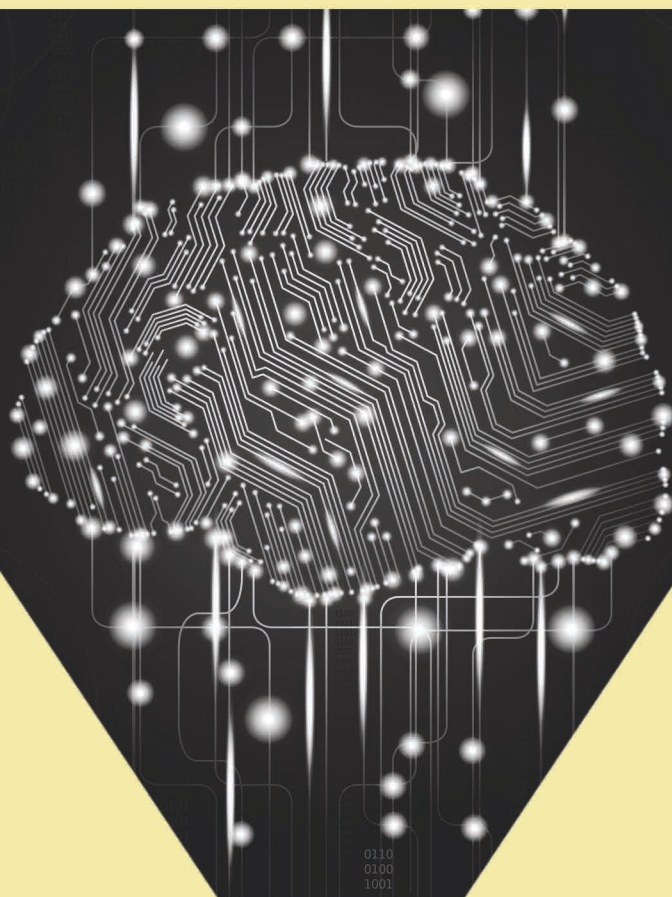


**СБОРНИК РАБОТ АСПИРАНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО,
ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА ГРАНТОВ ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**



**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

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

 УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2016 г.

Сборник работ аспирантов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под. ред. В.О. Никифорова – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 223 с.

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



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

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

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

Авторы, 2016



На церемонии награждения победителей конкурса грантов – аспирантов Университета ИТМО

В настоящее время Университет ИТМО располагает научными кадрами и современной инновационной инфраструктурой, что позволяет проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий в Российской Федерации. Молодые ученые университета с энтузиазмом работают над решением многих сложных проблем как прикладных, так и фундаментальных.

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

Наш университет занимает второе место среди вузов Санкт-Петербурга по количеству поданных и выигранных заявок. В 2015 году аспирантами Университета ИТМО было подано около 300 заявок, а поддержано из них 57.

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

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

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



Алехин Артем Андреевич
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра оптико-электронных приборов и систем
E-mail: alekhin.a.a@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ОБОГАТИМОСТИ РУД ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. Алехин

Научный руководитель – старший научный сотрудник А.Н. Чертов

Техническое зрение представляет значительный интерес для различных сфер науки и техники. Это – химическое производство, пищевые технологии, медицина, сфера безопасности, производственная сфера и контроль качества продукции, машиностроение и т. п. При управлении производственными процессами подобные системы инспекции интегрируются в производственный цикл и обеспечивают возможность контроля производства в реальном времени.

Успешно машинное зрение применяется рядом стран и в горнодобывающей промышленности. На сегодняшний день в связи с непрерывным истощением запасов руд твердых полезных ископаемых использование различного рода автоматизированных систем обогащения минерального сырья является неременным условием повышения эффективности его добычи.

Одним из наиболее перспективных является метод оптической сортировки (известен еще как фотометрический или колориметрический), основанный на регистрации цветовых различий в реальном времени. Этот метод применяется при производстве алюминия, для сортировки фруктов и овощей, промышленных и других отходов и пр. Он также используется в горнодобывающей промышленности некоторых стран мира при добыче золота [1–3], алмазов [4], никеля [5], кальцитов [6], полевых шпатов и других твердых полезных ископаемых и является методом предварительной концентрации или обогащения руд. Типовая схема функционирования, поясняющая работу оптического метода сортировки, показана на рис. 1. Сырье по лоткам поступает в зону анализа, освещенную специальными приборами, с помощью высокоскоростных камер получают изображение минералов и на основании данных о цвете и других селективных признаков принимается решение об отделении полезного компонента от «пустой» руды в концентрационный бункер.

На рынке обогатительного оборудования в настоящее время наиболее широко представлены оптические сортировщики немецких фирм ALIUD GmbH (сепараторы Gemstar), Mogensen GmbH/Allgaier-Group (сепараторы MikroSort), Tomra Sorting Solutions (сепараторы UltraSort) и другие, которые, по заявлениям их производителей, используют современные видеотехнологии и помехоустойчивые алгоритмы контроля цветовых характеристик 3D-объектов и являются адаптивными к особенностям обрабатываемого материала.

Но результаты анализа, полученные на подобном оборудовании, нельзя считать объективными. Это объясняется тем, что в подобном оборудовании осуществляется не анализ цвета минералов как присущих им характеристик, а измерение некоторых цветовых координат их изображений в цветовом пространстве (RGB, YUV, HSL и других).

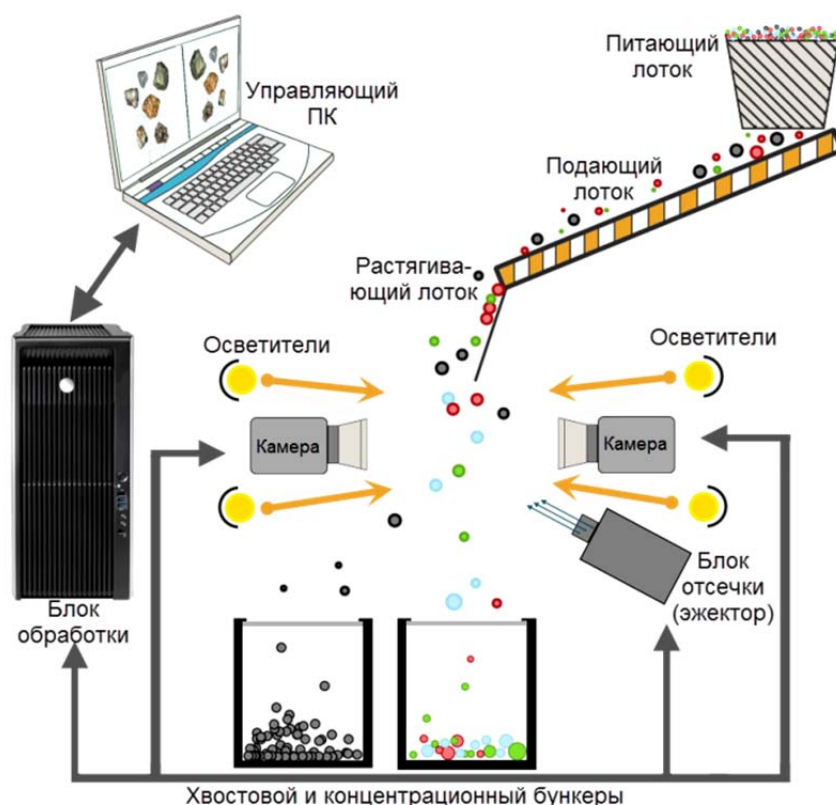


Рис. 1. Оптический метод сортировки

Известно [7], что в сепараторах «Optosort» в качестве базовой модели описания цвета используется система RGB (рис. 2а), не являющаяся в силу своей неравномерности объективной с точки зрения анализа цвета [8]. То же самое можно сказать и о сепараторах Commodas, использующих систему Yuv [9], аналог цветовой модели CIE Luv, которая также отличается неравномерностью представления цвета (рис. 2б). По данным [10], также известно, что в сепараторах фирмы Elektromagnetbau GmbH используется модель HSV/HSI (рис. 2в).

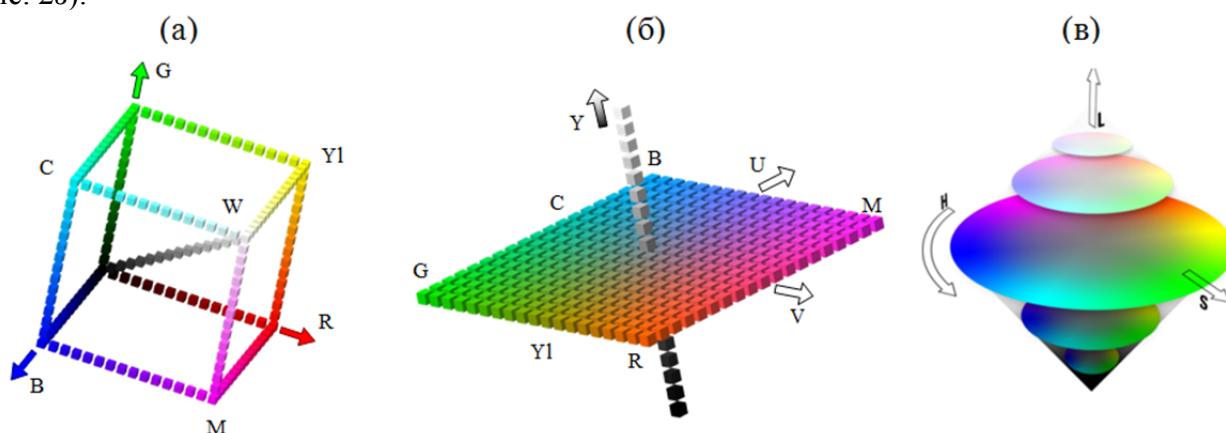


Рис. 2. Модели описания цвета: а – RGB, где R – красный, G – зеленый, B – синий, C – голубой, M – малиновый, YI – желтый, W – белый; б – YUV, где обозначены направления изменения каналов Y, U и V, а также области нахождения оттенков цветов: R – красного, G – зеленого, B – синего, C – голубого, M – малинового и YI – желтого; в – HSL, где обозначены направления изменения каналов цветового тона H, светлоты L и насыщенности S

Помимо этого, до сих пор не существует критериев, на основании которых возможно осуществлять хотя бы предварительный выбор в пользу того или иного производителя

обогачительного оборудования данного типа без проведения испытаний. Это при условии, что сегодняшняя стоимость типовых оптических сортировщиков (ширина лотка 1,2 м; производительность 150 т/ч) составляет около 900 тыс. евро.

В силу указанных недостатков метод оптической сепарации сегодня не является «прозрачным», понятным для потенциального пользователя/заказчика. Его эффективность (даже при использовании существующего обогащательного оборудования) занижена, а границы применимости в области обогащения твердых полезных ископаемых сужаются. По мнению автора, одной из ключевых причин невысокой селективности оптических сепараторов является непонимание как производителями, так и потребителями влияния используемого цветового пространства на итоговую эффективность процесса обогащения [11]. В разрабатываемой аналитической системе акцент делается на использование сразу трех цветовых моделей RGB, YUV, HSL – все эти системы используются в оптических сортировщиках, но не все они объективны с точки зрения анализа цвета.

На основании этого актуальным является разработка методики (способа) оценки степени обогатимости минерального сырья оптическим методом (ОСМС) с тем, чтобы предварительно оценить возможность и эффективность оптической сепарации при различных рабочих условиях (выбор цветовой модели, характер освещения и т. п.). А также следует уделить внимание сравнительному анализу результатов, полученных с помощью этой методики при использовании различных цветовых моделей на разрабатываемом макете оптико-электронной системы (ОЭС) для ОСМС.

Предлагаемая методика предварительной оценки ОСМС с учетом рассмотренных цветовых моделей описания цвета включает следующие этапы. Анализ полезности и ввод данных о пробе (этап 1). Оператором-специалистом определяется полезность и зоны различения каждого минерального объекта (по наличию зон определенной цветности на его поверхности) представительной рудной пробы, а полученные результаты записываются в базу данных блока обработки.

Получение изображений (этап 2). Минеральные объекты анализируемой рудной пробы поочередно размещаются в зоне анализа, производится их съемка, в результате которой получаются цветные изображения двух и более сторон каждого минерального объекта. Затем для каждого цветного изображения выделяется три двумерных массива целых чисел в цветовых пространствах RGB, YUV, HSL. Каждый из них соответствует своему каналу в изображении (канал красного, зеленого, синего для RGB; оттенок, светлота, насыщенность для HSL и т. д.).

Преобразование изображений из RGB в YUV и HSL и цветокоррекция изображений по фону (этап 3). Исходные массивы преобразуются в цветовых пространствах HSL и YUV, после чего осуществляется цветокоррекция по фону каждого из трех преобразованных массивов путем сравнения значений цветовых координат каждого элемента соответствующего массива с априорно известными значениями соответствующих цветовых координат изображения зоны анализа (изображения фона без образца). Для несовпадающих по цветовой координате элементов производится выравнивание цветовых координат. Таким образом, получаются совокупности откорректированных RGB-, YUV- и HSL-массивов.

Нахождение зон полезности на изображениях в соответствии с расчетными порогами различения (этап 4). В каждой из трех полученных совокупностей откорректированных RGB-, HSL- и YUV-массивов для каждого минерального объекта из партии образцов определяются пороги различения цветовых оттенков и по ним находятся зоны полезности на изображениях каждой стороны каждого минерального объекта и определяются их суммарные площади для всех минеральных объектов. Для объектов, признанных полезными, находятся пороги разделения минералов из партии образцов.

Оценка степени обогатимости минеральной пробы оптическим методом (этап 5) выполняется по формуле:

$$E = \frac{S_g - S_{cg}}{S_0 - S_{gg}} \cdot 100\%$$

где S_0 – суммарная площадь всех изображений сторон минеральных объектов из партии образцов; S_g – суммарная площадь всех изображений сторон минеральных объектов, признанных полезными; S_{cg} – суммарная площадь всех зон полезности изображений сторон минеральных объектов, признанных полезными; S_{gg} – суммарная площадь зон полезности изображений сторон минеральных объектов из партии образцов.

Предложенная методика ОСМС основана на результатах обработки цветных изображений образцов представительной пробы. Она учитывает набор возможных условий проведения анализа (например, для ряда источников освещения: белых светодиодов, люминесцентных ламп, галогенных ламп и т. п.). При ее использовании возможна предварительная оценка степени обогатимости минерального сырья за счет анализа цветовых параметров зон цветности каждого минерального образца.

Для проверки методики ОСМС на основе разработанных принципов построения реализована физическая модель лабораторного макета ОЭС ОСМС (рис. 3а).

Для оценки функциональности разработанного макета и проверки эффективности предложенной методики ОСМС проанализирована проба кварцитов месторождения «Эльмусская площадь», представленная двадцатью образцами класса крупности -100–+50 мм. Внешний вид наиболее характерных образцов показан на рис. 3б.



а



б

Рис. 3. а – внешний вид лабораторного макета ОЭС ОСМС;
б – наиболее характерные образцы из исследуемой партии кварцитов

В данной пробе цветовыми оттенками, характеризующимися наличием полезных компонентов, являются бледно-зеленые, бледно-коричневые и бледно-розовые, в то время как остальные характеризуют наличие «пустой» (включающей) породы.

Для каждого образца в двадцати точках его поверхности выполнены измерения спектральных характеристик, имеющих характерные для данной рудной пробы цветовые оттенки. По спектрофотометрическим данным рассчитаны характерные цветовые оттенки и в результате их анализа, а также особенностей представления каждого из рассмотренных цветовых пространств, определены пороги различения каждого из полезных цветовых оттенков (Табл. 1).

Таким образом, все оттенки, не входящие в установленные пороги различения, автоматически причисляются к классу «пустой» породы. В оптической сортировке для разделения полезных минеральных образцов от образцов пустой несущей породы

и используется относительное значение (процент) «пустых» оттенков на изображении исследуемого минерального образца. Если процент «пустых» оттенков на изображении образца больше указанного порога, то его следует относить к образцам пустой несущей породы, если меньше – считать полезным.

Таблица 1

Границы рабочих диапазонов различения полезных цветовых оттенков на изображениях минеральных образцов пробы кварцитов для трех цветовых пространств

RGB	Бледно-зеленые			Бледно-розовые		
	R	G	B	R	G	B
	66	71	69	72	70	66
Yuv	Y	U	V	Y	U	V
	(30...85)	(-112...12)	(-50...5)	(70...90)	(-15...40)	(-15...15)
HSL	H	S	L	H	S	L
	(70...240)	(0...30)	(0...30)	(0...40)	(0...20)	(5...28)
Бледно-коричневые						
RGB	R		G	B		
	57		54	48		
Yuv	Y		U	V		
	(48...75)		(-65...0)	(5...40)		
HSL	H		S	L		
	(20...60)		(15...70)	(0...70)		

С помощью разработанного автором ПО для макета ОЭС ОСМС определены все зоны цветности партии кварцитов, автоматически рассчитаны площади полезных участков и с учетом полученных данных определены показатели ОСМС данной пробы минералов месторождения «Эльмусская площадь» для ряда порогов разделения во всех рассматриваемых цветовых пространствах (Табл. 2).

Таблица 2

Показатели ОСМС для исследованной пробы кварцитов

Цветовое пространство	Значения порога разделения, %				
	50	60	70	80	90
	Оценка степени обогатимости пробы, %				
RGB	30,72	39,38	43,00	52,61	89,31
Yuv	38,53	48,03	59,66	72,37	100,00
HSL	13,29	44,50	47,70	56,90	100,00

По сравнительным показателям ОСМС видно, что наиболее эффективно проводить анализ рассмотренной пробы кварцитов при помощи цветовых пространств YUV и HLS, а наименее эффективно – при помощи RGB. Это дает первичное представление о выборе необходимого оптического сортировочного комплекса для работы с конкретным типом руды (сырья конкретного месторождения).

Заключение

Полученные результаты полностью соответствуют представлению свойств анализируемых объектов в цветовых пространствах RGB, YUV и HSL, рассмотренных ранее. Взаимозависимость каналов цветности в пространстве RGB делает его менее пригодным для эффективной классификации тонких цветовых оттенков, этим и обусловлена его низкая эффективность относительно других моделей описания цвета. Разделение составляющих на одну яркостную (координата Y) и две цветоразностные (координаты u, v) увеличивает эффективность использования модели YUV для реализации сепарации минерального сырья

оптическим методом. Выделение цветового тона (координата H), насыщенности (координата S) и светлоты (координата L) в качестве параметров анализируемых оттенков (система HSL) приводит к получению похожих результатов.

Применительно к практике оптической сепарации важным является определение оптимального порога разделения для руды/партии конкретного месторождения, поскольку он должен выбираться исходя из соответствия действительному минералогическому описанию партии. Что касается исследуемого материала, то данная партия кварцитов не является представительной пробой месторождения. Она содержала лишь двадцать минеральных образцов, однако каждый из них снимался на камеру с двух сторон. Очевидно, что чем больше количество образцов анализируемой рудной пробы, тем точнее показатели порогов разделения (которые и используются всеми оптическими сепараторами). Помимо этого, применялись и линейные пороги рабочих диапазонов различения. Возможно, при использовании нелинейных порогов различения эффективность применения рассмотренных цветовых пространств увеличится.

Публикации

1. Chertov A.N., Gorbunova E.V., Alekhin A.A., Korotaev V.V., Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P. New opportunities of pegmatites enrichment by optical sorting // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9530. P. 95300J.
2. Патент РФ 2560744 «Способ разделения минерального сырья оптическим методом», опубл. 20.08.2015.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2015617104 «Настройка рабочих параметров видеокамер», опубл. 30.06.2015.

Литература

1. Никулин А.И., Романчук А.И. и др. Технология переработки золотосодержащих руд месторождения Сухой Лог с предварительной крупнокусовой фотометрической сепарацией // Руды и металлы. 2009. № 2. С. 68–77.
2. Рябкин В.К., Литвинцев Э.Г. и др. Полихромная фотометрическая сепарация золотосодержащих руд // Горный журнал. 2007. № 12. С. 88–93.
3. Von Ketelhodt L. Viability of optical sorting of gold waste rock dumps // Proceedings of World Gold Conference 2009. Gauteng, 2009. P. 271–277.
4. Обзор алмазодобывающей отрасли России [Электронный ресурс] // Advisers: информационно-аналитическое агентство [Официальный сайт]. URL: www.advisers.ru/file/advisers/almaz.pdf (дата обращения: 14.05.2014).
5. Dehler M. Optical sorting of ceramic raw materials // Tiles and Bricks International. 2003. Vol. 19. No 4. P. 248–251.
6. Harbeck H. Optoelectronic separation in feldspar processing at Maffei Sarda // Aufbereitungstechnik. 2001. Vol. 42. No 9. P. 438–444.
7. Кобзев А.С., Брылов Д.С. и др. Применение фотометрической сортировки при переработке промышленных и твердых бытовых отходов // Экологические проблемы индустриальных мегаполисов. Труды IV международной научно-практической конференции, Москва, 2007, стр. 56–59.
8. Юстова Е.Н. Цветовые измерения (Колориметрия). СПб., 2000. – 397 с.
9. Кобзев А.С., Алушкин И.В. и др. Результаты полупромышленных испытаний предварительного обогащения золотосодержащих руд месторождения Коневинское методом фотометрической сепарации // Обогащение руд. 2014. №2. С. 10–14.
10. Habich U. Sensor-based sorting systems in waste processing // International Symposium MBT. 2007. P. 308–315.
11. Alekhin A.A., Chertov A.N. et al. Optical-electronic system for express analysis of mineral raw materials dressability by color sorting method // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8791. P. 87911N.



Антонов Артем Александрович
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра производственного менеджмента и трансфера технологий
E-mail: antoine.rokanten@gmail.com

СОЦИАЛЬНОЕ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО И ЛИЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРСОНАЛА

А.А. Антонов

Научный руководитель – профессор М.А. Макаrenchенко

Цели работы – интерпретация термина «социальный предприниматель» в научной литературе и выделение для него наиболее целостного определения. Далее будут сформулированы характерные черты социальных предпринимателей и проанализированы особенности их деятельности.

Ставится задача рассмотреть связь определенных личностных характеристик сотрудников, занимающихся социальным предпринимательством, с выбором ими такой профессиональной деятельности. Речь в данном случае пойдет именно о сотрудниках организаций, занимающихся социальным предпринимательством, а не о социальных предпринимателях.

Характерными для организаций, занимающихся социальным предпринимательством, являются следующие моменты: социальное воздействие, инновационность, самокупаемость и финансовая устойчивость, масштабируемость и тиражируемость, предпринимательский подход, позволяющий находить возможности аккумулировать ресурсы и разрабатывать новые решения, оказывающие устойчивое позитивное влияние на общество [1].

Социальное предпринимательство развивается, как правило, в тех сегментах, на которые государство не может оказать необходимого влияния по каким-либо причинам. Однако существует тесная связь между финансированием социальных проектов бизнеса государством и реализацией этих программ социальным предпринимателем на рыночных принципах.

Рассматривая развитие социального предпринимательства, следует отметить его связь с инновационной деятельностью. Одним из важных его признаков является поиск перспектив и видение провалов рынка, а также их эффективное разрешение, оказывающее долгосрочное позитивное влияние на общество в целом.

Социальное предпринимательство нуждается в таком определении, которое бы соответствовало знаниям о предпринимательстве в общем понимании этого термина.

Согласно научной литературе предпринимательство – это набор особых видов деятельности, совершаемых определенными людьми с исключительным видом мышления с целью максимизации прибыли. Таким образом, процесс деятельности этих людей тесно связан с результатом и получением выгоды [2].

В научной литературе предпринимателей отличают от деловых людей, основываясь на утверждении, что предприниматели «создают потребности», в то время как деловые люди «удовлетворяют потребности». Предприниматели представляются как люди, которые видят мир по-другому и могут предвидеть изменения среды. Они используют возможности, мимо которых иной бы прошел, не заметив их, а также осознают и принимают риски.

Основными характеристиками предпринимателя как субъекта экономической и инновационной деятельности являются:

- ориентация на инновации;
- творческий подход к делу;
- ориентация на успех и прибыль;
- готовность принимать риски;
- преданность делу и идее;
- инициативность;
- организаторские способности;
- стратегическое мышление;
- создание экономического блага;
- способность и готовность использовать новые возможности;
- лидерские качества;
- проницательность;
- стойкость [3].

Хотя использование термина «социальный предприниматель» набирает обороты, область их деятельности до сих пор строго не определена и находится на стадии разработки. Большинство ученых не воспринимают социальное предпринимательство как часть предпринимательской деятельности в общем понимании этого термина.

Основываясь на ранее проведенных исследованиях и обратив внимание на ключевые характеристики социального предпринимателя, можно утверждать, что социальный предприниматель – это индивид, ставящий в приоритет выполнение определенной общественной миссии, решение которой благоприятно повлияет на нуждающуюся в ней часть населения. Для реализации этой миссии используется предпринимательский подход как возможность осуществления экономической деятельности в рамках финансово-независимой, финансово-устойчивой и экономически-эффективной инновационной компании.

Из определения следует, что отличительными особенностями социального предпринимательства от других форм предпринимательства являются:

- ориентация на выполнении определенной социальной миссии, направленной на удовлетворение социальных потребностей в тех областях, где это необходимо;
- деятельность осуществляется в компаниях, которые имеют сильную культуру в области инноваций и функционирование которых достаточно прозрачно;
- соединение экономической и социально-ориентированной деятельности.

Организация должна функционировать эффективно для того, чтобы быть финансово-устойчивой и независимой. В рамках рассматриваемой темы не меньший интерес вызывает роль организационной культуры компании, которая выступает мощным рычагом регулирования взаимодействий и связей внешней и внутренней среды организации в условиях современного менеджмента. Она пронизывает все уровни организации, в частности оказывает непосредственное влияние на взаимодействие кадровых ресурсов, обеспечивающих ее функционирование.

В социальном предпринимательстве роль организационной культуры может быть особенно значимой, так как она подразумевает большую вовлеченность сотрудников в процесс деятельности организации или конкретного проекта. Это объясняется тем, что, работая на социальном предприятии, и сотрудник, и социальный предприниматель не должны преследовать цели одностороннего получения прибыли из проекта. В данном случае прибыль выступает вторичной целью, а на первое место выходит социальная миссия, которую несет в себе проект. Для комфортного осуществления своих обязательств и функций сотрудник должен чувствовать принадлежность к группе и вовлеченность в трудовой процесс. Организационная культура в данном случае выступает необходимой для этого почвой.

Заключение

Профессионально-личностное становление и развитие сотрудника сферы социального предпринимательства предусматривает формирование профессионального призвания, получение профильного образования, высокую квалификацию и развитие духовно-нравственных качеств, а также навыков саморегуляции и самосовершенствования.

