж/см^2 были записаны ВБР типа I [1]. Среднее отношение коэффициентов отражения решеток, записанных в волокне с эллиптической напрягающей оболочкой *ESC-4* при ориентации медленной ОД перпендикулярно к поверхности фазовой маски, к коэффициентам при ориентации параллельно ей составило 0,628. В волокне *ESC-12* это отношение равно 0,596. То есть:

$$(R_{\varphi=90^\circ} / R_{\varphi=0^\circ})_{cp}^{ESC-4} = 0.628 \tag{1}$$

$$(R_{\varphi=90^\circ} / R_{\varphi=0^\circ})_{cp}^{ESC-12} = 0.596 \tag{2}$$

Коэффициенты отражения решеток были получены из спектральных характеристик отраженного ВБР света, измеренных через три минуты после записи. Полученный результат подтверждает наличие зависимости эффективности записи ВБР от ориентации ОД исследуемых АОВС.

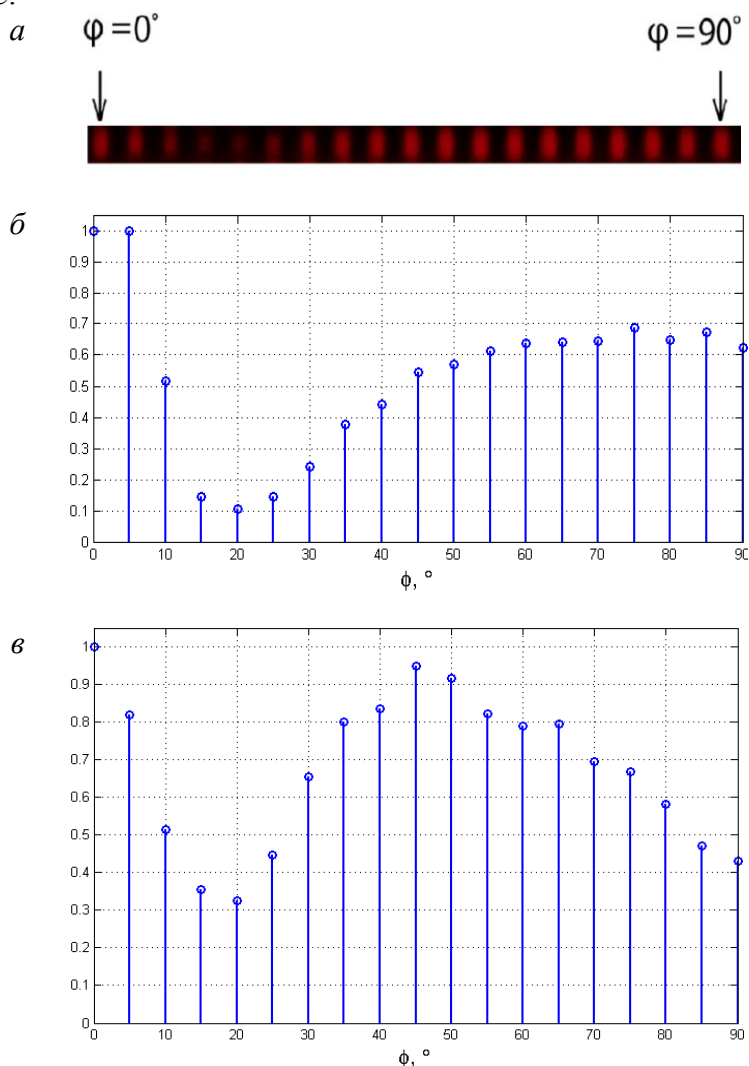


Рис. 5. а – фотографии третьего максимума интерференционной картины рассеяния вперед; б – измеренная зависимость; в – рассчитанная

Кроме того, в работе [12] показано, что поляризационное преобразование на ВБР тоже зависит от положения ОД относительно излучения, записывающего решетки. Таким образом, предварительное позиционирование ОД при записи ВБР – это эффективный способ снижения поляризационных преобразований на решетках, которые являются источником шумов в фазовых интерферометрических датчиках.

Заключение

В работе предложена схема записи ВБР с возможностью предварительной ориентации ОД ОВ. Экспериментально и путем построения математической модели исследованы зависимости параметров интерференционной картины рассеивания на анизотропных ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой от положения их ОД.

Представлены результаты записи брэгговских решеток типа I в анизотропных ОВ одиночным импульсом KrF-эксимерного лазера методом фазовой маски. Отношения полученных коэффициентов отражения ВБР при двух ориентациях напрягающего эллипса в ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой ESC-4 и ESC-12 составили 0,628 и 0,596 соответственно. Это позволяет оценить характер зависимости эффективности записи ВБР от ориентации напрягающих элементов в волокнах, изготавливаемых по технологии, представленной в работах [10, 11], и выработать ряд рекомендаций для изготовителей ВБР в АОВС, использованных в работе. Во-первых, запись решеток Брэгга в одноимпульсном режиме эффективнее при позиционировании медленной ОД ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой перпендикулярно штрихам интерференционной картины. Во-вторых, предварительная ориентация ОД анизотропного волоконного световода при записи ВБР позволяет снизить поляризационные преобразования на решетке.

Публикации

1. *Mun'ko A.S., Varzhel' S.V., Arkhipov S.V., Gribaev A.I., Konnov K.A., Belikin M.N.* The study of the thermal annealing of the Bragg gratings induced in the hydrogenated birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding // *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol. 735. No 1. P. 012015.
2. *Варжель С.В., Мунько А.С., Коннов К.А., Грибаев А.И., Куликов А.В.* Запись решеток Брэгга в двулучепреломляющем оптическом волокне с эллиптической напрягающей оболочкой, подвергнутом водородной обработке // *Оптический журнал*. 2016. Т. 83. № 10. С. 74–78.
3. *Varzhel' S.V., Mun'ko A.S., Konnov K.A., Gribaev A.I., Kulikov A.V.* Recording Bragg gratings in hydrogenated birefringent optical fiber with elliptical stress cladding // *Journal of Optical Technology*. 2016. Vol. 83. No 10. P. 638–641.
4. *Архипов С.В., Стригалева В.Е., Солдатова Н.С., Варжель С.В., Мунько А.С., Смирнова Ю.Д.* Зависимость эффективности записи брэгговских решеток в двулучепреломляющих оптических волокнах от ориентации напрягающей эллиптической оболочки // *Оптический журнал*. 2016. Т. 83. № 11. С.79–82.
5. *Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Soldatova N.S., Varzhel' S.V., Mun'ko A.S., Smirnova Y.D.* How the efficiency with which Bragg gratings are recorded in birefringent optical fibers depends on the orientation of elliptical stress cladding // *Journal of Optical Technology*. 2016. Vol. 83. No 11. P. 708–710.
6. *Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Varzhel' S.V., Smirnova I.D., Soldatova N.S., Palanjyan D.A., Mun'ko A.S., Petrov A.A.* Birefringent optical fibers axial positioning technique for fiber Bragg gratings writing // *Optical and Quantum Electronics*. 2016. Vol. 48. No 12. P. 541.
7. *Смирнова Ю.Д., Варжель С.В., Петров А.А., Архипов С.В., Кондакова Н.С., Паланджян Д.А., Мунько А.С.* Эффективность записи решеток Брэгга излучением эксимерного ArF-лазера в зависимости от ориентации оси двулучепреломления анизотропного оптического волокна // *Известия вузов. Приборостроение*. 2017. Т. 60. № 5. С. 460–465.

Литература

1. *Kashyap R.* Fiber Bragg gratings. San Diego, 1999. – 478 p.
2. *Кукушкин С.А. и др.* Образование микропор в оптическом волокне под воздействием импульсного УФ света высокой интенсивности // *Журнал технической физики*. 2006. Т. 76. № 8. С. 73–84.
3. *Carrara S.L.A. et al.* Elasto-optic alignment of birefringent axes in polarization holding optical fiber // *Optics Letters*. 1986. Vol. 11. No 7. P. 470–472.
4. Product bulletin 88112000 on the FSM-20 PM / Fujikura Ltd. 1990. P. 2.
5. Patent 5317575 US. System for determining birefringent axes in polarization-maintaining optical fiber / J.B. Aniano. Published 31.05.1994.

6. *Watkins L.S.* Scattering from side-illuminated clad glass fibers for determination of fiber parameters // *Journal of the Optical Society of America*. 1974. Vol. 64. No 6. P. 767–772.
7. *Smithgall D.H. et al.* High-speed noncontact fiber-diameter measurement using forward light scattering // *Applied Optics*. 1977. Vol. 16. No 9. P. 2395–2402.
8. *Варжель С.В. и др.* Запись брэгговских решеток в двулучепреломляющем оптическом волокне одиночным 20-нс импульсом эксимерного лазера // *Оптический журнал*. 2012. Т. 79. № 4. С. 85–88.
9. *Варжель С.В. и др.* Запись узкополосных волоконных брэгговских отражателей одиночным импульсом эксимерного лазера методом фазовой маски // *Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО*. 2011. Т. 75. № 5. С. 27–30.
10. Патент на изобретение 2155359 Российская Федерация. Способ изготовления волоконных световодов, сохраняющих поляризацию излучения / М.А. Ероньян. Опубл. 27.08.2000.
11. *Буреев С.В. и др.* Технология крупногабаритных заготовок анизотропных одномодовых световодов с эллиптической оболочкой // *Оптический журнал*. 2007. Т. 74. № 4. С. 85–87.
12. *Zhao Y. et al.* Polarization mode coupling and related effects in fiber Bragg grating inscribed in polarization maintaining fiber // *Optics Express*. 2016. Vol. 24. No 1. P. 611–619.



Орехова Мария Кирилловна
Факультет лазерных и световых технологий
Кафедра прикладной и компьютерной оптики
E-mail: marorekhova@gmail.com

РАЗРАБОТКА ГОМОГЕНИЗАТОРА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГАЛИЛЕЯ

М.К. Орехова

Научный руководитель – доцент А.О. Вознесенская

Цель проекта – разработка гомогенизирующей системы лазерного излучения, позволяющей преобразовать пучок с Гауссовым профилем освещенности в сечении в пучок с равномерно распределенной интенсивностью по его площади.

Лазерные технологии получили широкое распространение во многих областях науки. Лазеры используются в промышленности (сварка, резка, термообработка), медицине, различных лабораторных установках благодаря таким характерным особенностям, как высокая когерентность, узконаправленность, высокая мощность и узкий спектральный диапазон излучения. Однако плотность мощности в сечении лазерного пучка подчинена закону распределения Гаусса. При этом во многих приложениях требуется равномерное распределение интенсивности излучения, что ведет к необходимости гомогенизации лазерного излучения, то есть перераспределению его интенсивности и фазы [1–8].

Традиционные телескопические линзовые системы, используемые для коллимации лазерного излучения, не позволяют осуществить гомогенизацию. Ее реализация происходит за счет изменения формы преломляющих поверхностей линз – включения асферических поверхностей, массивов микролинз, *freeform*-поверхностей, синтез которых является нетривиальной задачей и требует разработки математической модели.

Форма пучка в основном зависит от распределения интенсивности, фаза же влияет на характеристики его распространения. Менять форму лазерного пучка начали давно: еще в шестидесятых годах ученые Фрайден и Крейцер представляли свои работы, связанные с решением этой проблемы [9].

Суть гомогенизации состоит в том, чтобы преобразовать входную волну с гауссовым профилем освещенности (рис. 1а) в выходную с однородным излучением (рис. 1б).

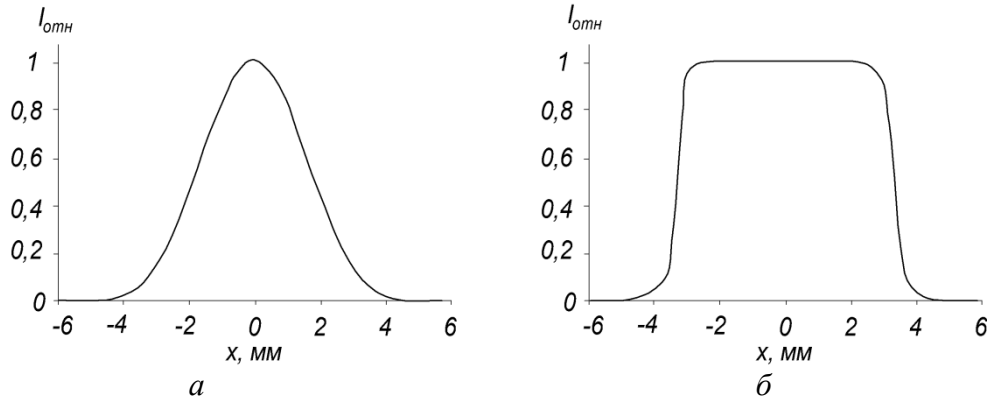


Рис. 1. Распределение интенсивности: а – на источнике; б – на приемнике

Как правило, лазерные гомогенизаторы основаны на линзовых телескопических системах, поскольку они работают с параллельным излучением на входе и выходе. Телескопическая система Кеплера, использующая две положительные линзы, не рекомендована для лазерных систем ввиду того, что концентрированное лазерное излучение в плоскости промежуточного изображения может привести к порче прибора. В таких системах чаще всего применяется линзовая телескопическая система Галилея. Однако классический ее вариант с двумя сферическими линзами не может выполнить поставленную задачу.

Для решения данной проблемы целесообразно вместо обычных сферических линз брать асферические. Основной принцип моделирования такой системы описал Дж. Л. Крейцер [9], в дальнейшем его улучшали Д.Л. Шели и его коллеги [1–8].

На рис. 2 показан метод гомогенизации, использующий две асферических линзы. Первая и четвертая поверхности – плоские, перпендикулярные оптической оси; вторая и третья – асферические. Вторая поверхность перераспределяет интенсивность излучения, а третья является фазовым корректором и формирует желаемый плоский волновой фронт.

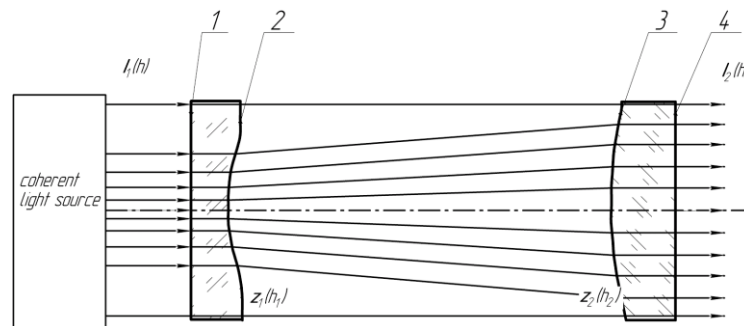


Рис. 2. Лазерная гомогенизация при помощи асферики

Математическое описание уравнений профилей поверхностей основано на законе сохранения энергии. Для поверхности 2 оно будет иметь следующий вид (рис. 3):

$$z_1(h) = \int_0^h \left((n^2 - 1) + \left(\frac{s(n-1)}{h_2 - h_1} \right)^2 \right)^{-1/2} dh_1. \quad (1)$$

Аналогично для поверхности 3:

$$z_2(h) = \int_0^h \left((n^2 - 1) + \left(\frac{s(n-1)}{h_2 - h_1} \right)^2 \right)^{-1/2} dh_2. \quad (2)$$

Координаты поверхности 2 рассчитываются следующим образом:

$$h_1 = a \sqrt{-\ln \left[1 - \left(\frac{h_2}{R} \right)^2 \left(1 - e^{-\left(\frac{R}{a} \right)^2} \right) \right]}. \quad (3)$$

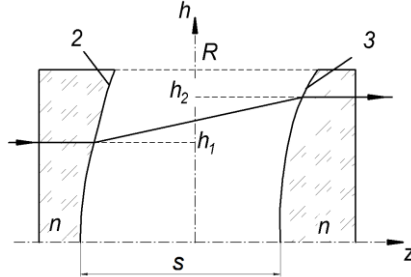


Рис. 3. Схематичное представление перераспределения лучей в гомогенизаторе

Использование уравнений (1) и (2) не всегда удобно для компьютерного моделирования, однако существует возможность преобразовать их в прямые зависимости $z(h)$. Из уравнений (1-2) были получены координаты точек, описывающие профили поверхностей. Для аппроксимации применен метод наименьших квадратов (МНК) [10], а для интерполяции использованы полиномы Лагранжа. Для данной системы рассматривается применение стекла К8 на длине волны $\lambda = 546$ нм.

Метод наименьших квадратов описывается уравнением:

$$X = (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot B, \quad (4)$$

где $A = \begin{pmatrix} z(h_1)^2 & z(h_1)^4 & \dots & z(h_1)^m \\ z(h_2)^2 & z(h_2)^4 & \dots & z(h_2)^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ z(h_i)^2 & z(h_i)^4 & \dots & z(h_i)^m \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_i \end{pmatrix}$, $X = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_i \end{pmatrix}$ – матрица неизвестных

коэффициентов искомого полинома, i – количество известных значений функции, m – количество коэффициентов в уравнении.

Интерполяция полиномами Лагранжа выглядит следующим образом:

$$L(x) = \sum_{i=0}^n y_i l_i(x), \quad (5)$$

где

$$l_i(x) = \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j}.$$

При помощи МНК были найдены следующие уравнения, описывающие асферические профили поверхностей гомогенизатора:

$$z_1(h) = -0,0028502 \cdot x + 0,0053185 \cdot x^2 - 0,00023216 \cdot x^3, \quad (6)$$

$$z_2(h) = 0,00189 \cdot x + 0,62869 \cdot x^2 \cdot 10^{-3} + 0,57861 \cdot x^3 \cdot 10^{-3} - 0,86327 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 + 0,57219 \cdot 10^{-5} \cdot x^5 - 0,01516 \cdot 10^{-5} \cdot x^6. \quad (7)$$

На рис. 4 показана корреляция между профилями поверхностей, полученными из статьи [11], и профилями поверхностей, описанных уравнениями (6) и (7). Очевидно, что применение МНК для аппроксимации лучше, чем интерполяция степенными полиномами.

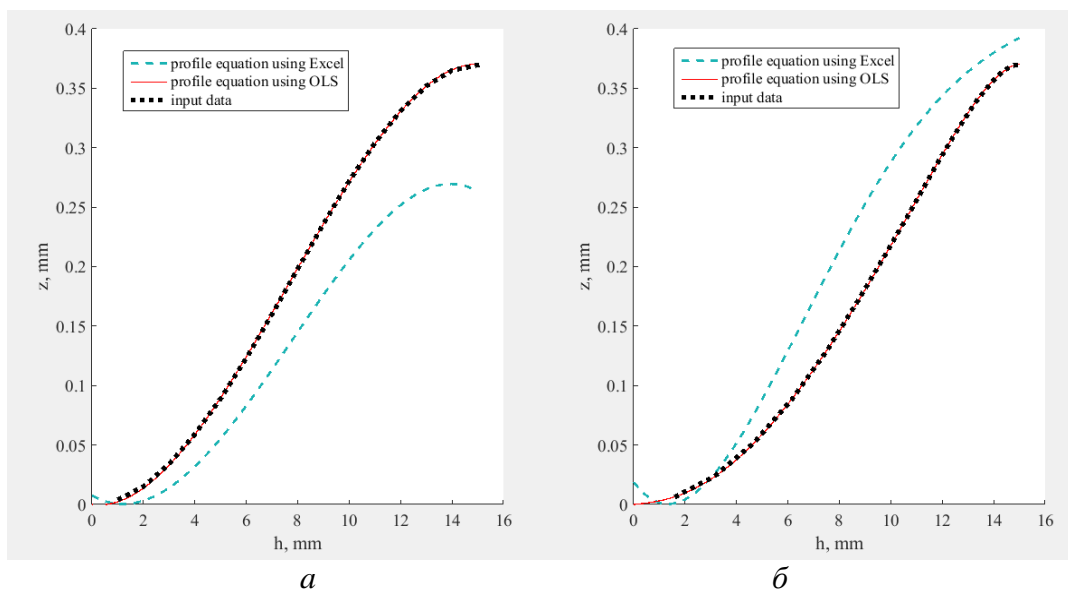


Рис. 4. Аппроксимация профилей поверхностей гомогенизатора при помощи уравнений (6) и (7): а – $z_1(h)$; б – $z_2(h)$

Если число степеней m в матрице A (4) меняется, то количество коэффициентов в матрице X изменится прямо пропорционально. Обнаружено, что именно количество коэффициентов в матрице X (6)-(7) является оптимальным результатом. На рис. 5 показаны аппроксимированные профили поверхностей, полученные с другим набором коэффициентов матрицы X :

$$z_1(h) = 0,00337 \cdot x + 0,00076 \cdot x^2 + 0,00023 \cdot x^3 - 0,12988 \cdot 10^{-4} \cdot x^4 \quad (8)$$

$$z_2(h) = -0,00285 \cdot x + 0,00532 \cdot x^2 - 0,000232 \cdot x^3 \quad (9)$$

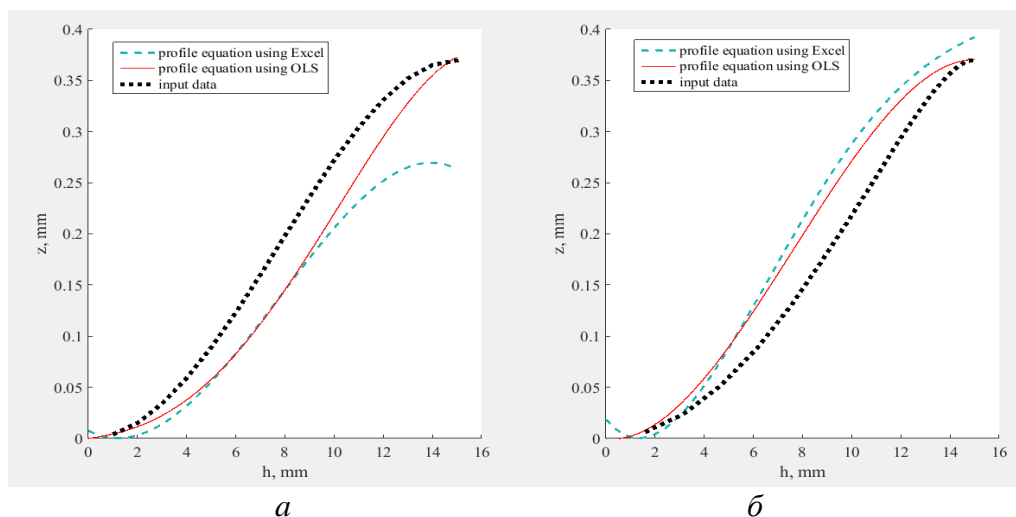


Рис. 5. Аппроксимация профилей поверхностей гомогенизатора при помощи уравнений (8) и (9): а – $z_1(h)$; б – $z_2(h)$

Таким образом, изменение числа коэффициентов матрицы X может давать разный результат. В данном случае профили поверхностей, описанные уравнениями (6) и (7), являются наиболее близкими к профилям, полученным с помощью уравнений (1–3) и представленными в виде дискретных точек («input data» на рис. 4–6).

С помощью полиномов Лагранжа была произведена интерполяция. Получены следующие уравнения для описания профилей поверхностей:

$$z_1(h) = 0,0155 - 0,0184 \cdot x + 0,0104 \cdot x^2 - 0,0018 \cdot x^3 + 0,2173 \cdot 10^{-3} \cdot x^4 - 0,1562 \cdot 10^{-4} \cdot x^5 + 0,6126 \cdot 10^{-6} \cdot x^6 - 0,1079 \cdot 10^{-7} \cdot x^7, \quad (10)$$

$$z_2(h) = -0,0239 + 0,0281 \cdot x - 0,0085 \cdot x^2 + 0,0028 \cdot x^3 - 0,3529 \cdot 10^{-3} \cdot x^4 + 0,2349 \cdot 10^{-4} \cdot x^5 - 0,8311 \cdot 10^{-6} \cdot x^6 + 0,1218 \cdot 10^{-7} \cdot x^7. \quad (11)$$

Результаты интерполяции показаны на рис. 6:

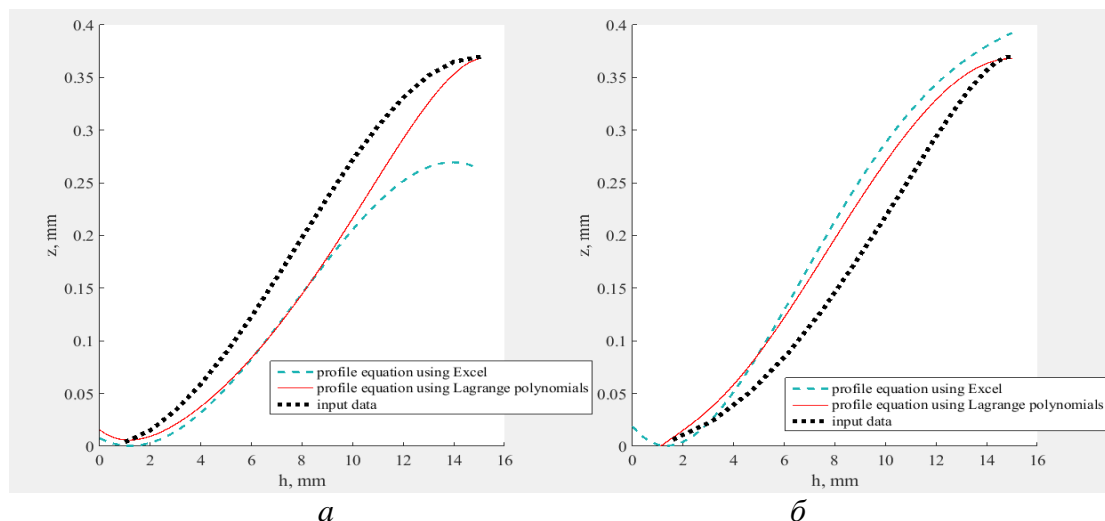


Рис. 6. Интерполяция профилей поверхностей гомогенизатора при помощи уравнений (10) и (11): а – $z_1(h)$; б – $z_2(h)$

Из рис. 4–6 видно, что аппроксимация, выполненная с использованием метода наименьших квадратов, дает наилучший результат.

Результаты

По итогам выполнения проекта получены следующие результаты.

1. Проведен анализ существующих методов гомогенизации лазерного излучения.
2. Предложена схема гомогенизатора лазерного излучения на основе асферической телескопической системы Галилея.
3. Разработан математический аппарат модели лазерного гомогенизатора.
4. Проведена оценка методов интерполяции профилей поверхностей.

Публикации

1. Orekhova M.K., Voznesenskaya A.O. Computer modeling of laser beam reshaper based on aspherical telescopic system // Proceedings of SPIE. 2016. Vol. 9950. P. 99500X.
2. Orekhova M.K., Voznesenskaya A.O. Computer modeling and approximation of laser beam reshaper based on aspherical optics // Proceedings of SPIE. 2017. Vol. 10098. P. 1009821.
3. Орехова М.К., Вознесенская А.О. Моделирование гомогенизатора лазерного излучения на основе линзовой двухкомпонентной асферической системы [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2016. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/3184/3184.pdf> (дата обращения: 15.11.2017).

Литература

1. Hoffnagle J.A., Jefferson C.M. Design and performance of a refractive optical system that converts a Gaussian to a flattop beam // Applied Optics. 2000. Vol. 39. No 30. P. 5488–5499.
2. Wang C., Shealy D.L. Design of gradient-index lens systems for laser beam reshaping // Applied Optics. 1993. Vol. 32. No 25. P. 4763–4769.

3. *Shealy D.L., Dickey F.M.* Laser beam shaping // *Optics and Photonics News*. 2003. Vol. 14. No 4. P. 30–35.
4. *Forbes A. et al.* Wavelength tunable laser beam shaping // *Optics Letters*. 2012. Vol. 37. No 1. P. 49–51.
5. *Evans N.C., Shealy D.L.* Design and optimization of an irradiance profile-shaping system with a genetic algorithm method // *Applied Optics*. 1998. Vol. 37. No 22. P. 5216–5221.
6. *Dickey F.M., Holswade S.C.* Gaussian laser beam profile shaping // *Optical Engineering*. 1996. Vol. 35. No 11. P. 3285–3295.
7. *Shealy D.L., Hoffnagle J.A.* Laser beam shaping profiles and propagation // *Applied Optics*. 2006. Vol. 45. No 21. P. 5118–5131.
8. π Shaper: official web-site [Electronic resource]. URL: <http://www.pishaper.com> (accessed: 15.10.2015).
9. Patent 3476463 US. Coherent light optical system yielding an output beam of desired intensity distribution at a desired equiphase surface / J.L. Kreuzer. Published 04.11.1969.
10. *Romanova G.E. et al.* Influence of aspherical surfaces description on aberration correction // *Proceedings of SPIE*. 2015. Vol. 9626. P. 96262T.
11. *Orekhova M.K., Voznesenskaya A.O.* Computer modeling of laser beam reshaper based on aspherical telescopic system // *Proceedings of SPIE*. 2016. Vol. 9950. P. 99500X.



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

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАЩИТЫ ОТ АТАК С ПРАВАМИ ПРИВИЛЕГИРОВАННОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Т.С. Осадчая

Научный руководитель – профессор А.Ю. Щеглов

Цели работы – повышение уровня безопасности, сохранение конфиденциальности и целостности системных объектов, настроек операционной системы и данных, принадлежащих конкретным пользователям.

Основные задачи, решаемые комплексно в ходе исследования:

- контроль и разграничение действий легальных привилегированных пользователей;
- предотвращение влияния на систему нелегальных (вредоносных) программ, запущенных с привилегированными правами.

В ходе работы было определено, что указанные задачи должны решаться в комплексе. Необходимо как контролировать и разграничивать права доступа привилегированного пользователя (администратора), так и предотвращать возможность влияния на систему программ, которые могут быть наделены вредоносными свойствами и запущены под привилегированной учетной записью.

Для этого субъект доступа должен содержать две компоненты: «учетная запись» и «процесс». Кроме того, защита, связанная с усечением и контролем прав доступа, должна решаться на системном уровне для противодействия любому воздействию

привилегированных пользователей на систему защиты (удаление, остановка системных служб и т. д.).

Было рассмотрено существующее в настоящее время направление, связанное с контролем действий привилегированных пользователей. Англоязычными аналогами наименования решений по управлению привилегированными пользователями являются *Privileged User Management (PUM)*, *Privileged Identity Management (PIM)* и другие.

Принцип работы средств контроля привилегированных пользователей представляет собой проверку и подтверждение их полномочий, выявление их подозрительной активности с помощью регистрации всех действий, уведомление об этом ответственных лиц и при необходимости принудительный разрыв сессии.

Более подробное описание основных задач, решаемых средствами контроля привилегированных пользователей можно найти в [1].

Было определено, что существующие в настоящее время решения, посвященные контролю действий привилегированных пользователей, реализуются внешними средствами и в первую очередь ориентированы на задачи их контроля [2]. Основная цель *PUM*-решений – регистрация всех действий привилегированных пользователей для их дальнейшего анализа. Однако задача по усечению возможностей пользователей, имеющих повышенные привилегии по администрированию, не решается в полной мере данными средствами. В *PUM*-решениях отсутствует защита от целевых атак, более того, вносится дополнительная угроза уязвимости самого *PUM*-решения.

Идея разработанного подхода к защите заключается в необходимости:

- создания разграничительной политики доступа для пользователей с привилегированными правами;
- исключения возможности воздействия любыми сторонними программами на системные объекты и объекты, хранящие данные.

Необходимо отметить, что данный подход базируется на реализации механизма самозащиты, обеспечивающего невозможность влияния на функционирование средства защиты информации привилегированными пользователями любым способом. Данный механизм не позволит привилегированному пользователю, не являющемуся администратором безопасности, каким-либо образом повлиять на запущенную службу и драйверы средства защиты, модифицировать его настройки.

Решение задачи по контролю и разграничению действий легальных привилегированных пользователей

В общем случае задача защиты информации от привилегированных пользователей заключается в том, чтобы данные пользователи (например, системные администраторы) не имели доступа к файлам, создаваемым другими пользователями [3]. Данная задача решается благодаря созданию разграничительной политики доступа с использованием механизма контроля доступа к создаваемым файлам. Использование этого механизма сопровождается созданием таких правил, с учетом которых привилегированный пользователь получает доступ только к тем файлам, которые были созданы им.

Для контроля действий привилегированных пользователей необходимо настроить параметры аудита, задав объекты. Доступ к ним будет регистрироваться в журналах аудита.

Для усечения возможностей привилегированных пользователей по администрированию следует использовать подход, основанный на разрешении доступа к защищаемому объекту файловой системы или реестра только соответствующей библиотеки, у которой есть интерфейс настройки. Таким образом, создается разграничительная политика для процессов, после чего привилегированному пользователю разрешается либо запрещается запуск данной библиотеки.

- В рамках данного подхода сначала выбирается требуемая функция администрирования, после чего определяется библиотека или исполняемый файл, при

помощи которого возможна работа с определенным интерфейсом, связанным с выполнением рассматриваемой функции.

– Затем обеспечивается возможность осуществления записи только из выбранного интерфейса: производить запись в защищаемый объект файловой системы или реестра должен только один определенный процесс, всем остальным процессам запись в данный объект запрещается.

– После этого при создании разграничительной политики для привилегированного пользователя ему разрешается или запрещается запуск этой библиотеки или исполняемого файла.

Примеры разграничительных политик, используемые при выполнении проекта, были созданы с помощью КСЗИ «Панцирь+» для ОС *Microsoft Windows*.

Пример разграничительной политики для защиты от действий легальных привилегированных пользователей: правила доступа, которые запрещают ему доступ к файлам, созданным и обрабатываемым интерактивными пользователями, – представлен на рис. 1.



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

Рис. 1. Пример разграничительной политики доступа к создаваемым файлам

В результате реализации данной разграничительной политики привилегированный пользователь сможет получать доступ только к созданным им самим файлам. При этом ему запрещено запускать созданные им исполняемые файлы.

Примеры разграничительных политик, соответствующих усечению различных возможностей привилегированных пользователей по администрированию благодаря запрету на запуск соответствующих динамических библиотек, представлены в Таблице.

До создания этих правил необходимо запретить любым процессам чтение/исполнение требуемых динамических библиотек или файлов, а также запись в соответствующие объекты файловой системы и реестра.

Таблица

Примеры разграничительных политик

Возможность по администрированию	Объект	Права доступа
Открытие элемента панели управления «Учетные записи пользователей»	C:\Windows\System32\usercpl.dll	-И
Отображение вкладки «Безопасность» в свойствах папок и файлов	C:\Windows\System32\authz.dll	-И
Открытие элемента панели управления «Дата и время»	C:\Windows\System32\timedate.cpl; HKLM\System\CurrentControlSet\Control\TimeZoneInformation; HKLM\System\ControlSet001\Control\TimeZoneInformation	-И; +Ч -З -У -П; +Ч -З -У -П

Здесь «-И» – запрет на исполнение, «+Ч» – разрешение на чтение, «-З» – запрет на запись, «-У» – запрет на удаление, «-П» – запрет на переименование.

Решение задачи по исключению возможности влияния на систему вредоносной программы, запущенной с привилегированными правами

Реализация рассматриваемого подхода к защите состоит в выборе объектов, запись в которые позволена только определенным процессам. При этом должна предотвращаться возможность их модификации любыми другими процессами.

Пример разграничительной политики для защиты от влияния на систему нелегальных программ, запущенных с привилегированными правами, представлен на рис. 2:

- был выбран объект «%SystemRoot%\system32*»;
- всем процессам, находящимся в директории «%SystemRoot%\system32*» был предоставлен полный доступ к данному объекту;
- всем остальным процессам (используется маска «*») модификация выбранного объекта была запрещена (то есть им разрешается только чтение и исполнение объектов, находящихся в выбранной директории).