Реализация программ развития социального предпринимательства в России позволит увеличить социальный капитал, уменьшить уровень безработицы, повысить уровень жизни населения, а также сформировать сферу деятельности, в которой определенная социальная группа людей сможет заниматься эффективной экономической деятельностью в соответствии со своими психологическими характеристиками. В результате это увеличит устойчивость экономического развития страны [4].

Таким образом, социальное предпринимательство выступает инновационным рыночным инструментом, направленным на решение общественных проблем в условиях современной рыночной экономики России, а также формирует собой новую область деятельности экономических субъектов.

Проведение исследования в данной области указывает на то, что социальное предпринимательство развивается на практическом, но не на теоретическом уровне. Необходимо развивать теоретические основы социального предпринимательства и более детально рассматривать связи и различия с теорией бизнес-предпринимательства и менеджмента.

Публикации

1. Антонов А.А., Макаrenchенко М.А. Организационная культура в системе факторов инновационного потенциала организации [Электронный ресурс] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2013. № 1 (12). URL: economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/28.pdf (дата обращения: 15.10.2015).
2. Макаrenchенко М.А., Лопатин Д.А. Кадровый инновационный потенциал в структуре инновационного потенциала организации [Электронный ресурс] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2013. № 1 (12). URL: economics.ihbt.ifmo.ru/file/article/8903.pdf (дата обращения: 15.10.2015).

Литература

1. Фонд региональных социальных программ «Наше будущее» [Электронный ресурс]. URL: nb-fund.ru (дата обращения: 18.10.2015).
2. Haidar J.I. Impact of business regulatory reforms on economic growth // Journal of the Japanese and International Economies. 2012. Vol. 26. No 3. P. 285–307.
3. Позняков В.П. Социально-психологические характеристики российских предпринимателей с разным уровнем деловой активности // Знание. Понимание. Умение. 2013. №4. С.212–220.
4. Кикал Дж. Социальное предпринимательство: миссия – сделать мир лучше. М., 2014. – 304 с.



Баранов Александр Николаевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра оптоинформационных технологий и материалов
E-mail: a.n.baranov@hotmail.com

ЛАЗЕРНЫЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ ЗЕРКАЛА ДЛЯ ЗАДАЧ МЕДИЦИНСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ В ДИАПАЗОНЕ 5,75–8 МКМ

А.Н. Баранов

Научный руководитель – профессор Л.А. Губанова

Цели работы – выбор оптимальных по критерию минимального поглощения пар пленкообразующих материалов с высоким и низким показателями преломления, технологических режимов их осаждения на оптические элементы, а также синтез интерференционных зеркал с отражением не менее 99 % на длине волны 6,1 мкм.

В ходе работы была проведена серия экспериментов по поиску малопоглощающих слоев материалов среди различных их классов в спектральном диапазоне 5,75–8 мкм. Изготовление одиночных слоев и покрытий проводилось на вакуумной напылительной установке «Ортус-700» методами электронно-лучевого и резистивного испарения (ООО «Изовак»). Важным критерием при этом было отсутствие полос поглощения на длинах волн 2,7–3,0 мкм ($3700\text{--}3300\text{ см}^{-1}$) и 6,0–6,1 мкм ($1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$), определяемых колебаниями молекул воды. По результатам исследования, можно утверждать, что практически все распространенные на практике оксиды не удовлетворяют этому критерию, за исключением пленок SiO и Al₂O₃. В классе фторидов лучшая прозрачность у PbF₂, малое поглощение за счет водяных полос наблюдается у BaF₂ и YbF₃ при использовании дополнительного нагрева и обработки ионами. Хорошими кандидатами являются Ge, ZnS и ZnSe.

Оптические постоянные слоев определялись методом огибающих (envelope technique) по данным спектрофотометрических измерений коэффициента пропускания и отражения [1]. Указанный метод позволяет определить реальную и мнимую компоненты показателя преломления и неоднородность на длинах волн, соответствующих интерференционным максимумам и минимумам, а также геометрическую толщину слоя.

Анализ данных показал, что оптимальный режим осаждения позволяет получить значение однородности показателя преломления, сравнимое по величине с погрешностью метода. Соответствующие скорости нанесения слоев представлены в Табл. 1, оптические и эксплуатационные свойства – в Табл. 2. Группа механической прочности и влагостойкости определялась в соответствии с ГОСТ-1901-95. Температура нагрева при осаждении слоев составляла 250 °С, если иное не указано явно.

Таблица 1

Скорость осаждения слоев из выбранных пленкообразующих материалов

Материал	Скорость осаждения, Å/сек
YbF ₃ , ZnSe	5
PbF ₂ , ZnS, BaF ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO, Ge, ZnSe	20

Далее для синтеза высокоотражающего интерференционного зеркала на длине волны 6,1 мкм были выбраны следующие пары пленкообразующих материалов: Ge – SiO, PbF₂ – ZnSe. Системы на их основе должны иметь хорошую адгезию к подложке, высокую

механическую прочность, влагостойкость, малое поглощение в рассматриваемой области высокого отражения, относительно высокую лучевую прочность.

Таблица 2

Оптические и эксплуатационные свойства слоев из выбранных пленкообразующих материалов (Н/Д – нет данных; n – показатель преломления)

Материал	n , 0,5 мкм	n , 1,5 мкм	n , 4 мкм	n , 10 мкм	Механическая прочность	Влагопрочность
SiO	Н/Д	1,84	1,86	Н/Д	Н/Д	Н/Д
BaF ₂	1,42	1,4	1,38	1,35	II	II
Al ₂ O ₃	1,62	1,59	1,57	Н/Д	Н/Д	Н/Д
YbF ₃	1,52	1,51	1,48	1,48	0	I
PbF ₂	1,74	1,73	1,68	1,65	I	I
ZnS (100 °C)	2,38	2,24	2,2	2,16	I	I
ZnSe	2,55	2,4	2,35	2,3	I	I
Ge	Н/Д	-	3,9	3,92	Н/Д	Н/Д

Ge – SiO

Пара германия и монооксида кремния является универсальной в области спектра 2–8 мкм из-за хорошей совместимости материалов и большой разницы в показателе преломления. Среди распространенных конструкций большую разницу имеет только пара германия с фторидом стронция, которая, хоть и обладает высокой термоустойчивостью, существенно проигрывает первой по механической прочности и влагостойкости.

Для получения коэффициента отражения более 99 % на оптическом элементе из флюорита (3 мм) было осаждено девять чередующихся слоев, оптической толщиной 1525 нм каждый. Спектральная характеристика отражения получена на Фурье-спектрометре Vertex 80 (Bruker Optik GmbH) с дополнительной приставкой полного отражения (рис. 1). Коэффициент отражения в максимуме 99,3 %.

При нанесении указанной пары материалов на нагретые до 250–300 °С оптические элементы достигается высокая механическая прочность покрытия, влагостойкость и сопротивляемость к термоудару (± 50 °С), что позволяет применять изделия без специальных мер защиты.

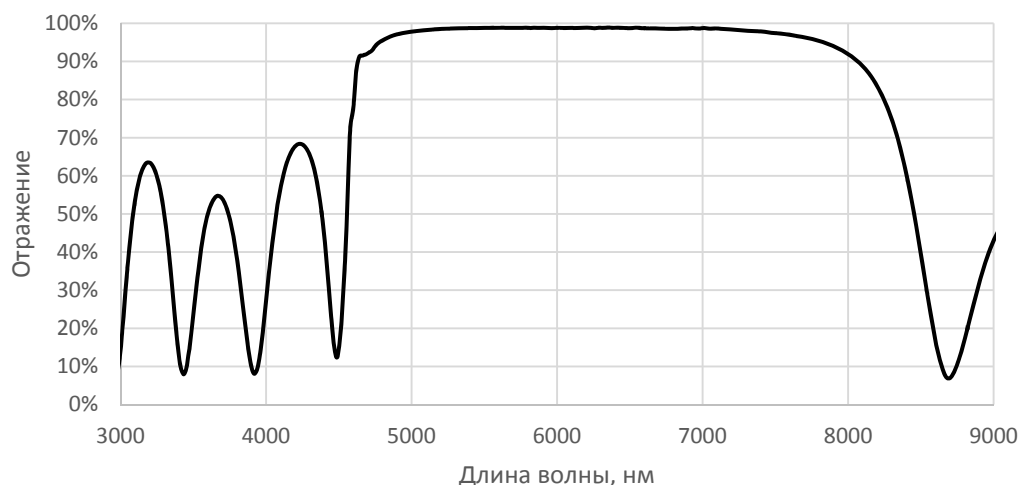


Рис. 1. Спектральная характеристика отражения элемента с зеркальным покрытием из Ge – SiO

PbF₂ – ZnSe

Пара селенида цинка и фторида свинца более распространена на практике, чем германий и монооксид кремния, из-за большей области прозрачности (в видимой области

уже рассмотренные материалы полностью непрозрачны), более слабых требований к вакууму и т. д.

В ходе эксперимента на оптический элемент из флюорита (3 мм) были осаждены девятнадцать чередующихся слоев, оптической толщиной 1525 нм каждый. Спектральная характеристика отражения представлена на рис. 2, коэффициент отражения в максимуме составляет 99,1 %.

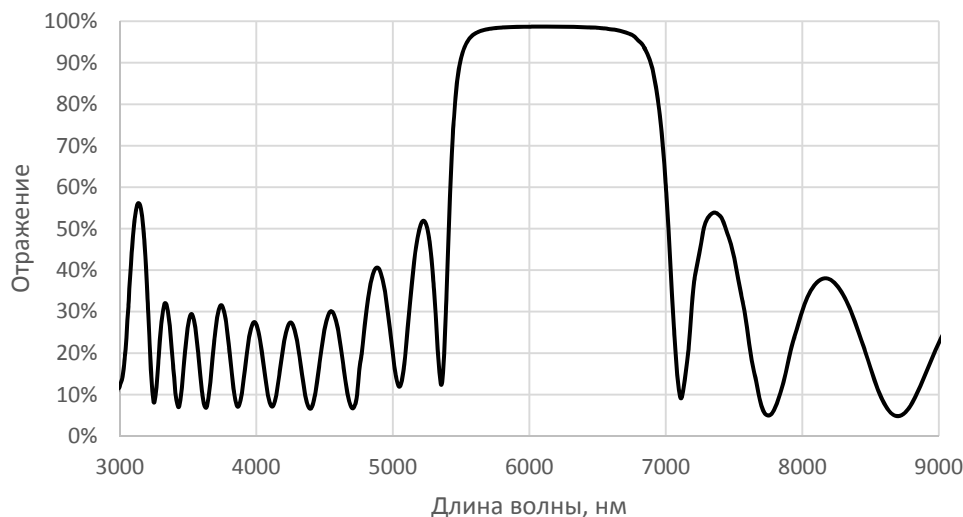


Рис. 2. Спектральная характеристика отражения элемента с зеркальным покрытием из PbF_2 – ZnSe

Заключение

В работе была решена задача синтеза интерференционного зеркала с отражением не менее 99 % на длине волны 6,1 мкм.

При выборе из двух предложенных вариантов зеркал рекомендуется обратить внимание на требования к лазерной стойкости покрытий, требуемой ширине области высокого отражения, стоимости изделия, на регламенты по безопасности на предприятии. Последнее связано с токсичностью как ZnSe , так и PbF_2 .

Обе конечные структуры обладают поглощением в слоях и рассеянием на их границах. Котликовым ранее было показано, что компонента рассеяния в комбинации селенида цинка с пленками фторидов составляет в случае зеркал около 0,3–0,5 % [2], а значит – на поглощение в толщине слоев в нашем случае приходится 0,2–0,4 %.

Разработанные и изготовленные зеркала планируется использовать при создании прототипа мультиволнового хирургического аппарата среднего инфракрасного диапазона с плавной перестройкой в области 5,75–8 мкм, который обеспечит высокоточное рассеечение и послойную деструкцию мягких тканей при проведении различных операций на микроуровне, на базе твердотельных лазеров и разработанных покрытий. Такие аппараты высокоточной атравматической хирургии могут найти широкое применение в специализированных медицинских хирургических центрах, хирургических отделениях республиканских, областных и районных клинических больниц для задач хирургии глаза (фенестрации оптического нервного влагалища, витрео- и ретиальной хирургии, нейрохирургии, ангиопластики, абляции твердых тканей (остеотомия, стоматология, урология) и других). [2].

Публикации

1. Baranov A.N., Muranova G.A. Optimizing the composition of mixed films for the IR region // Journal of Optical Technology. 2014. Vol. 81. No. 4. P. 227–230.

Литература

1. Шаганов И.А. Определение оптических констант слабопоглощающих диэлектрических слоев на прозрачной подложке // Оптико-механическая промышленность. 1988. № 8. С. 39–41.
2. Котликов Е.Н. Исследование поглощения в зеркалах и пленках из селенида цинка и фторидов // Оптика и спектроскопия. 1991. Т. 70. № 4. С. 838–841.
3. Серебряков В.А. Опорный конспект лекций по курсу «Лазерные технологии в медицине». СПб., 2009. – 266 с.



Башмаков Даниил Андреевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
E-mail: basme@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ RS-АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ КАНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Д.А. Башмаков

Научный руководитель – доцент Н.Н. Прохожев

Цель работы – исследование зависимости практической эффективности RS-анализа от характеристик маски, подаваемой на вход в качестве параметра. Наблюдения проводятся на широком диапазоне характеристик изображения и объемов полезной нагрузки, в том числе для прямоугольных масок.

RS-анализ – это алгоритм стеганоанализа, впервые представленный группой исследователей в 2003 году. Несмотря на свою простоту, он использует один из наиболее базовых индикаторов стеганографического встраивания в изображение, благодаря чему остается эффективным, быстрым и популярным даже в сравнении с наиболее передовыми средствами стеганоанализа на сегодняшний день.

В процессе работы были проведены экспериментальные исследования практической эффективности системы статистического стеганоанализа на основе алгоритма стеганоанализа RS для большой выборки масок. В проекте использованы методы теоретического и эмпирического исследования. Проведено большое количество экспериментов на объемной выборке неподвижных цифровых изображений.

Для симуляции стеганосистемы использован метод Монте-Карло, широко применимый в задачах определения статистических вероятностей ошибок [1, 2]. Суть метода состоит в генерации псевдослучайных выборок и сообщений, имитирующих неизвестную перехватчику логику отправителя. Процесс симуляции по методу Монте-Карло проиллюстрирован на рис. 1.

Из доступного множества изображений псевдослучайным образом формируется тестовая выборка. Отправитель, получая изображение из выборки, в соответствии с принятым решением либо встраивает при помощи стеганосистемы получаемое сообщение, формируя стеганопосылку, либо оставляет контейнер пустым. Контейнер или стеганопосылка отправляются перехватчику, который проводит анализ, производя классификацию полученного изображения как стеганопосылки или пустого контейнера.

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

Получатель присутствует в системе номинально, не принимая участия в эксперименте. Результат классификации перехватчиком отправляется в блок сравнения, где сравнивается с подлинной классификацией. Совпадение означает корректную классификацию. Несовпадение – ошибку. Описанный процесс повторяется для каждого сообщения из тестовой выборки.

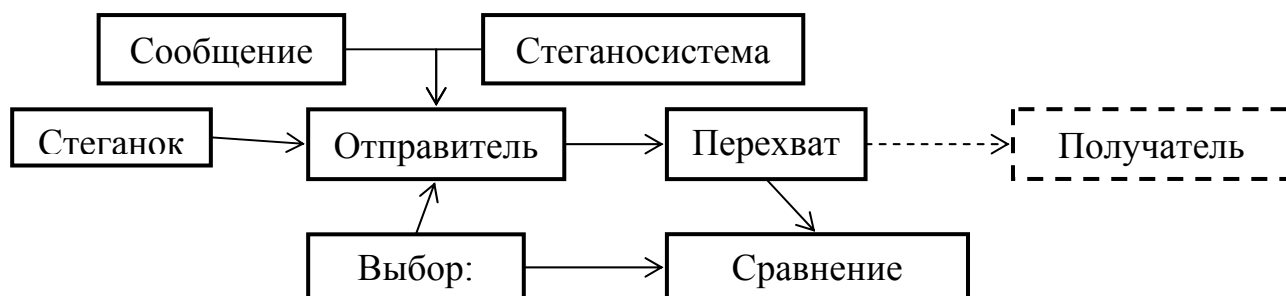


Рис. 1. Процесс симуляции по методу Монте-Карло

Итоговый результат эксперимента – количество успешных и неуспешных классификаций.

Для оценки точности стеганоанализа используется кривая доверительных интервалов (region of confidence curve, ROC). Кривая ROC выражает зависимости между вероятностью корректной классификации и вероятностью ложной положительной классификации.

На первом этапе был реализован алгоритм RS-анализа, способный оперировать в ходе работы непрямоугольной маской. В этом случае на вход алгоритма поступает маска, являющаяся комбинацией нескольких масок прямоугольной формы, имеющих общие грани, но не пересекающихся друг с другом. Алгоритм комбинирует их в бинарный массив непрямоугольной формы и использует в качестве входной маски.

Возникающая при этом проблема «мертвых зон» на краях анализируемого изображения решена сдвигом маски частично за пределы изображения. Фактически применяемая при этом маска является пересечением области изображения и оригинальной используемой маски. Решение проиллюстрировано на рис. 2.



Рис. 2. Решение проблемы применения непрямоугольной маски

При этом в зависимости точности RS-анализа от параметров маски вносятся искажения, так как фактически часть изображения анализируется масками отличной формы. В ходе

работы доказано, что доля изображения, анализируемого маской иной формы, чем подаваемой на вход алгоритму, оценивается по формуле:

$$i = \frac{(a+b)(s-r)}{abs}, \quad (1)$$

где a , b – размеры анализируемого изображения по горизонтали и вертикали, s – область наименьшего возможного прямоугольника, целиком заключающего в себя маску, r – площадь маски. Линейные размеры измеряются в пикселях. Из анализа отношения следует, что для случая

$$ab \gg s, \quad (2)$$

доля изображения i несущественно мала. Использование масок, удовлетворяющих условию (2), обосновано в [3].

Таким образом, обоснована возможность оценки точности системы стеганоанализа на основе алгоритма RS при применении маски прямоугольной формы тем же способом, что и при применении маски прямоугольной формы. Это позволило применить способ оценки, описанный в [3], для значительно большей выборки масок, удовлетворяющих условию (2).

На втором этапе проведено исследование зависимости практической точности системы стеганоанализа на основе алгоритма RS для большой тестовой выборки изображений. Для проведения эксперимента была использована выборка мощностью 100 тыс. полутоновых изображений разрешениями от 320 на 240 до 1400 на 1050 пикселей. Формат изображений PNG. Для увеличения разнообразия тестовых данных изображения также обрабатывались фильтрами. Набор фильтров и соответствующие изменения в точности стеганоанализа описаны в [4]. Ожидаемая точность RS-анализа при использовании стандартной маски, описанной создателями алгоритма в [5], найдена и приведена в [6].

Каждое изображение из тестовой выборки было подвергнуто встраиванию в область наименьших значащих бит с полезной нагрузкой в интервале от 1 до 10 %. Затем изображение тестировалось последовательно с использованием набора масок из выборки масок.

Выборка масок формировалась в зависимости от размера изображения. В нее попадали все маски, являющиеся суперпозицией прямоугольников и удовлетворяющие требованию:

$$\frac{ab}{s} \geq 10^5. \quad (3)$$

В результате обработки полученных данных было показано, что некоторые прямоугольные маски позволяют достичь большей практической точности стеганоанализа, чем любые прямоугольные из данной выборки. Результат устойчив для большой доли тестовой выборки изображений.

На рис. 3 приведены графики доверительных интервалов при использовании маски M_e , представленной выражением (4), и при использовании наиболее эффективных прямоугольных масок, найденных в работе [3] и представленных в виде (5). Из рисунка видно, что маска M_e более эффективна по сравнению с остальными. Графики иллюстрируют случай для полутонового изображения разрешением 1040 на 940 пикселей для мощности встраивания 3 %. Результат устойчив для мощности встраивания от 1 до 10 % на 99,5 % изображений тестовой выборки.

$$M_e = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, M_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, M_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, M_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

На третьем этапе работы были рассчитаны свойства использованных масок. При этом учитывались результаты, полученные в работе [7].

Для исследования были отобраны характеристики, заимствованные из области оценки параметров цифровых изображений, адаптированные для использования на бинарных данных:

- бинарная яркость – степень преобладания элементов со значением 1 в маске;
- средний градиент бинарной яркости;
- дисперсия яркости маски;
- усредненная оценка тоновой насыщенности (в представлении бинарной маски как однослойного изображения);
- резкость маски;
- гладкость маски [8];
- шумность (энтропия интенсивности элементов маски).

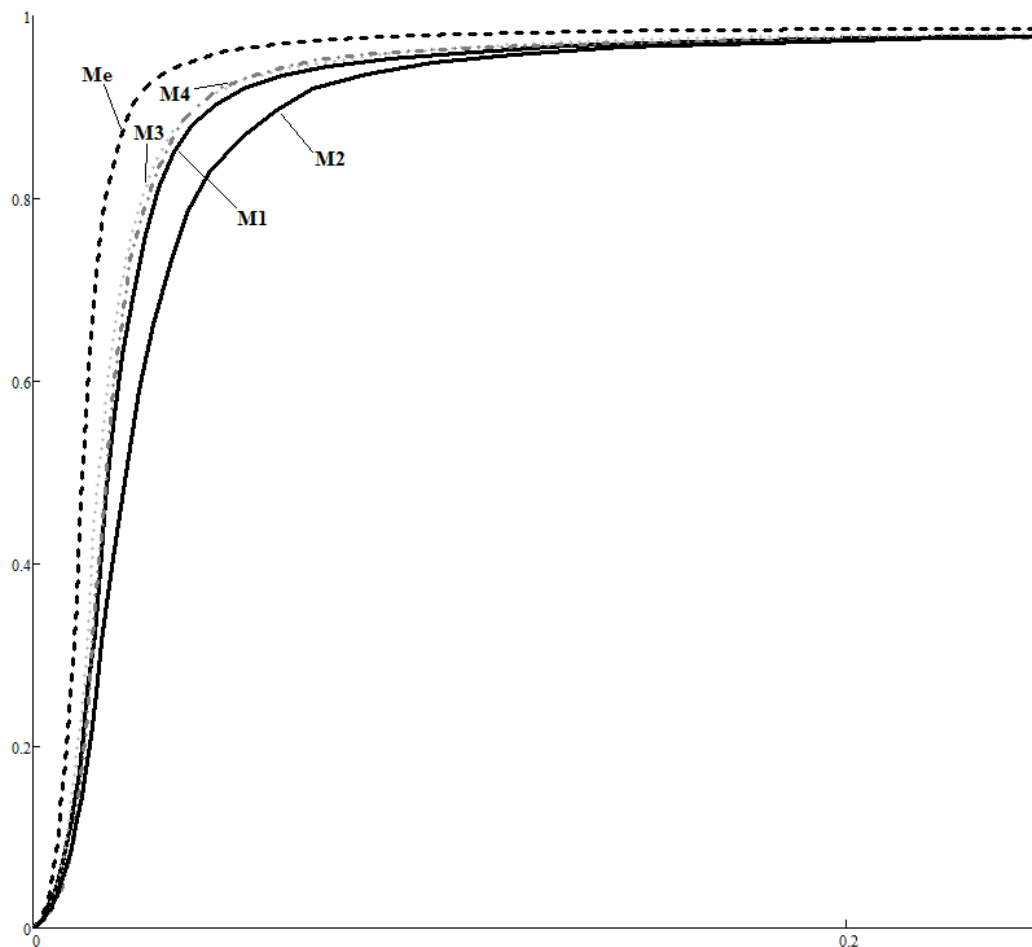


Рис. 3. Кривые доверительных интервалов для исследуемых масок

Для оценки характеристик прямоугольных масок был выработан способ, основывающийся на их представлении в виде суперпозиции ряда прямоугольных масок. Итоговая характеристика прямоугольной маски усредняется по набору составляющих прямоугольных масок. Для оценки зависимости точности статистического стеганоанализа от характеристик маски использовалось нормирование характеристик и усреднение результатов точности по выборке тестовых изображений и их вариантов с учетом обработки фильтрами.

Нормированное значение характеристики маски для заданного тестового набора масок рассчитывалось по формуле:

$$C_n = \frac{C(m_n) * K}{\sum_{k=1}^K C(m_k)}, \quad (6)$$

где C_n – нормированное значение характеристики для маски m_n , K – мощность выборки масок, к которой принадлежит маска m_n .

В наглядном виде результаты были представлены в виде графиков, где по оси абсцисс отсчитаны нормированные по выборке масок значения характеристик маски, а по оси ординат – усредненная по выборке изображений практическая точность стеганоанализа с использованием масок данной выборки. Данные о зависимости точности от параметров маски усреднялись по объемам встраивания в диапазоне от 1 до 10 %.

Для случая прямоугольных масок единственная характеристика, показавшая устойчивую закономерность, – шумность маски.

Общая зависимость практической точности стеганоанализа от параметра шумности приближенно описывается как линейная:

$$E \sim N(m), \quad (7)$$

где E – степень практической точности стеганоанализа, N – функция шумности, m – применяемая маска стеганоанализа.

Достигнутый результат может быть применен при построении систем стеганоанализа на основе алгоритма RS в условиях, требующих сочетания высокой точности и скорости, например:

- стеганоанализ большого количества изображений, передаваемых по каналу с высокой пропускной способностью в реальном времени;
- стеганоанализ с целью обнаружения встраивания в базовые кадры потокового видео в реальном времени.

Система стеганоанализа на основе алгоритма RS с оптимальной маской может быть применена в задачах противодействия скрытому обмену противозаконной информацией.

Заключение

Рассмотрена практическая точность системы стеганоанализа на базе алгоритма стеганоанализа RS в зависимости от параметра маски. Анализ зависимости точности от характеристик маски позволил выявить общую закономерность точности от параметра шумности маски. Это дает возможность подбирать наиболее эффективную маску для любой выборки тестируемых изображений.

Реализован алгоритм RS-анализа, способный оперировать непрямоугольными масками, что позволяет увеличить доступную их выборку в рамках условий, описанных в [3]. Показано, что использование непрямоугольных масок позволяет добиться большей эффективности стеганоанализа на большинстве исследуемых тестовых выборок изображений.

Полученные результаты применимы для построения систем статистического стеганоанализа на основе алгоритма RS с автоматическим подбором оптимальной маски на основании массива тестируемых изображений и их характеристик.

Публикации

1. Сивачев А.В., Башмаков Д.А., Михайличенко О.В., Коробейников А.Г. Эффективность применения статистических алгоритмов стеганоанализа в задачах детектирования факта скрытой передачи информации посредством LSB стеганографии в различных цветовых плоскостях изображений // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2014. С. 274–280.
2. Сивачев А.В., Башмаков Д.А., Коробейников А.Г., Михайличенко О.В. Практическая точность статистического стеганоанализа неподвижных изображений при предварительной обработке контейнера фильтрами // Информационные технологии в профессиональной

деятельности и научной работе: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2015. С. 106–114.

3. Башмаков Д.А., Сивачев А.В., Прохожев Н.Н. Влияние параметров маски на практическую точность RS-анализа // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых учёных. СПб., 2015. С. 50–54.

Литература

1. Choundary K. Image steganography and global terrorism // International Journal of Scientific & Engineering Research. 2012. Vol. 3. No 7. P. 1–12.
2. Schaatum H.G. Machine learning in image steganalysis. 2012. – 296 p.
3. Башмаков Д.А., Сивачев А.В., Прохожев Н.Н. Влияние параметров маски на практическую точность RS-анализа // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых учёных. СПб., 2015. С. 50–54.
4. Сивачев А.В., Башмаков Д.А. и др. Практическая точность статистического стеганоанализа неподвижных изображений при предварительной обработке контейнера фильтрами // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2015. С. 106–113.
5. Fridrich J., Goljan M., Du R. Reliable detection of LSB steganography in color and grayscale images // Proceedings of the 2001 Workshop on Multimedia and Security: New Challenges. 2001. P. 27–30.
6. Прохожев Н.Н., Башмаков Д.А. и др. Исследование эффективности применения статистических алгоритмов количественного стеганоанализа в задаче детектирования скрытых каналов передачи информации // Программные системы и вычислительные методы – 2015. Т. 3. С. 6
7. Ker A.D. Quantitative evaluation of pairs and RS steganalysis // Proceedings of SPIE. 2004. Vol. 5306. P. 83–97.
8. Mehlum E., Tarrou C. Invariant smoothness measures for surfaces // Advances in Computational Mathematics. 1998. Vol. 8. No 1. P. 49–63.



Боргуль Александр Сергеевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: borgulalexandr@gmail.com

АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНО-ФАЗОВЫМИ СИСТЕМАМИ С НАСЫЩЕНИЕМ ПО ВХОДУ

А.С. Боргуль

Научный руководитель – профессор А.А. Бобцов

Данная работа посвящена созданию:

– новых алгоритмов и методов интеллектуального управления сложными техническими динамическими системами с насыщениями во входном сигнале,

неопределенностями, запаздываниями и нестационарной внешней средой, а также с учетом ограничений на амплитуду входного сигнала;

- численных методов управления и программного обеспечения для их реализации;
- экспериментальному исследованию разработанных алгоритмов на основе полученных теоретических результатов.

Современное развитие теории адаптивного управления тесно связано с решением прикладных задач, в которых в явном виде присутствуют ограничения на амплитуду сигнала управления. Классические допущения отсутствия насыщения по управляющему входу в ряде случаев выглядят сильно преувеличенными. В то же время анализу и синтезу методов адаптивного управления с насыщением по входу уделялось недостаточно внимания, хотя данная тематика крайне актуальна. Методы устранения насыщения обычно являются предметом изобретений, относятся к коммерческой тайне фирм-производителей и защищаются патентами.

Таким образом, методы современной теории адаптивного управления в области насыщений управляющего сигнала недостаточно проработаны, а также не до конца исследовано их применение на практике

В исследовании можно выделить три значимые части. В первой из них была получена и предложена новая техника анализа систем на базе функций Ляпунова с использованием усредняющих функций и усредняющего метода Стеклова. Она направлена на получение уменьшающегося квадратичного критерия для линейных нестационарных систем и возрастающей устойчивости для нелинейных систем. Потенциал продемонстрирован с помощью получения новых критериев устойчивости на базе квадратичных и не квадратичных функций Ляпунова. В отличие от других исследований, в ней сделан упор на параметры входных задающих воздействий. В частности, метод работает в ситуации, когда для увеличения устойчивости системы требуется входное воздействие с большой амплитудой, но верно и обратное. Данные теоретические результаты сопровождаются численными примерами.

Во второй части исследования описаны полученные к текущему моменту результаты компенсации насыщений во входных сигналах при возмущающих воздействиях для системы движущихся в колонне электрокаров, которые для обобщения были представлены линейными динамическими блоками, описываемыми дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами и статической нелинейностью в обратной связи. Линейная составляющая системы имеет Гурвицев числитель и в общем случае неустойчивый знаменатель. Для указанного класса систем требовалось провести анализ и синтез методов адаптивного управления с учетом насыщения по входу, что и было сделано.

В третьей части исследования была реализована рабочая система, предложен готовый наукоемкий продукт, в котором, помимо компенсации возмущений, работы с неопределенностями в среде, были использованы методы адаптивной и робастной настройки. Это позволило реализовать и в полной мере продемонстрировать возможность применения результатов исследования на практике.

Устойчивость замкнутых систем является основой при разработке законов управления нелинейными системами. И если в линейных стационарных системах необходимо и достаточно использовать критерии типа Найквиста или Гурвица, то к нестационарным или нелинейным системам это неприменимо. Для них основой является второй метод Ляпунова. Но в данных задачах отсутствует систематический подход к построению функций Ляпунова. Однозначные методы конструирования функций Ляпунова доступны только для отдельных видов систем. Для примера рассмотрим моменты, которые связаны с абсолютной устойчивостью в рамках временных [1] или частотных спектров [2]. Максимальная производительность системы не может быть достигнута в силу консервативных свойств метода Ляпунова. Снижение требований к консервативным свойствам данного метода и повышение производительности является одной из задач нашего исследования. В то же время это реальная задача для многих практических применений. Таких, где система

управления подвергается влиянию возмущений во входном сигнале и контроллер разработан таким образом, чтобы все решения не зависели от начальных состояний, а сходились к общему процессу, определяемому входным сигналом. Для линейных систем с обратной связью такого состояния можно добиться, сделав замкнутую систему асимптотически устойчивой при отсутствии входного сигнала.

В случае с нелинейными системами ситуация значительно сложнее. Например, если даже система глобально асимптотически устойчива при отсутствии входных воздействий, достаточно большой сигнал может вызвать неустойчивое (хоть и ограниченное) поведение и/или множество устойчивых состояний. Условия, при которых это не так, рассмотрены во многих публикациях. Последние свойства были получены для периодических систем с правосторонней частью, где уникальные периодические глобально асимптотически устойчивые решения были названы сходящимися. Позднее сходящимися назвали все системы, где существует единственное решение, которое ограничено и определено на всей временной оси и глобально асимптотически устойчиво [3–5].

Исследование направлено на улучшение применения критерия Ляпунова для получения устойчивости линейных нестационарных систем и возрастающей устойчивости нелинейных систем через лучшее понимание относящихся к ним параметрических эффектов входа [6–8]. Предложен новый подход к процедуре разработки неквадратичных функций Ляпунова. Общий эффект использованных техник может быть описан как применение положительных определенных квадратичных форм вместо обычных функций Ляпунова, что позволяет не сходить постоянно вдоль траекторий системы, а наоборот то сходясь, то расходясь, добиваться среднего значения. Главным инструментом для решения данной задачи с математической точки зрения были выбраны усредняющие функции [9, 10]. И еще один компонент системы – это усредняющая техника Стеклова, основанная на знании свойств системы «вход-выход», подходящего выбранного выхода и соответствующих неравенств рассеивания.

Выгоды предложенной процедуры были рассмотрены сначала через получение нового критерия устойчивости для линейных нестационарных систем. Они добавляют к нормам H_0 замещение ограничения неопределенностей по времени на усредненную и соответственно ослабленную часть. Данный результат показан на примере маятника с переменной жесткостью, где полученные результаты превосходят предыдущие. Второй пример относится к глобальной устойчивости вынужденных колебаний в нелинейной системе. Рассматривалась система, имеющая множество практических применений, описываемая дифференциальным уравнением с негладкой правой частью, которая отображала насыщенные системы. Был получен новый не квадратичный критерий для общего вида таких систем, позволяющий им быть сходящимися. Критерий был показан через его специфичность и зависимость от условий входа для линейных систем с насыщением в обратной связи.

Предлагаемый метод позволил просчитать систему с двойным интегратором и насыщением в обратной связи, которая не только не удовлетворяет критерию зависимости от входа, но также является L_2 -неустойчивой. Для этого случая было предложено решение по расчету критерия устойчивости.

Рассмотрен еще один пример для ситуации, когда амплитуда возбуждения достаточно большая и множественные устойчивые состояния на периодически возбуждаемых колебаниях с кубической нелинейностью заменяются единственным глобально асимптотически устойчивым решением, колеблющимся с периодом возбуждения. В связи с большой сферой применения, например в коммуникациях, данный феномен заинтересовал исследователей. Рассмотрели упрощенный аналог, в котором заменили кубическую нелинейность на кусочную линейную функцию насыщения, и показали, что предлагаемая теория улучшает известный ранее критерий. Данное решение было полезно при практической реализации финального примера.

Теперь остановимся подробнее на второй задаче. Была предложена идея реализации и разработана конференц-система на основе аппаратуры общего назначения.

Проблема контроля акустической обратной связи актуальна на протяжении последних пятидесяти лет, и в наши дни методы работы над этой проблемой продолжают развиваться. В этом проекте данная проблема рассматривается в рамках задачи обработки речевого сигнала в спроектированной и реализованной конференц-системе. Она представлена в виде программного комплекса, содержащего мобильные приложения, устанавливаемые на стороне клиента, и серверное ПО, устанавливаемое на ПК администратора конференции. В рамках данной работы было предложено решение, позволяющее людям из зала использовать свои мобильные персональные устройства в качестве замены микрофона и связанной с ним системы звуковой аппаратуры. Система состоит из серверной части, реализованной в виде программы для организаторов мероприятий и мобильного приложения. При ее использовании в случае публичных мероприятий исключается необходимость применения высокобюджетных, сложных в обслуживании, рассчитанных на короткие дистанции, обладающих высоким уровнем помех и, самое главное, неудобных в использовании в рамках большого количества участников или высокой плотности размещения аудитории микрофонов. Однако при реализации разработанной системы возникает ряд проблем, связанных с ухудшением качества передаваемого аудиосигнала из-за наличия запаздываний и насыщения в системе, использования в рамках неопределенной внешней среды, а также из-за возмущений. Далее были найдены методы с акустической обратной связью, которые были адаптированы для решения задачи повышения качества звука в представленной среде.

Проведен анализ методов и описаны реализованные алгоритмы повышения качества передаваемого аудиосигнала. В качестве основных элементов обработки сигнала были применены методы с определенной и неопределенной моделями акустической среды, снижения усиления, фазовой модуляции, а также методы подавления воя и шума, многопараметрические эквалайзеры. Приведено описание практической реализации предложенных методов в представленной системе. Большая часть настройки производится в автоматическом режиме, но у пользователя остается возможность точной подстройки параметров, благодаря наличию широкополосного эквалайзера и ручного режима. Система схематически изображена на рис. 1 и структурно представлена на рис. 2.



Рис. 1. Схема разработанной конференц-системы, в которой были применены алгоритмы адаптивной компенсации задержек и насыщения

Методы понижения усиления чаще используют опыт ручной настройки системы обработки звука и предполагают три автоматических подхода: автоматическое понижение громкости сигнала, автоматические эквалаизация и фильтрация воя в частотной области режекторными фильтрами (Notch Howling Supression). Все три метода доступны для обработки на ПК. Наибольший интерес вызывает фильтрация режекторными фильтрами, синтез которых необходимо обеспечивать по ходу функционирования системы с теми параметрами, которые позволят повысить MSG. Сигнал, поступающий на систему обработки звука, анализируется в частотной области и по ряду критериев оценивается на наличие в нем узкополосной составляющей, которую можно охарактеризовать как нежелательную – так называемый вой (howling) акустической системы. Далее уточняется ее положение в частотной области и на основе результата анализа синтезируется узкополосный заграждающий фильтр, снижающий интенсивность сигнала на воющей частоте. Мы

использовали многокритериальное обнаружение, где частотой вой считается та, что была обнаружена каждым из критериев.

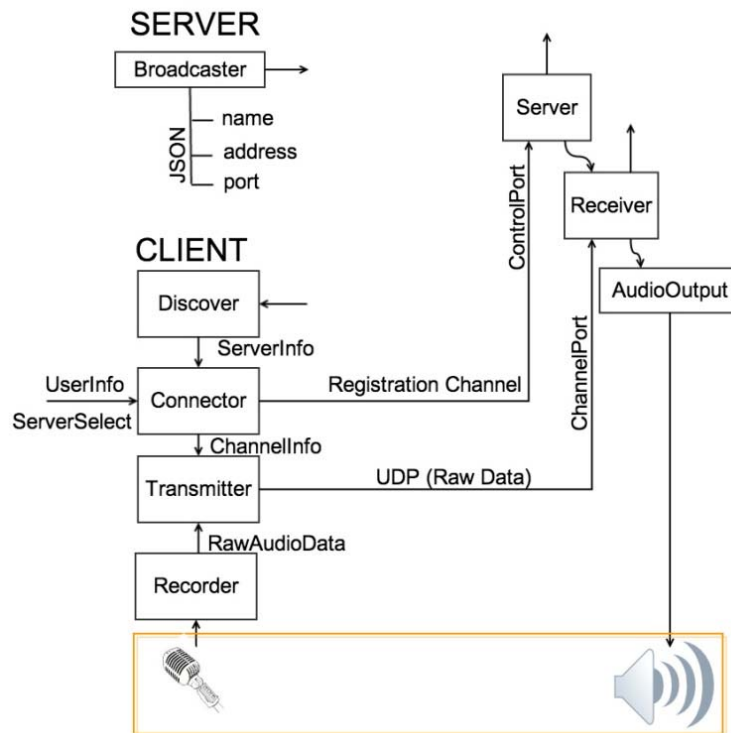


Рис. 2. Структурная схема разработанной системы

Благодаря найденной и доработанной комбинации критериев можно видеть, где точно находятся зашумленные частоты, и далее происходит компенсация или исключение нежелательных возмущений.

Пример реализации представлен на рис. 3.

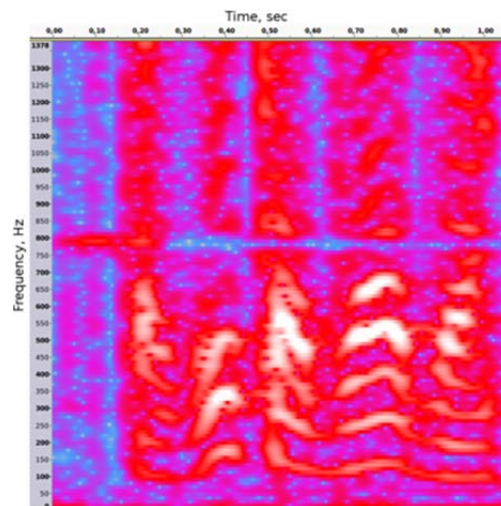


Рис. 3. Вой на частоте 790 Гц обнаружен в первом фрейме и далее отфильтрован узкополосным режекторным фильтром

Для связи микрофона и ПК используется беспроводная сеть Wi-Fi с протоколом пакетной передачи (UDP). В качестве микрофона в нашем случае взяты смартфоны, длина пакетов с аудиоданными у которых различается от модели к модели. Это обуславливает возникновение значительного (5–200 мс) нестационарного запаздывания воспроизводимого сигнала и неудобство обработки сигналов разной длины. Для обеспечения функционирования системы в таких условиях при помощи буферизации была выполнена

компенсация джиттера и разницы в длине пакетов. Данные накапливаются в программном буфере, постоянный участок которого с заданным периодом отправляется в систему обработки звука и далее – на систему его усиления и воспроизведения, а «хвост» с переменной длиной обеспечивает компенсацию джиттера и выравнивание длинны фрейма. Так была обеспечена робастная устойчивость при передаче сигнала. Это, однако, вносит дополнительное алгоритмическое запаздывание сигнала.

В целом предложенная структура системы обработки для конференц-системы с реализацией на ПК в предложенном варианте выглядит следующим образом.

1. Noise gate and suppressor.
2. Automatic dynamic compressor.
3. Howling detection.
4. Pitch shifter.
5. Пользовательский эквалайзер.
6. Финальный эквалайзер.

Публикации

1. *Khassanov A.A., Krupenkin A.S., Borgul A.S.* Control approaches for audio signal quality improvement in the developed conference system based on the personal user devices // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 100. P. 1469–1474.

Литература

1. *Yakubovich V.A.* A quadratic criterion for absolute stability // *Doklady Mathematics*. 1998. Vol. 58. No 1. P. 169–172.
2. *Megretski A., Rantzer A.* System analysis via integral quadratic constraints // *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1997. Vol. 42. No 6. P. 819–830.
3. *Pliss V.* Nonlocal problems of the theory of oscillations. London, 1966. – 360 p.
4. *Demidovich B.P.* Lectures on stability theory. Moscow, 1967. – 472 p.
5. *Pavlov A.V., Pogromsky A.Y., van de Wouw N., Nijmeijer H.* Convergent dynamics, a tribute to Boris Pavlovich Demidovich // *Systems and Control Letters*. 2004. Vol. 52. No 3–4. P. 257–261.
6. *LaSalle J., Lefschetz S.* Stability by Liapunov's direct method with applications. N.-Y., 1961. – 134 p.
7. *Yoshizawa T.* Stability theory by Lyapunov's second method. Tokyo, 1966. – 223 p.
8. *Lohmiller W., Slotine J.* On contraction analysis for nonlinear systems // *Automatica*. 1998. Vol. 34. P. 683–696.
9. *Forni F., Sepulchre R.* A differential Lyapunov framework for contraction analysis // *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2014. Vol. 59. No 3. P. 614–628.
10. *Pogromsky A.Y., Matveev A.S.* A non-quadratic criterion for stability of forced oscillations // *Systems and Control Letters*. 2013. Vol. 62. No 5. P. 408–412.



Борисов Олег Игоревич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: oleg.borisow@gmail.com

СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО КОМПЕНСАТОРА

О.И. Борисов

Научный руководитель – доцент А.А. Пыркин

Целью настоящего проекта является разработка и инженерная реализация системы динамического позиционирования для роботизированного макета надводного судна на основе адаптивного регулятора с подстраивающимися параметрами управления.

С учетом того, что рассматриваемая система является многоканальной (с тремя подсистемами, каждая из которых соответствует своей координате), математически формализованная цель выглядит следующим образом:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |x(t) - x^*| < \delta_x, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} |y(t) - y^*| < \delta_y, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} |z(t) - z^*| < \delta_z, \quad (1)$$

где $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – координаты и курсовой угол судна соответственно, x^* , y^* , z^* – заданные значения координат и курсового угла, δ_x , δ_y , δ_z – допустимые области для каждого канала.

Осуществим построение математической модели роботизированного макета надводного судна. Рассмотрим схему расположения приводов робота, представленную на рис. 1а. Здесь P_e – основной (продольный) двигатель, в котором также располагается руль, P_b и P_s – вспомогательные подруливающие устройства (носовое и кормовое).

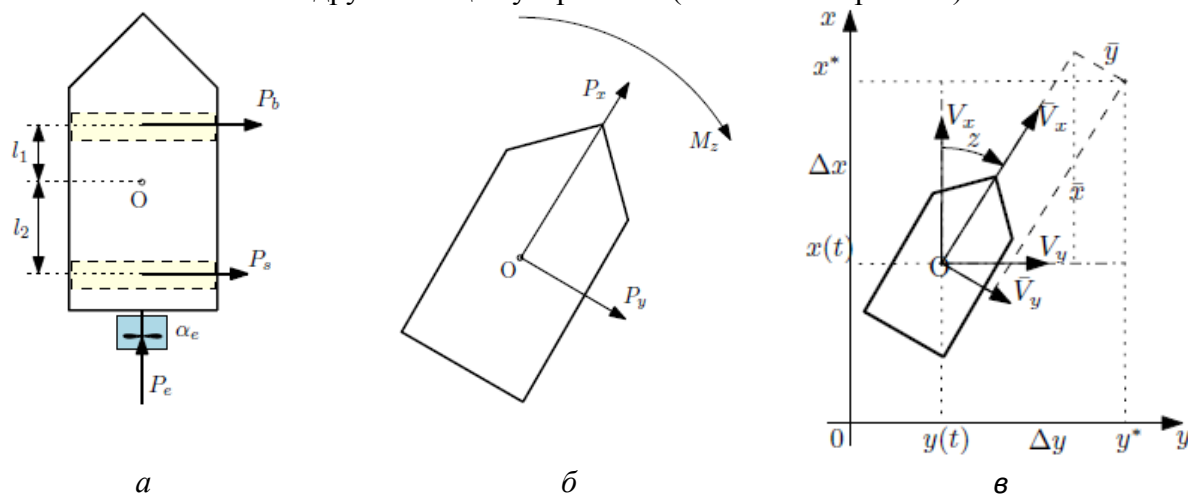


Рис. 1. а – схема расположения исполнительных приводов; б – обобщенные силы и момент, действующие на объект; в – абсолютная и локальная системы координат

Очевидно, что робототехническую систему надводного корабля необходимо рассматривать как многоканальную, поскольку она содержит три независимых динамических канала, соответствующие двум линейным и одной угловой координатам, однозначно определяющим положение и ориентацию судна в пространстве.

Для синтеза алгоритма управления для рассматриваемой робототехнической системы необходимо осуществить декомпозицию динамической модели на статическую функцию и независимые динамические каналы с одним входом и одним выходом. Каждый из них

соотнесем с соответствующими регулируемым переменными x , y и z . Введем виртуальные сигналы управления (рис. 1б) P_x , P_y и M_z (обобщенные силы и момент, действующие на судно), которые представляют собой суперпозицию всех движущих сил исполнительных приводов корабля P_e , P_b и P_s .

Итак, произведем декомпозицию и запишем управления для получившихся сил, прилагаемых к центру масс (ЦМ) корабля:

$$\begin{cases} P_x = P_e, \\ P_y = P_b + P_s, \\ M_z = -\alpha_e P_e l_e + P_b l - P_s l_s, \end{cases} \quad (2)$$

где P_x , P_y и M_z – обобщенные силы и момент, прилагаемые к ЦМ корабля; l_e – расстояние от ЦМ до основного двигателя; l_b – расстояние от ЦМ до носового подруливающего устройства; l_s – расстояние от ЦМ до кормового подруливающего устройства; α_e – значение поворота руля судна. В рамках проекта руль зафиксирован ввиду ограниченной рабочей области. Поворот судна осуществляется с помощью подруливающих устройств.

Помимо абсолютной (неподвижной) системы координат, введем в рассмотрение локальную (подвижную), жестко связанную с судном (рис. 1в). Необходимо осуществить преобразование координат из одной системы в другую, с учетом их поворота и линейного смещения друг относительно друга:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(z) & -\sin(z) \\ \sin(z) & \cos(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где x_0 , y_0 – координаты начальной точки; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – смещения, соответственно, в продольном и поперечном направлениях в локальной системе координат.

В соответствии с линеаризованной моделью Номото первого порядка координаты надводного судна удовлетворяют следующим дифференциальным уравнениям:

$$\ddot{\bar{x}}(t) = \frac{1}{T_x} (-\dot{\bar{x}}(t) + K_x P_x(t)), \quad (4)$$

$$\ddot{\bar{y}}(t) = \frac{1}{T_y} (-\dot{\bar{y}}(t) + K_y P_y(t)), \quad (5)$$

$$\ddot{\bar{z}}(t) = \frac{1}{T_z} (-\dot{\bar{z}}(t) + K_z M_z(t)), \quad (6)$$

где K_x , K_y и K_z – коэффициенты передачи; T_x , T_y и T_z – постоянные времени. В рамках настоящего исследования значения коэффициентов передачи и постоянных времени неизвестны.

Модель динамических каналов настоящей робототехнической системы может быть достаточно сложной для некоторых типов судов, но в общем случае ее можно представить следующим выражением:

$$a_i(p)y_i(t) = b_i U_i(t), \quad (7)$$

где выходные переменные $y_i(t) = \{\bar{x}, \bar{y}, z\}$ измеряемы (но не их производные); $p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования; $a_i(p) = p^n + \dots + a_{i1}p + a_{i0}$ и $b_i(p) = b_{im}p^m + \dots + b_{i1}p + b_{i0}$ – полиномы с неизвестными коэффициентами, причем $b(p)$ гурвицев, $b_m > 0$ и $r \leq n - 1$; относительная степень передаточной функции $\frac{b_i(p)}{a_i(p)}$ предполагается известной и для рассматриваемого объекта она принимается равной $\rho = n - m = 2$ в соответствии с выражениями (4)–(6).

Осуществим синтез адаптивного регулятора. Из [1, 2] известно, что существуют параметр μ_0 и произвольный гурвицев полином $\alpha(p)$ степени $(\rho - 1)$ такие, что для всех $k \geq \mu_0$ закон

$$u(t) = -k\alpha(p)y(t) \quad (8)$$

обеспечивает устойчивость положения равновесия типа (1). Существование такого параметра μ_0 показано в теореме Фрадкова. Существует множество работ, содержащих доказательства устойчивости соответствующей замкнутой системы для нелинейного объекта управления. Этот случай может быть рассмотрен как робастный, поскольку коэффициенты являются фиксированными, но в то же время подход можно использовать для случая параметрически неопределенных объектов.

Модифицируем закон управления (8) следующим образом:

$$u(t) = -\alpha(p) [k(t)\hat{y}(t)], \quad (9)$$

где $k(t)$ – функция, которая будет настраиваться в соответствии с алгоритмом адаптации

$$\dot{k}(t) = \gamma_k \hat{y}^2(t), \quad k(0) > 0, \quad (10)$$

где $\gamma_k > 0$ – некоторый положительный коэффициент. Функция $\hat{y}(t)$ – оценка функции выходной переменной $y(t)$, которая определяется по алгоритму:

$$\hat{y}(t) = h^T \xi(t), \quad (11)$$

$$\dot{\xi}(t) = \Gamma_\sigma \xi(t) + d_\sigma y(t), \quad (12)$$

где

$$\Gamma_\sigma = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ -k_1 \sigma^{p-1} & -k_2 \sigma^{p-2} & \dots & -k_{p-1} \sigma \end{bmatrix}, d_\sigma = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ k_1 \sigma^{p-1} \end{bmatrix}, h^T = [1 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0], \quad (13)$$

где коэффициенты $k_i, i = \overline{1, (p_1)}$ выбраны из условия гурвицевости матрицы Γ_σ при $\sigma = 1$.

Алгоритм настройки для параметра σ будет определен позднее.

Перейдем к новому базису модели оценки (11), (12):

$$\bar{\xi}(t) = T \xi(t), \quad (14)$$

$$\text{где } T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma^{-1} & \dots & 0 \\ \vdots & & & \\ 0 & 0 & \dots & \sigma^{-(p-2)} \end{bmatrix}.$$

Рассмотрим вектор рассогласования:

$$\eta(t) = h y(t) - \bar{\xi}(t). \quad (15)$$

Зададим закон адаптации для параметра σ :

$$\dot{\sigma}(t) = \gamma_\sigma \eta^T(t) \eta(t), \quad \sigma(0) \geq 1, \quad (16)$$

где $\gamma_\sigma > 0$ – некоторый положительный коэффициент.