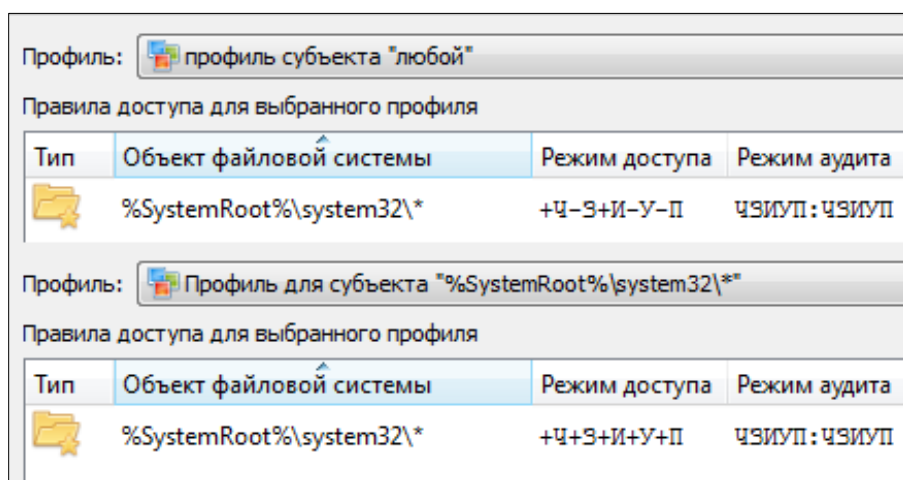


Рис. 2. Пример разграничительной политики для защиты от запуска нелегальных программ

Здесь «Ч» – чтение, «З» – запись, «И» – исполнение, «У» – удаление, «П» – переименование.

В результате реализации данной разграничительной политики любая сторонняя программа не будет иметь возможности произвести запись или модификацию выбранных объектов.

Таким образом, в результате осуществления рассмотренного подхода к реализации разграничительной политики при определенных условиях поставленные задачи могут быть решены эффективно, что обеспечит потенциальную возможность достижения высокого уровня безопасности современных информационных систем. Такое решение позволит серьезно разграничить права привилегированных пользователей.

Заключение

В процессе выполнения данной работы была решена задача комплексной защиты от атак с правами привилегированного пользователя.

Был разработан и реализован подход к защите, позволяющий как защитить информацию, обрабатываемую на компьютере, от привилегированных пользователей и усечь возможности данных пользователей по администрированию, так и исключить возможность влияния на систему вредоносных программ, запущенных с привилегированными правами. При реализации рассматриваемого подхода возможности привилегированного пользователя будут определяться системой защиты. Было проведено исследование в части определения исполняемых файлов и файлов динамических библиотек, требуемых при использовании различных функций администрирования, а также анализ поведения ОС Windows при запрете посредством КСЗИ «Панцирь+» записи и запуска выявленных исполняемых файлов и файлов динамических библиотек. По результатам исследования была создана Таблица,

содержащая разграничительные политики доступа по усечению различных возможностей привилегированных пользователей по администрированию.

Полученные результаты были апробированы при разработке комплексной системы защиты информации «Панцирь+» для ОС *Microsoft Windows* (сертификат ФСТЭК России № 3473). Комплексная система защиты информации «Панцирь+» для ОС *Microsoft Windows* (КСЗИ «Панцирь+») на сегодняшний день является единственной системой, в которой субъект доступа идентифицируется парой «пользователь – процесс». Данная возможность является запатентованной. При этом КСЗИ работает на системном уровне и запускается как системная служба, права которой выше, чем права администратора. КСЗИ «Панцирь+» решает задачи, отличные от задач PUM-решения, что позволяет апробировать предлагаемый в данной статье подход к защите.

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

Публикации

1. *Осадчая Т.С.* Подходы к разграничению прав доступа к объектам // Сборник трудов VIII Научно-практической конференции молодых ученых «Вычислительные системы и сети (Майоровские чтения)». СПб., 2017. С. 119–122.
2. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Контроль действий и усечение возможностей привилегированных пользователей [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2017. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5426/5426.pdf> (дата обращения: 22.11.2017).
3. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Разграничение прав и контроль действий привилегированных пользователей // Вопросы защиты информации. 2017. № 2 (117). С. 19–29.
4. *Осадчая Т.С., Щеглов А.Ю.* Комплексное решение задачи защиты от атак с правами привилегированного пользователя // Информационные технологии. 2017 (в печати).

Литература

1. *Гридасов В.* Контроль привилегированных пользователей (PUM) – обзор мирового и российского рынка [Электронный ресурс] // Российский независимый информационно-аналитический центр Anti-Malware.ru [Офиц. сайт]. URL: https://www.anti-malware.ru/reviews/privileged_user_management_market_russia_2016# (дата обращения: 06.11.17).
2. *Романов М.* Системы контроля привилегированных пользователей // Information Security / Информационная безопасность. 2015. № 4. С. 18–19.
3. *Щеглов А.Ю., Щеглов К.А.* Анализ и проектирование защиты информационных систем. Контроль доступа к компьютерным ресурсам. Методы, модели, технические решения. СПб., 2017. – 416 с.



Репин Владислав Андреевич
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра оптико-электронных приборов и систем
E-mail: vladrepin777@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МНОГОКАНАЛЬНОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ДИСКРЕТНЫМ УГЛОВЫМ ПОЛЕМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Репин

Научный руководитель – доцент А.Н. Чертов

Цель проекта – разработка макета многоканальной оптико-электронной системы фасеточного типа для измерения пространственных координат малоразмерных излучающих объектов. Поставленные задачи:

- оценка преимуществ и недостатков систем с дискретным угловым полем;
- расчет основных параметров макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем;
- разработка и реализация макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем;
- проведение экспериментальных исследований с применением разработанного макета;
- оценка эффективности предложенного технического решения на основании экспериментальных данных.

Устройства описываемого класса конструктивно имитируют зрительный аппарат насекомых. Среди преимуществ систем с дискретным (фасеточным) угловым полем можно выделить следующие: широкое угловое поле, стереоскопичность, быстроедействие, возможность реализации гибкой конструкции, миниатюрность [1].

Среди недостатков: сложность согласования приемных каналов.

Оптико-электронные устройства с дискретным угловым полем можно применять для решения следующих задач:

- ориентация беспилотных летательных аппаратов;
- оценка расстояний до препятствий для людей с ослабленным зрением [2];
- ориентация беспилотных летательных аппаратов и беспилотных автомобилей [3];
- использование в качестве органов безопасности автомобильного транспорта [3];
- разработка гибких камер, которые применимы в задачах дефектоскопии труб и в системах адаптивной оптики [4];
- спектрозональная съемка [5];
- аэрокосмическая съемка [6].

Система, макет которой разрабатывается, может найти применение в качестве органа ориентации беспилотных аппаратов.

В ходе проекта была создана структурная схема макета, представленная на рис. 1. В ее состав входят: моторизованный двухкоординатный позиционер (необходим для имитации перемещения источника излучения) (1); источник излучения (2); линзы фотодиодов (3–18); фотодиоды (19–34); преобразователи малых токов в напряжения на операционных усилителях (35–50); блок приема электрического сигнала (микроконтроллер) (51); блок обработки информации (персональный компьютер) (52); блок питания (53).

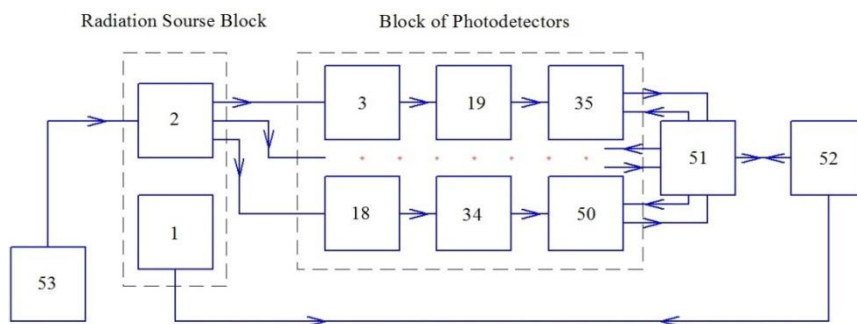


Рис. 1. Структурная схема макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем

В системе 16 каналов регистрации излучения, что обеспечивает некоторую симметрию в конструкции, а также является оптимальным, с точки зрения габаритов системы, для данной элементной базы.

В качестве элементной базы были выбраны: фотодиоды *SFH203FA* производства компании *Osram* с максимальной чувствительностью на длине волны 900 нм, работающие в диапазоне 750–1100 нм; излучающий диод *TSAL5100* с максимумом излучения на длине волны 940 нм; операционные четырехканальные усилители *LM224N* для схем преобразователей тока в напряжение с полосой частот 1 МГц.

Для включения фотодиода было принято решение использовать схему преобразователя малых токов в напряжение (рис. 2).

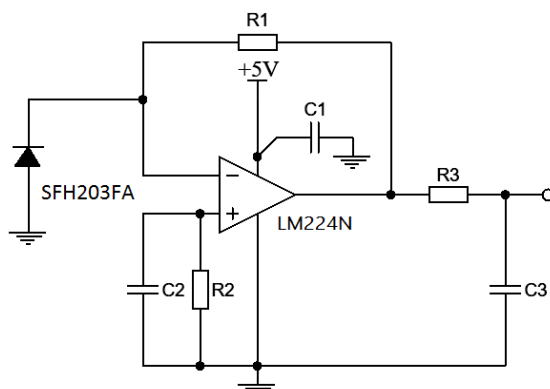


Рис. 2. Схема преобразователя малого тока в напряжение на операционном усилителе

Выбор этой схемы обусловлен главным образом тем, что она позволяет получить линейное преобразование фототока в напряжение, коэффициент преобразования задается резистором обратной связи [7, 8]. Номиналы компонентов таковы:

$$R_1 = R_2 = 240 \text{ кОм}, C_1 = C_2 = C_3 = 0,1 \text{ мкФ}, R_3 = 100 \text{ кОм}.$$

Для определения величины полезного сигнала был проведен энергетический расчет разрабатываемого устройства в предположении, что сигнал снимается при расстоянии между источником и приемником излучения в 1 м.

В результате расчета получены следующие значения параметров:

- интегральная чувствительность фотодиода для излучающего диода *TSAL5100*: $S_{el,int}^{II} \approx 0,68 \frac{\text{А}}{\text{Вт}}$;
- ток на выходе фотоприемника: $I \approx 0,18 \text{ мкА}$;
- спектральная плотность мощности дробового шума фототока фотодиодов: $2eI \approx 6 \cdot 10^{-26} \frac{\text{А}^2}{\text{Гц}}$;

– спектральная плотность мощности шума фотоприемника: $\frac{\bar{I}_{\Phi Д}^2}{\Delta f_{eff}} \approx 1,8 \cdot 10^{-29} \frac{A^2}{Гц}$, где $\bar{I}_{\Phi Д}^2$ – ток шума фотодиода, вычисленный на основании паспортных данных, $\Delta f_{eff} = 16$ Гц – эффективная шумовая полоса частот, вычисленная с учетом действия пассивного RC-фильтра нижних частот на выходе схемы преобразователя;

– спектральная плотность мощности теплового шума резистора обратной связи $R_1 = 240$ кОм при температуре $T = 300$ К: $\frac{4kT}{R_1} \approx 7 \cdot 10^{-26} \frac{A^2}{Гц}$;

– спектральная плотность мощности теплового шума резистора в составе фильтра нижних частот при сопротивлении $R_3 = 100$ кОм при температуре $T = 300$ К:

$$\frac{4kT}{R_3} \approx 1,6 \cdot 10^{-25} \frac{A^2}{Гц};$$

– входное шумовое напряжение используемого усилителя в единичной полосе частот: $\frac{U_{LM224N}}{\sqrt{\Delta f_{eff}}} = 35 \frac{нВ}{\sqrt{Гц}}$;

– суммарное среднеквадратическое значение шума на выходе преобразователя в эффективной шумовой полосе частот: $U_{\Sigma \Delta f_{eff}} = 0,4$ мкВ;

– отношение сигнал/шум на выходе электронного тракта: $\mu_{\Sigma} \approx 101$ дБ.

Для изготовления каркаса для фотодиодов, имеющего сферическую поверхность, из простых геометрических построений определили необходимые конструктивные параметры макета (рис. 3).

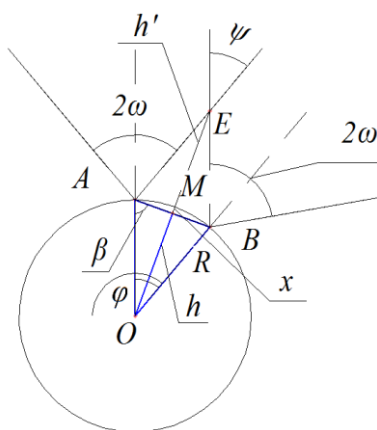


Рис. 3. Иллюстрация к выводу соотношений связи конструктивных параметров макета

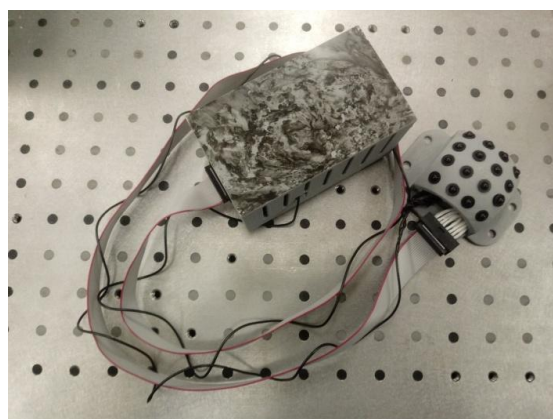


Рис. 4. Внешний вид макета оптико-электронной системы с дискретным угловым полем

Рассчитанные конструктивные параметры:

– угол перекрытия угловых полей смежных каналов $\psi = \phi = \omega = 20^\circ$, поскольку угловое поле используемых фотодиодов с линзами (*SHF203FA*) составляет 40° ;

– радиус кривизны поверхности расположения фотодиодов $R = 4$ см;

- хорда $AB \approx 14$ мм (расстояние между фотоприемниками);
- размер «слепых зон» равен 39 мм.

Внешний вид макета системы представлен на рис. 4.

Фотодиоды вставляются в держатели, которые, в свою очередь, помещены в посадочные отверстия. Катоды фотодиодов подведены к контактам розетки на шлейф. Сигнал снимался с катода каждого фотодиода. Все аноды подсоединены к общей земле.

На макетной плате также были разведены 16 схем преобразователей фототока в напряжение. Контакты фотодиодов подсоединены к схемам на плате посредством шлейфа, сигналы с печатной платы поступают на другую плату с микроконтроллером *ATmega2560*. Изготовленная плата и плата с микроконтроллером помещаются в специально спроектированный корпус, который распечатан на 3D-принтере.

Первая версия программы, реализующей простой алгоритм сравнения для определения координат источника излучения в пространстве с помощью эталонных калибровочных характеристик, снятых с фотодиодов, была написана в среде *LabVIEW*. Измерение координат происходит по следующему алгоритму: координаты задаются программой управления позиционером, затем снимаются несколько значений сигнала в заданном положении и усредняются. Далее эта величина вычитается из значений сигналов калибровочных матриц, а затем в полученных матрицах разностей с допуском в одну единицу сигнала (сигнал был представлен в дискретных единицах в диапазоне от 0 до 1023) находится минимальный элемент. Если во всех массивах разностей найденный минимальный элемент расположен по одному и тому же адресу, то считается, что однозначное соответствие между сигналами и значениями координат установлено и искомая координата найдена. Допуск в одну единицу сигнала подбирался экспериментально.

Примененный алгоритм является самым простым и имеет низкое быстродействие. Однако при наличии множества каналов с его помощью можно осуществлять измерение координат.

Таким образом, выше были представлены некоторые задачи, которые можно решать с помощью оптико-электронных систем с дискретным угловым полем, а также структурная схема разработанного макета. Описаны выбранные электронные компоненты (фотодиоды *SFH203FA*, излучающий диод *TSAL5100*, операционные четырехканальные усилители *LM224N*) и схема включения фотодиодов с преобразованием фототока в напряжение. На основании математического моделирования был определен радиус кривизны сферического каркаса (40 мм) для монтажа фотодиодов. В результате выполненного энергетического расчета получено достаточно высокое значение отношения «сигнал/шум» на выходе электронного тракта, что позволяет говорить об увеличении дальности действия системы. Приведены сведения о конструкции макета и описание простейшего алгоритма его работы. В дальнейшем планируется реализация и применение других, более быстрых и совершенных алгоритмов.

Публикации

1. *Repin V.A., Gorbunova E.V., Chertov A.N., Korotaev V.V.* The design of the layout of faceted multi-channel electro-optical spatial coordinates measuring instrument for point-like bright objects // *Proceedings of SPIE*. 2017. Vol. 10329. P. 1032946.
2. *Репин В.А., Горбунова Е.В.* Исследование единичного кластера оптико-электронной системы с дискретным угловым полем // XII Международная конференция «Прикладная оптика – 2016»: сборник трудов конференции. Т. 1. СПб., 2016. С. 56–60.
3. *Repin V.A., Gorbunova E.V., Chertov A.N.* Investigation of creating possibilities of multichannel optical system with discrete angular field // *Proceedings of SPIE*. 2016. Vol. 9899. P. 98992C.

Литература

1. *Соломатин В.А., Иванова Н.В.* Современные направления развития панорамных оптических и оптико-электронных систем [Электронный ресурс] // Международная *Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга*

- конференция «Прикладная оптика» [Официальный сайт]. URL: http://www.oopros.org/maket2012/part1/ref1_1/1.2.1.pdf (дата обращения: 07.03.2016).
2. Dobrzynski M.R. et al. Vision tape – a flexible compound vision sensor for motion detection and proximity estimation // IEEE Sensors Journal. 2012. Vol. 2. No 5. P. 1131–1139.
 3. Floreano D. et al. Miniature curved artificial compound eyes // PNAS. 2013. Vol. 110. No 23. P. 9267–9272.
 4. Song Y.M. et al. Digital cameras with designs inspired by the arthropod eye // Nature. 2013. Vol. 497. P. 95–99.
 5. Visconti C. et al. EUCLID RTP 8.2 software simulator // Proceedings of SPIE. 1998. Vol. 3436. P. 842–854.
 6. UAHuntsville-developed camera brings about vast improvement for surveillance [Электронный ресурс] // UAH: The University of Alabama in Huntsville [Official website]. URL: <http://resadmin.uah.edu/Researchweb/ResearchReview/2008rr.pdf> (accessed: 10.09.2016).
 7. Картер Б., Манчини Р. Операционные усилители для всех. М., 2011. – 544 с.
 8. Хоббс Ф. Усилители для фотодиодов на операционных усилителях // Компоненты и технологии. 2009. № 2. С. 46–50.