Для того чтобы сформировать виртуальный сигнал управления, необходимо иметь $p - 1$ производных по времени от функции $k(t)\hat{y}(t)$. Из (12) и (13) видно, что в силу структуры матрицы Γ_σ для измерения доступны все производные функции $\hat{y}(t)$ вплоть до порядка $p - 1$.

Рассмотрим один канал X линеаризованной модели надводного судна Номото первого порядка (4). Преобразуем модель к следующему виду:

$$\left(p^2 + \frac{1}{T_x} p\right) \bar{x}(t) = \frac{k_x}{T_x} P_x(t), \quad (17)$$

где относительная степень объекта $p = 2$.

Выберем гурвицев характеристический полином матрицы Γ_σ при $\sigma = 1$:

$$D(p) = p + 1. \quad (18)$$

Запишем алгоритм оценки выхода системы:

$$\hat{y}(t) = \xi(t), \quad (19)$$

$$\dot{\xi}(t) = -\sigma\xi(t) + \sigma y(t), \quad (20)$$

где

$$\Gamma_\sigma = [-\sigma], \quad d_\sigma = [\sigma], \quad h^T = [1]. \quad (21)$$

Вычислим вспомогательный базис для системы (19), (20):

$$\bar{\xi}(t) = T\xi(t) = \sigma^{-1}\xi(t). \quad (22)$$

Вектор рассогласования может быть рассчитан следующим образом:

$$\eta(t) = hy(t) - \bar{\xi}(t) = y(t) - \sigma^{-1}\xi(t). \quad (23)$$

Затем воспользуемся законами адаптации (10) и (16) для настройки параметров $k(t)$ и $\sigma(t)$, учитывая соответствующие начальные условия.

Сформируем закон управления, продифференцировав функцию $k(t)\hat{y}(t)$ последовательно $p - 1$ раз:

$$\begin{aligned} u(t) &= -\alpha(p)[k(t)\hat{y}(t)] = -\frac{d}{dt}[k(t)\hat{y}(t)] - k(t)\hat{y}(t) = \\ &= -\gamma_k \xi^3(t) - k(t)\dot{\xi}(t) - k(t)\hat{y}(t). \end{aligned} \quad (24)$$

Во избежание роста функции $k(t)$ при малых отклонениях от положения равновесия перепишем закон адаптации (10) следующим образом:

$$\begin{cases} \dot{k}(t) = \gamma_k \hat{y}_i^2(t), & |\hat{y}(t)| \geq \delta_i, \quad k(0) > 0, \\ \dot{k}(t) = 0, & |\hat{y}_i(t)| < \delta_i, \end{cases} \quad (25)$$

где обозначение i соответствует конкретному каналу $i = \{x, y, z\}$.

На следующем этапе требуется распределить управление между исполнительными приводами. Осуществим это таким образом:

$$\begin{cases} P_e = P_x, \\ P_s = P_y, \\ P_b = 0,75 \frac{M_z}{L_b} + 0,25P_y. \end{cases} \quad (26)$$

После разработки системы динамического позиционирования с динамическим регулятором были проведены экспериментальные исследования на робототехнической установке моделирования движения надводного судна (рис. 2а).

Основным элементом установки является роботизированный макет судна (рис. 2б) с тремя исполнительными приводами: основной двигатель и два подруливающих устройства туннельного типа на корме и на носу. Помимо этого, рассматриваемая установка содержит бассейн, представляющий собой рабочую область, цифровую камеру, закрепленную на штативе над бассейном, джойстик для удаленного управления и компьютер.

Локализация робота осуществляется с помощью системы технического зрения, состоящей из вышеупомянутой камеры, расположенной над рабочей областью, и алгоритма обработки видеоизображения с целью получения текущих координат объекта. Последний распознает судно как белый прямоугольник на темном фоне, вычисляет координаты его геометрического центра, после чего вычисляет курсовой угол с помощью красной метки на носу. Все вычисления, формирование сигнала управления в соответствии с некоторым законом и его необходимые преобразования осуществляются на компьютере, после чего соответствующие команды передаются по радиоканалу на макет.



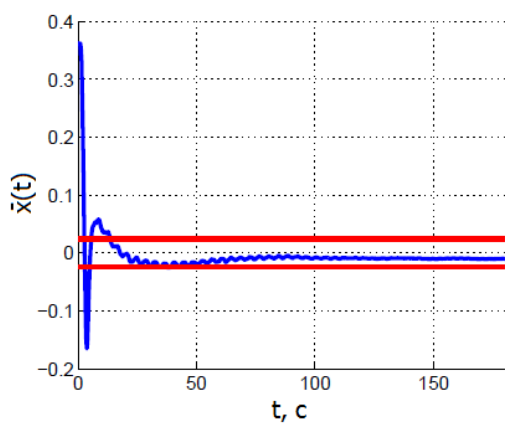
а



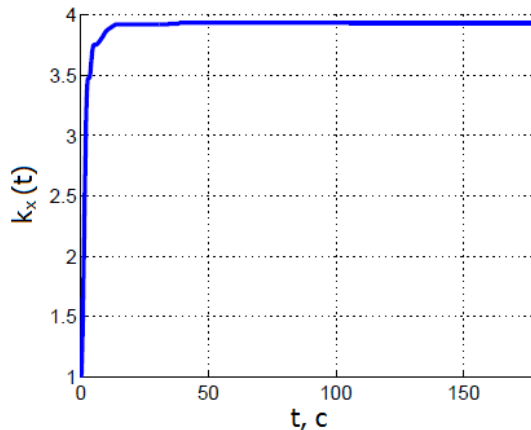
б

Рис. 2. а – робототехническая установка моделирования движения надводного судна;
б – роботизированный макет судна

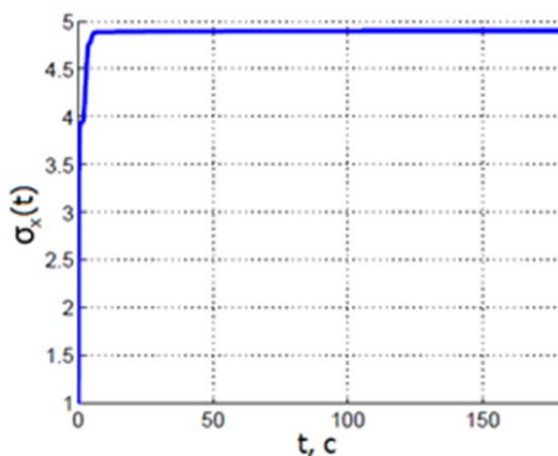
Полученные результаты экспериментальных исследований регулятора вида (9) с законами адаптации (10) и (16) на робототехнической установке (рис. 2а) в одноканальном режиме представлены на рис. 3, в многоканальном режиме – на рис. 4.



а



б



в

Рис.3. Результаты экспериментальных исследований адаптивного регулятора в одноканальном режиме: а – график локальной координаты (ошибки по каналу X) $\bar{x}(t)$; б – график параметра управления $k_x(t)$; в – график параметра управления $\sigma_x(t)$

Желаемое положение и ориентация лодки были заданы: $x^* = 0,48$ м, $y^* = 0,36$ м, $z^* = 0^\circ$. Согласно (25) были выбраны следующие значения допустимых областей настройки параметров управления $\delta_x = 0,024$ м, $\delta_y = 0,024$ м, $\delta_z = 8,6^\circ$.

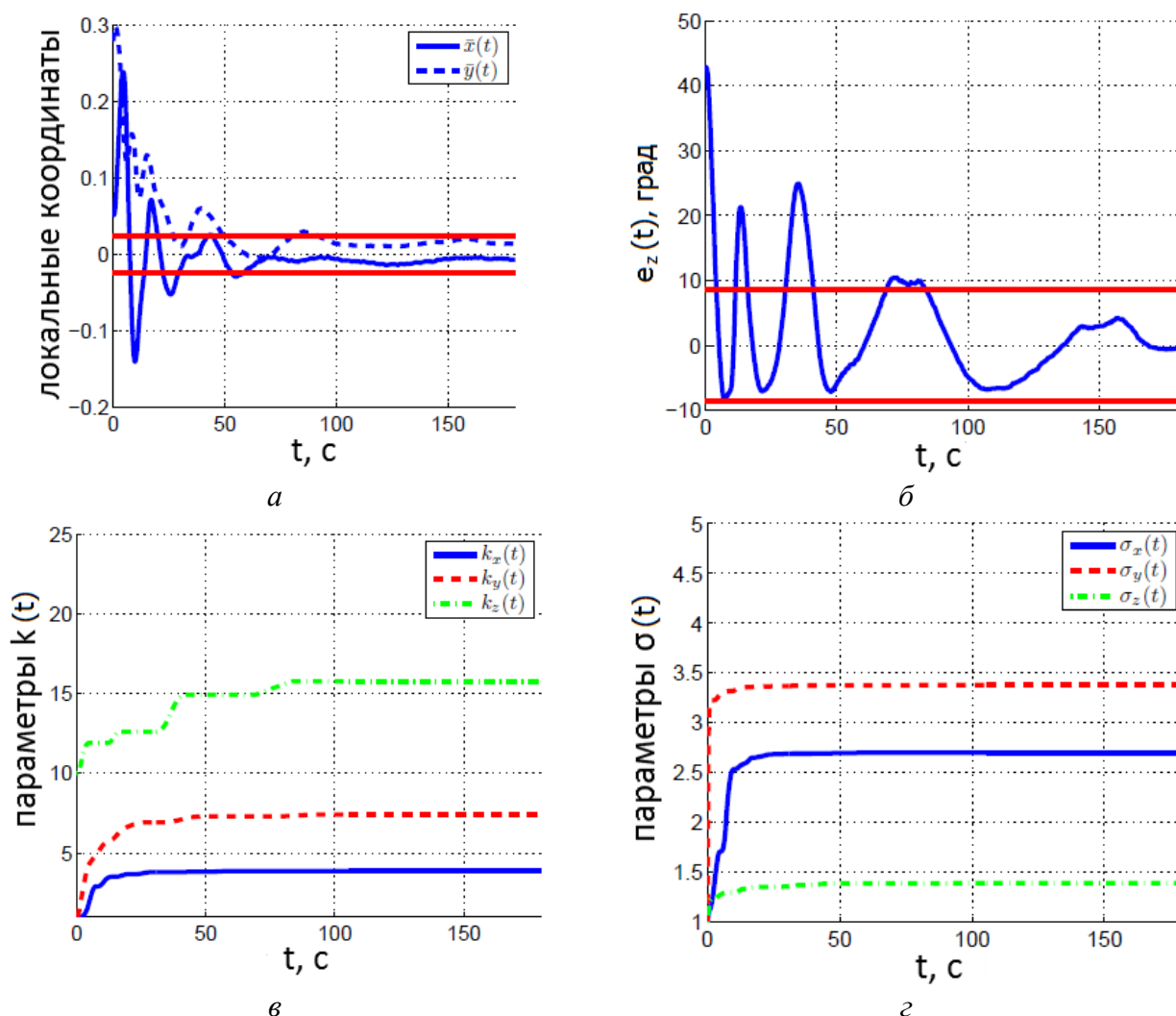


Рис. 4. Результаты экспериментальных исследований адаптивного регулятора в многоканальном режиме: а – графики локальных координат (ошибок по линейным перемещениям); б – график ошибки по курсовому углу; в – графики параметров управления $k_x(t)$, $k_y(t)$ и $k_z(t)$; г – графики параметров управления $\sigma_x(t)$, $\sigma_y(t)$ и $\sigma_z(t)$ (г)

Анализируя графики можно сделать вывод, что все функции выходов многоканальной системы, а также параметров управления являются устойчивыми. Графики рассогласования (ошибок) по линейным и угловой координатам не выходят за заданные в (25) пределы, что соответствует поставленной цели (1).

Публикации

1. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Surov M.O., Vedyakov A.A., Feskov A.D., Vlasov S.M., Krasnov A.Y., Borisov O.I., Gromov V.S. Dynamic positioning system for nonlinear MIMO plants and surface robotic vessel // Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control (MIM 2013). 2013. Vol. 7. No 1. P. 1867–1872.
2. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Surov M.O., Shavetov S.V., Borisov O.I., Gromov V.S. Simple output stabilization approach for robotic systems // Proceedings of the 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control (MIM 2013). Vol. 7. No 1. P. 1873–1878.

3. Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Pyrkin A.A., Vedyakov A.A., Vlasov S.M. MIMO positioning system for surface robotic vessel // Proceedings of the International Conference of Young Scientists Automation & Control. 2013. No 1. P. 82–86.
4. Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Pyrkin A.A., Shavetov S.V. Semiglobal stabilization approach for mobile robots // Proceedings of the International Conference of Young Scientists Automation & Control. 2013. No. 1. P. 87–91.
5. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Borisov O.I., Gromov V.S. Output controller for quadcopters based on mathematical model decomposition // 2014 22nd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). 2014. P. 1281–1286.
6. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Aranovskiy S.V. Output controller for quadcopters with wind disturbance cancellation // 2014 IEEE Conference on Control Applications (CCA). 2014. P. 166–170.
7. Wang J., Borisov O.I., Gromov V.S., Pyrkin A.A., Botsov A.A. Adaptive controller implementation for surface robotic vessel // 2015 34th Chinese Control Conference (CCC). 2015. P. 3230–3235.
8. Борисов О.И., Власов С.М., Громов В.С., Пыркин А.А. Образовательный комплекс апробации систем управления судами // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 58–59.
9. Борисов О.И., Власов С.М., Громов В.С. Специализированный комплекс моделирования движения судна // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 1. СПб., 2014. С. 290–291.
10. Борисов О.И., Громов В.С., Глаголев С.О. Разработка системы динамического позиционирования и ее апробация на робототехнической установке моделирования движения надводного судна [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: openbooks.ifmo.ru/ru/file/1139/1139.pdf (дата обращения: 17.03.2016).
11. Борисов О.И., Громов В.С., Петраневский И.В. Управление квадрокоптером с компенсацией ветровых возмущений [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1142/1142.pdf> (дата обращения: 17.03.2016).

Литература

1. Bobtsov A.A. Robust output-control for a linear system with uncertain coefficients // Automation and Remote Control. 2002. Vol. 63. No 11. P. 1794–1802.
2. Bobtsov A.A., Nikolaev N.A. Fradkov theorem-based design of the control of nonlinear systems with functional and parametric uncertainties // Automation and Remote Control. 2005. Vol. 66. No. 1. P. 108–118.



Бутылкина Ксения Дмитриевна
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра прикладной и компьютерной оптики
E-mail: butylkinax@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТРЕХЗЕРКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТИВОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АСТЕРОИДНО-КОМЕТНОЙ ОПАСНОСТИ

К.Д. Бутылкина

Научный руководитель – доцент Г.Э. Романова

Цель проекта – разработка и исследование обзорных космических телескопов, обладающих высоким относительным отверстием (не менее 1:3), угловым полем в пространстве предметов порядка $0,5-4^\circ$ и качеством изображения, подходящим для работы с приемником, имеющим размеры пикселей порядка 6–15 мкм.

В последние десятилетия уделяется все больше внимания проблеме астероидно-кометной опасности (АКО) для нашей планеты. Угроза столкновения Земли с малыми телами Солнечной системы осознается в наши дни как комплексная глобальная проблема, стоящая перед человечеством. В связи с этим ведется активная разработка методов обнаружения и мониторинга объектов, сближающихся с Землей (ОСЗ), а также поиск способов противодействия угрозе столкновений таких тел с земной поверхностью.

Для постоянного мониторинга внеземного пространства, обнаружения (выявления) опасных небесных тел и их первичной оценки необходимо в первую очередь создание точных оптических инструментов. В связи с этим поиск, исследование и разработка новых оптических систем для космических телескопов остаются весьма актуальными.

Классификация трехзеркальных систем телескопов

Получившие наибольшее распространение в последние десятилетия системы Ричи – Кретьена без линзовых элементов не позволяют получить светосильные и широкоугольные телескопы, так как в них недостаточно параметров, исправляющих астигматизм. Кроме того, они имеют значительную осевую длину (порядка 0,2–0,3 фокусных расстояний), и поэтому таким объективам необходима длинная блenda для защиты от постороннего света. Вполне логичным является переход к трехзеркальным системам, классификация которых была проведена в работах [1] и [2]. В зависимости от знаков h_2 и h_3 (h – высоты нулевого луча на главных плоскостях) возможны четыре типа подобных систем (Табл. 1), каждый из которых подходит для решения своего рода задач.

Таблица 1

Типы трехзеркальных систем

№	h_2	h_3	Описание
I	+	+	Системы без промежуточного изображения
II	+	–	Системы с промежуточным изображением после отражения от второго зеркала
III	–	+	Системы с двумя промежуточными изображениями
IV	–	–	Системы с промежуточным изображением после отражения от первого зеркала

Первый тип используется для создания светосильных и широкоугольных объективов.

В системах с промежуточным изображением после отражения от двух зеркал относительное отверстие главного зеркала оказывается в несколько раз выше относительного отверстия всей системы, поэтому они могут использоваться для создания длиннофокусных ортоскопических объективов, но не всегда будут оптимальными для светосильных объективов. Именно этот тип наиболее популярен в современных проектах инструментов, направленных на выявление АКО.

Третий тип не нашел большого практического применения, поскольку два промежуточных изображения создают большое экранирование и приводят к неудобному положению плоскости изображения. Четвертый тип подходит для создания систем с небольшими угловыми полями, поэтому они не годятся для использования с целью мониторинга.

Анализ современных проектов и тенденций развития в области разработки приборов для обнаружения ОСЗ и проведения постоянного мониторинга внеземного пространства показывает, что наиболее исследуемые и часто используемые типы систем – это схемы Ричи – Кретьена и системы второго типа, построенные по схеме Корша. Несомненными преимуществами последней являются:

- компактность, небольшие габариты и осевая длина;
- отсутствие бленд;
- широкий спектральный диапазон;
- удобное расположение плоскости приемника (для предотвращения виньетирования в систему обычно добавляют вспомогательное плоское зеркало, выносящее изображение в сторону);
- хорошее качество изображения (полностью исправлены aberrации третьего порядка, коррекция aberrаций высших порядков достигается путем введения асферик высших порядков на зеркалах).

К недостаткам схем Корша можно отнести большое центральное экранирование и жесткие допуски на изготовление асферик.

В соответствии с классификацией наиболее перспективными для мониторинга внеземного пространства являются объективы, относящиеся к первому и второму типу. На данном этапе выполнения работы исследовался наименее изученный тип систем (I), подходящий для решения поставленных задач.

Габаритный и абберационный расчеты трехзеркальных систем

Обязательным условием при разработке трехзеркальных космических объективов является исправление четырех aberrаций: сферической aberrации, комы, астигматизма и кривизны изображения. Подробные формулы для габаритного и абберационного расчетов были получены в ходе ранее проведенных исследований [3, 4].

Радиусы и воздушные промежутки определяются из конструктивных соображений и условий устранения кривизны изображения. Принципиальная схема трехзеркального объектива приведена на рис. 1.

При расчете принимались следующие условия масштаба:

$$\alpha_1 = 0, \alpha_4 = -1, f^* = -1, h_1 = 1.$$

Условие устранения кривизны изображения выглядит следующим образом:

$$\alpha_2 - \frac{\alpha_3 + \alpha_2}{h_2} + \frac{\alpha_4 + \alpha_3}{h_3} = 0, \quad (1)$$

где α – углы нулевых лучей с оптической осью.

Параметрами для исправления сферической aberrации, комы и астигматизма являются коэффициенты деформации зеркал. Для выполнения расчета составляется система уравнений из коэффициентов aberrаций третьего порядка. Ее решение позволяет определить квадраты эксцентриситетов зеркал [8].

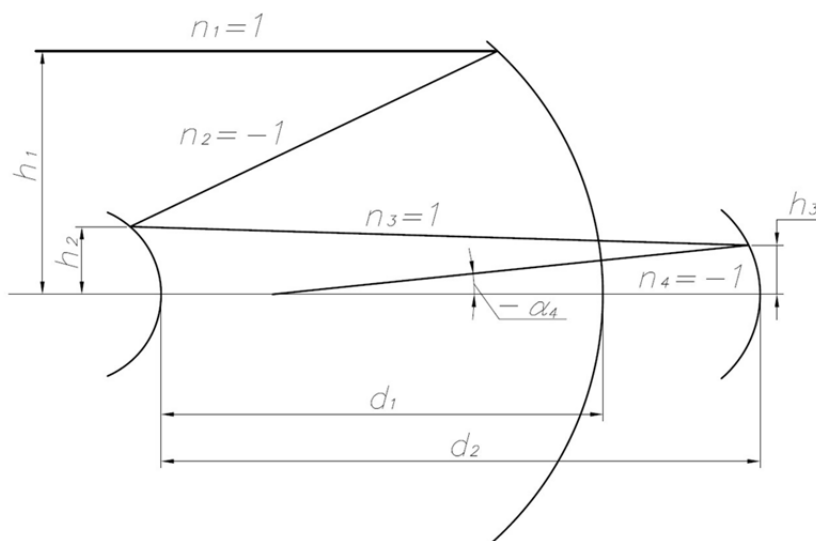


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема исследуемого объектива

$$\sigma_1 = \frac{2S_2 + 2S_3 - 8a}{S_2 S_3 \alpha_2^3} - 1, \quad (2)$$

$$\sigma_2 = \frac{2S_3 - 8a}{h_2 S_2 (S_3 - S_2) (\alpha_3 + \alpha_2)^3} - \frac{(\alpha_3 - \alpha_2)^2}{(\alpha_3 + \alpha_2)^2}, \quad (3)$$

$$\sigma_3 = \frac{2S_2 - 8a}{h_3 S_3 (S_3 - S_2) (\alpha_4 + \alpha_3)^3} - \frac{(\alpha_4 - \alpha_3)^2}{(\alpha_4 + \alpha_3)^2}, \quad (4)$$

где $a = \frac{1}{2} [S_2(\alpha_3^2 - \alpha_2^2) + S_3(\alpha_4^2 - \alpha_3^2)]$; $S_2 = \frac{-d_1}{h_2}$; $S_3 = \frac{d_2}{h_2 h_3}$, d – расстояние между зеркалами.

При расчете трехзеркальных плананастигматов может быть найдено большое количество вариантов систем с прекрасно исправленными aberrациями, но значительным экранированием или виньетированием, а также системы, в которых невозможно защитить плоскость изображения от постороннего света. Ограничения связаны со следующими факторами:

- относительное отверстие главного зеркала не должно быть слишком большим (не более 1:1 ... 1:0,9);
- экранирование, вызывающее снижение частотно-контрастной характеристики, не должно превышать по диаметру 0,5–0,55, а лучше, чтобы оно имело значение не более 0,25–0,3;
- плоскость изображения должна быть надежно защищена от постороннего света, что приводит к увеличению экранирования, виньетирования и диаметра главного зеркала, так как из-за необходимости защитить плоскость изображения от «паразитного» света, апертурная диафрагма располагается или на третьем зеркале, или вблизи отверстия в главном зеркале.

Первый тип трехзеркальных систем

Для выполнения перечисленных требований исходные данные для расчета трехзеркальных систем с исправленными сферической aberrацией, комой, астигматизмом и кривизной изображения задаются в следующих диапазонах:

- $-2 \leq \alpha_2 \leq -1,2$; где α_2 – тангенс угла, образованного нулевым лучом с осью после отражения от первой поверхности (отношение относительного отверстия главного зеркала к относительному отверстию всей системы);
- $-0,1 \leq \alpha_3 \leq 0,1$; где α_3 – тангенс угла, образованного нулевым лучом с осью после отражения от второй поверхности (расходимость пучка лучей между

вторым и третьим зеркалами задается в диапазоне $\pm 0,1$; большие отрицательные значения приводят к увеличению экранирования, большие положительные значения – к неудобному положению плоскости изображения);

$0,2 \leq h_2 \leq 0,45$; где h_2 – высота нулевого луча на второй отражающей поверхности (определяет экранирование системы, вносимое вторым зеркалом).

В ходе подробного изучения и анализа систем первого типа, рассчитанных по формулам (1)–(4), выявлены диапазоны задаваемых данных, в которых могут быть найдены системы, подходящие для создания длиннофокусных обзорных объективов.

В рамках указанных диапазонов проводился расчет и исследование полученных систем с точки зрения габаритов. Поскольку объективы для космических инструментов, направленных на обнаружение АКО, должны быть компактны, иметь достаточно большое фокусное расстояние и обеспечивать достаточное разрешение, полученные варианты схем анализировались прежде всего по величине межосевых расстояний:

- отсеивались схемы со слишком большими ($> f'$) и слишком маленькими ($< 0,2 f'$) расстояниями между вторым и третьим зеркалами (d_2), причем отдавалось предпочтение объективам, в которых первый d_1 и второй d_2 промежутки примерно равны;

- анализировалось положение плоскости приемника (желательно, чтобы оно находилось за вершиной второго зеркала);

- принимался во внимание коэффициент экранирования (по диаметру с учетом углового поля, диафрагменного числа и защиты плоскости изображения от постороннего света не превышает значения $\eta \leq 0,55$).

В рассматриваемых системах все зеркала представляют собой асферические поверхности второго порядка. Поскольку сферические зеркала имеют ряд преимуществ при изготовлении, наличие хотя бы одного такого зеркала может значительно облегчить изготовление и юстировку системы, а также уменьшить ее стоимость. Поэтому при исследовании также учитывалась форма зеркал в рассчитанных объективах.

Изучение полученных систем позволяет сделать вывод о том, что форма первого зеркала меняется от эллиптической, близкой к параболической, до гиперболической, не сильно отличающейся от параболической.

Формы второго и третьего зеркал меняются от сплюснутого эллипсоида до гиперболоида, следовательно, могут быть найдены системы со сферическим вторым зеркалом, однако они будут иметь значительную осевую длину d_2 . Таким образом, с точки зрения защиты от постороннего света более приемлемыми являются системы со сферическим третьим зеркалом.

На основании проведенного исследования отобраны системы, подходящие для дальнейшего расчета и реализации. Среди систем с параллельным ходом лучей между вторым и третьим зеркалами отдано предпочтение системам с первым гиперболическим и третьим сферическим зеркалами. После анализа исходных систем по конструктивным данным проводился их абберрационный расчет при одинаковых характеристиках. В системах данного типа входной зрачок не может быть расположен на главном зеркале, так как в этом случае невозможно обеспечить защиту от постороннего света (большой диаметр третьего зеркала). Апертурная диафрагма располагается на третьем зеркале, если оно находится в промежутке между первым и вторым зеркалами, или в отверстии первого зеркала, если третье находится вне этого промежутка. При дальнейшем исследовании систем были приняты эти условия.

В результате исследования найдены реализуемые системы, в которых одно из зеркал (в большинстве случаев – третье) может принять форму сферы, а два других представляют собой асферики второго порядка.

Пробные расчеты проводились при следующих характеристиках: угловое поле $2\omega = 2-3^\circ$, относительное отверстие 1:1,4–1:1,7 и фокусное расстояние $f' = 1000-1500$ мм. Апертурная диафрагма располагается или на третьем зеркале, или в отверстии первого.

У систем с небольшим значением h_2 получен значительный размер главного зеркала по отношению ко всей системе, следовательно, хотя у них и наименьший коэффициент экранирования по диаметру, они неудобны для использования в качестве обзорных систем. Однако качество изображения в них остается удовлетворительным и в зависимости от предъявляемых требований может потребоваться введение асферики высшего порядка.

Итоговая система

В результате была выбрана система, для которой осуществлялся более глубокий анализ аберраций и расчет защитных бленд (рис. 2). В программе OPAL была проведена ее оптимизация по средней квадратичной деформации волнового фронта.

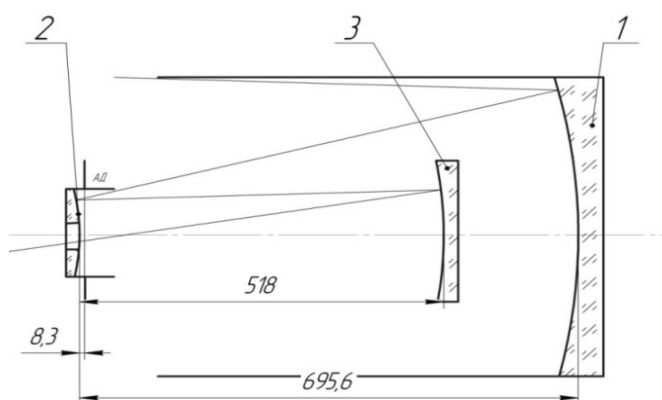


Рис. 2. Конструкция рассчитанной оптической системы

Основные характеристики:

- фокусное расстояние $f' = 1398,9$ мм;
- относительное отверстие 1:2,4;
- угловое поле в пространстве предметов $2\omega = 3^\circ$.

Таблица 2

Конструктивные параметры оптической системы

N	Радиусы	Осевые расстояния	Световые высоты	Показатели преломления
1	-2211,51*	-695,56	332,38	-1
2	-706,65*	517,99	105,27	1
3	-1037,45	160,16		-1

* Несферические поверхности вращения второго порядка, $1 e_1^2 = 1,47012$; $2 e_2^2 = 1,02181$.

Полученная система обладает хорошим качеством изображения. В зависимости от конкретных заданий может быть использовано усложнение формы поверхности. При этом система с асферикой только второго порядка может выступать в качестве исходной схемы.

Расчет защитных бленд проводился графоаналитическим методом. Для защиты от постороннего света устанавливаются две бленды – у главного и вторичного зеркал.

Система с асферическими поверхностями второго порядка обладает приемлемым качеством изображения (Табл. 3 и рис. 3), однако при повышенных требованиях к качеству изображения может потребоваться введение асферики высшего порядка. Сравнение волновых, продольных аберраций и неизопланатизма в данной системе с разной асферикой на поверхностях приведено в Табл. 3.

Таблица 3
Аберрации осевого пучка

Отн.зр. коор.	Волновые аберрации (длин волн)			Продольные аберрации (мм)			Неизопланатизм (%)		
	1*	2**	3***	1*	2**	3***	1*	2**	3***
1,000	0,8805	0,5292	0,4160	0,0132	0,01994	0,02520	-0,0047	-0,0063	0,0042
0,866	0,8126	0,5511	0,4833	-0,02412	-0,01227	-0,00786	-0,0064	-0,0041	0,0038
0,707	0,5023	0,3574	0,3254	-0,03903	-0,02649	-0,02323	-0,0061	-0,0023	0,0030
0,500	0,1609	0,1174	0,1090	-0,03112	-0,02247	-0,02068	-0,0040	-0,0009	0,0017
0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

1* – система с асферикой второго порядка на первом и втором зеркалах и сферическим третьим зеркалом;

2** – система с асферикой высшего порядка на первом, второго порядка на втором зеркале и сферическим третьим зеркалом;

3*** – система с асферикой высшего порядка на первом и втором зеркалах и сферическим третьим зеркалом.

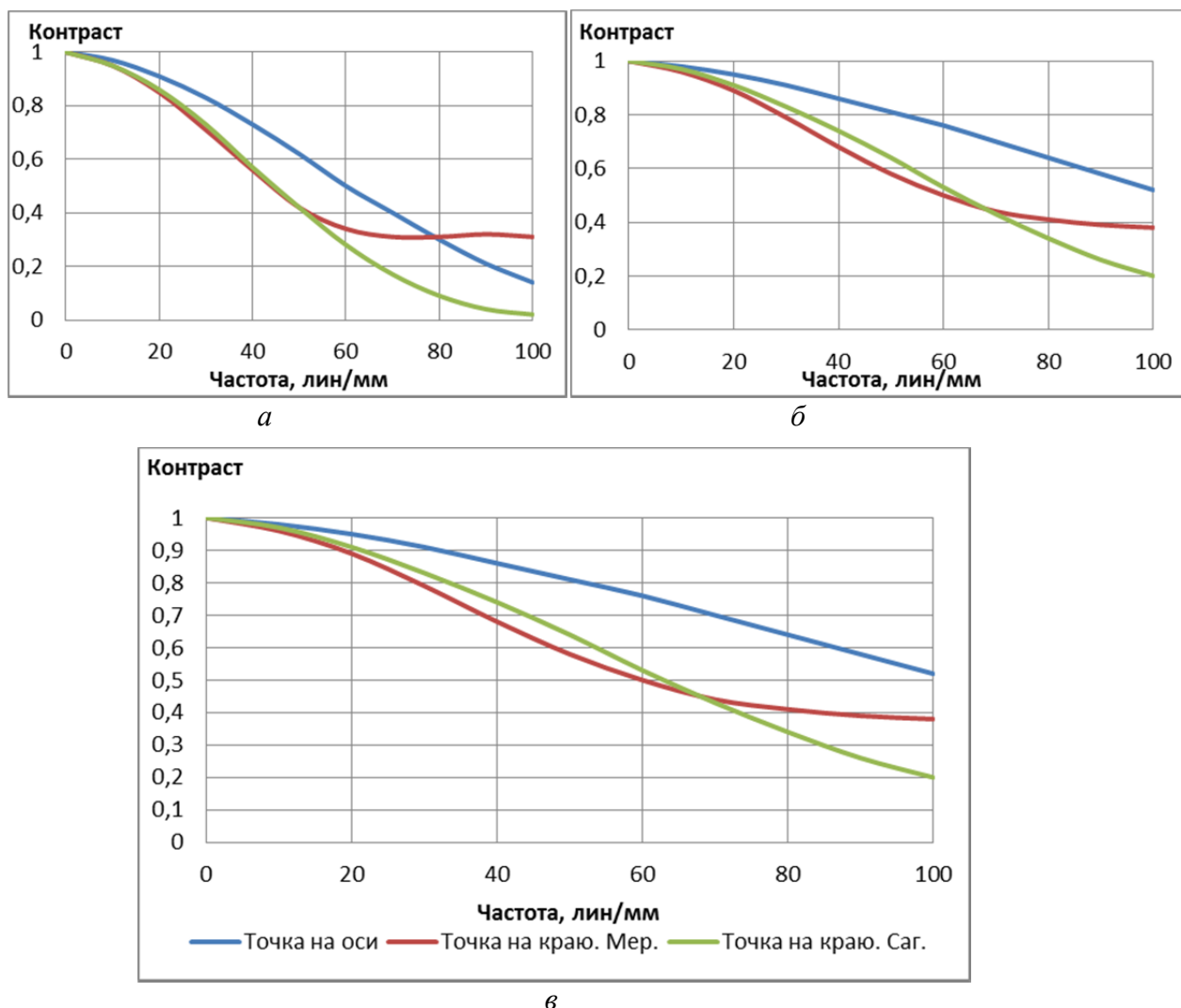


Рис. 3. Частотно-контрастные характеристики: а – первая система; б – вторая система; в – третья

Заключение

1. Приведена классификация трехзеркальных объективов, проведен анализ существующих типов систем, выбрана стартовая схема.

2. Приведены формулы для расчета и исследования систем в области аберраций третьего порядка с устранением сферической аберрации, комы, астигматизма и кривизны изображения. Выполнен габаритный и аберрационный расчеты исходных систем.

3. Выполнен анализ рассчитанных систем с точки зрения поиска оптимального конструкторского решения для создания систем обнаружения АКО.

4. Полученные схемы зеркальных объективов, рассчитанных на основе предложенной методики, обладают хорошим качеством изображения и подходят для дальнейшей реализации.

5. Для трех вариантов системы с параметрами: $f' = 1398,9$ мм; относительным отверстием 1:2,4; угловым полем в пространстве предметов $2\omega = 3^\circ$ (только с асферикой второго порядка, с асферикой высшего порядка только на первом зеркале и с асферикой высшего порядка на первом и втором зеркалах) выполнена оптимизация и анализ качества изображения, рассчитаны защитные бленды.

Публикации

1. Бутылкина К.Д., Цуканова Г.И. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 3. С. 3–7.

2. Бутылкина К.Д. Экранирование и защита от постороннего света в трехзеркальных системах без промежуточного изображения // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 69–73.

Литература

1. Цуканова Г.И. Классификация трехзеркальных объективов // 31 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Technische Hochschule Ilmenau. 1986. No 3. P. 225.

2. Михельсон Н.Н. Оптика астрономических телескопов и методы ее расчета. М., 1985. – 333 с.

3. Бутылкина К.Д., Цуканова Г.И. Светосильные трехзеркальные объективы без промежуточного изображения с выпуклым вторым и вогнутым третьим зеркалами // Оптический журнал. 2014. Т. 81. № 3. С. 3–7.

4. Бутылкина К.Д. Экранирование и защита от постороннего света в трехзеркальных системах без промежуточного изображения // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 69–73.



Быковская Елена Александровна
Факультет естественных наук
Кафедра экологии и техносферной безопасности
E-mail: brownies@mail.ru

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Е.А. Быковская

Научный руководитель – доцент М.А. Кустикова

Целью работы является идентификация и количественное определение наноматериалов в водных объектах.

В задачи работы входит:

- количественная оценка антропогенных и природных факторов, определяющих источник поступления наноматериалов в водные объекты;
- изучение влияния морфометрических характеристик водных объектов, гидрологических, гидробиологических и физико-химических показателей на межфазовое распределение веществ в системе вода – донные отложения;
- метрологическое обеспечение контроля содержания наноматериалов в природных и сточных водах;
- выбор метода получения количественных данных сравнительной характеристики и оценки степени загрязнения наноматериалами различных компонентов экосистем.

В настоящее время все возрастающее внимание в мире уделяется перспективам развития нанотехнологий, то есть технологий направленного получения и использования веществ и материалов в диапазоне размеров до 100 нм. Особенности поведения вещества в виде частиц таких размеров, свойства которых во многом определяются законами квантовой физики, открывают широкие перспективы в целенаправленном получении материалов с новыми свойствами, такими как уникальная механическая прочность, особые спектральные, электрические, магнитные, химические и биологические характеристики. Такие материалы могут найти и уже находят применение в микроэлектронике, энергетике, строительстве, химической промышленности и научных исследованиях.

Уникальные свойства наноматериалов и их биологическая активность могут быть использованы в частности для адресной доставки лекарственных препаратов, для борьбы с онкологическими заболеваниями и инфекциями, для целей генной и молекулярной инженерии, улучшения качества окружающей среды, в парфюмерно-косметической и пищевой промышленности, а также во многих других областях. Использование нанотехнологий и наноматериалов бесспорно является одним из самых перспективных направлений науки и техники в XXI веке. Учитывая, что в дальнейшем ожидается тесный контакт человека и других биологических объектов с наноматериалами, изучение вопросов потенциальных рисков их использования представляется первостепенной задачей. За рубежом эта проблема в настоящее время выдвигается на первый план.

В мире зарегистрировано и выпускается промышленностью более 1800 наименований наноматериалов. Согласно данным о форме и химическом составе можно выделить следующие основные виды наноматериалов:

- углеродные наночастицы (фуллерены, нанотрубки, графен, углеродные нанопены);
- наночастицы простых веществ (не углерода);

- наночастицы бинарных соединений;
- препараты наночастиц сложных веществ.

Безусловно, в результате производства и использования наноматериалов возможно их попадание в объекты окружающей среды, в том числе и водные.

Загрязнение водных объектов это одна из актуальных проблем Санкт-Петербурга. При этом экологическое состояние водотоков определяется не только качеством толщи воды, но и в значительной мере процессами массопереноса на границе «вода – дно». Такие процессы для водотоков, испытывающих постоянную антропогенную нагрузку, могут приводить не только к ускоренному накоплению загрязняющих веществ в донных отложениях, но и к вторичному загрязнению водных объектов. Важно заметить, что наноматериалы обладают высокой способностью к аккумуляции.

В результате длительного антропогенного воздействия внутренняя нагрузка может достичь величин, соизмеримых с внешним поступлением, и стать значимой составляющей в формировании суммарной. И даже если внешний источник загрязнения устранен, в дальнейшем возможна обратная миграция поллютанта из донных отложений в воды. Исключение влияния токсичных донных отложений является одной из первоначальных задач для обеспечения экологической безопасности водоемов Санкт-Петербурга.

Несмотря на то, что наноматериалы в мире используются уже более 10 лет, ни один из них не был изучен в полном объеме на безопасность ни в одной из стран мира. Процессы переноса наночастиц в окружающей среде с воздушными и водными потоками, их накопление в почве и донных отложениях могут также значительно отличаться от поведения частиц веществ более крупного размера, что говорит о необходимости изучения данного вопроса. Имеющиеся в настоящее время в небольшом количестве исследования в этом направлении указывают на то, что наноматериалы могут быть токсичными, тогда как их эквивалент в обычной форме в этой же концентрации безопасен.

В настоящее время существуют серьезные пробелы в знаниях о воздействии наноматериалов на здоровье, окружающую среду и безопасность. В основном это связано с отсутствием эталонов и стандартизации методологии тестирования; также неизвестны судьба и поведение наноматериалов в окружающей среде, их токсичность для человека. Таким образом, задача разработки необходимых методов тестирования и полного определения характеристик наноматериалов является актуальной.

В результате теоретического анализа было определено, что на безопасность и токсичность наноматериалов для организма могут влиять такие их характеристики, как размер, химия поверхности, морфология, кристаллическая структура и другие. Влияние наночастиц на организм человека двояко. Например, возможность их использования в качестве транспортного средства для лекарственных препаратов, в том числе при лечении раковых опухолей [1], оказывается благоприятной. С другой стороны, в некоторых случаях они могут представлять потенциальную угрозу здоровью людей. Так в высокополидисперсных природных водах частицы наномасштабного диапазона опасны своим размером. Это связано с их высоким сорбирующим потенциалом в силу большой совокупной площади активной поверхности, а также с наличием характерных дополнительных физических эффектов, способствующих более активной сорбции материалов [2]. Кроме того, данные частицы обладают высокой проникающей способностью как через существующие фильтры стандартных очистных установок, так и через ткани организма человека. В этой связи увеличивается их потенциальная опасность для здоровья при высоком содержании в сильно загрязненных водных объектах, особенно в районах, непосредственно соседствующих с водозаборами питьевого водоснабжения населенных пунктов.

В настоящее время нет надежных и убедительных данных по распределению наночастиц и наноматериалов по органам и тканям, отсутствуют достоверные данные по критическим органам. Наиболее изучен ингаляционный путь поступления наноматериалов. При этом установлено, что некоторые из них, поступая с воздухом, в дальнейшем могут

определяться в различных органах и тканях, в том числе в мозге, что не исключает возможности их проникновения через гематоэнцефалический барьер.

Обобщенная схема путей поступления, распределения и выведения наноматериалов в организме человека представлена на рисунке.

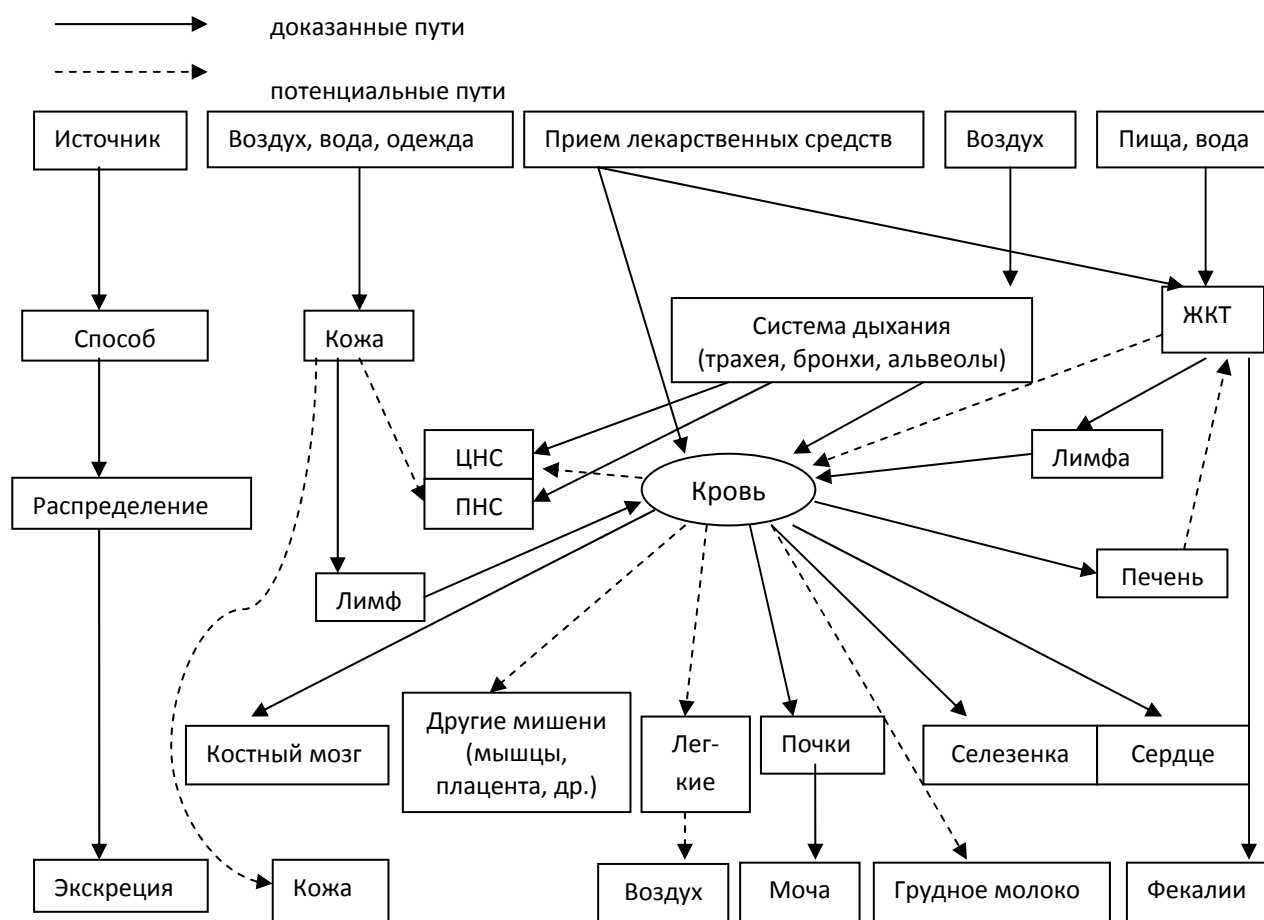


Рисунок. Схема путей поступления, распределения и выведения наноматериалов в организме человека

Согласно имеющимся литературным данным, токсичность наноматериалов, обусловлена в первую очередь развитием окислительного стресса и повреждением ДНК, что может приводить к развитию воспалительной реакции, апоптозу и некрозу клетки. Нельзя исключать, однако, и наличия других механизмов токсичности наноматериалов, связанных в частности с их повреждающим действием на клеточные мембраны и органеллы, усилением транспорта потенциально токсичных компонентов через барьеры организма, а также возможной генотоксичностью и аллергизирующим действием.

Естественные водные объекты в своей толще содержат частицы разной природы и широкого размерного диапазона, включая частицы наномасштабных размеров, для которых характерны весьма низкие значения гидравлической крупности. Они способны оставаться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время, поддерживаясь в толще воды за счет броуновского движения [3]. Считается, что распределение частиц по размеру в природных водах происходит следующим образом: с уменьшением размера частиц их количество возрастает экспоненциально [4].

При анализе природных вод важно учитывать закономерности распространения водных масс, подверженных сезонным изменениям.

В мире разрабатываются методы определения наноматериалов, основанные на использовании: масс-спектрометрии матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации, электрических и белковых биосенсоров, радиоактивных,

стабильноизотопных и спиновых меток, электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгеновской эмиссионной спектроскопии, квазиупругого лазерного светорассеяния, высокоэффективной обращеннофазовой жидкостной хроматографии, аналитического центрифугирования.

Стандартные методы измерения крупности, применяемые в классической гидрологии для частиц размером более 1 мкм (с помощью стандартного фракциометра или пипеточной установки), оказываются неприемлемыми. В настоящее время для оценки размеров частиц наномасштабного диапазона в природных водных объектах начали применяться методики, используемые в других областях исследований. Каждая из них имеет как преимущества, так и недостатки применительно к конкретной цели работы. На основе проведенного анализа был выбран метод, основанный на принципе оценки подвижности частиц в электрическом поле в зависимости от их размера.

Исследования планируется проводить при помощи сканирующего анализатора подвижности частиц. Подвижность аэрозольной частицы определяется ее электростатическим зарядом и массой, то есть частицы одного размера и заряда будут вести себя в электромагнитном поле одинаково [5]. Исходя из возможностей используемого прибора, анализ можно будет провести в узком спектре размеров от 2 до 300 нм. Измерения на указанном устройстве позволят определить количество частиц, полученных из исследуемого образца воды, в кубическом сантиметре воздуха. Несмотря на то, что подобный анализ не позволяет получить абсолютные значения напрямую, он даст возможность сравнить результаты между собой и сделать выводы об относительном содержании частиц интересующего размера.

Долгосрочные перспективы комплексного использования водоемов и водотоков требуют изучения их современного экологического состояния и оценку уровней загрязнения с целью прогнозирования качества воды.

Значимость рассматриваемой проблемы и недостаток экспериментальных работ в этом направлении определили цель исследований. Полученная в дальнейшем информация о природе и динамике наночастиц может обеспечить более глубокое понимание процессов, связанных с формированием экологического состояния водных объектов. Она будет представлять помимо практического значения большой научно-исследовательский интерес, поскольку в настоящее время изучение механизма появления, транспорта и трансформации частиц наномасштабного диапазона в условиях естественных водных объектов находится в стадии накопления фактического материала. Полученные результаты могут быть использованы в последующих исследованиях водных экосистем. По материалам работы могут быть выпущены информационные листки. Основные положения и разработки могут быть использованы в учебном процессе.

Заключение

В ходе выполнения работы обнаружены серьезные пробелы в знаниях о воздействии наноматериалов на здоровье, окружающую среду и безопасность. Неопределенность в основном связана с отсутствием эталонов и стандартизации методологии тестирования. Мало исследовано поведение наноматериалов в окружающей среде, их токсичность для человека.

В результате использования предложенного в работе метода обнаружения, идентификации и количественного определения наноматериалов в объектах окружающей среды, будут получены данные о количестве частиц в исследуемом образце воды, в кубическом сантиметре воздуха.

Немаловажным является получение достоверных результатов измерительной деятельности, а также, что особенно актуально в данном контексте, вопрос доверия к ним. В связи с этим запланирована дальнейшая подготовка полного метрологического обеспечения контроля содержания наноматериалов в водных объектах.

Публикации

1. Быковская Е.А. Обоснование выбора метода исследования форм нахождения тяжелых металлов в абиотических компонентах экосистемы для контроля экологической эффективности модернизированных промышленных объектов // Будущее машиностроения России: сборник трудов седьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов. М., 2014. С. 248–249.
2. Быковская Е.А. Анализ современной системы государственного мониторинга водных объектов по организации и проведению наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов [Электронный ресурс]// Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2190/2190.pdf> (дата обращения: 26.02.2016).

Литература

1. Конопляников А.Г. Использование SP3-наночастиц в терапии рака и для стимуляции репаративных процессов в поврежденных нормальных тканях // Сборник материалов VIII Национального конгресса по онкологии с международным участием. Варна, 2011. С.38–40.
2. Поздняков Ш.Р. Проблемы расчета и измерения характеристик наносов в водных объектах. СПб., 2012. – 226 с.
3. Румянцев В.А., Крюков Л.Н. и др. Природные и техногенные нанообъекты Ладожского озера // Общество. Среда. Развитие. 2010. № 3. С. 229–232.
4. Peternelj A. Size and charge of particles in surface waters: Master Thesis. Lund, 2009. – 73 p.
5. Калечиц В. Нанотехнология: измерение параметров частиц // Наноиндустрия. 2010. № 5. С. 70–75.



Вавулин Дмитрий Николаевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра фотоники и оптоинформатики
E-mail: dima-vavulin@mail.ru

КВАНТОВЫЕ БЛУЖДЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИЯ ФОТОННЫХ ПАР В ЗАКРУЧЕННЫХ МАССИВАХ ВОЛНОВОДОВ

Д.Н. Вавулин

Научный руководитель – профессор А.А. Сухоруков

Цели и задачи проекта

Квантовые блуждания, в которых участвуют несколько частиц, могут быть использованы для реализации квантовых алгоритмов, способных работать быстрее, чем их классические аналоги. Особый интерес представляют квантовые блуждания, в которых взаимодействие нескольких частиц может быть использовано для реализации различных типов моделирования, включая поиск по базе данных [1] и квантовую криптографию [2–4]. Квантовые блуждания фотонов могут быть реализованы в массивах связанных волноводов. В частности, когерентные квантовые явления потенциально могут быть смоделированы в массивах волноводов с замкнутыми граничными условиями [5]. Недавно в фотонно-

кристаллическом волокне был продемонстрирован новый тип связанных волноводов с закрученной геометрией [6]. В данной работе исследуется влияние закручивания на квантовые блуждания фотонов.