Родченко Серафим Валерьевич
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра информационных технологий топливно-энергетического
комплекса
E-mail: srfm.rodchenko@gmail.com

ВЛИЯНИЕ АРХИТЕКТУРЫ МАКРОМОЛЕКУЛ НА ПОВЕДЕНИЕ ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИ(2-ИЗОПРОПИЛ-2-ОКСАЗОЛИНОВ) В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

С.В. Родченко

Научный руководитель – профессор И.М. Неелов

В последнее время активно развивающейся областью науки является транспортная доставка лекарств. Но окончательно не разрешены такие проблемы, как низкая растворимость лекарственного вещества, разрушение его в среде организма (в том числе под действием ферментов), быстрое выведение из организма, неспецифическая токсичность, неспособность преодолевать биологические барьеры [1, 2]. Для устранения этих трудностей разрабатываются носители лекарств, большинство из которых составляют полимеры.

Помимо роли доставки лекарств, полимеры могут выполнять функцию его «освобождения» в нужном месте в необходимый момент времени под действием ряда факторов, таких как температура, уровень pH, содержание и тип солей и т. д. В данном случае речь идет о чувствительных полимерах (*stimuli-responsive polymers*).

Термочувствительные полимеры являются одними из наиболее активно изучаемых. В последние годы интенсивно исследуются не только линейные термочувствительные полимеры, но и полимерные звезды, привитые сополимеры и гели. Варьирование химической структуры звездообразных полимеров, функциональности их ядра и молекулярно-массовых характеристик лучей позволяет направленно изменять параметры макромолекулы и, следовательно, свойства полимерного материала в широком интервале

температур. Этот подход успешно применяется для получения термочувствительных звездообразных полиоксазолинов.

Цель настоящей работы – исследование влияния архитектуры макромолекул на поведение поли(2-изопропил-2-оксазолинов) (ПИПОЗ) в водных растворах в широком интервале температур.

Для достижения поставленной цели были изучены растворы восьмилучевого звездообразного ПИПОЗ (рис. 1) и линейных ПИПОЗ с ундецилтозилатной (рис. 2) и метильной концевой группой (рис. 3). В качестве макроинициатора при синтезе звездообразного образца был выбран карбосилановый дендример второй генерации с тозилатными группами.

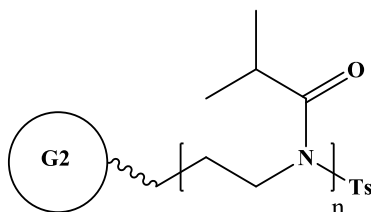


Рис. 1. Схема звездообразного ПИПОЗ

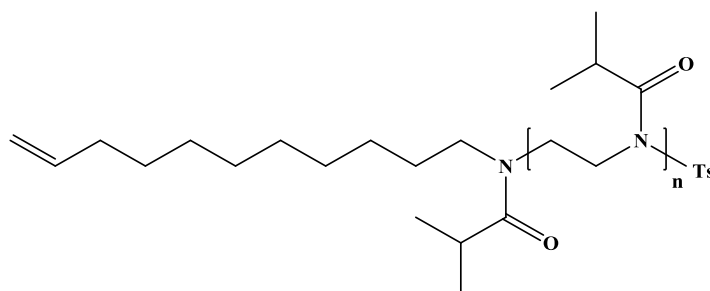


Рис. 2. Структурная формула линейного ПИПОЗ с ундецилтозилатной концевой группой

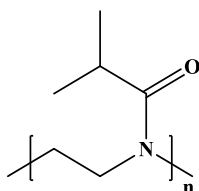


Рис. 3. Структурная формула линейного ПИПОЗ с метильной концевой группой

Линейный образец ПИПОЗ с метильной концевой группой (ПИПОЗ_{CH₃}) может рассматриваться в качестве аналога гидрофильного луча, а образец с ундецилтозилатной концевой группой (ПИПОЗ_{Ts}) – в качестве аналога гидрофильного луча с гидрофобным спейсером, соединяющим луч и дендримерное ядро.

Методы исследования

Для исследования образцов были привлечены следующие методы: статическое и динамическое рассеяние света, турбидиметрия. Все эксперименты проводились в интервале температур от 15 до 63 °С.

Метод динамического светорассеяния (ДРС) позволяет получить величину гидродинамического радиуса R_h макромолекул и оценить вклады частиц в суммарную интенсивность рассеянного света. Метод статического рассеяния света (СРС) дает возможность измерить интенсивность светорассеяния, а метод турбидиметрии показывает величину оптического пропускания проходящего света.

Эксперименты были выполнены на установке *Photocor Complex* (ООО «Фотокор»), оснащенной датчиком пропускания *Photocor-PD*. Источником света служил диодный лазер *Photocor-DL* с длиной волны $\lambda = 658,7$ нм. Корреляционную функцию интенсивности рассеяния света получали с помощью коррелятора *Photocor-PC2* с числом каналов 288 и обрабатывали с помощью программного обеспечения *DynaLS*.

В качестве рабочих кювет использовались цилиндрические ячейки из полированного оптического стекла. Перед работой их обеспыливали бензолом. Во избежание искажения значений измеряемых величин в несколько раз, а в отдельных случаях даже на порядок из-за присутствия пыли в рассеивающем объеме, растворы фильтровали в кюветы. Для этого использовали шприцевые фильтры *Millex* с размерами пор 0,2 мкм.

Результаты

В ходе выполнения данной работы были получены температурные зависимости интенсивности светорассеяния, оптического пропускания, гидродинамических размеров макромолекул и их вкладов для всех обсуждаемых образцов. Удалось проследить компактизацию макромолекул исследованных образцов в ходе нагревания и описать механизмы изменения структуры и формы мицелл. Исследовано влияние архитектуры макромолекул на поведение звездообразного и линейных ПИПОЗ в водных растворах и установлено, как влияет природа концевых групп на поведение растворов для линейных образцов внутри одного химического класса полиоксазолинов. Важным результатом работы является определение и сопоставление температур фазового перехода звездообразного и линейных ПИПОЗ, которые представлены в Таблице.

Из нее видно, что температуры для образца с метильной концевой группой выше, чем для других образцов. Это объясняется полной гидрофильностью цепи. У звездообразного образца температуры интервала фазового расслоения ниже, что связано с присутствием в макромолекуле гидрофобного ядра, составляющего почти одну треть от молекулярного веса макромолекулы. С другой стороны, эти температуры достаточно высокие по сравнению с известными данными из литературы благодаря экранированию гидрофобной части восемью гидрофильными лучами.

Таблица
Температуры интервала фазового расслоения

Образец	$T_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
ПИПОЗ _{Тs}	29	38
ПИПОЗ ₈	41	44
ПИПОЗ _{CH3}	53	58

Достаточно неожиданным представляется тот факт, что температуры фазового расслоения образца с тозилатной концевой группой ниже, чем для звездообразной системы, несмотря на то, что он характеризуется невысокой молекулярной массой и низким содержанием гидрофобного фрагмента. По-видимому, полиоксазолиновые участки недостаточно экранируют гидрофобную часть рыхлой мицеллы, что снижает температуры интервала фазового расслоения.

Выводы

Внутри одного химического класса полиизопропилоксазолинов было установлено, что на поведение образцов влияет как архитектура, так и строение концевых групп (для линейных образцов). Добавление тозилатной группы привело к образованию мицелл при комнатных температурах и уменьшению температур начала и окончания интервала фазового расслоения.

Влияние архитектуры проявляется в изменении состава рассеивающих объектов.

На примере полиизопропилоксазолинов удастся хорошо проследить компактизацию макромолекул, которая происходит вследствие образования внутримолекулярных водородных связей.

Публикации

Amirova A.I., Rodchenko S.V., Milenin S.A., Tatarinova E.A., Kurlykin M.P., Tenkovtsev A.V., Filippov A.P. Influence of a hydrophobic core on thermoresponsive behavior of dendrimer-based star-shaped poly(2-isopropyl-2-oxazoline) in aqueous solutions // *Journal of Polymer Research*. 2017. Vol. 24. No 8. P. 124.

Литература

1. *Juillerat-Jeanneret L.* The targeted delivery of cancer drugs across the blood-brain barrier: chemical modification of drugs or drug-nanoparticles? // *Drug Discovery Today*. 2008. Vol. 13. No 23–24. P. 1099–1106.
2. *Goodman T.T. et al.* 3-D tissue culture systems for the evaluation and optimization of nanoparticles-based drug carriers // *Bioconjugate Chemistry*. 2008. Vol. 19. No 10. P. 1951–1959.



Сайтгалина Азалия Камиловна
Факультет лазерных и световых технологий
Кафедра прикладной и компьютерной оптики
E-mail: asaitgalina@gmail.com

РАЗРАБОТКА ОСВЕТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДСВЕТКИ НЕПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.К. Сайтгалина

Научный руководитель – доцент Н.Д. Толстоба

Цель проекта – разработка осветительного устройства, формирующего засветку с четкими световыми границами на поверхности П-образной формы.

Светотехническое устройство, формирующие световую линию на П-образной поверхности, не имеет аналогов на территории Российской Федерации. Похожие решения несут уже известные осветительные устройства типа встраиваемых в поверхность. Также встраиваемые панели из светодиодов с различными конфигурациями сложны в монтаже, кроме того занимают значительную площадь.

Для реализации разрабатываемого осветительного устройства, анализ, расчет и оценка оптической системы должны удовлетворять требованиям:

- осветительное устройство предназначено для освещения П-образной поверхности и должно образовывать световую полосу;
- оно предназначено для установки в оконный проем размером 2,1 x 1,3 x 0,5 м (стандартный оконный проем зданий старого фонда Санкт-Петербурга);
- формируемая световая полоса должна быть с четкими световыми границами;
- минимальное значение освещенности в пределах световой полосы не менее 30 Лк;

- равномерность освещенности (отношение минимального значения освещенности к максимальному) в пределах формируемой световой полосы должна быть не более 1:3;
- эффективность системы не менее 40 % (отношение выходного светового потока из системы к входному световому потоку источника);
- в ходе работы для оценки равномерности освещенности будет использовано выражение:

$$R = \frac{E_{min}}{E_{max}},$$

где E_{max} , E_{min} , – максимальное и минимальное значения освещенности соответственно.

Для удобства моделирования и расчета оптической системы светильника, освещающего П-образную поверхность, примем верхний откос (рис. 1) за фронтальную зону площадью S_1 , а правый и левый – за боковую зону площадью S_2 .

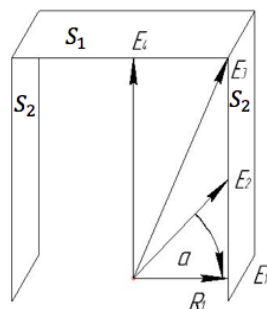


Рис. 1. Распределение освещенности на П-образной поверхности

Размеры стандартного оконного проема зданий старого фонда Санкт-Петербурга составляют $2,1 \times 1,3 \times 0,5$ м, следовательно, площадь его $S = 2,75 \text{ м}^2$. Устройство должно освещать оконный проем равномерно и обеспечивать освещенность не менее 30 Лк. Для этого необходим световой поток:

$$\Phi = E \times S = 82,5 \text{ Лм}$$

В качестве источника света выбран светодиод *Cree XQ-E* теплого белого света *Warm White* с коррелированной цветовой температурой (2700K–3500K) *Group Q4*, напряжение которого 3 В; сила тока 350 мА; потребляемая мощность 1 Вт, световой поток $\Phi = 100 \text{ Лм}$ при $t = 85 \text{ °C}$ и $\Phi = 116 \text{ Лм}$ при $t = 25 \text{ °C}$ [1]. Радиатор, обеспечивающий теплоотвод, будем рассчитывать на температуру $t = 85 \text{ °C}$, соответствующую максимальной температуре эксплуатации светодиода в нагретом состоянии.

Качество работы оптической системы зависит от точности позиционирования светодиода и вторичной оптики на площадке (радиаторе) [2, 3], а также от ее формы. В ходе расчета оптической системы был уточнен угол наклона боковых частей радиатора, обеспечивающий равномерную засветку всего оконного проема. Он составил 70° . На рис. 2 представлен эскиз крепления вторичной оптики к радиатору.

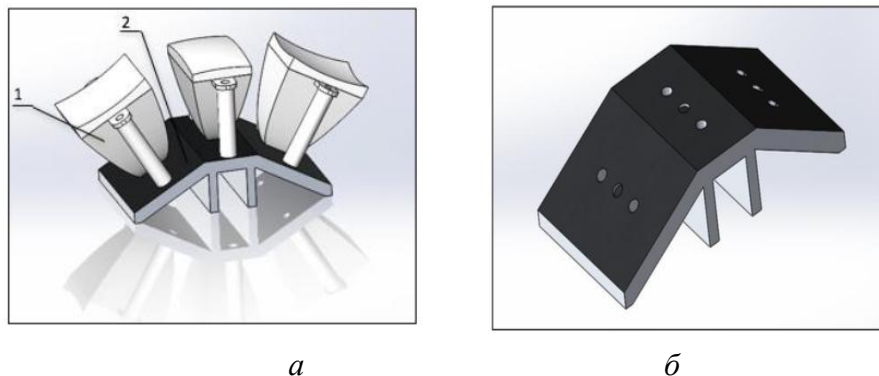


Рис. 2. Эскиз позиционирования оптической системы:

а – сборка (*1* – отражатель – вторичная оптика, *2* – радиатор); *б* – радиатор
Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга

Приблизительный расчет площади радиатора показал, что для отвода тепла от трех светодиодов мощностью в 1 Вт необходимо, чтобы его площадь составляла от 30 до 50 см². Разработанный радиатор площадью 40 см² представлен на рис. 2б. Его предполагается выполнять из алюминия, поскольку он дешев, легок и обеспечивает высокий уровень теплообмена.

Около 60 % потребляемой энергии расходуется на теплообмен, получаем:

$$Q = 0,6 \times 3 = 1,8 \text{ Вт}$$

$$S = [22 - (M \times 1,5)] \times W,$$

где S – площадь теплообменника, W – подведенная мощность, M – незадействованная мощность светодиода.

Формирование световой полосы с четкими световыми границами должно обеспечиваться за счет конструкции бленд. Эскиз корпуса с блендами представлен на рис. 3. Его габаритные размеры $\varnothing = 90 \text{ мм}$. Основание прибора крепится к опорной поверхности. Эскиз корпуса осветительного устройства выполнен по типу, разработанному компанией *iGuzzini*, поскольку такая конструкция наиболее удачна с точки зрения эстетичности, легкости и возможности обеспечения засветки П-образной поверхности.

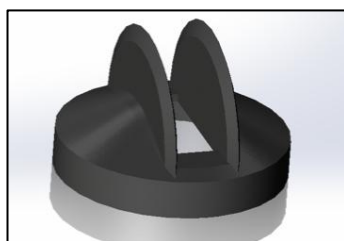


Рис. 3. Эскиз корпуса осветительного устройства

Для подсветки фронтального направления была выбрана оптическая система *CPC* (*Compound Parabolic Concentrator* – параболический концентратор) совместно с положительной линзой [4, 5]. Система *CPC* позволяет наиболее эффективно коллимировать свет, а положительная линза создает нужную расходимость светового пучка в 34°. После этапа расчета (трассировки) лучей получим картину, представленную на рис. 4, где изображено распределение освещенности на поверхности S_1 . В качестве параметров для оптимизации выступали апертурные углы X и Y параболического концентратора, радиус, световая высота воздушной и положительной линз. Максимальная освещенность на приемнике составила 110 Лк, минимальная – 33 Лк. Равномерность при этом не превышает отношения 1:3, что видно из выражения:

$$R = \frac{E_{min}}{E_{max}} = \frac{33}{110} = 0,3 .$$

Пришедший на поверхность S_1 световой поток равен 46 Лм, то есть эффективность системы составляет 46 %, что также удовлетворяет поставленным требованиям.

Выбранный способ подсветки боковой зоны проема S_2 с помощью параболического концентратора – задача нетривиальная. Для равномерной ее засветки по всей площади необходимо, чтобы угловая расходимость светового пучка составляла не менее 73°. Ее может обеспечить система параболического концентратора совместно с биконической линзой.

Оптимизация системы проводилась путем изменений угла наклона светодиода, переднего радиуса биконической линзы по оси X и апертурных углов X и Y параболического концентратора [6, 7]. В результате на проеме S_2 была получена световая полоса (рис. 5) с максимальной освещенностью на ней 62 Лк, минимальной – 18 Лк и с равномерностью, не превышающей отношения 1:0,29. Световые потери при этом составляют 56 %, что не удовлетворяет требованиям, заявленным в задании.

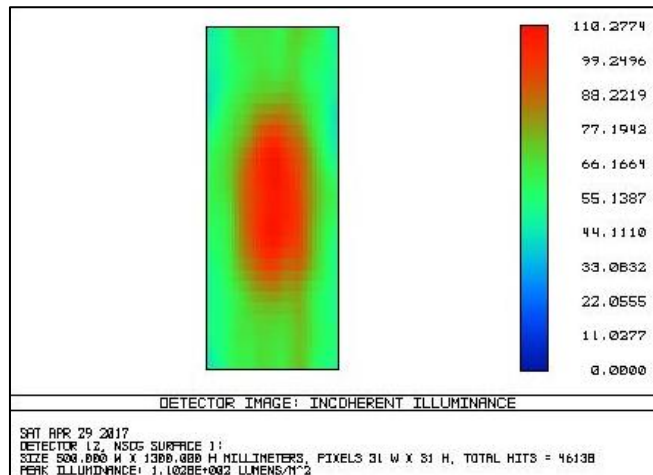


Рис. 4. Информация о распределении освещенности на поверхности S_1 после оптимизации

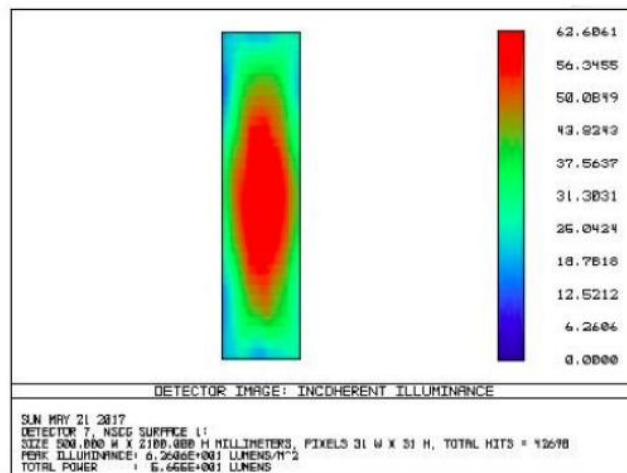


Рис. 5. Информация о распределении освещенности на поверхности S_2 после оптимизации

Рассчитанная система полностью удовлетворяет заданным требованиям эффективности, равномерности, освещенности и функциональности. На рис. 6 представлены изображения формируемых световых полос с четкими границами на фронтальной и боковой поверхностях П-образного приемника. Смоделированная оптическая система в программе *Zemax* представлена на рис. 7.