Используемые методы исследования

Нормированный профиль эволюции поля накачки вдоль дистанции распространения z определяется через классическое уравнение связанных мод [7]:

$$i \frac{dE_n}{dz} + C(\omega)(\exp[-i\Delta\varphi]E_{n+1} + \exp[i\Delta\varphi]E_{n-1}) = 0, \quad (1)$$

где E_n – комплексная амплитуда поля накачки в n -м волноводе (E_N тождественно E_0 , а E_{-1} тождественно E_{N-1} в соответствии с замкнутыми граничными условиями структуры [8]), n – номер волновода, N – суммарное число волноводов, $\Delta\varphi = \omega d\chi/dz$ – добавочная фаза, которая появляется в связи с закручиванием волноводов, ω – частота, $d\chi/dz$ – периодический профиль волноводного изгиба, $\chi(z) = \chi(z + L)$, где L – период модуляции (изгиба), коэффициент $C(\omega)$ определяет величину связи между соседними волноводами (он характеризует силу дифракции в прямом массиве волноводов с $C_\chi = 0$ [9]).

В нашем случае $d\chi/dz = \text{const}$, так как волноводный профиль изгиба одинаковый для всех значений z .

Генерацию фотонных пар в кубических нелинейных массивах волноводов через спонтанное четырехволновое смешение (СЧВС) при отсутствии нескольких фотонных пар можно охарактеризовать путем эволюции двухфотонной волновой функции $\Psi_{n_s, n_i}(z)$ в уравнении типа Шрёдингера. Данное уравнение получается из Гамильтониана, и оно имеет вид, похожий на случай квадратично-нелинейной среды [6]:

$$i \frac{d\Psi_{n_s, n_i}}{dz} = -C(\exp[i\Delta\varphi]\Psi_{n_s-1, n_i} + \exp[i\Delta\varphi]\Psi_{n_s, n_i-1} + \exp[-i\Delta\varphi]\Psi_{n_s+1, n_i} + \exp[-i\Delta\varphi]\Psi_{n_s, n_i+1}) + i\gamma E_{n_s}^{(p)}(z)E_{n_i}^{(p)}(z)\delta_{n_s, n_i} \exp[i\Delta\beta^{(0)}z], \quad (2)$$

где n_s и n_i – номера волноводов, характеризующие позиции сигнального и холостого фотонов, и $E_{n_s}^{(p)}(z)$ – амплитуда накачки в волноводе с номером n_s , $\Delta\beta$ – линейное фазовое рассогласование из-за эффекта СЧВС в одиночном волноводе, γ – коэффициент нелинейности, δ – дельта-символ Кронекера [7].

Численная реализация модели

Рассматривается массив близко расположенных оптических волноводов, которые закручены вокруг центральной оси вдоль направления распространения. Подобная структура, состоящая из трех волноводов, схематически изображена на рис. 1а. Выводится уравнение типа уравнения Шрёдингера для двухфотонной волновой функции, учитывая волноводный изгиб через появление дополнительной фазы в коэффициентах связи [10]:

$$i \frac{d\Psi_{n_s, n_i}}{dz} = -C(\exp[i\Delta\varphi]\Psi_{n_s-1, n_i} + \exp[i\Delta\varphi]\Psi_{n_s, n_i-1} + \exp[-i\Delta\varphi]\Psi_{n_s+1, n_i} + \exp[-i\Delta\varphi]\Psi_{n_s, n_i+1}), \quad (3)$$

Приводится пример эволюции квантового двухфотонного состояния на рис. 1б, 1в, 1г. Рассматриваются условия на входе в виде перепутанного состояния Эйнштейна – Подольского – Розена (ЭПР), в котором два фотона присутствуют вместе с равной вероятностью в любом из волноводов, но они не могут находиться в различных волноводах, как показано на графике корреляции на рис. 1б. По мере того, как состояние эволюционирует, корреляционные свойства могут быть обращены, и фотоны наиболее вероятно появятся в различных волноводах после определенной дистанции распространения, что показано на рис. 1в. Интересно, что при дальнейшем распространении начальное

состояние может быть почти точно восстановлено, рис. 1г. Эти особенности можно контролировать, изменяя угол закручивания волноводов.

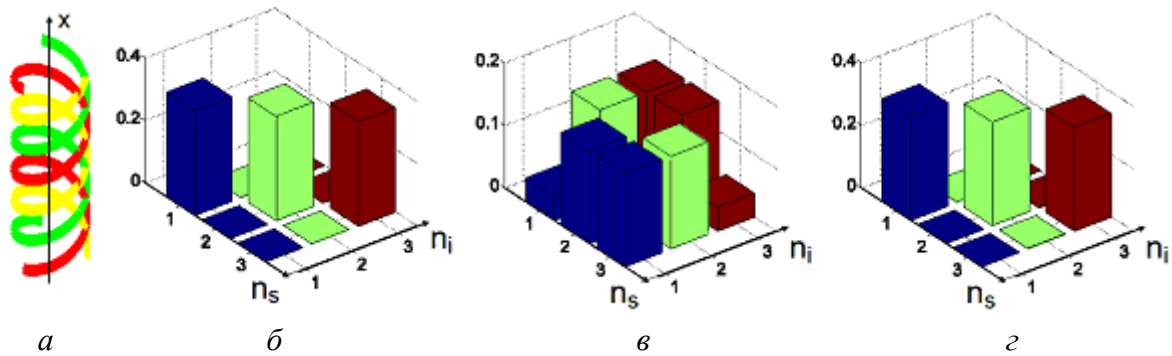


Рис. 1. а – схема связанных закрученных волноводов; б, в, г – двухфотонные корреляции ($|\Psi|^2$) между различными волноводами при $z = 0$ (б), $z = L/2$ (в), $z = L$ (г)

Анализируется также интегрированная генерация фотонов и квантовые блуждания [11], реализованные через спонтанное четырехволновое смешение (СЧВС) в оптических волокнах. Такая система может быть дополнительно адаптирована для получения запутанных состояний с оптическим угловым моментом, которые имеют приложения для квантовых коммуникаций и визуализации.

В данном случае, эволюция амплитуды накачки описывается уравнением (1), а уравнение для двухфотонной волновой функции принимает вид (2).

На рис. 2 изображены двухфотонные корреляции ($|\Psi_{n_s, n_i}|^2$) для такой же структуры, как и на рис. 1, но в случае генерации фотонов от СЧВС из-за накачки внутри массива. При $z = 0$ (рис. 2а) в массиве нет фотонов. На некотором расстоянии (рис. 2б) сгенерированные фотоны наиболее вероятно будут сгруппированы: появляются в одних и тех же волноводах. На дистанции (рис. 2в) фотоны разгруппированы: появляются в различных волноводах. Эти особенности можно контролировать с помощью угла закручивания волноводов и профиля амплитуды накачки на входе.

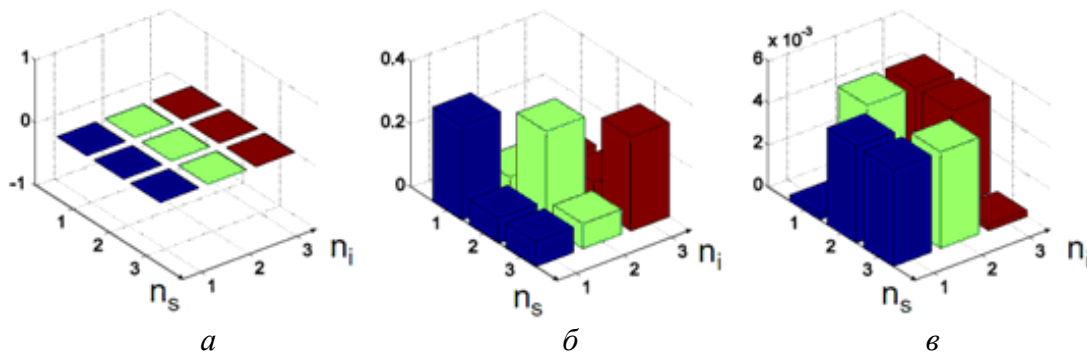


Рис. 2. Двухфотонные корреляции ($|\Psi|^2$) между различными волноводами при генерации фотонов через эффект СЧВС: $z = 0$ (а); $z = 0,375 L$ (б); $z = 0,604 L$ (в)

Заключение

В данной работе определены свойства структуры, при которых стало возможно контролировать уровень запутанности квантовых состояний в оптических волокнах, благодаря изменению структурной геометрии системы. Было показано, что корреляционные свойства фотонных пар внутри массива волноводов зависят от уровня закрученности системы и от амплитуды накачки на входе в массив. Это позволит находить применения в квантовой криптографии, квантовом компьютеринге и многих других смежных областях.

Потенциальные потребители:

- научно-исследовательские лаборатории и группы, университеты (в учебных целях);

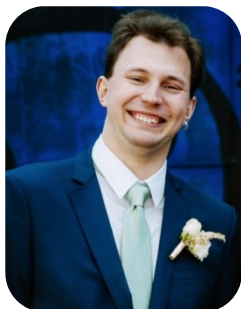
- потребители систем квантовой криптографии (военные и оборонные организации, банковские системы, системы связи и т. д.);
- для квантовых коммуникаций (квантовый компьютеринг, квантовые алгоритмы).

Публикации

1. Egorov V.I., Vavulin D.N., Latypov I.Z., Gleim A.V., Rupasov A.V. Analysis of a sidebands-based quantum cryptography system with different detector types // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2013. Vol. 4. No 2. P. 190–195.
2. Vavulin D.N., Egorov V.I., Gleim A.V., Chivilikhin S.A. Determining influence of four-wave mixing effect on quantum key distribution // *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. Vol. 541. P. 012066.
3. Vavulin D.N., Sukhorukov A.A. Quantum walks of photon pairs in twisted waveguide arrays // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. Vol. 643. P. 012050.
4. Vavulin D.N., Sukhorukov A.A. Numerical solution of Schrödinger equation for biphoton wave function in twisted waveguide arrays // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2015. Vol. 6. No 5. P. 689–696.

Литература

1. Hamilton C.S., Kruse R. et al. Driven quantum walks // *Physical Review Letters*. 2014. Vol. 113. No 8. P. 083602.
2. Owens J.O., Broome M.A. et al. Two-photon quantum walks in an elliptical direct-write waveguide array // *New Journal of Physics*. 2011. Vol. 13. P. 075003.
3. Xi X.M., Wong G.K.L. Orbital-angular-momentum-preserving helical Bloch modes in twisted photonic crystal fiber // *Optica*. 2014. Vol. 1. No 3. P. 165–169.
4. Markin D.M., Solntsev A.S., Sukhorukov A.A. Generation of orbital-angular-momentum entangled biphotons in triangular quadratic waveguide arrays // *Physical Review A*. 2013. Vol. 87. No 6. P. 063814.
5. Garanovich I.L., Longhi S. et al. Light propagation and localization in modulated photonic lattices and waveguides // *Physical Reports*. 2012. Vol. 518. No 1–2. P. 1–79.
6. Solntsev A.S., Sukhorukov A.A. et al. Photon-pair generation in arrays of cubic nonlinear waveguides // *Optics Express*. 2012. Vol. 20. No 24. P. 27441–27446.



Власов Сергей Михайлович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: vlasov.serge.m@gmail.com

КАРТИРОВАНИЕ И ЛОКАЛИЗАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ

С.М. Власов

Научный руководитель – доцент А.А. Пыркин

Целью данного проекта является получение новых алгоритмов управления мобильными робототехническими комплексами, а первой задачей – подбор аппаратной части для их разработки.

Следующей задачей ставится синтез алгоритмов управления, способных составить карту помещения, в которой находится робототехнический комплекс. Далее они будут испытываться на возможность локализации робототехнического комплекса в этом помещении.

Основной метод, используемый в работе, – одновременная локализация и картирование (SLAM) – применяется для построения карты помещения, в котором робот находится и перемещается. Активно используется пакет ROS (Робототехническая операционная система – robotoperatingsystem) – Gmapping, который позволяет получить двумерное отображение карты помещения, на котором отмечены свободные, занятые и неисследованные области.

Рассматриваются системы:

$$\begin{cases} \dot{\chi}_1(t) = A_\chi \chi_1(t) + d_\chi(t) \varphi(y(t-h)) + b_\chi v(t) + e_\chi f(t), \\ y(t) = c_\chi^T \chi_1(t), \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \mu \dot{\chi}_2(t) = F_\chi \chi_2(t) + q u(t), \\ v(t) = l^T \chi_2(t), \end{cases} \quad (2)$$

которые имеют скалярные вход и выход, где $\chi_1(t) \in R^n$ – вектор состояний системы (1), $\chi_2(t) \in R^r$ – вектор состояний системы (2), $y(t) \in R$ – измеряемый выход, функция $v(t) \in R$ – не измеряемая, $u(t) \in R$ – управляющий сигнал, A_χ , F_χ , b_χ , c_χ , d_χ , e_χ , q и l – матрицы соответствующих размеров, содержащие неизвестные параметры.

Далее строится модель управления в следующей форме:

$$\begin{cases} \dot{\chi}_1(t) = A_\chi \chi_1(t) + \sum_{i=1}^n D_i d_i(t) \varphi(y(t-h)) + b_\chi v(t) + e_\chi f(t), \\ y(t) = c_\chi^T \chi_1(t), \end{cases} \quad (3)$$

где $D_1 = [1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]^T$; $D_2 = [0 \ 1 \ 0 \ \dots \ 0]^T$; $D_n = [0 \ 0 \ 0 \ \dots \ 1]^T$; $d_i(t)$ – компоненты изменяющегося во времени вектора $d_\chi(t) = [d_1(t) \ d_2(t) \ \dots \ d_i(t) \ \dots \ d_n(t)]^T$.

Перепишем (2), (3) в форме:

$$\begin{aligned} a(p)y(t) &= b(p)v(t) + e(p)f(t) \\ &\quad + \sum_{i=1}^n g_i(p)d_i(t)\varphi(y(t-h)), \end{aligned} \quad (4)$$

$$d(p)v(t) = c(p)u(t), \quad (5)$$

Далее в ходе работы вводится теорема с последующим доказательством и на ее основе строится адаптивный закон управления. После некоторых вычислений получим:

$$\begin{aligned} \sigma &> \frac{1}{\lambda_{\min}\{Q_3\}} (\mu^{-2} \bar{h}^T \bar{h} + \delta^{-1} \bar{h}^T N^2 \bar{h} \\ &\quad + \delta^{-1} \gamma^2 \bar{h}^T c^T b N^2 b^T c \bar{h} + C^2 \gamma \bar{h}^T c^T \bar{\chi}_i \bar{\chi}_i^T N^2 c \bar{h} \\ &\quad + \gamma \beta^T c \bar{h} N^2 \bar{h}^T c^T \beta + 2 \gamma \bar{h}^T c^T b N^2 b^T c \bar{h}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\delta < \frac{\lambda_{\min}\{Q_1\}}{C^2 \delta \bar{\chi}_i^T P^2 \bar{\chi}_i + \delta b^T P^2 b + \gamma \delta \beta^T P^2 \beta + 2 \delta c^T A A^T c}, \quad (7)$$

$$\mu^{-1} > \frac{1}{\lambda_{\min}\{Q_2\}} (\delta^{-1} \gamma^2 l^T l + q^T R^2 q + \delta^{-1} l^T R^2 l + 3\gamma l^T c^T b R^2 b^T c l + (\gamma + \delta) l^T l + \gamma \beta^T c l l^T R^2 c^T \beta + \delta C^2 l^T c^T R^2 c l), \quad (8)$$

Неравенства (6–8) будут удовлетворять небольшому значению μ и достаточно большому γ и σ , а также $\sigma > \gamma$. Однако параметр T дает новые состояния $k < T^{-1} < \sigma$. Это можно компенсировать следующим адаптивным законом управления. Параметр $\tilde{k} = k + \gamma$ выбирается таким, что

$$\tilde{k}(t) = \int_{t_0}^t \lambda(\tau) d\tau, \quad (9)$$

где функция $\lambda(t)$ принимает форму:

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_0, & |y(t)| > \delta_0 \\ 0, & |y(t)| \leq \delta_0 \end{cases}; \quad \lambda_0 > 0. \quad (10)$$

Параметр T берется из соотношений:

$$T^{-1}(t) = T_0 \tilde{k}^2(t), \quad T_0 > 0. \quad (11)$$

Параметр σ вычисляется таким образом:

$$\sigma(t) = \sigma_0 [T^{-1}(t)]^{2\vartheta}, \quad \sigma_0 > 0. \quad (12)$$

Коэффициент $\tilde{k}$ линейно увеличивается в (9) и (10), в то время как выходное значение $y(t)$ не попадает в небольшую область δ_0 , параметры T^{-1} и σ увеличиваются благодаря (11) и (12).

Заключение

Результаты данного проекта можно использовать в робототехнических системах для мобильных домашних роботов, которые могут служить в качестве охранников, дворецких или домашних питомцев и способны перемещаться по квартире самостоятельно. Так робот охранник может в отсутствии хозяина или по собственной инициативе объехать квартиру и удостовериться, что все в порядке, а в случае наличия какой-либо проблемы, будь то прорыв воды или возгорание, сообщить о происшествии. Другая область применения – складская логистика. Использование роботов, которые способны самостоятельно ориентироваться в помещении склада и проводить, например инвентаризацию, гораздо упростит, а главное – ускорит и удешевит данную процедуру.

Публикации

1. Bobtsov A.A., Pyrkin A.A., Kolyubin S.A., Kapitonov A.A., Feskov A.D., Vlasov S.M., Krasnov A.Y., Khovanskiy A.V., Shavetov S.V. Lego mindstorms NXT for students' research projects in control field // 9th IFAC Symposium Advances in Control Education. 2012. Vol. 9. Part 1. P. 102–106.
2. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Surov M.O., Vedyakov A.A., Feskov A.D., Vlasov S.M., Krasnov A.Y., Borisov O.I., Gromov V.S. Dynamic positioning system for nonlinear MIMO plants and surface robotic vessel // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control. 2013. Vol. 7. Part 1. P. 1873–1878.
3. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Vlasov S.M. Output control algorithms of dynamic positioning and disturbance rejection for robotic vessel // 1st IFAC Conference on Modeling, Identification and Control of Nonlinear Systems. 2015. P. 205–300.

4. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Vlasov S.M., Faronov M.V. Simple robust and adaptive tracking control for mobile robots // 1st IFAC Conference on Modeling, Identification and Control of Nonlinear Systems. 2015. P. 143–149.
5. Власов С.М., Краснов А.Ю., Феськов А.Д. Система управления движением надводного судна // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 1. СПб., 2012. С. 201.
6. Борисов О.И., Власов С.М., Громов В.С., Краснов А.Ю., Руденко В.В. Проектирование и разработка многосвязной робототехнической системы // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. СПб., 2015. С. 86–90.

Литература

1. Официальный сайт компании Robotis [Электронный ресурс]. URL: www.robotis.com (дата обращения: 15.09.2015).
2. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб., 2005. – 336 с.



Гайдуков Вадим Сергеевич

Центр медицинского, экологического приборостроения и биотехнологий

E-mail: v.s.gaidukov@gmail.com

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВОССОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ТОЛСТОЙ КИШКИ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ЕЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ

В.С. Гайдуков

Научный руководитель – кандидат технических наук С.А. Тараканов

Цель проекта – разработка метода воссоздания трехмерной пространственной модели толстой кишки с учетом параметров ее внутреннего строения на основе обработки получаемых в ходе эндоскопического (колоноскопического) исследования изображений (далее – Метод).

По итогам работ разработан Метод, включающий четыре основных составляющих:

- методы получения исходных видеоданных с помощью оборудования колоноскопии;
- методы автоматического построения секвенции фотокадров на основе получаемого видеоряда;
- методы автоматической сшивки фотокадров по бесшовной технологии и создание трехмерной панорамной модели, автоматическая оптимизация ее параметров;
- методы автоматического распознавания и определения координат патологий.

Первый этап получения видеоданных может быть реализован в ходе колоноскопического исследования в клинической практике [1]. Медицинский специалист по рекомендациям в соответствии с разработанными критериями Метода обеспечивает получение исходных данных для следующих этапов обработки. В ходе экспериментальной реализации методики была выполнена ротация эндоскопа на 360° при его продвижении вдоль кишки на ограниченном отрезке с заданным шагом. При этом в каждой точке оператор

останавливал продвижение колоноскопа для проведения ротации, средняя скорость которой соответствовала требованиям Метода.

Второй этап должен выполняться путем реализации алгоритма автоматического построения секвенции по заданным параметрам частоты разбиения видео на кадры (перекрывание соседних кадров минимум на 50 %) с использованием алгоритмов свободного программного обеспечения VirtualDub и их автоматической калибровки.

Третий этап включает выполнение алгоритмов автоматической бесшовной сшивки эндоскопических изображений [2, 3], базирующихся на методах алгоритма SURF [4], но учитывающих специфику эндоскопических исследований и получаемых в них данных. В результате должна формироваться трехмерная модель толстой кишки, наблюдатель которой обеспечен возможностью ее кругового обзора из центральной точки выбранного участка модели. На этом этапе также может быть произведена автоматическая оптимизация параметров получаемой трехмерной модели путем выравнивания ее фотометрических характеристик (яркость, контрастность и т. д.).

При реализации четвертого этапа осуществляется детектирование [5, 6] патологий размерами до 6 мм и более по анализу характеристик стенок кишечника – степени кривизны и текстуры. Далее выполняется вычисление координат патологий с помощью средств библиотеки OpenCV путем выделения контура и определения соотношения площадей вписанного в него объекта и ограничивающего прямоугольника с переводом полученного значения в дискретные координаты.

Разработанный Метод был программно реализован, обеспечив возможность тестирования на практике.

По результатам проведенных тестов были получены колоноскопические изображения, путем сшивки которых (результаты совмещения ключевых точек приведены на рис. 2, ключевые точки выделены желтым) получена действующая трехмерная пространственная модель толстой кишки (рис. 3). Она обеспечивает возможность перемещения в рамках модели, в том числе перехода между ее участками по «туннельному» принципу (с помощью стрелок, рис. 3), вращения камеры (управление левой кнопкой мыши, сдвиг мыши в стороны), масштабирования (вращение колесика мыши), детектирования и определения координат выявленных в ходе колоноскопии патологий размерами до 6 мм и более, а также маркировку на модели обнаруженных патологий.



Рис. 2. Сшивка колоноскопических изображений путем совмещения пар ключевых точек

С использованием разработанного Метода появляется возможность получать изображения в толстой кишке за один проход колоноскопа, что значительно облегчает переносимость процедуры пациентом. Построение трехмерной пространственной модели кишечника выполняется в режиме реального времени, а ее анализ можно выполнять уже после проведения процедуры.

Дальнейшим развитием настоящего исследования может стать проведение работ по усовершенствованию разработанного Метода, например разработка подходов к обеспечению

выравнивания световых параметров изображений (нейтрализация засветки и теней); разработка дополнительных алгоритмов сжатия изображений перед сшивкой (используются исходные изображения высокого разрешения) и последующего улучшения качества результирующей модели; реализация алгоритмов построения трехмерной модели в режиме реального времени. Также может быть проведена дальнейшая оптимизация Метода в части поиска и выделения на изображениях ключевых точек, актуальная по причине работы с объектами без четко выраженной текстуры (стенки кишечника).

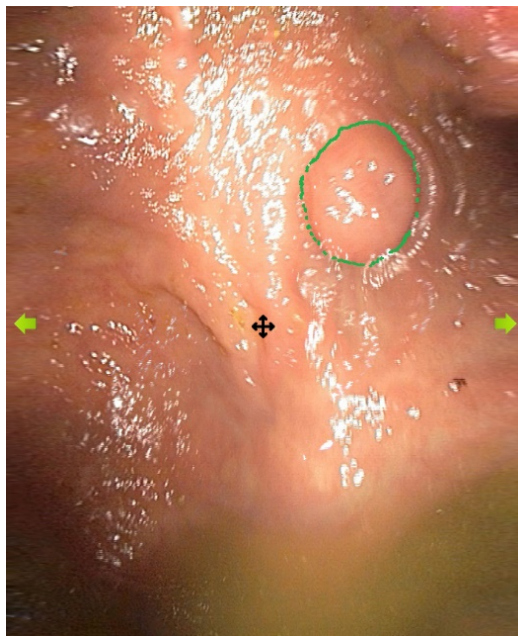


Рис. 3. Полученная трехмерная пространственная модель толстой кишки с маркировкой обнаруженной патологии (зеленым)

Заключение

В ходе выполнения данной работы были решены задачи:

- анализа области исследования;
- анализа и выработки критериев для разработки Метода;
- разработки Метода;
- анализа полученных результатов, включая применимость Метода в реальных условиях.

Разработан Метод, обеспечивающий:

- автоматическую обработку и сшивку изображений, получаемых с помощью колоноскопического оборудования;
- визуализацию изменений слизистой оболочки кишечника (текстура, цвет и пр.) в виде трехмерной интерактивной модели внутренней поверхности толстой кишки с сохранением основных значимых параметров, необходимых для ее оценки;
- возможность интерактивной работы с моделью (неограниченное перемещение в рамках модели, масштабирование, вращение камеры и пр.);
- детектирование и определение координат выявленных в ходе колоноскопии патологий;
- возможность маркировки на модели обнаруженных патологий, пораженных участков кишки и пр.;
- высокую чувствительность создаваемых на основе Метода решений (способность детектирования новообразований размерами до 6 мм и более).

Разработанный Метод и решения, принятые на его основе, могут быть применены для:

- диагностики патологий кишечника и других внутренних органов человека (оценка изменений слизистой оболочки кишечника по максимальному количеству параметров, возможность обнаружения патологий даже малых размеров);
- онкологической хирургии кишечника и других внутренних органов человека (определение координат обнаруженных патологий для уточнения и сужения диапазона области проведения операции) [7];
- обучения медицинских специалистов (изучение внутреннего строения толстого кишечника и его патологий).

Таким образом, разработанный Метод позволит улучшить качество диагностики патологий кишечника за счет возможности надежного детектирования новообразований и патологий малых размеров, а также повысить качество и эффективность проведения операций на внутренних органах за счет возможности определения точного местоположения оперируемого объекта. С учетом этих эффектов улучшится качество медицинского обслуживания населения в целом [8], повысится уровень его жизни (в особенности в крупных городах, в частности Санкт-Петербурге) [9], а также будет обеспечена относительно низкая себестоимость и стоимость эксплуатации создаваемых на основе Метода решений.

Учитывая возможность получения исходных данных необходимого качества [10], а также полученные результаты, подтвержденные врачебной практикой, можно говорить о применимости Метода в реальных условиях, что обеспечивает необходимый задел для эффективности его внедрения в клиническую практику в будущем.

Разрабатываемое решение, как показал анализ исследуемой области, не имеет аналогов, что позволяет говорить о его научной новизне.

Публикации

1. Барчук А.А., Подольский М.Д., Гайдуков В.С. Интеллектуальная распределенная система популяционного скрининга онкологических заболеваний // Вопросы онкологии. 2015. Т. 61. № 4. С. 517–522.