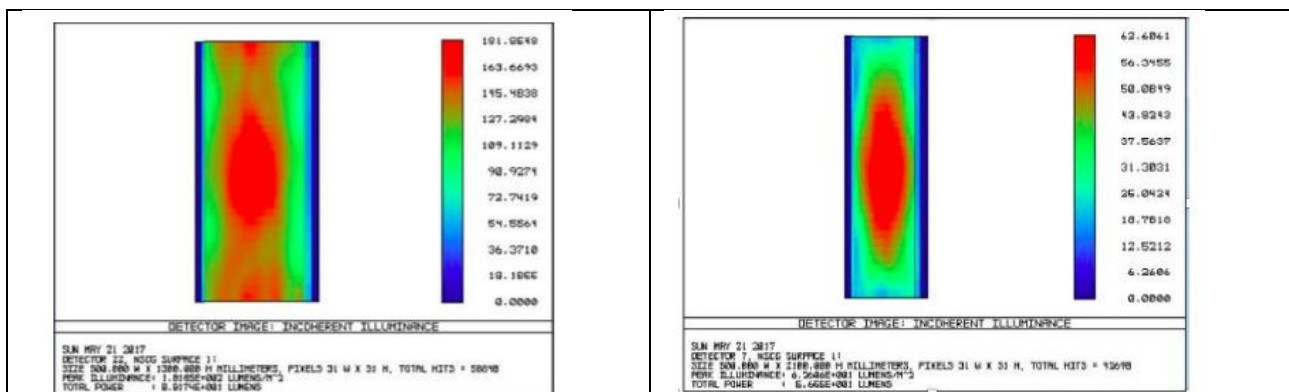


Рис. 6. Световые полосы, формируемые: а – на фронтальной поверхности S_1 ; б – на боковой S_2

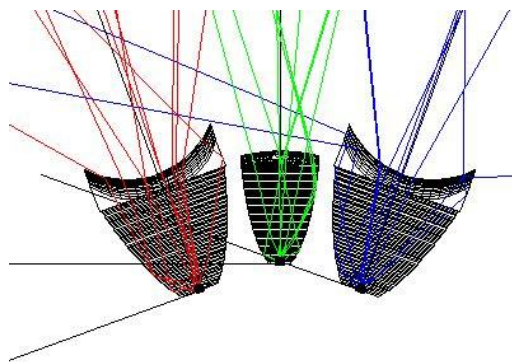


Рис. 7. Оптическая система, смоделированная в программе Zemax

Система освещения П-образной поверхности, результаты ее анализа, синтеза и оптимизации позволили получить характеристики, удовлетворяющие заданию:

- значение освещенности в пределах световой полосы – 56,25 Лк.
- равномерность освещенности в пределах формируемой световой полосы – 0,295.
- эффективность системы – 56 %.

Корпус осветительного устройства выполнен по типу, представленному производящей компанией. В результате исследования рынка светодиодной продукции для засветки П-образной поверхности был выбран светодиод *Cree XQ-E* благодаря своим электрическим характеристикам, кривой силы света и коррелированной цветовой температуре. Создана модель радиатора, конструкция которого позволяет отвести тепло от трех светодиодов мощностью по 1 Вт. В ходе расчета оптической системы было получено значение угла наклона боковых частей радиатора (70°), формирующих засветку на поверхностях S_2 . В качестве оптической системы для засветки П-образной поверхности был выбран параболический концентратор совместно с положительной линзой для фронтального направления S_1 и с биконической линзой для боковых направлений S_2

Результаты

В процессе выполнения проекта достигнуты планируемые результаты:

- разработано руководство по выбору вторичных элементов;
- разработано руководство по расчету элементов вторичной оптики для данного осветительного устройства;
- получена система освещения П-образной поверхности, результаты анализа и синтеза удовлетворяют предъявляемым требованиям. Осветительное устройство формирует световую линию с четкими границами.

Преимущества светильника – его небольшая элегантная форма и легкая конструкция, что имеет особое значение для архитектурного освещения Санкт-Петербурга, а также для сохранения фасадов зданий старого фонда. Возможные сферы применения широки: от дизайнерских решений до практического применения в освещении офисных помещений, жилых домов и тоннелей автомагистралей для подсвечивания их горизонтальных и вертикальных поверхностей.

Публикации

Saitgalina A.K., Tolstoba N.D., Mitiushkin A.V. Developments of methods for accurate modeling of optical equipment for three-dimensional printing // Proceedings of SPIE. 2016. Vol. 9947. P. 994715.

Литература

1. Cree XLamp XQ-E LEDs [Electronic resource] // Cree Led Components [Official web-site]. URL: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/ds-XQE.pdf> (accessed: 16.10.2017).

2. Асланов Э.Р. и др. Расчет компактной оптики для формирования заданных распределений освещенности света // Компьютерная оптика. 2012. Т. 36. № 2. С. 227–228.
3. Chen H.C. et al. Rectangular illumination using a secondary optics with cylindrical lens for LED street light // Optics Express. 2013. Vol. 21. No 3. P. 3201–3212.
4. Diaz E. Prototyping illumination systems with stock optical components // Photonik international. 2012. P. 24–27.
5. Zhao F. Practical reflector design and calculation for general illumination // Proceedings of SPIE. 2005. Vol. 5942. P. 59420J.
6. Fischer R.E. et al. Optical system design. McGrawHill, 2008. – 809 p.
7. Guan P., Wang X.-J. On a Monge-Ampère equation arising in geometric optics // Journal of Differential Geometry. 1998. Vol. 48. No 2. P. 205–223.



Северюхина Оксана Андреевна
Факультет информационных технологий и программирования
Кафедра высокопроизводительных вычислений
E-mail: oseveryukhina@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ЗАДАЧЕ МНОГОАГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ТОЛПЫ

О.А. Северюхина

Научный руководитель – доцент В.А. Карбовский

Массовые мероприятия (ММ) становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Всемирная организация здравоохранения определяет ММ как «мероприятие с участием достаточного количества людей, чтобы создать напряженность для ресурсов планирования и реагирования на уровне местной администрации, штата или государства» [1]. Организаторы ММ сталкиваются с различными проблемами по обеспечению безопасности участников. С увеличением масштаба мероприятий и их количества становится сложнее учесть все детали при составлении плана мероприятия, а также способов эвакуации. Кроме этого, важную часть подготовки ММ составляет обучение персонала принятию корректных решений в случае чрезвычайных ситуаций. Например, одной из главных проблем при проведении ММ является регулирование движения разных групп людей и избежание давки. Эта проблему может решить правильное расположение барьеров и других препятствий на пути их движения.

Агентные модели позволяют воспроизвести движение толпы, которая представляется большим числом агентов, каждый из которых обладает индивидуальными характеристиками движения и воспринимает различные объекты на своем пути. Однако такие модели имеют ряд недостатков, связанных с масштабируемостью и точностью воспроизведения движения. Рост числа агентов приводит к дополнительным вычислениям, и, следовательно, время работы программы также увеличивается. Эту проблему можно решить с помощью параллельного моделирования и распределенной вычислительной инфраструктуры (кластеры, суперкомпьютеры). Объекты модели должны быть разделены на части, каждая из которых обрабатывается отдельным процессом, что позволяет выполнять вычисления параллельно.

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

Цель проекта – оптимизация времени работы распределенного алгоритма для агентного моделирования масштабных мероприятий с учетом динамической балансировки нагрузки на вычислительных процессах.

Возможности агентных моделей весьма широки. За последние двадцать лет они были использованы для исследования ряда сложных систем: моделирования транспортного потока [2], клеточного взаимодействия и динамики иммунной системы [3], социальных систем [4], финансовых рынков [5], экономики [6] и динамики толпы [7].

Для описания движения толпы существует группа агентных моделей, например модель социальных сил (*Social force model*) [8], *RVO (Reciprocal Velocity Obstacles)* [9], *HiDAC* [10]. Последняя основана на сочетании психологических и геометрических правил с моделью социальных и физических сил и описывает более естественное поведение агентов при моделировании различных сценариев, в том числе в условиях высокой плотности движущегося потока.

Существует четыре основных подхода, отличающихся способом разделения пространства моделирования и агентов, находящихся в нем:

- одно пространство моделирования;
- дублирование пространства моделирования;
- разделение пространства на области;
- независимое разделение пространства и агентов.

Можно также выделить два подхода к разделению области моделирования на части: статическая и динамическая балансировки. Второй подход позволяет изменять данные на вычислительном узле: уменьшать или увеличивать область моделирования и число агентов, распределять задачи между различными процессами и узлами суперкомпьютера таким образом, чтобы усреднить время работы каждого процесса и уменьшить время коммуникации между ними.

Основной идеей предложенного в проекте метода является комбинация преимуществ подходов, рассмотренных выше. Рассмотрим распределенный алгоритм многоагентного моделирования, в котором область моделирования разбивается на отдельные зоны, численно соответствующие количеству доступных процессов. Границы зон должны быть определены таким образом, чтобы число агентов в различных зонах было одинаково, при этом сами границы могут изменяться в процессе моделирования. Такой подход позволяет распределить вычислительную нагрузку на процессы равномерно. Ниже представлено описание распределенного алгоритма и приведена его подробная схема (рис. 1). Среди процессов выделены рабочие процессы и один управляющий.

Задание распределения агентов. В начале моделирования происходит задание числа и характеристик агентов в зоне моделирования, а именно: их начальные и конечные положения, маршрут движения, а также группы.

Разбиение области моделирования на отдельные зоны. На основании расположений агентов в пространстве можно определить отдельные группы, тем самым задать границы зоны моделирования для отдельного процесса.

Рассылка/прием параметров зон моделирования. На этом этапе управляющий процесс должен переслать рабочим процессам зону их влияния и агентов, расположенных в ней. Данный шаг является последним подготовительным перед запуском цикла моделирования.

Задание перемещений агентов. С этого шага начинается каждая итерация в цикле моделирования. Агентам передаются возможные сценарии по перемещению, например, движение в определенном направлении или перемещение в некоторую точку.

Выполнение шага моделирования. На данном этапе для каждого агента вычисляется его новое положение, координаты которого зависят от направления движения (конечной точки), препятствий и других агентов, расположенных на пути движения. Кроме того, на него могут оказывать влияние агенты из соседних зон моделирования (фантомные агенты), если они расположены близко к краю.

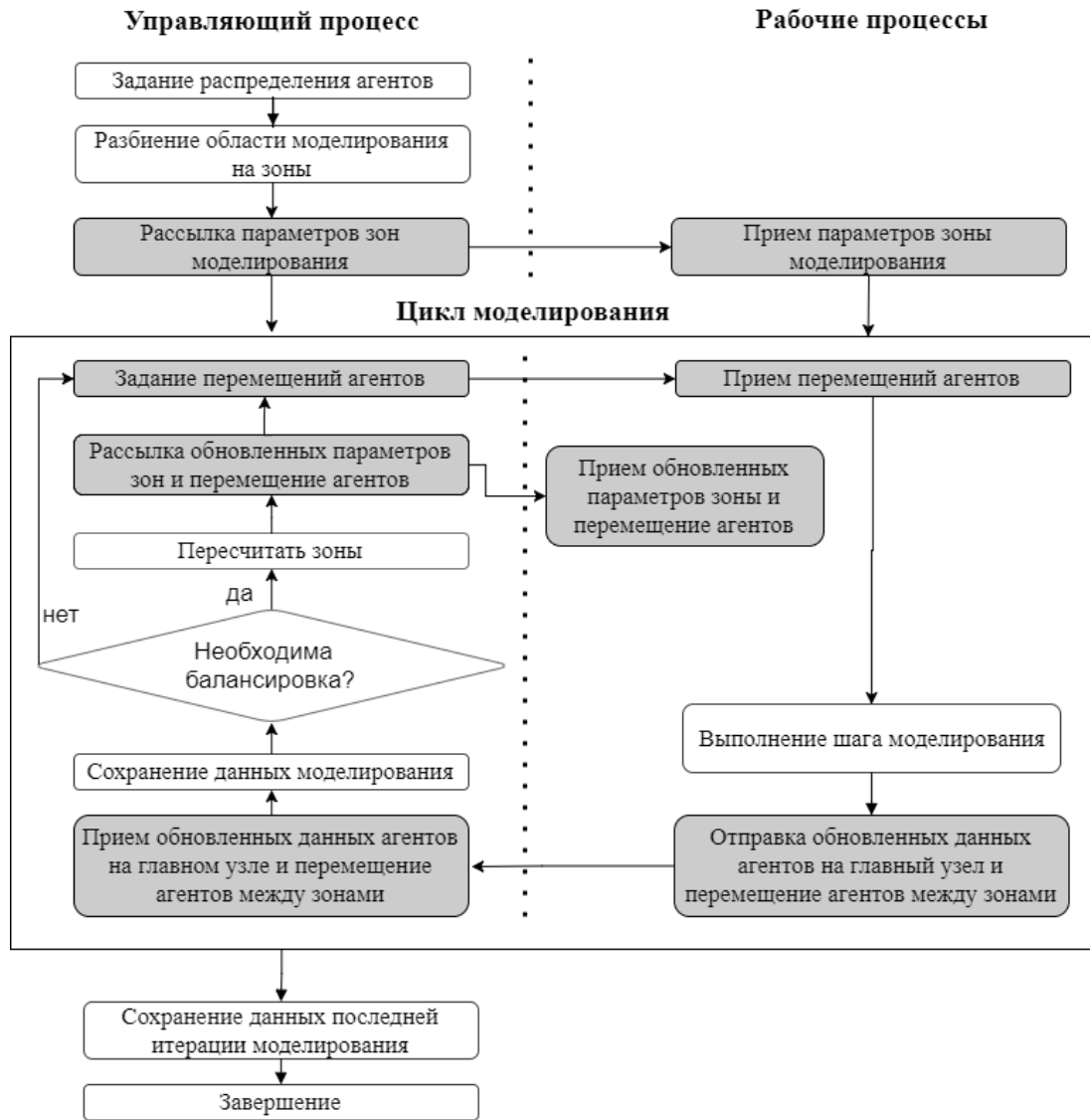


Рис. 1. Общая схема распределенного алгоритма многоагентного моделирования (серым цветом обозначены шаги, требующие пересылки данных между процессами)

Прием/отправка обновленных данных на главный узел. В результате выполнения этого шага главный процесс получает информацию о состоянии каждого рабочего процесса: времени, затраченном на вычисление, числе агентов, а также об агентах, требующих перемещения на другие процессы (в соседние зоны моделирования). Кроме этого, на процессы рассылается актуальная информация об агентах, расположенных около границ соседних областей моделирования (фантомных агентах), процесс не обрабатывает их, а использует их координаты для расчета положения других агентов.

При необходимости балансировки происходит пересчет зон моделирования для процессов, и обновленные параметры передаются на рабочие процессы. Условием на балансировку может быть достижение определенной итерации или появление процессов, время работы которых отклоняется от среднего значения на заранее заданную величину (барьер), который определяет частоту балансировки. Чем меньше его значение, тем чаще будут появляться процессы с таким отклонением от среднего времени, а значит, тем чаще будет необходимо производить балансировку. Отдельными блоками выделены этапы сохранения данных на каждой итерации и перед завершением моделирования. В качестве данных возможно сохранение идентификаторов и позиций агентов для последующей визуализации движения или обработки для получения скорости и плотности толпы.

Для моделирования движения агентов используется алгоритм, реализованный в инструментальной платформе моделирования и визуализации многомасштабных систем со сложным поведением *PULSE* [11]. Он использует модифицированную агентную модель *HiDAC* [10], основанную на сочетании психологических и геометрических правил с моделью социальных и физических сил. Каждый агент в модели является автономным, имеет желаемую скорость и направление движения. Кроме этого, на него оказывают влияние расстояния до препятствий и до других агентов.

Для вычисления производительности метода планируется измерять время его выполнения, состоящее из времени вычисления и времени коммуникации, при котором происходит обмен данными между различными процессами (при перемещении агента в соседнюю зону моделирования между процессами происходит передача следующих переменных: *id* агента, его характеристики, положение). Взаимодействие между различными процессами организовано с помощью пересылки сообщений с использованием технологии *MPI*. Среди процессов выделено два типа: рабочие (*Slave*), выполняющие вычисления, и управляющий (*Master*), собирающий все данные о процессе моделирования и осуществляющий перераспределение нагрузки между рабочими процессами.

Экспериментальная часть

Эксперименты проводились с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ им. М.В. Ломоносова [12, 13]. Вычислительный кластер представляет собой набор компьютеров (вычислительных узлов), объединенных коммуникационной сетью. Параллельные программы на вычислительном кластере работают в модели передачи сообщений. Эксперименты запускались в режиме *regular4* суперкомпьютера. Основные характеристики: объем памяти на *GPU* – 5,25 GB, модель *GPU* – *Tesla X2070*, модель *CPU* – *Intel Xeon X5570 2,93GHz*, системная сеть – *QDR InfiniBand (40 Гбит/сек)*.