Литература

1. Нобель Д. Колоноскопия для диагностики рака толстой кишки [Электронный ресурс] // Консультационный центр «Эффективная медицина» [Официальный сайт]. URL: www.rosmedzdrav.ru/xgastro/gastro-0509.shtml (дата обращения: 17.09.2015).
2. Lowe D.G. Distinctive image features from scale-invariant key points // International Journal of Computer Vision. 2004. Vol. 60. No 2. P. 91–110.
3. Snyman J.A. Practical mathematical optimization: An introduction to basic optimization theory and classical and new gradient-based algorithms. 2005. – 258 p.
4. Bay H., Tuytelaars T. et al. SURF: Speeded-Up Robust Features // Computer Vision – ECCV 2006. 2006. Vol. 3951. Part 1. P. 404–417.
5. Сирота А.А., Соломатин А.И. Статистические алгоритмы обнаружения границ объектов на изображениях // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2008. № 1. С. 58–64.
6. Mamonov A.V., Figueiredo I.N. et al. Automated polyp detection in colon capsule endoscopy // IEEE Transactions on Medical Imaging. 2014. Vol. 33. No 7. P. 1488–1502.
7. Endoscope positioning system. ScopeGuide (UPD-3) [Electronic resource] // Olympus [Official website]. URL: www.medical.olympusamerica.com/products/scopeguide-upd-3 (accessed: 23.09.2015).
8. Каприн А.Д. и др. Состояние онкологической помощи населению России в 2012 году. М., 2013. – 231 с.
9. Мировая статистика здравоохранения 2012 [Электронный ресурс]. М., 2013. – 176 с. URL: apps.who.int/iris/bitstream/10665/44844/8/9789244564448_rus.pdf?ua=1 (дата обращения: 22.09.2015).

10. Веселов В.В., Федоров Е.Д. и др. Принципы организации и критерии качества колоноскопии, выполняемой с целью скрининга колоректального рака [Электронный ресурс]. М., 2014. – 33 с. URL: www.endoscopy-yaroslavl.ru/content/100513_rekom.pdf (дата обращения: 28.09.2015).



Говоров Антон Игоревич
Факультет инфокоммуникационных технологий
Кафедра интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере
E-mail: antongovorov@gmail.com

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОТИВАЦИИ СТУДЕНТОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ

А.И. Говоров

Научный руководитель – доцент Ю.О. Валитова

Функциональные возможности применения средств мотивации, реализованные при разработке электронного образовательного ресурса, играют не менее важную роль, чем адаптация контента под электронное обучение.

Первоочередная проблема состоит в том, что при проектировании и разработке систем управления обучением или поддержки процесса обучения в учебных заведениях, осуществляющих подготовку бакалавров и специалистов по актуальным направлениям науки и техники, недостаточное внимание уделяется вопросам использования методов и средств мотивации студентов к учебному процессу (познавательной мотивации).

Цель научного исследования: разработать и апробировать методы и алгоритмы использования программных средств мотивации студентов в системах управления обучением.

Задачи научного исследования.

1. Проанализировать существующие наиболее актуальные и востребованные системы управления обучением, созданные в университетах США, Европы, Индии и Китая. Сформировать список особенностей рассматриваемых систем.

2. Провести письменный опрос профессорско-преподавательского состава с целью определения используемых методов и средств мотивации студентов к учебному процессу.

3. На основе списка особенностей иностранных систем управления обучением и результатов опроса профессорско-преподавательского состава разработать методы и алгоритмы, влияющие на мотивацию студентов к учебному процессу.

4. Задействовать при проектировании систем управления обучением их особенности, влияющие на мотивацию студентов к учебному процессу, выполнить реализацию системы с расширенным функционалом настройки и применением средств мотивации студентов.

5. Провести апробацию системы в процессе обучения бакалавров технических направлений.

6. На основе результатов апробации выявить наиболее эффективные средства мотивации студентов к учебному процессу и описать методы и алгоритмы их внедрения в системы управления обучением.

Во всех учебных заведениях происходит постоянное внедрение средств электронного обучения. С каждым годом все большая часть учебной нагрузки переходит в среду электронного обучения. Средства обучения становятся более сложными и перенасыщенными возможностями. При этом мало внимания уделяется мотивации студента к обучению с помощью доступных ему средств электронного обучения [1].

С учетом опыта разработки системы управления обучением с применением игровых технологий и геймификации Шона Янга в процессе обучения учеников курсу «Информационные технологии – базовый курс» в НОУ «Сегрис-ИИТ» была разработана и использована простая система ведения учебного журнала с использованием средств геймификации [2]. С помощью свободно распространяемого сервиса «Google Docs» разработан электронный журнал, находящийся в постоянном открытом доступе. Каждый ученик или родитель может в любое время зайти на его интернет-страницу и ознакомиться с содержимым. Его организация во многом повторяет обычный учебный журнал, но здесь обучаемый получает не оценки, а сумму баллов за урок. Она складывается из баллов за присутствие и дополнительных баллов (рис. 1), которые обучаемый получает за выполнение разработанных заданий.

fx =if(F3>370;"Десятый";if(F3>310;"Девятый";if(F3>250;"Восьмой";if(F3>200;"Седьмой";if(F3>160;"Шестой";if(F3>130;"Пятый";if(F3>90;"Четвертый";if(F3>60;"Третьий";if(F3>30;"Второй";if(F3>0;"Первый";"Десятый")))))))													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Группа 371-б											
2		Фамилия	Имя	Адрес почты	Уровень	Количество	5-Sep	9/9/2013	12/9/2013	15/09/2013	19/09/2013		23
3	1	Веселовский	Федор	veselovskij.fedor@gmail.com	Десятый	398.50	12	3	8	4	7	-2	
4	2	Еремин	Артём	arteremin98@gmail.com	Восьмой	280.00	-3	-3	11	6	7	6	
5	3	Черных	Дмитрий		Девятый	354.00	50						
6	4	Беспалов	Дмитрий		Восьмой	297.00	0	0	0	6	7	-2	
7	5	Прохоров	Дмитрий		Десятый	474.00	0	0	7	8	-5	4	
8	6	Калашников	Вадим	Vadimkalashnikov15@gmail.com	Девятый	325.00	3	6	7	5	7	5	
9	7	Козырев	Александр	frog5643@gmail.com	Шестой	193.00	9	7	9	8	7	3	
10	8	Кулешо	Мария	marikylesho@gmail.com	Десятый	465.00	12	10	12	6	7	5	
11	9	Лебедев	Никита	kukfire@gmail.com	Девятый	329.00	3	4	3	3	4	7	
12	10	Левченко	Александр	saha100021@gmail.com	Седьмой	222.00	8	5	9	3	-3	3	
13	11	Сохранов	Егор	russiantrvellerstv@gmail.com	Восьмой	309.00	8	3	3	3	-5	-2	
14													
15													
16	Легенда:	Не сделанное ДЗ = - 5 баллов											
17		1 решение дополнительного задания = +2 балла											
18		1 решение задания у доски = +1 балл											
19		1 решение усложненного задания = +2 балла											
20		Умная идея по ходу урока = +3 балла											
21		Выполнение задания первым в группе = +Сумма баллов за задание * 1.5											
22		Пропуск занятия, без уважительной причины = -3 балла											
23		Присутствие на занятии = +3 балла											
24		1 выполненный пример из дз = +1 балл											
25		Решение задачи "Пистолет в квадрате" = +15 баллов											
26													

Рис. 1. Вид журнала и стандартный список заданий, за которые начисляются дополнительные баллы

Сумма баллов влияет на условный параметр «уровень обучаемого» или «уровень, отражающий степень осведомленности ученика в предмете относительно его одноклассников» (рис. 2). Такая оценка субъективна, но для мотивации учеников пригодна. Ученики видят в такой оценке успеваемости аналогию с компьютерными играми, происходит процесс, схожий с накоплением очков опыта в играх типа MMORPG (англ. massively multiplayer online role-playing game), который существенно мотивирует их к накоплению баллов за выполнение заданий.

	Фамилия	Имя	Адрес почты	Уровень	Количество	5-Sep	9/9/2013	12
1	Веселовский	Федор	veselovskij.fedor@gmail.com	Десятый	398.50	12	3	
2	Еремин	Артём	arteremin98@gmail.com	Восьмой	280.00	-3	-3	

Рис. 2. Статистика успеваемости обучаемых

Подсчет баллов, вывод уровней и другие возможности журнала выполнены с помощью функций MS Excel, то есть процесс разработки использования и поддержки подобных журналов доступен многим преподавателям общеобразовательных учебных заведений. В настоящее время автором проекта используется аналогичный журнал в учебном процессе кафедры интеллектуальных технологий в гуманитарной сфере Университета ИТМО. В период с 2012 по 2014 год автором был разработан и применялся виртуальный лабораторный практикум по моделированию компьютерных сетей с элементами геймификации в подсистеме управления обучением [3].

В рамках учебного процесса 2014–2015 годов было разработано две версии электронного журнала для использования при подготовке бакалавров с расширенными возможностями геймификации учебного процесса. Первая версия применялась в рамках дисциплины «Психолого-педагогические особенности разработки информационных технологий». Вторая, более успешная, в рамках дисциплины «Базы данных». Вид интерфейса второй версии журнала представлен на рис. 3.

Блок одного занятия

Список обучаемых				Даты занятий и сроки сдачи работ		11.02.2015		18.02.2015							
№	Фамилия	Имя	Отчество	Общий рейтинг	Уровень	Очки действия	Итоговый балл ЦДО	Посещаемость	Успеваемость	Бейдж за занятие	Баллы за вопросы	Баллы за ответы	Применение очков действия	Самостоятельная студента (рефлексия)	Общий дополнительный балл за занятие
1	Бутюпин	Дмитрий	Евгеньевич	9.00	Нет уровня		75							3	0
2	Валеев	Руслан	Ренатович	8.50	Нет уровня		70.83333333	1						3	0
3	Васильев	Дарья	Юрьевна	9.00	Нет уровня		75	1						3	0
4	Гитимитдинов	Нозль	Салаватович	8.00	Нет уровня		66.66666667							3	0
5	Глушаков	Алексей	Леонидович	7.00	Нет уровня		58.33333333	1						2.00000000	0
6	Деманев	Данил	Усманович	12.00	Первый		100	1		3			1	2.5	3
7	Закиров	Данил	Владимирович	2.00	Нет уровня		10.00000000	1						3	0
8	Кажуро	Георгий	Георгиевич	9.00	Нет уровня		75	1						3	0
9	Караунов	Олег	Олегович	10.00	Нет уровня		83.33333333	1						3	0
10	Копылов	Артём	Андреевич	2.00	Нет уровня		10.00000000	1						3	0
11	Краснова	Полина	Евгеньевна	9.00	Нет уровня		75	1						3	0
12	Кузьмин	Кирилл	Сергеевич	8.00	Нет уровня		66.66666667	1						3	0
13	Ларичева	Юлия	Сергеевна	7.00	Нет уровня		58.33333333	1						3	0
14	Назаров	Тимофей	Вадимович	7.00	Нет уровня		58.33333333	1						3	0
15	Наумкин	Илья	Александрович	10.00	Нет уровня		83.33333333	1			1			3	1
16	Салимов	Буллат	Магомедович	9.00	Нет уровня		41.00000000	1						1.5	0
17	Табачкина	Анна	Александровна	10.00	Первый		87.5				2		1	3	2
18	Харченко	Елена	Павловна	10.00	Нет уровня		83.33333333	1						3	0
19	Швабко	Михаил	Андреевич	10.00	Нет уровня		83.33333333	1						3	0
20	Швабко	Светлана	Евгеньевна	4.00	Нет уровня		33.33333333	1						3	0

Блок материалов:				Рейтинг обучаемого	Уровень обучаемого	Блок обычной информации	Геймифицированный блок
1	Google-Disk						
1.1	Все материалы необходимые для обучения	http://bit.ly/3TACG5ohMyAR					
1.1.1	- Лекции (презентации)	http://bit.ly/3TACG5ohMyAR					
1.1.2	- Лабораторные работы	http://bit.ly/3TACG5ohMyAR					

10

Рис. 3. Вид журнала

Использование рассмотренного выше журнала в учебном процессе позволило сделать следующие выводы:

- появление игровых задач в дополнение к традиционным учебным заданиям поставило перед обучающимися дополнительные цели, что побудило их к достижению успеха и избеганию неудач;
 - использование активных методов обучения, таких как групповые задания, контроль которых полностью осуществлялся средствами разработанного электронного журнала, повлияло на мотивы власти, отвержения, альтруистические мотивы и аффилиации.
- На основе полученного опыта предложена первая версия принципов построения системы мотивации:
- участие обучаемых в процессе обучения, в котором применяется система мотивации, должно быть добровольным;

- система мотивации должна быть простой и ясной. При существенном усложнении правил работы с ней усложняется учебный процесс, что приводит к снижению уровня мотивации некоторых обучаемых;
- наиболее эффективно мотивации личности поддаются воздействию в комплексе;
- уровень различных мотиваций личности динамичен;
- если в какой-то момент работы с системой мотивации преподаватель прекратит использовать мотивационные элементы в учебном процессе, у него могут возникнуть проблемы с повторным вовлечением студентов в используемую систему;
- каждый обучаемый требует к себе индивидуального подхода. Методы, положительно влияющие на одного студента, могут отрицательно повлиять на процесс обучения другого. При использовании сложной системы мотивации необходимо наблюдать за каждым обучаемым. Если у обучаемого появятся отрицательные эмоции по отношению к системе, это может негативно сказаться на процессе обучения.

С учетом перечисленных выше выводов и предложенных принципов в июле 2015 года была разработана новая версия журнала. В начале 2015–2016 учебного года она запущена в учебный процесс. На основе результатов, полученных в первом семестре, будут разработаны подробные методы и алгоритмы мотивации студентов к процессу обучения в системах управления обучением.

Для применения всех планируемых для реализации средств мотивации Google-таблиц недостаточно. В данный момент ведется разработка полнофункциональной LMS с расширенными возможностями и применением средств платформы Open EDX.

Публикации

1. Говорова М.М., Говоров А.И., Шиков А.Н., Янсон К.Ю. Применение виртуального лабораторного практикума по моделированию компьютерных сетей с использованием программного эмулятора // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 12. С. 65–74.
2. Говоров А.И., Говорова М.М. Геймификация как средство повышения мотивации учащихся // Информатика и образование. 2014. № 9. С. 76–78.
3. Говоров А.И., Говорова М.М., Шиков А.Н. Функциональные особенности разработки виртуального лабораторного практикума по компьютерным сетям // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2015. № 4. С. 42–53.

Литература

1. Быховский Б.Э. Шопенгауэр. М., 1975. – 206 с.
1. Classcraft: gamifying the classroom [Electronic resource] // Classcraft [Official website]. URL: www.classcraft.com/assets/documents/classcraft-mmorpg-schools.pdf (accessed: 03.03.2015).
3. Говорова М.М., Говоров А.И. и др. Применение виртуального лабораторного практикума по моделированию компьютерных сетей с использованием программного эмулятора // Дистанционное и виртуальное обучение. 2013. № 12. С. 65–74.



Грибаев Алексей Иванович
Факультет инфокоммуникационных технологий
Кафедра световодной фотоники
E-mail: digolu@rambler.ru

СОЗДАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ РЕШЕТОК БРЭГГА

А.И. Грибаев

Научный руководитель – доцент С.В. Варжель

Введение

В настоящее время во многие высокотехнологичные сферы идет интенсивное внедрение волоконно-оптических датчиков (ВОД) на основе решеток Брэгга. Они устойчивы к электромагнитным возмущениям, обладают малыми массогабаритными параметрами и относительно низкой себестоимостью [1]. Волоконная брэгговская решетка (ВБР) представляет собой участок оптического волокна, в сердцевине которого находится индуцированная периодическая структура показателя преломления, имеющая продольное распределение (рис. 1.) [2].

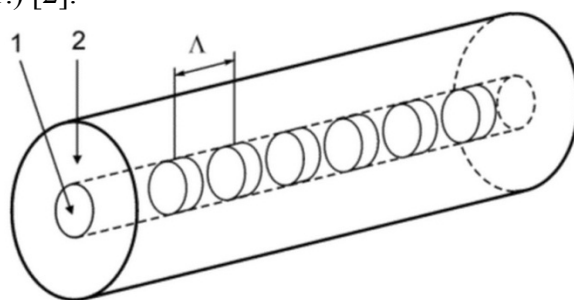


Рис. 1. Схема волоконной решетки показателя преломления:

1 – фоточувствительная сердцевина световода; 2 – кварцевая оболочка

Волоконные решетки Брэгга в настоящее время довольно широко используются в оптических волокнах (ОВ) для уплотнения каналов по длине волны и оптической фильтрации сигналов как резонаторные зеркала в полупроводниковых и волоконных лазерах, а также как сглаживающие фильтры в оптических усилителях для компенсации дисперсии в магистральных каналах связи. Иной областью применения ВБР является использование их в различных современных измерительных системах, детектирующих такие параметры окружающей среды, как температура, влажность, давление, деформация, содержание химических веществ. Отличительной особенностью систем на основе волоконных решеток Брэгга является большая протяженность контролируемых зон, быстродействие и уникальные информационные возможности.

Целью проекта является создание чувствительного элемента волоконно-оптического распределенного датчика температуры на основе решеток Брэгга.

Основная часть

Для записи ВБР использовался эксимерный лазер Optosystems Ltd 7020 с рабочей газовой смесью ArF и длиной волны излучения 193 нм. Схема записи ВБР представлена на рис. 2.

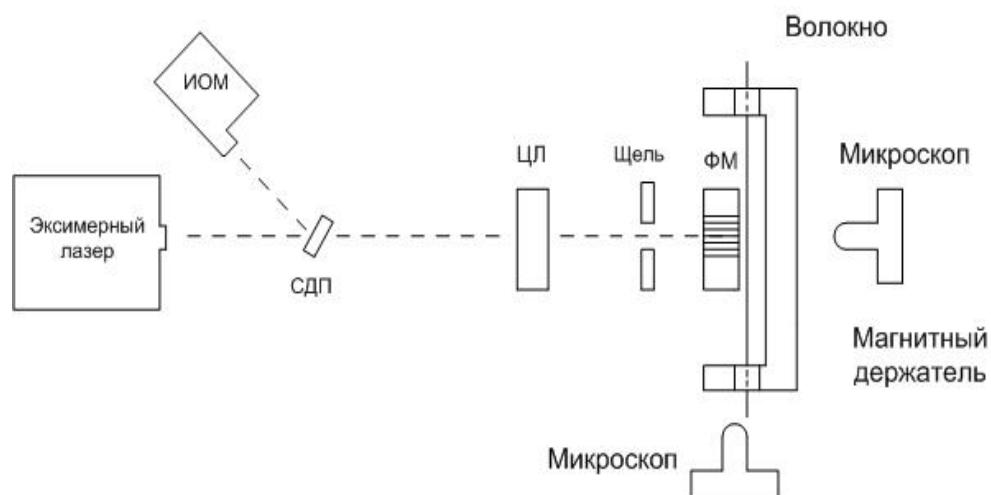


Рис. 2. Схема стэнда для записи ВБР: ИОМ – измеритель оптической мощности; СДП – светоделительная пластина; ЦЛ – цилиндрическая линза; ФМ – фазовая маска

В рамках проекта запись распределенных ВБР проводилась в одноимпульсном режиме с плотностью энергии в импульсе около 1 Дж/см^2 методом фазовой маски. Эксимерный лазер генерирует импульсы длительностью 17 нс и энергией до 350 мДж с частотой от 1 до 20 Гц. Лазерное излучение попадает на светоделительную пластину, которая отводит часть энергии лазерного пучка на сенсор измерителя энергии. Далее пучок проходит через цилиндрическую линзу, которая фокусирует его по одной из осей для достижения требуемой плотности энергии. Попадая на фазовую маску с подавлением нулевого порядка дифракции ($< 3\%$), импульс дифрагирует на +1 и -1 порядки. Интерференционная картина этих порядков осуществляет запись решетки Брэгга в ОВ, закрепленном на расстоянии в несколько микрон от фазовой маски [3]. Щель позволяет изменять длину решетки, а два микроскопа используются для точной установки волокна относительно фазовой маски.

Для записи массивов решеток Брэгга применялось двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой [4]. В записи также использовались фазовые маски с периодами 1054,62 и 1068,40 нм для получения разности длины волны отражения решеток. Для контроля характеристик ВБР применены суперлюминесцентный источник излучения с волоконным выходом и оптический спектроанализатор. При воздействии на волокно такого мощного импульса излучения возникает интенсивный прогрев сердцевинки световода, сопровождающийся частичным плавлением граничной с сердцевинкой области оболочки. ВБР, записанные с такой плотностью энергии, принято называть решетками типа II [5].

На рис. 3 представлен спектр отражения массива решеток Брэгга индуцированных в сердцевину двулучепреломляющего ОВ. На нем видны решетки с центральными длинами волн отражения 1530 и 1550 нм и коэффициентами отражения 30 % и 45 % соответственно.

Данный массив решеток Брэгга может быть использован под различные задачи распределенного контроля температуры, и его параметры оптимально подходят для создания чувствительного элемента ВОД.

Созданный массив, использованный в качестве чувствительного элемента распределенного волоконно-оптического спектрально-чувствительного датчика на двух решетках Брэгга, представлен на рис. 4.

Если внешнему воздействию подвергаются волоконные решетки Брэгга, это приводит к изменению длин волн брэгговского резонанса дифракционных структур [6].

В рамках проекта рассматривалось термическое воздействие на ВБР. Смещение брэгговской длины волны происходит из-за температурного расширения структуры кварца, вызывающего изменения периода решетки и показателя преломления волокна. Такое смещение λ_B при изменении температуры ΔT выражается как:

$$\Delta \lambda_B = \lambda_B (\alpha + \xi) \Delta T, \quad (1)$$

где $\alpha = (1/\Lambda)(\partial\Lambda/\partial T)$ – коэффициент термического расширения (для кварца $\alpha = 0,55 \times 10^{-6}$); $\xi = (1/n)(\partial n/\partial T)$ – термооптический коэффициент (для волокон с добавками германия примерно равный $8,6 \times 10^{-6}$).

Очевидно, что изменение показателя преломления является доминирующим эффектом.

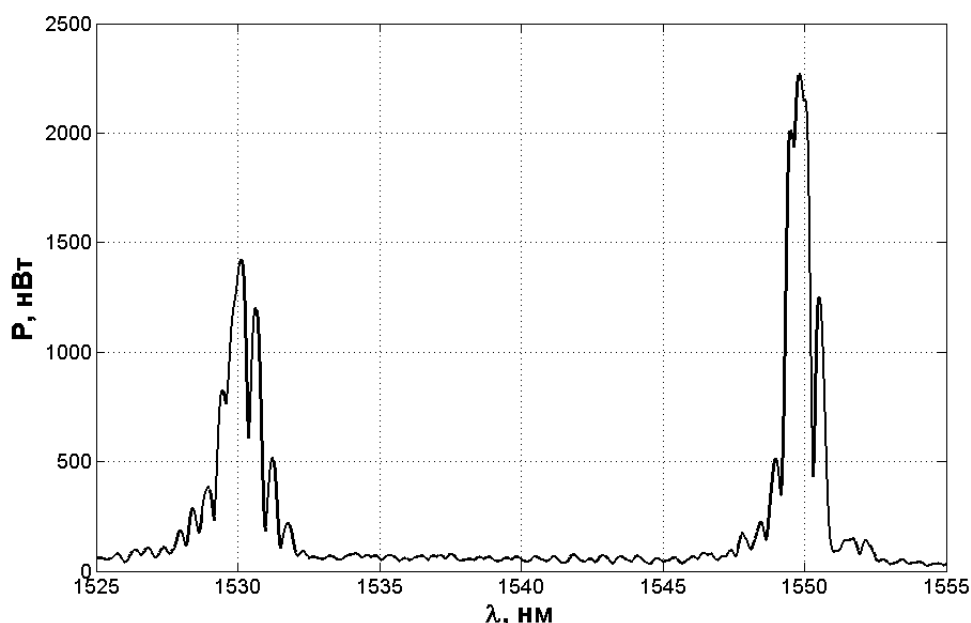


Рис. 3. Спектр массива ВБР: λ – длина волны отражения брэгговского резонанса; P – отраженная мощность



Рис. 4. Распределенный спектрально-чувствительный датчик на двух ВБР, где $R1$ и $R2$ – коэффициенты отражения; $\lambda1$ и $\lambda2$ – длины волн брэгговского резонанса

Для проведения эксперимента по зависимости изменения центральной длины волны брэгговского резонанса решеток от приложенной температуры собран стенд, схематически изображенный на рис. 5.

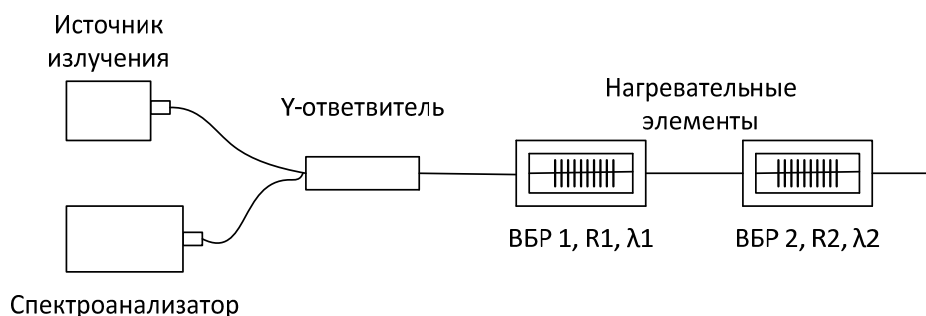


Рис. 5. Схематическое изображение стенда для термического воздействия на ВБР

На рис. 6 показан график сдвига длины волны при воздействии температуры на ВБР.

После ряда экспериментов по температурному воздействию на ВБР было выяснено, что при температуре выше 700°C наведенный показатель преломления деградирует, что ведет к изменению коэффициента отражения. Длина волны отражения решеток после столь высоких температур также не возвращается в исходное положение, что негативно сказывается на калибровке ВОД температуры. Поэтому данный чувствительный элемент

можно использовать в большом диапазоне температур от 0 до 600 °С, что позволяет применять его в термически экстремальных условиях среды.