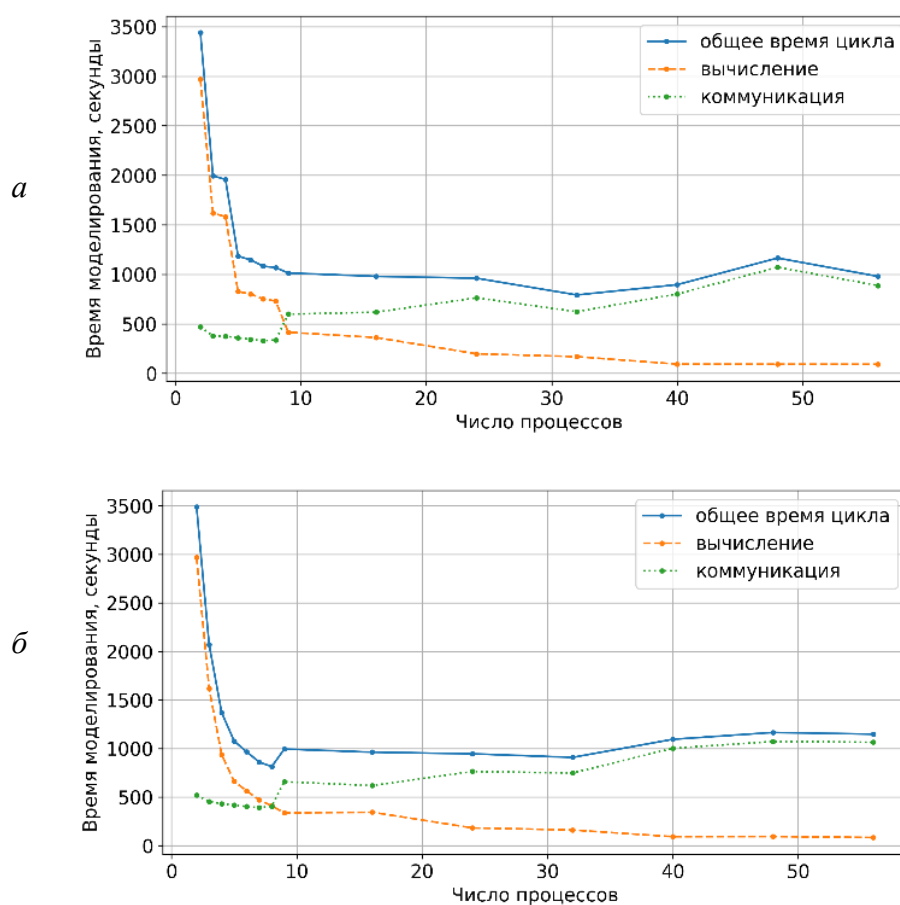


Рис. 2. Результаты моделирования: а – при статической балансировке; б – при динамической балансировке

Для исследования выбран сценарий движения 1 млн агентов, перемещающихся по территории 1000 на 5000 м. Рассмотрены два сценария распараллеливания. В первом случае область моделирования делится последовательно на две части, количество разделений соответствует числу доступных процессов. Во втором случае область моделирования делится на части, пропорциональные числу агентов, кроме этого, в процессе моделирования происходят изменения границ зон моделирования для процессов (каждые 10 итераций). Каждый запуск программы включал в себя 200 итераций цикла моделирования.

При увеличении числа процессов уменьшается время вычисления, зависимость имеет ступенчатую форму (рис. 2а). Дополнительный процесс позволяет поделить одну из областей на две более мелкие, что уменьшает время вычисления, в качестве которого на каждом шаге моделирования выступает максимальное время вычисления среди всех потоков. Поэтому дополнительный поток не всегда ведет к уменьшению общего времени. Так, дополнительный второй поток уменьшил время вычисления почти в три раза, а дополнительный третий – практически не дал выгоды во времени. Второй способ деления области позволяет более равномерно распределить нагрузку между отдельными процессами, тем самым уменьшая время вычисления.

Значительный вклад в общее время выполнения программы вносит время, затрачиваемое на коммуникации между процессами. На рис. 2а и рис. 2б заметно резкое увеличение времени коммуникации между вычислениями на восьми и девяти процессах. Это связано с тем, что на одном узле кластера могут вычисляться только восемь параллельных процессов, и каждый дополнительный требует пересылки данных между узлами, а это увеличивает время на выполнение шага моделирования, так как скорость пересылки данных между узлами меньше этой скорости внутри одного узла. Значение времени коммуникации для динамической балансировки выше, что связано с пересчетом границ областей моделирования и требует перемещения агентов между процессами.

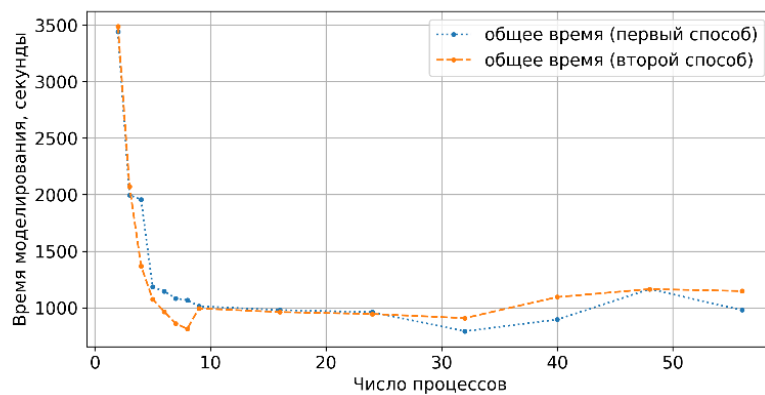


Рис. 3. Сравнение результатов моделирования

На рис. 3 представлены графики общего времени работы двух алгоритмов. Первый способ проигрывает при моделировании на малом числе процессов, что прежде всего связано с неравномерной нагрузкой на отдельные процессы. Второй имеет большее время работы при увеличении числа процессов, так как в этом случае возрастает время коммуникации при перемещении агентов в процессе перераспределения нагрузки (балансировки). Таким образом, балансировка может оказывать как положительный, так и отрицательный эффект на время работы программы. С одной стороны, сбалансированная нагрузка на процессы позволяет сделать время их вычисления более равномерным, тем самым уменьшая время работы самого загруженного процесса. С другой стороны, балансировка требует дополнительных временных расходов, связанных с вычислением новых параметров для процессов, их пересылкой и перемещением агентов, что увеличивает время работы программы.

В результате выполнения данного проекта выделены подходы, используемые для параллельных вычислений при моделировании агентных систем, рассмотрены их

положительные стороны и недостатки. Реализован алгоритм с различным распределением нагрузки между вычислительными процессами, выполненный для агентного моделирования движения толпы. Результаты экспериментов демонстрируют эффективность использования параллельных вычислений при моделировании до 1 млн агентов. Рассматриваемые алгоритмы применимы для агентного моделирования не только пешеходной динамики, но и других процессов, основанных на взаимодействии отдельных индивидуальных агентов. Например, для задач транспортного моделирования, исследования движения клеток крови, распространения информации между агентами и других, требующих моделирования масштабных систем со сложным поведением отдельных элементов.

Публикации

Severiukhina O.A., Voloshin D.V., Lees M.H., Karbovskii V.A. The study of the influence of obstacles on crowd dynamics // *Procedia Computer Science*. 2017. Vol. 108. P. 215–224.

Литература

1. Public health for mass gathering: key consideration / ed. by T. Endericks et al. France, 2015. – 178 p.
2. Balmer M. et al. Towards truly agent-based traffic and mobility simulations // *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. Vol. 1. New York, 2004. P. 60–67.
3. Bogle G., Dunbar P.R. Agent-based simulation of T-cell activation and proliferation within a lymph node // *Immunology and Cell Biology*. 2010. Vol. 88. No 2. P. 172–179.
4. Davidsson P. Agent based social simulation: a computer science view // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2002. Vol. 5. No 1. P. 4–9.
5. Hafezi R. et al. A bat-neural network multi-agent system (BNNMAS) for stock price prediction: case study of DAX stock price // *Applied Soft Computing Journal*. 2015. Vol. 29. P. 196–210.
6. Heckbert S. Experimental economics and agent-based models // *18th World IMACS/MODSIM Congress*. Cairns, 2009. P. 13–17.
7. Mordvintsev A.S. et al. Simulation of city evacuation coupled to flood dynamics // *6th International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Zurich, 2012. P. 485–499.
8. Helbing D., Molnár P. Social force model for pedestrian dynamics // *Physical Review E*. 1995. Vol. 51. No 5. P. 5
9. Van Berg J.D. et al. Reciprocal velocity obstacles for real-time multi-agent navigation // *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. St Paul, USA, 2008. P. 1928–1935.
10. Pelechano N. et al. Controlling individual agents in high-density crowd simulation // *Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*. San Diego, USA, 2007. Vol. 1. P. 108.
11. Karbovskii V.A. et al. Multimodel agent-based simulation environment for mass-gatherings and pedestrian dynamics // *Future Generation Computer Systems*. 2016. Vol. 79. P. 155–165.
12. Воеводин В.В. и др. Практика суперкомпьютера «Ломоносов» // *Открытые системы*. 2012. Т. 7. № 7. С. 36–39.
13. Sadovnichy V.A. et al. “Lomonosov”: supercomputing at Moscow State University // *Contemporary High Performance Computing: from Petascale toward Exascale*. Boca Raton, 2013. P. 283–307.



Тензина Ярослава Дмитриевна
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра управления государственными информационными системами
E-mail: tensina.yaroslava@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВЛАСТИ И ГРАЖДАН (НА ПРИМЕРЕ ПОРТАЛА «НАШ ПЕТЕРБУРГ»)

Я.Д. Тензина

Научный руководитель – кандидат социологических наук Л.А. Видясова

Несмотря на активное применение информационных технологий для организации взаимодействия власти и граждан, оценка результативности их использования является достаточно сложной задачей. В современной литературе имеются примеры исследований технологий электронного участия, однако вопрос об оптимальных критериях оценки их эффективности в научной практике остается не решенным. Большинство методик, предлагаемых зарубежными авторами, с трудом можно трансформировать под специфику порталов электронного участия в России. В связи с этим возрастает необходимость в разработке собственной методики, учитывающей национальный контекст.

Цель исследовательского проекта состоит в оценке результативности использования информационных технологий при взаимодействии власти и граждан на основе количественных и качественных критериев.

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

- проведен анализ существующих методологических подходов к оценке проектов электронного участия;
- проведен анализ количественных данных о работе портала «Наш Петербург» при помощи автоматизированной системы мониторинга порталов электронного участия;
- проведен качественный анализ петиций, опубликованных на портале «Наш Петербург»;
- выработаны рекомендации по повышению результативности использования информационных технологий в диалоге власти и граждан.

Объект исследования – результативность использования информационных технологий при взаимодействии власти и граждан. Предмет исследования – портал «Наш Петербург» как пример использования информационных технологий в диалоге власти и граждан.

Методологическую базу исследования составляют работы зарубежных авторов, посвященные методикам оценки инструментов электронного участия [1–5]. В работе использовались идеи социального конструирования технологии (*social construction of technology – SCOT*). Данный подход выводит на первый план гетерогенные отношения пользователей в процессе укоренения новшества и оспаривает линейное научно-техническое развитие. Он позволяет показать гибкость технологии и то, насколько непредсказуемы возможные социальные эффекты от ее использования.

В исследовании применялся метод «кейс-стади», с помощью которого были проанализированы количественные и качественные данные о работе портала «Наш Петербург», при этом использовались только те, что находились в открытом доступе.

Для количественного анализа данных была применена автоматизированная система мониторинга порталов электронного участия (<http://analytics.prior.nw.ru/>), созданная в Университете ИТМО на базе кафедры управления государственными информационными

системами. Она использует API порталов электронного участия и обладает следующими особенностями:

- предоставляет данные о динамике количества поданных голосов;
- осуществляет мониторинг текущего состояния портала;
- использует фильтры для анализа текущего состояния и динамики голосования, а также для поиска инициатив.

Для проведения качественного анализа была выбрана информация об инициативах, опубликованных в открытом доступе на портале «Наш Петербург». Анализ размещенных документов и обращений был проведен вручную. Автоматизированная система позволила получить следующие данные:

- количество поданных инициатив;
- распределение инициатив по категориям и районам;
- динамика подачи инициатив;
- доля успешных инициатив.

Проведенное исследование позволило нам судить о целесообразности использования количественных и качественных параметров оценки порталов электронного участия.

Выявленные количественные параметры работы портала «Наш Петербург» показали масштаб публикации инициатив, распределение внимания граждан к различным сферам жизни, а также динамику инициатив, по которым удалось добиться решения проблемы. Рассмотренный пример портала «Наш Петербург» наглядно продемонстрировал рост интереса граждан к данному проекту с самого начала его работы (рис. 1).

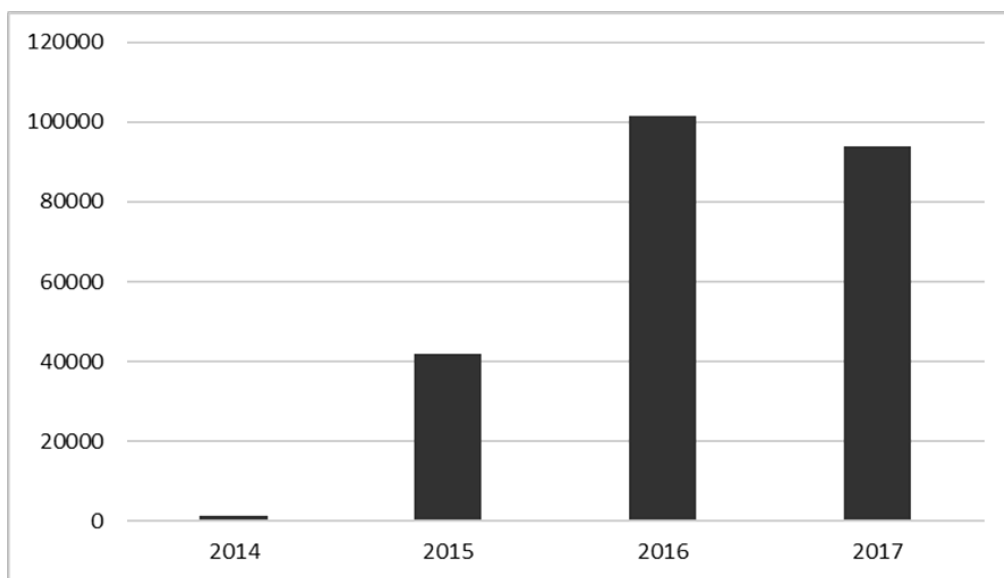


Рис. 1. Динамика количества инициатив граждан, размещенных на портале «Наш Петербург»

Кроме того, была отмечена положительная динамика количества решенных проблем, волнующих граждан (рис. 2).

Тем не менее, несмотря на общую положительную статистику, сложно сделать вывод о высокой результативности работы портала в силу отсутствия возможности анализа инициатив, по которым проблемы остались не решенными. Функционал портала на данный момент не позволяет провести анализ размещенных инициатив по всем статусам решения проблемы. Можно предположить, что наличие информации о решенных проблемах является дополнительной мотивацией к использованию портала для граждан и приводит к активному размещению новых предложений, однако для объективного понимания ситуации необходимо провести анализ нерешенных проблем и рассмотреть причины, по которым они остались нереализованными.

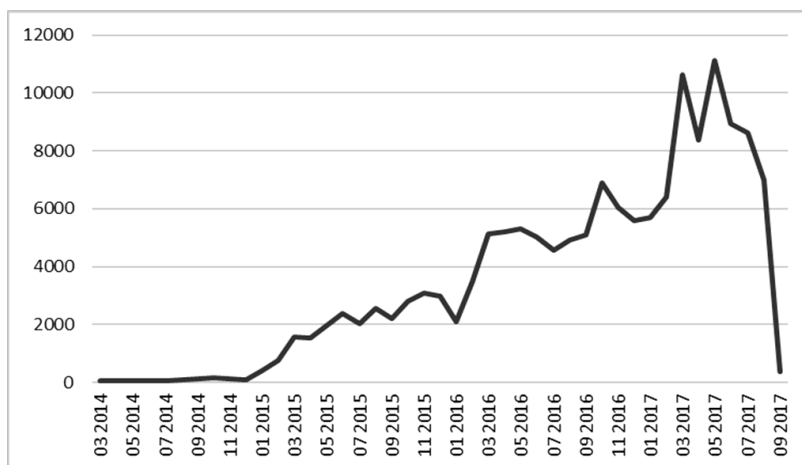


Рис. 2. Динамика количества гражданских инициатив, размещенных на портале «Наш Петербург», по которым проблемы были решены (2014–2017)

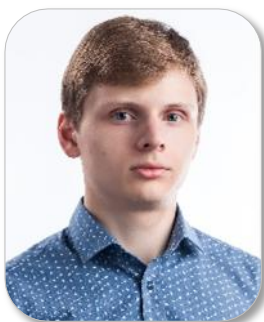
Введение дополнительной фильтрации на портале «Наш Петербург» позволит в дальнейшем использовать возможности автоматизированной системы мониторинга для более детального анализа обращений граждан и выявления возможных проблем на стадии их зарождения.

Публикации

1. Видясова Л.А., Тензина Я.Д. Исследование результативности работы портала «Российская общественная инициатива» // Сборник научных статей XX Международной объединенной конференции «Интернет и современное общество». СПб., 2017. С. 56–65.
2. Vidiasova L.A., Tensina Y.D. Measuring progress in e-participation in Russia: the results of a multi-method case study // Digital Transformation and Global Society. DTGS 2017. Communications in Computer and Information Science. 2017. Vol. 745. P. 219–230.

Литература

1. Medaglia R. EParticipation research: moving characterization forward (2006-2011) // Government Information Quarterly. 2012. Vol. 29. No 3. P. 346–360.
2. Jho W., Song K. Institutional and technological determinants of civil e-Participation: solo or duet? // Government Information Quarterly. 2015. Vol. 32. No 4. P. 488–495.
3. Zheng Y. et al. The impact of government from e-participation: a study of New Jersey municipalities // Government Information Quarterly. 2014. Vol. 31. No 4. P. 653–659.
4. Terán L., Drobnjak A. An evaluation framework for eParticipation: the VAAs case study // International Scholarly and Scientific Research and Innovation. 2013. Vol. 7. No 1. P. 77–85.
5. Macintosh A., Whyte A. Towards an evaluation framework for e-Participation // Transforming Government: People, Process and Policy. 2008. Vol. 2. No 1. P. 16–30.



Тепляков Никита Владимирович
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра оптической физики и современного естествознания
E-mail: teplakov.nikita@gmail.com

СПОСОБЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОПТОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ХИРАЛЬНЫХ НАНОКРИСТАЛЛОВ

Н.В. Тепляков

Научный руководитель – доктор физико-математических наук И.Д. Рухленко

Работа посвящена улучшению существующих методов хиральной нанохроматографии путем разработки нового метода оптомеханического разделения энантиомеров наночастиц, который может быть реализован в промышленных масштабах и применен для решения существующих проблем в фармакологии, биомедицине, нанофотонике и химии [1]. В рамках выполнения проекта было сконструировано такое оптическое поле, в котором хиральные силы, ответственные за пространственное разделение энантиомеров, преобладают над силами светового давления и разделение энантиомеров происходит на макроскопических масштабах. Была решена задача диффузии наночастиц в ограниченном пространстве под действием хиральных оптических сил, а также был исследован характерный масштаб, на котором происходит разделение, и время, за которое из изначально симметричной смеси образуются две смеси энантиомеров достаточной чистоты.

Энантиомеры хиральных наночастиц могут быть разделены оптически только тогда, когда они взаимодействуют с хиральным световым полем [2]. Чтобы добиться разделения энантиомеров в макроскопических объемах, необходимо избежать малых пространственных колебаний интенсивности поля и убедиться, что оно оказывает на наночастицы только хиральную силу, в то время как ахиральная сила отсутствует или ничтожно мала [3]. Для получения поля с малыми флуктуациями интенсивности хорошо подходит суперпозиция плоских волн, распространяющихся вдоль одной оси.

Хиральные силы могут возникать только при использовании света с круговой поляризацией. В таком поле на хиральную частицу оказывают воздействие только две диссипативные силы – ахиральная и хиральная, для которых справедливо заметить, что направление воздействия ахиральной силы зависит лишь от направления распространения волны, а для хиральной – еще и от направления круговой поляризации. Это означает, что, подобрав правильную поляризацию волн, распространяющихся навстречу друг другу, можно скомпенсировать ахиральную компоненту силы, одновременно усилив хиральную.

При использовании двух волн с одинаковой круговой поляризацией, распространяющихся навстречу друг другу, ахиральные силы друг друга компенсируют, тогда как при использовании двух волн с различной круговой поляризацией, распространяющихся в разных направлениях, можно не только усилить диссипативную часть хиральной компоненты силы, но и полностью устранить диссипативную часть ахиральной компоненты силы. Тем не менее в этом случае из-за возникающей в таком поле неоднородности распределения энергии появляется консервативная часть ахиральной компоненты силы, которую также необходимо уничтожить.

Для исключения неоднородностей плотности энергии, вызывающих ахиральную силу, разумно начать формирование полностью хиральной оптической силы, рассматривая две встречных циркулярно поляризованных плоских волны, частоты которых ω_1 и ω_2 различны,

$\omega_1 \neq \omega_2$ (разность частот необходима, чтобы избежать интерференции между волнами и обеспечить формирование единой хиральной силы). Такие волны для получения максимальной хиральной силы должны иметь разную круговую поляризацию, и в этом случае электрическое поле может быть представлено в виде:

$$\mathbf{E}_{\pm}(\mathbf{r}, t) = \text{Re}[\mathbf{e}_{\pm}(E_1 e^{-i(\omega_1 t - k_1 z)} + E_2 e^{-i(\omega_2 t + k_2 z)})], \quad (1)$$

где E_1 , E_2 и k_1 , k_2 – соответственно амплитуды и волновые числа волн, а $\mathbf{e}_{\pm} = (\mathbf{e}_x \mp i\mathbf{e}_y)/\sqrt{2}$ для волны с правой круговой поляризацией, распространяющейся в направлении $\pm z$. Рис. 1 соответствует полю $\mathbf{E}_{-}(\mathbf{r}, t)$, которое состоит из света с левой круговой поляризацией (LCPL), распространяющегося в направлении $+z$, и света с правой круговой поляризацией (RCPL), распространяющегося в направлении $-z$.

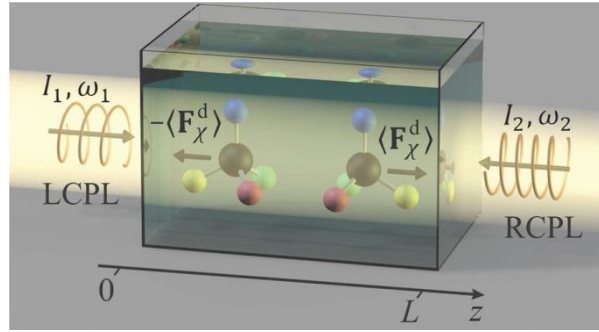


Рис. 1. Разделение хиральных наночастиц или молекул с помощью полностью хиральной оптической силы, являющейся результатом взаимодействия двух встречных плоских волн с различной круговой поляризацией и частотой

Благодаря отсутствию интерференции между волнами, распространяющимися в разных направлениях, интересные величины могут быть посчитаны для каждой из них по отдельности. Так, интенсивность рассматриваемого электромагнитного поля является просто суммой интенсивностей отдельных волн. Поскольку она однородна в пространстве, градиентная сила отсутствует. Плотность хиральности такого поля также не изменяется в пространстве и определяется суммой плотностей хиральности двух волн:

$$K_{\pm} = K_{1\pm} + K_{2\pm} = \pm(k_1 I_1 + k_2 I_2)/c, \quad (2)$$

где $I_{\nu} = E_{\nu}^2/(2Z_0)$ – интенсивность волны ν . Из-за пространственной однородности плотности хиральности сила $\langle \mathbf{F}_{\chi}^d \rangle$, пропорциональная ее градиенту, будет также равна нулю.

Оставшиеся две оптические силы зависят от вектора Пойнтинга и эллиптичностей электрического и магнитного полей, которые в рассматриваемом случае определяются как:

$$\mathbf{\Pi}_{1\pm} = I_1 \mathbf{e}_z, \quad \mathbf{\Pi}_{2\pm} = -I_2 \mathbf{e}_z, \quad (3)$$

$$\Phi_{\nu\pm}^{(E)} = Z^2 \Phi_{\nu\pm}^{(H)} = \mp Z I_{\nu} \mathbf{e}_z. \quad (4)$$

Следует отметить, что в то время как векторы Пойнтинга встречных плоских волн ориентированы противоположно, соответствующие эллиптичности указывают в одном направлении из-за противоположных поляризаций этих волн.

Далее проанализируем диссипативную часть ахиральной компоненты силы. Учитывая иерархию поляризуемостей ($\alpha'' \gg \chi'' \gg \beta''$), можно пренебречь магнитной частью силы, и тогда условие равенства ахиральной компоненты силы нулю запишем в виде:

$$\alpha_1'' \omega_1 I_1 = \alpha_2'' \omega_2 I_2. \quad (5)$$

Таким образом, получим полностью хиральную постоянную оптическую силу, которая позволяет разделять энантиомеры наночастиц в макромасштабе. Эта сила сопровождается хиральным и ахиральным крутящими моментами и может быть повышена за счет увеличения интенсивности двух волн или с использованием нескольких пар встречных плоских волн с соблюдением уравнения ((5) для каждой пары. Повышение интенсивности ограничено поглощением излучения наночастицами и раствором, поскольку последнее может привести к спаду оптической интенсивности и связанной с ней силы с расстоянием, изменению скорости дрейфа энантиомеров, или даже уничтожить их и вскипятить раствор в какой-то момент. В дальнейшем рассмотрение данных эффектов не проводится в предположении, что выработка тепловой энергии за счет оптического поглощения пренебрежимо мала.

Для оценки масштабов полностью хиральной оптической силы лучше всего подойдет уравнение вынужденной диффузии в однородном силовом поле, которое в общем случае имеет вид:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z}, \quad (6)$$

где $\rho(z, t)$ – плотность, а $q(z, t)$ – поток массы, определяемый как:

$$q = -D \frac{\partial \rho}{\partial z} + v\rho, \quad (7)$$

где D – коэффициент диффузии, $v = DF/(k_B T)$ – скорость дрейфа диполей при отсутствии диффузии, k_B – постоянная Больцмана и T – температура среды. В предположении, что энантиомеры находятся в коллоидном растворе и не взаимодействуют друг с другом, их поведение в однородном силовом поле $\langle \mathbf{F}_\chi^d \rangle = F \mathbf{e}_z$ описывается уравнением диффузии:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial z^2} - v \frac{\partial \rho}{\partial z}. \quad (8)$$

Будем считать, что частицы находятся в кювете, стенки которой имеют координаты $z = 0$ и $z = L$, а начальная концентрация диполей $\rho(z, 0) = \rho_0 = \text{const}$. Уравнение диффузии характеризуется двумя важными масштабами, $t_0 = D/v^2$ и $z_0 = D/v$, которые играют центральную роль в пространственно-временной эволюции концентрации. На рис. 2 показано, как сильно эти две шкалы зависят от силы для типичного значения коэффициента диффузии малых молекул в воде $D = 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

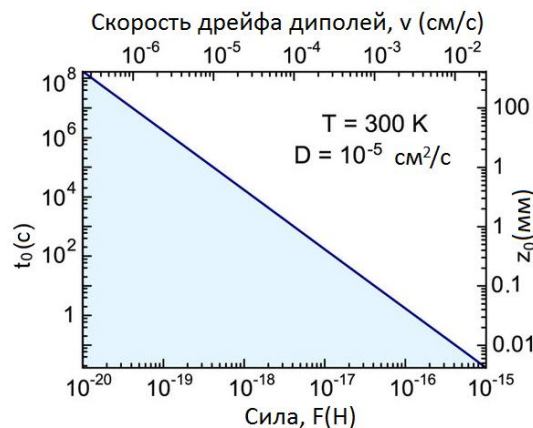


Рис. 2. Характерные пространственный и временной масштабы пространственно-временной эволюции концентрации наночастиц, диффундирующих в воде при комнатной температуре в присутствии постоянной силы F

В данной модели не рассматривается нагрев системы, так как легко сделать его пренебрежимо малым за счет выбора длины волны возбуждения в окне прозрачности

коллоидного раствора и уменьшения концентрации наночастиц. Простое уравнение теплового баланса показывает, что повышение температуры ΔT обратно пропорционально массе m и теплоемкости C раствора и может быть оценено как $\Delta T \sim P\tau_1/(Cm)$, где P – скорость поглощения и τ_1 – характерное время рассеивания тепла. За счет увеличения массы раствора (или уменьшения времени рассеивания тепла), всегда можно сделать температуру системы настолько стабильной, насколько это требуется на практике.

Решение данного уравнения находится для равномерного начального распределения частиц в кювете, путем применения закона сохранения числа частиц, который эквивалентен условию обращения в нуль потока массы на стенках кюветы, $q(0, t) = q(L, t) = 0$.

Поиск решения начинается с анализа равновесного распределения хиральных наночастиц, при котором поток массы равен нулю. Данное распределение является решением уравнения:

$$z_0 \frac{\partial \rho_s}{\partial z} = \rho_s, \quad (9)$$

где ρ_s – стационарная концентрация диполей. Далее, используя закон сохранения числа диполей:

$$\rho_0 L = \int_0^L \rho_s(z) dz, \quad (10)$$

получим решение этого уравнения в виде:

$$\rho_s(z) = \rho_0 \frac{L/z_0}{e^{L/z_0} - 1} e^{z/z_0}. \quad (11)$$

Концентрация каждого энантиомера хиральных наночастиц будет асимптотически приближаться к равновесной концентрации ρ_s , что позволяет произвести замену:

$$\rho(z, t) = [1 + f(z, t)e^{-2z+vt/(4z_0)}] \rho_s(z), \quad (12)$$

которая приводит уравнение диффузии к стандартному виду:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = D \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}. \quad (13)$$

Это уравнение теперь легко решается методом разделения переменных. Получаемое данным образом аналитическое решение дает четкое представление о пространственно-временной эволюции концентраций обоих энантиомеров.

Выражение (11) демонстрирует стационарную концентрацию частиц, которые под воздействием силы F будут двигаться в сторону ее воздействия ($\chi'' > 0$) и могут быть обозначены как $\rho_+(z)$. Для энантиомера, движущегося в противоположную сторону ($\chi'' < 0$), стоит ввести обозначение $\rho_-(z)$, а стационарное распределение их концентрации примет вид:

$$\rho_-(z) = \rho_0 \frac{L/z_0}{1 - e^{-L/z_0}} e^{-z/z_0}. \quad (14)$$

Экспоненциальные зависимости величин в уравнениях от длины кюветы и параметра q являются уникальной особенностью разделения энантиомеров с использованием полностью хиральной и постоянной оптической силы. Она позволяет разделить энантиомеры до степени чистоты, которая находится далеко за пределами того, что может быть достигнуто с помощью современной хроматографии. Этот факт проиллюстрирован на рис. 3. Пусть энантиомеры заметно смещаются в течение времени $t_0 = 10$ с, что соответствует (рис. 2) $z_0 = 0,1$ мм и $v = 10^{-3}$ см/с и требует хиральной силы около 4×10^{-16} Н.

Рассмотренный пример показывает, что полное разделение энантиомеров в субмиллиметровом масштабе за время порядка нескольких сотен секунд требует хиральной силы порядка 10^{-16} Н.

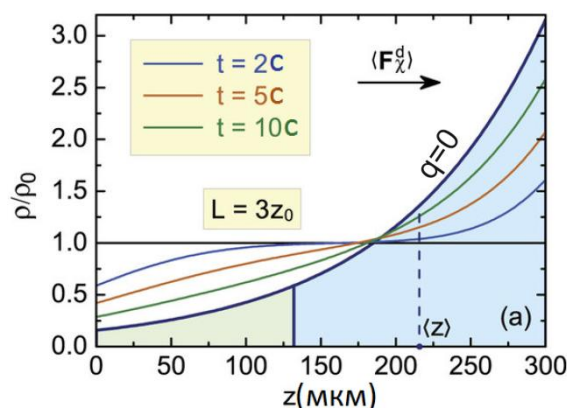


Рис. 3. Пространственно-временная эволюция концентрации энантиомеров, перемещаемых постоянной хиральной силой. Параметры моделирования: $v = 10^{-3}$ см/с и $D = 10^{-5}$ см²/с

Заключение

В проекте был разработан новый метод разделения энантиомеров хиральных частиц при помощи поляризованного по кругу излучения. Было предложено использовать для этого две поляризованные по кругу волны с разной частотой и разным направлением поляризации, направленные навстречу друг другу. Показано, что такая конфигурация оптического поля позволяет полностью устранить ахиральные силы светового давления, препятствующие разделению энантиомеров, и в то же время максимизировать хиральные силы, действующие на частицы.

Предложенный метод разделения энантиомеров был численно смоделирован, что подтвердило возможность добиться практически полного разделения энантиомеров хиральных частиц в однородной смеси за времена порядка нескольких сотен секунд. Результаты выполнения проекта могут быть применены в таких областях научного знания, как нанофотоника, химия и фармакология, а также в образовательных программах университетов Санкт-Петербурга.

Публикации

1. Vovk I.A., Teplakov N.V., Leonov M.Y., Baranov A.V., Fedorov A.V., Rukhlenko I.D. Analytical theory of real-argument Laguerre – Gaussian beams beyond the paraxial approximation // Journal of the Optical Society of America A. 2017. Vol. 34. No 10. P. 1940–1944.
2. Rukhlenko I.D., Teplakov N.V., Baimuratov A.S., Andronaki S.A., Gun'ko Y.K., Baranov A.V., Fedorov A.V. Completely chiral optical force for enantioseparation // Scientific Reports. 2016. Vol. 6. P. 36884.

Литература

1. Crossley R.J. Chirality and biological activity of drugs. CRS Press, 1995. – 208 p.
2. Govorov A.O. et al. Chiral nanoparticle assemblies: circular dichroism, plasmonic interactions, and exciton effects // Journal of Materials Chemistry. 2011. Vol. 21. No 42. P. 16806–16818.
3. Hendry E. et al. Ultrasensitive detection and characterization of biomolecules using superchiral fields // Nature Nanotechnology. 2010. Vol. 5. No 11. P. 783–787.



Ткачева Екатерина Владимировна
Факультет безопасности информационных технологий
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
E-mail: tkacheva94@gmail.com

РАЗРАБОТКА РЕГИСТРАТОРА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КОНТЕНТА СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Е.В. Ткачева

Научный руководитель – доцент О.В. Кузнецова

Цель проекта – разработка регистратора оценки качества контента социальных сетей.

В ходе его выполнения проведена сравнительная характеристика аналогов подобных устройств, выявлены недостатки и возможности модернизации приборов, разработаны функциональная, структурная и электрическая принципиальная схемы регистратора, подобрана унифицированная элементная база. Принцип работы регистратора оценки качества контента социальных сетей проиллюстрирован на рис. 1.

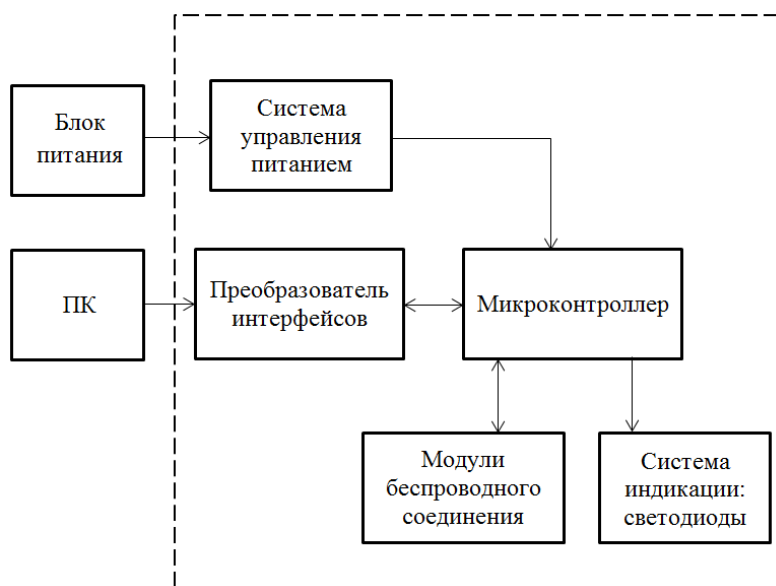


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого устройства

Настройка устройства происходит через *USB*-порт с использованием персонального компьютера (ПК): пользователь устанавливает необходимые индивидуальные параметры, например, учетную запись социальной сети, характеристики, предназначенные для вывода, и прочее. После завершения настройки регистратора все изменения сохраняются во встроенную *flash*-память микроконтроллера (МК), который в свою очередь подает сигнал на систему индикации об их сохранении. Далее в онлайн-режиме с помощью модулей беспроводного соединения пользовательская информация поступает на МК и посредством системы индикации отображается на лицевой панели.

Внешний вид лицевой панели разрабатываемого прибора представлен рис. 2. Четыре единичных индикатора обозначают выбор социальной сети: «ВКонтакте», *Facebook*, *Twitter* и *Instagram*. Восемь семисегментных индикаторов, реализованных на основе светодиодной ленты, предназначены для отображения пользовательской информации в рамках выбранной социальной сети и заданных индивидуальных настроек. При изменении количества

просмотров, откликов, репостов или другой информации, заданной пользователем в настройках, числа на индикаторах изменяются в онлайн-режиме.

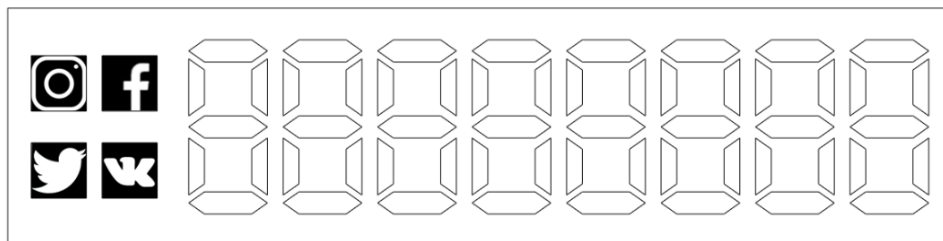


Рис. 2. Внешний вид лицевой панели регистратора

В качестве семейства МК были выбраны МК *Atmel (AVR)*. Они оптимизированы для сокращения цикла разработки и обладают самой эффективной в промышленности архитектурой для программирования на языках «Си» и «Ассемблер». Для реализации электронного управления разрабатываемого устройства оптимальными характеристиками обладает МК *ATmega328P*, так как при меньшем энергопотреблении обладает высокой эффективностью и является наиболее доступным. Он позволяет осуществлять работу в режиме энергосбережения.

При разработке печатных плат (ПП) устройства в соответствии с технической документацией производителя *Atmel* для стабильной работы микроконтроллера *ATmega328P* рекомендуется использовать схему (рис. 3). Именно поэтому в качестве источника тактирования используется кварцевый резонатор *CSTCE16M0V53-R0* с тактовой частотой 16 МГц и двумя конденсаторами емкостью 22 пФ.

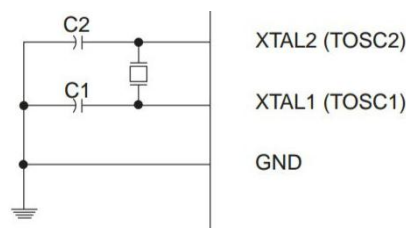


Рис. 3. Схема кварцевого резонатора

В качестве интерфейсного преобразователя был выбран МК *ATmega16U2-MUR*, так как он поддерживает необходимые интерфейсы *USB* и *UART*, удовлетворяет условиям рабочих температур, а также обеспечивает наименьшую задержку при программной обработке интерфейсов в процессе преобразования.

Для подавления электромагнитных помех применяется индуктивный дроссель. В работе задействован полевой транзистор, который управляется напряжением от операционного усилителя [1]. В качестве данного компонента был выбран широко распространенный транзистор *FDN340P*.

Для резисторов общего назначения задействованы массивы резисторов *SMD* в корпусе 1206. Защиту электрооборудования от коммутационных перенапряжений осуществляет варистор, который включается параллельно оборудованию. Наиболее широкое применение находят электронные компоненты (ЭК) на основе оксида цинка, что обусловлено, во-первых, относительной простотой их изготовления и, во-вторых, хорошей способностью оксида цинка поглощать высокоэнергетические импульсы напряжения.

Для отображения пользовательской информации на лицевой панели разрабатываемого прибора было принято решение использовать самоклеющуюся светодиодную полноцветную гибкую ленту, на которой на некотором расстоянии друг от друга размещены *SMD* полноцветные светодиоды. Для реализации отображения пользовательской информации была выбрана модель светодиода *WS2812B*.

Беспроводное соединение между внешним устройством и прибором обеспечивают модули *Bluetooth HC-06* и *Wi-Fi ESP8266*.

На этапе выбора элементной базы было принято решение об использовании преимущественно поверхностно-монтируемых компонентов, так как они занимают на печатной плате небольшую площадь и обладают малой рассеиваемой мощностью [2]. При отсутствии ЭК в данном исполнении применяются корпуса со штыревыми выводами.

В силу того что ПП содержит как штыревые, так и поверхностно-монтируемые компоненты, для удобства трассировки проводников и сокращения габаритных размеров ПП в качестве конструкции была выбрана двусторонняя печатная плата (ДПП). Ее топология с угловыми крепежными отверстиями представлена на рис. 4, а трехмерная модель на рис. 5. В качестве материала печатной платы используется фольгированный двусторонний стеклотекстолит СФ-2-35Г-1.5 [3].

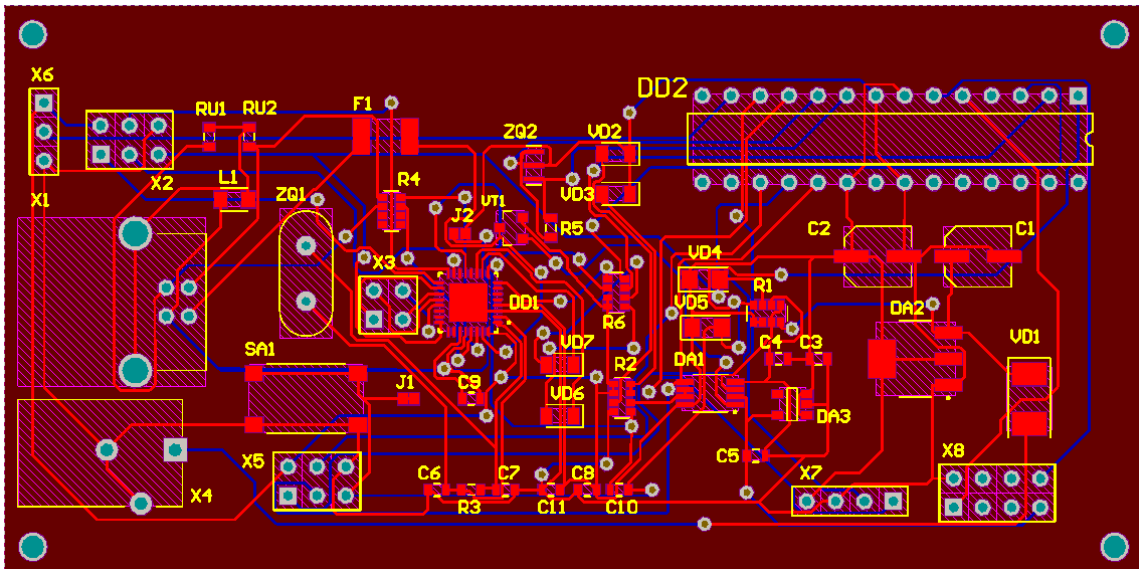


Рис. 4. Топология печатной платы регистратора оценки качества контента социальных сетей

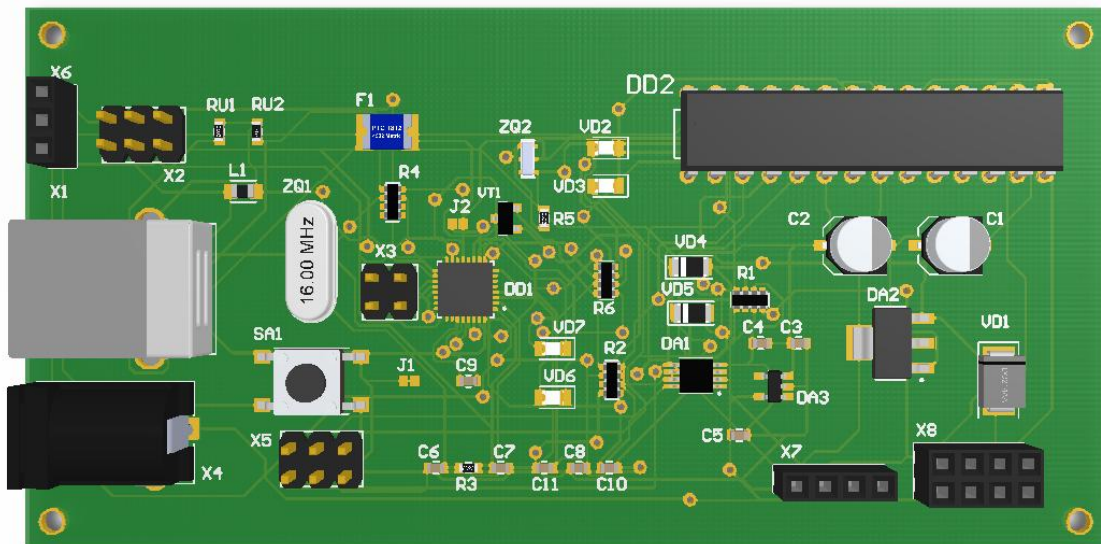


Рис. 5. Трехмерная модель печатной платы

Среди различных вариаций возможных конструкций корпуса наиболее оптимальным вариантом для данного прибора является конструкция моноблока [4], содержащая одну печатную плату, пластину со светодиодной лентой, лицевую панель и разъемы (рис. 6). Основание моноблока выполнено с пазами для крепежа внутренних элементов и крышки.

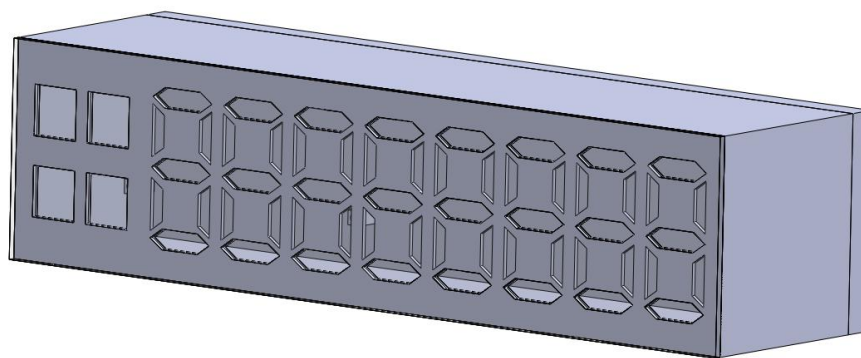


Рис. 6. Внешний вид конструкции корпуса прибора

Тепловой режим является одним из важнейших факторов, определяющих эксплуатационную надежность электронной аппаратуры. При его расчете конструкция устройства принимается как сложная система тел, источниками тепла в которой служит большое количество электронных компонентов [5]. Результаты расчета теплового режима представлены в Табл. 1. После их выполнения оказалось, что реальная температура эксплуатации ниже максимальной температуры нагретой зоны, поэтому необходимость в искусственной вентиляции прибора отсутствует.

Таблица 1
Расчет теплового режима

Исходные данные	Максимальная температура внутри блока, К	338,15
	Максимальная температура окружающей среды, К	308,15
	Максимальная рассеиваемая мощность внутри блока, Вт	1,8
Результаты	Температура корпуса, К	323,15
	Тепловыделение излучением, Вт	9,8635
	Суммарное тепловыделение, Вт	17,574
	Максимально допустимая температура нагретой зоны, К	343,9
	Реальная температура внутри корпуса, К	325,28

Расчет надежности заключается в определении показателей надежности устройства по известным характеристикам составляющих его компонентов и условиям эксплуатации. Результаты расчета представлены в Табл. 2, по которым определено, что расчетное время наработки на отказ превышает заданное. Вероятность безотказного работы устройства составляет 0,9692, что позволяет говорить о практически бесперебойном его действии в течение 10 000 ч.

Таблица 2
Расчет надежности

Исходные данные	Заданное время наработки на отказ, ч.	10000
Результаты	Общая интенсивность отказов, *10 ⁻⁶ , 1/ч	3,13117
	Среднее время наработки на отказ, ч.	319369
	Вероятность безотказной работы	0,9692

Заключение

В результате выполнения проекта разработан регистратор оценки качества контента социальных сетей, отвечающий современным требованиям, предъявляемым к электронным устройствам, таким как компактные габаритные размеры, быстродействие, низкое

энергопотребление, невысокая стоимость и надежность компонентов. Данное устройство предназначено для отображения информации о популярности фирм, компаний, товаров или услуг в социальных сетях, освещения активности пользователей. Регистратор позволяет пользователю получить достоверные данные об оценке так называемого продавца и качестве поставляемого им товара или услуги.

В ходе выполнения проекта проведена сравнительная характеристика аналогов подобных устройств, выявлены недостатки и возможности модернизации приборов; разработаны функциональная, структурная и электрическая принципиальная схемы электронного блока управления регистратора оценки качества контента социальных сетей; проведен подбор унифицированной элементной базы; а также различные инженерные расчеты. На основе полученных результатов разработаны конструкция печатной платы электронного блока управления регистратором и его корпуса, комплект конструкторской документации.

Функциональное назначение прибора предполагает его размещение на столах, стенах или витринах в закрытых и отапливаемых помещениях. Управление регистратором осуществляется автономно с помощью электронного блока, который контролирует выполняемые процессы по приему, подсчету, переключению и отображению информации по оценке контента социальных сетей, получаемых от пользователя.

Предложенные решения позволили снизить стоимость и энергопотребление разработанного устройства по сравнению с аналогами. Применение его позволит повысить «открытость» торговли и предоставления услуг посредством социальных сетей, а также уменьшить количество сомнительных заведений и фирм.

Публикации

1. Ткачева Е.В., Агеева Т.А., Кузнецова О.В., Шевяков А.Д. Проблематика сквозного монтажа печатных плат // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. СПб., 2017. С. 143–144.
2. Ткачева Е.В., Агеева Т.А., Кузнецова О.В., Шевяков А.Д. Исследование методов трехмерного сканирования в области приборостроения // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. СПб., 2017. С. 135–137.
3. Ткачева Е.В., Агеева Т.А., Кузнецова О.В., Шевяков А.Д. Исследование способов изготовления печатных плат с использованием технологии быстрого прототипирования // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. СПб., 2017. С. 139–140.

Литература

1. Князев А.Д. и др. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости. М., 1989. – 224 с.
2. Кузнецова О.В. Модели и алгоритмы автоматизированного проектирования печатных узлов в трехмерном пространстве интегрированных систем автоматизированного проектирования печатных плат // Альманах научных работ молодых ученых XLV Научной и учебно-методической конференции Университета ИТМО. Т. 3. СПб., 2016. С. 55–58.
3. Шахнов Е.В., Парфенов О.Д. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов. М., 2002. – 536 с.
4. Романова Е.Б. и др. Основы конструирования электронных средств: практикум. СПб., 2017. – 53 с.
5. ГОСТ 16962-71. Изделия электронной техники и электротехники. Механические и климатические воздействия. Требования и методы испытаний. М., 1971. – 105 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Измерительная система на основе телевизионной камеры <i>А.Н. Аширов</i>	4
Причинные факторы отклонений траекторий движения непрерывных и дискретных систем от монотонной сходимости и анализ их последствий <i>Н.А. Вундер</i>	9
Получение биологически активных пептидов молока, обладающих иммуностимулирующими свойствами <i>С.Е. Гарбуз</i>	12
Процесс учета и мониторинга технического состояния многоквартирных домов в Санкт-Петербурге <i>М.Н. Груздева</i>	14
Разработка алгоритма коллективного взаимодействия роботов <i>И.Д. Захаров</i>	16
Разработка направлений развития свободной экономической зоны технико-внедренческого типа «Санкт-Петербург» с учетом возможности применения таможенной процедуры свободной таможенной зоны <i>Ю.А. Изгаршева</i>	21
Системное охлаждение антенных фазированных решеток беспилотных летательных аппаратов <i>Н.А. Карманова</i>	25
Повышение транспортной доступности северо-западного федерального округа путем внедрения высокоскоростного сообщения <i>К.Б. Квитко</i>	28
Ультратонкие коллоидные нанопластины селенида кадмия для источников УФ-излучения <i>Т.К. Кормилина</i>	31
Разработка мультиспектрального источника излучения для оптико-электронной системы контроля качества продуктов питания <i>Т.К. Королев</i>	35
Влияние обесцвечивания на голографические характеристики хлоридного фото-термо-рефрактивного стекла <i>В.А. Крыкова</i>	40
Разработка алгоритмов высокопроизводительного моделирования адаптивных случайных булевых сетей <i>К.В. Кувшинов</i>	45
Металлодиэлектрический композит с диэлектрической проницаемостью около нуля для управления фазовыми характеристиками в терагерцевом диапазоне частот <i>Е.А. Литвинов</i>	50
Разработка гибридного алгоритма недоминирующей сортировки <i>М.А. Маркина</i>	54
Создание устройства измерения показателя преломления твердых оптических материалов, имеющих форму плоскопараллельных пластин <i>О.Н. Марченко</i>	58
Разработка и создание точной системы осевого позиционирования двулучепреломляющих оптических волокон для повышения стабильности записи решеток Брэгга в анизотропных световодах <i>А.С. Мунько</i>	61

Разработка гомогенизатора лазерного излучения на основе телескопической системы Галилея <i>М.К. Орехова</i>	67
Комплексное решение защиты от атак с правами привилегированного пользователя <i>Т.С. Осадчая</i>	72
Разработка многоканальной оптико-электронной системы с дискретным угловым полем для измерения пространственных координат малоразмерных излучающих объектов <i>В.А. Репин</i>	77
Влияние архитектуры макромолекул на поведение термочувствительных поли(2-изопропил-2-оксазолинов) в водных растворах <i>С.В. Родченко</i>	81
Разработка осветительного устройства для формирования подсветки неплоских поверхностей <i>А.К. Саитгалина</i>	84
Разработка алгоритма динамической балансировки распределенных вычислений в задаче многоагентного моделирования динамики толпы <i>О.А. Северюхина</i>	89
Исследование результативности использования информационных технологий при взаимодействии власти и граждан (на примере портала «Наш Петербург») <i>Я.Д. Тензина</i>	95
Способы эффективного оптомеханического разделения энантиомеров лекарственных частиц с помощью хиральных нанокристаллов <i>Н.В. Тепляков</i>	98
Разработка регистратора оценки качества контента социальных сетей <i>Е.В. Ткачева</i>	103

Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов
Правительства Санкт-Петербурга / Под редакцией проф. В.О. Никифорова. –
СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 110 с.

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

Под редакцией проф. В.О. Никифорова
Дизайн обложки А.В. Чуркова
Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО
Зав. РИО Н.Ф. Гусарова
Подписано в печать 25.05.2018 г.
Заказ № 4132
Тираж 100 экз.