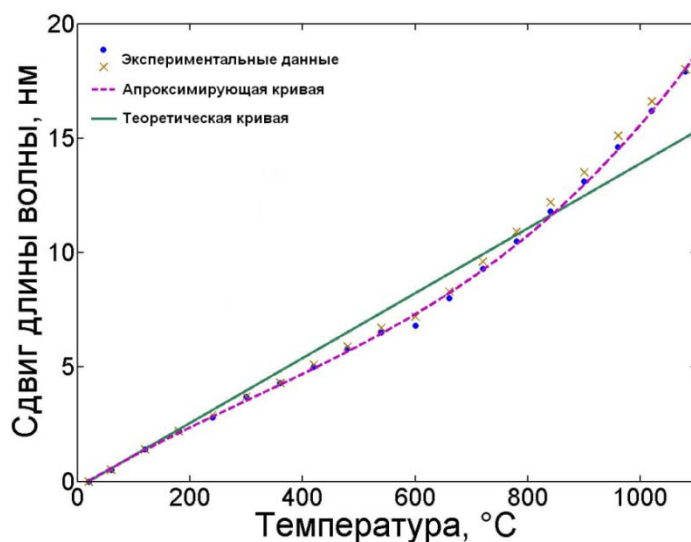


Рис. 6. Зависимость сдвига длины волны отражения ВБР от приложенной температуры

Заключение

Созданный чувствительный элемент на основе ВБР является ключевым этапом в разработке распределенного ВОД температуры, так как в настоящее время существует необходимость в распределенных системах контроля температуры в различных сферах деятельности человека. Помимо требуемых метрологических характеристик сенсоры должны обладать высокой надежностью, точностью, долговечностью, стабильностью, малыми габаритами, массой и энергопотреблением при низкой трудоемкости изготовления и сравнительно небольшой стоимости. Этим требованиям соответствуют волоконно-оптические распределенные датчики температуры на основе решеток Брэгга.

Областью применения распределенных волоконных температурных датчиков являются сферы, связанные с безопасностью, например системы пожарного оповещения в автомобильных, железнодорожных или сервисных туннелях; термический контроль силовых кабелей и воздушных линий передач; повышение эффективности нефтяных и газовых скважин; обеспечение безопасного рабочего состояния промышленных индукционных плавильных печей; контроль герметичности контейнеров со сжиженным природным газом на судах в разгрузочных терминалах; контроль температуры при химических процессах.

Публикации

1. Petrov A.A., Varzhel S.V., Gribaev A.I., Palanjyan D.A., Konnov K.A. High-performance fiber Bragg gratings exposed by a single 17-ns excimer laser pulse in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 9065. P. 90650H.
2. Petrov A.A., Varzhel S.V., Gribaev A.I., Palanjyan D.A., Konnov K.A. High-performance fiber Bragg gratings induced by a single ArF excimer laser pulse in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding // International Symposium «Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies» (FLAMN-13). 2013. P. 91.
3. Паланджян Д.А., Грибаев А.И., Варжель С.В., Коннов К.А., Петров А.А. Запись решеток Брэгга ArF эксимерным лазером в анизотропном оптическом волокне // Сборник трудов VIII международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2013». СПб., 2013. С. 315–316.
4. Плотников М.Ю., Грибаев А.И., Коннов К.А., Варжель С.В., Куликов А.В., Артеев В.А. Применение решёток Брэгга при создании современных волоконно-оптических сенсорных

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

систем // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2013». СПб, 2013. С. 76–77.

5. Kulikov A.V., Konnov K.A., Varzhel S.V., Gribaev A.I. Single excimer pulse writing of Bragg gratings in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding: visualization and thermal annealing of the gratings // Materials of the V International Research and Practice Conference. Munich, 2013. Vol. I. P. 305–310.

6. Грибаев А.И., Азаревич Р.Д., Коннов К.А., Петров А.А., Варжель С.В., Паланджян Д.А. Исследование воздействия излучения CO₂ лазера на спектральные характеристики волоконных решеток Брэгга типа II // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 3. СПб., 2014. С. 51–52.

7. Кулаченков Н.К., Коннов К.А., Куликов А.В., Варжель С.В., Грибаев А.И. Моделирование интерферометрической установки для записи волоконных брегговских решеток // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2013. С. 31–32.

8. Петров А.А., Варжель С.В., Куликов А.В., Грибаев А.И., Паланджян Д.А., Коннов К.А. Запись решеток Брэгга AgF эксимерным лазером в анизотропном оптическом волокне // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 6. С. 31–36.

9. Забиякин А.Н., Варжель С.В., Коннов К.А., Грибаев А.И., Лавров В.С. Исследование влияния механических напряжений на характеристики волоконных брегговских решеток // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб., 2014. С. 74–76.

10. Лавров В.С., Аксарин С.М., Варжель С.В., Погорелая Д.А., Коннов К.А., Грибаев А.И. Исследование зависимости параметров анизотропных одномодовых волоконных световодов от приложенного давления // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб., 2014. С. 12.

Литература

1. Варжель С.В., Куликов А.В. и др. Запись брегговских решеток в двулучепреломляющем оптическом волокне одиночным 20-нс импульсом эксимерного лазера // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 4. С. 85–88.

2. Васильев С.А., Медведков О.И. и др. Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. 2005. Т. 35. № 12. С. 1085–1103.

3. Петров А.А., Куликов А.В. и др. Запись решеток Брэгга AgF эксимерным лазером в анизотропном оптическом волокне // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 6. С. 31–36.

4. Патент РФ 2155359 «Способ изготовления волоконных световодов, сохраняющих поляризацию излучения», опубл. 27.08.2000.

5. Archambault J.L., Reekie L., Russell P.S. High reflectivity and narrow bandwidth fibre gratings written by single excimer pulse // Electronics Letters. 1993. Vol. 29. No 1. P. 28–29.

6. Мешковский И.К., Варжель С.В. и др. Термический отжиг решеток Брэгга при изготовлении волоконно-оптических фазовых интерферометрических датчиков // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 5. С. 91–93.



Громов Владислав Сергеевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: gromov@corp.ifmo.ru

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ГАРМОНИЧЕСКИМ СИГНАЛОМ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В.С. Громов

Научный руководитель – доцент А.А. Пыркин

Цель данного проекта заключается в разработке системы управления робототехнической системой на примере мобильного робота-манипулятора для слежения за гармоническим сигналом в условиях наличия внешних гармонических возмущающих воздействий, нелинейности и запаздывания в канале управления. Для полученной системы с целью проверки ее работоспособности следует провести экспериментальные исследования на лабораторном робототехническом комплексе.

За основу проекта была взята задача сопровождения цели. Система управления должна обеспечивать совмещение и удержание линии наблюдения устройства слежения с направлением на подвижный объект с некоторой точностью.

Устройство слежения при такой постановке задачи представляет собой двухканальную систему, выходами которой являются угол места и азимут линии наблюдения, которые должны стремиться к углу места и азимуту цели соответственно. При решении данной задачи необходимо уделить внимание проблеме запаздывания.

Запаздывание в системах автоматического управления может возникать по различным причинам, например в силу ограниченности быстродействия отдельных ее компонентов, инерционности процессов протекающих в ней, удаленности объекта управления и многим другим. Иногда этими факторами можно пренебречь, но зачастую они приводят к ухудшению качества функционирования системы, а в некоторых случаях к потере устойчивости [1]. В связи с широким распространением цифровых систем управления рассматриваемая проблема становится все актуальнее. Для расчета управляющих воздействий микроконтроллерам требуется некоторое время. Ограниченная пропускная способность цифровых каналов связи приводит к увеличению запаздывания [2].

В большинстве работ рассматривается запаздывание по состоянию и по управлению. В данном случае исследуются системы с входным запаздыванием, так как для них получено мало конструктивных решений в силу их сложности.

Кроме запаздывания в работе особое внимание уделяется мультисинусоидальным воздействиям. Рассматривается проблема компенсации внешних возмущений, являющаяся фундаментальной в современной теории автоматического управления, и задача слежения за мультисинусоидальным задающим воздействием. Проблемы компенсации возмущающих воздействий, представимых как конечная сумма синусоидальных сигналов, встречаются достаточно часто, например в системах активной виброзащиты.

Несмотря на большое количество работ, посвященных управлению в условиях запаздывания и компенсации внешних возмущающих воздействий, эти проблемы в совокупности рассматриваются относительно недавно [2]. В развитии уже полученных результатов в работе решается задача слежения за мультисинусоидальным сигналом.

Полученный закон управления необходимо проверить на математической модели и испытать практически на мобильном роботе-манипуляторе в составе робототехнического комплекса.

Рассмотрим задачу слежения за неизвестным мультисинусоидальным сигналом для линейной системы в условиях запаздывания по управлению и наличии внешнего возмущающего воздействия:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t - h), \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t), \quad (2)$$

$$e(t) = g(t) - y(t), \quad (3)$$

где $x \in R^n$ – вектор состояния, $u \in R$ – сигнал управления, h – известное постоянное запаздывание, $y \in R$ – выход системы, $g \in R$ – задающий сигнал в виде желаемого выхода системы, определяемого целью функционирования, $e \in R$ – ошибка слежения за задающим сигналом, $A_{n \times n}$ – матрица состояния, $B_{n \times 1}$ – матрица входов управления, $C_{1 \times n}$ – матрица выхода.

Для сигнала управления справедливо $u(t-h) = 0$ для $t < h$.

В роли задающего сигнала выступает мультисинусоидальный сигнал со смещением σ^g :

$$g(t) = \sigma^g + \sum_{j=1}^{l_2} \mu_j^g \sin(\omega_j^g t) + \nu_j^g \cos(\omega_j^g t), \quad (4)$$

состоящий из l_2 гармоник с неизвестными амплитудами μ_j^g и ν_j^g и частотами ω_j^g , где $j = \overline{1, l_2}$ – номер гармоники.

Ставится задача слежения за задающим сигналом $g(t)$, которая состоит в синтезе закона управления u , обеспечивающего асимптотическую сходимость к нулю ошибки слежения (3):

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |e(t)| = 0, \quad (5)$$

с учетом следующих допущений:

- допущение 1. Все параметры системы (1)-(2) известны.
- допущение 2. Тройка матриц (A, B, C) полностью управляемая и наблюдаемая.
- допущение 3. Известна нижняя граница частот ω_0 для задающего сигнала $g(t)$ и возмущающего воздействия $\delta(t)$:

$$\begin{aligned} \omega_i^\delta &\geq \omega_0, \quad i = \overline{1, l_1}, \\ \omega_j^g &\geq \omega_0, \quad j = \overline{1, l_2}. \end{aligned}$$

- допущение 4. Все частоты ω_i^δ , $i = \overline{1, l_1}$ и ω_j^g , $j = \overline{1, l_2}$ различны.

На основе имеющихся данных предполагается использование закона управления следующего вида:

$$u(t) = \hat{\sigma}^u + \sum_{j=1}^{l_2} \kappa_j^u \sin(\hat{\omega}_j^g t) + \zeta_j^u \cos(\hat{\omega}_j^g t), \quad (6)$$

где коэффициенты:

$$\begin{aligned} \kappa_j^u &= \hat{\mu}_j^u \cos(\hat{\omega}_j^g h) - \hat{\nu}_j^u \sin(\hat{\omega}_j^g h), \\ \zeta_j^u &= \hat{\mu}_j^u \sin(\hat{\omega}_j^g h) + \hat{\nu}_j^u \cos(\hat{\omega}_j^g h). \end{aligned} \quad (7)$$

Управление роботом осуществляется по сигналам, связанным с рассогласованием по углам слежения. В рамках апробации разработанных алгоритмов предполагается, что изменение угла места и азимута подвижного объекта может быть приближенно описано с помощью синусоидальных функций. Это является достаточно сильным ограничением на

применимость такой системы слежения. С другой стороны, как было указано выше, задачи слежения и компенсации решаются единым способом. Значит, система управления может быть использована и для стабилизации систем наблюдения, расположенных на подвижных объектах, в том числе на судах, для которых такой тип возмущающего воздействия является более распространенным.

Устройством наблюдения выступает USB web-камера Logitech C170, расположенная на последнем звене мобильного манипулятора Kuka youBot, внешний вид которого представлен на рис. 1. Для усложнения задачи слежения этот манипулятор можно установить на мобильную платформу. В качестве подвижного объекта выступает изображение круга, выводимое на жидко-кристаллическую панель Cisco LCD 110 PRO 52S. На рис. 1 показано расположение оборудования, используемого для эксперимента.

Выделение объекта в кадре осуществляется по цвету, для чего по каждому каналу RGB-изображения осуществляется бинаризация путем сравнения с пороговым значением, настраиваемым для каждого канала из условия безошибочного отделения изображения объекта от фона. Общая бинарная маска получается путем логического умножения между масками для каждого канала. Далее определяются координаты центра масс выделенного сегмента изображения относительно левого верхнего угла кадра. Ось абсцисс в рамках кадра считается направленной вправо, ось ординат – вниз.

Истинное направление на объект не измеряется, как и направление линии наблюдения устройства слежения, в этой связи задача формулируется как стабилизация центра подвижного объекта в центре кадра камеры. Сигналами рассогласования в таком случае являются разности координат центров кадра и объекта по осям абсцисс и ординат соответственно в пикселях кадра камеры, а задающий сигнал описывается относительно системы координат совмещенной с центром кадра камеры.

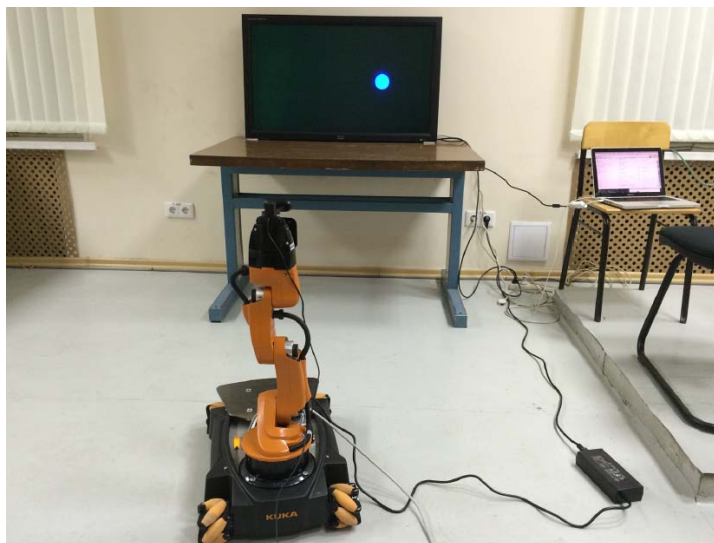


Рис. 1. Конфигурация экспериментального оборудования. Манипулятор закреплен на мобильной платформе

Так как слежение осуществляется по двум осям, для ориентации камеры используется два последних звена манипулятора. Его последнее звено вращается вокруг вертикальной оси локальной системы координат звена, а предпоследнее – по горизонтальной.

Система управления включает локальную систему регулирования приводами манипулятора и удаленную, осуществляющую обработку изображений и расчет сигналов задания для звеньев манипулятора. Локальная система управления написана на языке Си с использованием библиотек предоставляемых производителем. Сигналом задания для каждого привода является желаемый угол поворота звена манипулятора.

Удаленная система реализована в программной среде MATLAB Simulink с использованием следующих пакетов: Real-Time Windows Target, позволяющего проводить

моделирование с привязкой к реальному времени; Image Acquisition Toolbox – для захвата изображений с камеры; Image Processing Toolbox – для их обработки и Control System Toolbox – для реализации закона управления. Команды управления от Simulink модели регулятора к программе, запущенной на роботе, передаются по TCP/IP соединению. На канальном уровне соединение реализовано посредством Ethernet 100BASE-T.

При синтезе регулятора использовалась приближенная модель системы, запаздывание в системе управления манипулятором составляло два такта, что при частоте дискретизации 10 Гц равно 0,2 с. При экспериментальном исследовании алгоритмов управления оно было увеличено с помощью дополнительного блока запаздывания, расположенного в модели регулятора.

Была проведена серия экспериментов, в ходе которых проверялась работоспособность системы при переключении задающих воздействий, а также выполнялось сравнение разработанного подхода с пропорциональным и комбинированным (с прямыми связями по оценке задающего сигнала) регуляторами. Эффективность решения задачи слежения новым способом была подтверждена.

На рис. 2 и 3 представлены результаты экспериментального исследования разработанного алгоритма в задаче слежения с запаздыванием в канале связи равным 2,5 с. Задающее воздействие представляло собой для первого канала сумму двух гармоник, а для второго – одну гармоническую функцию.

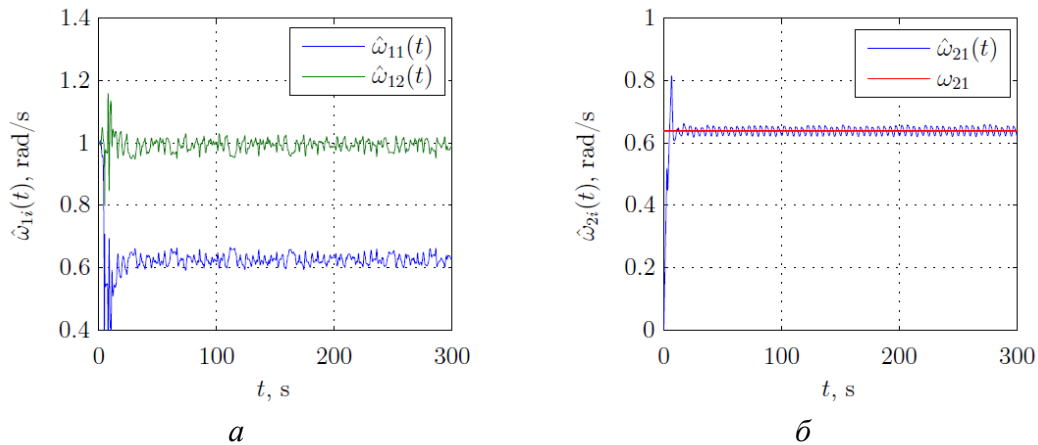


Рис. 2. Оценки частот: а – по первому каналу; б – по второму

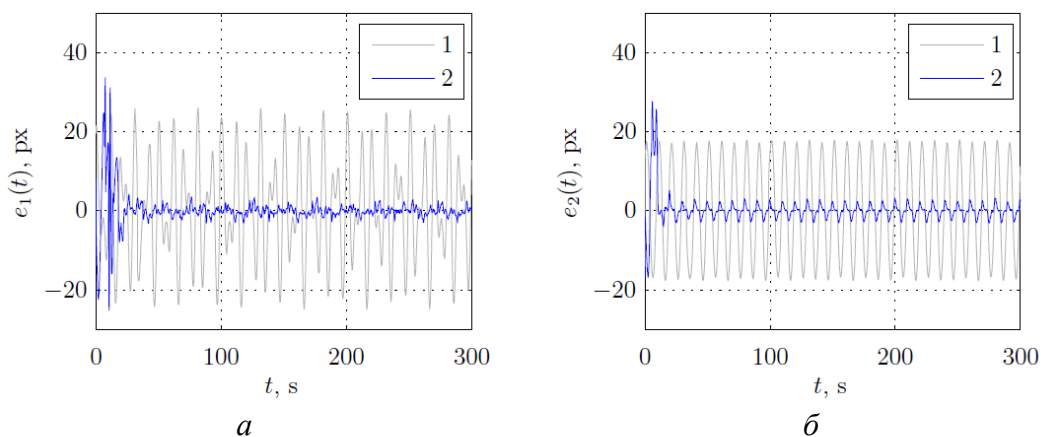


Рис. 3. Ошибки слежения: а – по первому каналу; б – по второму:
1 – без управления; 2 – с управлением

Результаты экспериментов, представленные в виде графиков, подтверждают работоспособность предложенного подхода и его эффективность. Было продемонстрировано, что увеличение запаздывания в канале связи не влияет на величину ошибки слежения. Отдельно стоит отметить, что при синтезе регулятора использовалась

приближенная модель объекта управления, что показывает работоспособность предложенного алгоритма при наличии параметрических неопределенностей.

Заключение

В данном проекте была поставлена и выполнена задача разработки системы управления для слежения за гармоническим сигналом в условиях наличия внешних гармонических возмущающих воздействий, нелинейности и запаздывания в канале управления применительно к робототехнической системе на примере мобильного робота-манипулятора. Были выполнены следующие этапы работы: выбраны математические модели движения робота и задающего сигнала; разработана система управления роботом, включающая в себя алгоритм идентификации параметров задающего сигнала; проведены исследовательские испытания, в ходе которых был собран робототехнический комплекс для апробации алгоритмов управления; подготовлено необходимое программное обеспечение; разработано устройство определения локальных координат объекта слежения. Итогом проведения исследовательских испытаний является подтверждение работоспособности разработанного алгоритма управления на мобильном роботе-манипуляторе.

Публикации

1. Bazylev D.N., Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Margun A.A., Pyrkin A.A., Vedyakov A.A. Rejection of unknown multiharmonic disturbance on cascade reduction // Proceedings of the International Conference of Young Scientists Automation & Control. 2013. No 1. P. 23–27.
2. Bobtsov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Kolyubin S.A., Pyrkin A.A., Shavetov S.V. Semiglobal stabilization approach for mobile robots // Proceedings of the International Conference of Young Scientists Automation & Control. 2013. No. 1. P. 87–91.
3. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Vedyakov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S., Margun A.A., Bazylev D.N. Fast compensation of unknown multiharmonic disturbance for nonlinear plant with input delay // 11th IFAC International Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. 2013. Vol. 11. No 1. P. 546–551.
4. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Surov M.O., Shavetov S.V., Borisov O.I., Gromov V.S. Simple output stabilization approach for robotic systems // 7th IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control (MIM 2013). Vol. 7. No 1. P. 1873–1878.
5. Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Pyrkin A.A., Gromov V.S. Hybrid output controller for parametrically uncertain systems with matching harmonic disturbances rejection // 2014 22nd Mediterranean Conference on Control and Automation (MED). 2014. P. 91–96.
6. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Aranovskiy S.V., Kolyubin S.A., Gromov V.S. Adaptive controller for linear plant with parametric uncertainties, input delay and unknown disturbance // Proceedings of the 19th IFAC World Congress. Vol. 19. No 1. P. 11294–11298.
7. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Kolyubin S.A., Vedyakov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S. Stabilization of nonlinear system with input delay and biased sinusoidal disturbance // Proceedings of the 19th IFAC World Congress. Vol. 19. No 1. P. 12104–12109.
8. Pyrkin A.A., Bobtsov A.A., Nikiforov V.O., Aranovskiy S.V., Kolyubin S.A., Vedyakov A.A., Borisov O.I., Gromov V.S. Output adaptive controller for linear system with input delay and multisinusoidal disturbance // 2014 IEEE Conference on Control Applications (CCA). 2014. P. 1777–1782.

Литература

1. Fradkov A.L., Miroshnik I.V., Nikiforov V.O. Nonlinear and adaptive control of complex systems. 1999. – 510 p.
2. Бобцов А.А. Адаптивное и робастное управление неопределенными системами по выходу. СПб., 2011. – 174 с.



Гусаров Вадим Федорович
Факультет лазерной и компьютерной инженерии
Кафедра оптико-электронных приборов и систем
E-mail: hoarfrost.vg@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ПОЛИХРОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ РАВНОСИГНАЛЬНОЙ ЗОНОЙ

В.Ф. Гусаров

Научный руководитель – доцент А.Н. Тимофеев

Одним из основных направлений научно-технического прогресса является автоматизация работ с применением современных средств контроля и управления, позволяющих обеспечить повышение производительности машин, снизить затраты труда на подготовительные и доделочные операции, сэкономить ресурсы, повысить точность и объективность контроля, сократить ручной труд. При строительстве дорог, путепроводов, тоннелей и мостов точность определяет качество проводимых работ, поэтому системы контроля позиционирования рабочих органов строительных и землеройных машин играют важную роль при решении таких задач.

Цель представленной работы – исследование возможностей повышения точности и расширения области применения систем позиционирования благодаря использованию полихроматической оптической равносигнальной зоны.

Задачи:

- проведение анализа существующих методов и систем позиционирования, применяемых при проведении инженерно-геодезических измерений;
- исследование возможности использования в качестве приемника излучения КМОП-матрицы;
- разработка экспериментального стенда для исследования погрешностей работы системы и формирования требований к выбору элементов оптико-электронной системы.

Говоря об актуальности, стоит отметить, что анализ применяемых в современном дорожном строительстве систем контроля смещений показал, что для достижения высокой точности позиционирования требуются серьезные инструментальные затраты, что неизбежно ведет к повышению стоимости и сложности проводимых измерений. Менее сложные методы и системы имеют ряд недостатков, связанных с малым диапазоном контроля и слабой защищенностью от воздействия внешних сил [1, 2].

Работа исследуемой системы опирается на применение метода оптической равносигнальной зоны (ОРСЗ) области пересечения двух и более электромагнитных полей оптического диапазона, в которой параметры, используемые для количественной оценки измерительной информации, равны, а параметры, необходимые для оценки знака, – различаются. Достоинствами систем с ОРСЗ являются: малое энергопотребление, большая зона управления по горизонту и вертикали, устойчивость по отношению к воздействиям среды. По сравнению с лазерными аналогами они меньше подвержены расстраиванию в процессе эксплуатации [3].

При формировании ОРСЗ двумя полупроводниковыми излучающими диодами (ИИ), входящими в состав задатчика базового направления (ЗБН) (рис. 1), модулированными током питания разной частоты f_1 и f_2 , основным информативным параметром являются величины

потоков Φ_1 и Φ_2 , регистрируемых приемной частью (ПЧ). На приемнике в этом случае, создаются поля облученности E_1 и E_2 [4].

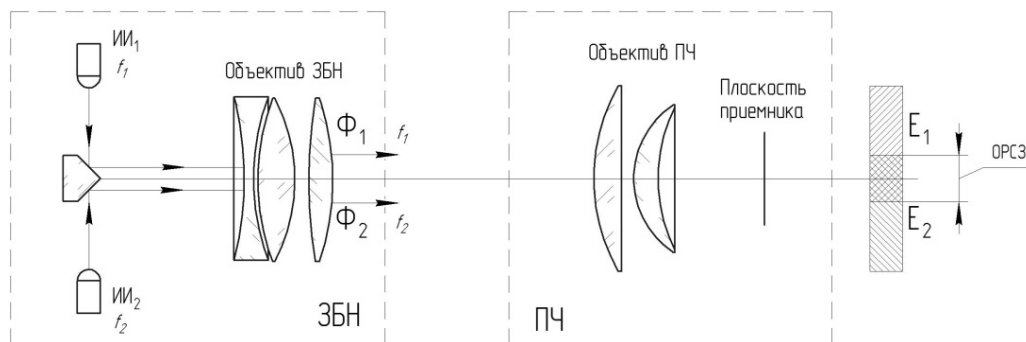


Рис. 1. Схема формирования ОРСЗ

Один из способов повышения точности измерений с помощью оптико-электронной системы (ОЭС) позиционирования с ОРСЗ – измерение температурного градиента через разность деформаций равносигнальных зон при работе на двух длинах волн. Градиент температуры в вертикальной плоскости $grad_y T$ для длин волн λ_1 и λ_2 оптического излучения вызовет соответственно смещение ОРСЗ на величины δy_1 и δy_2 (рис. 2) [3–5].

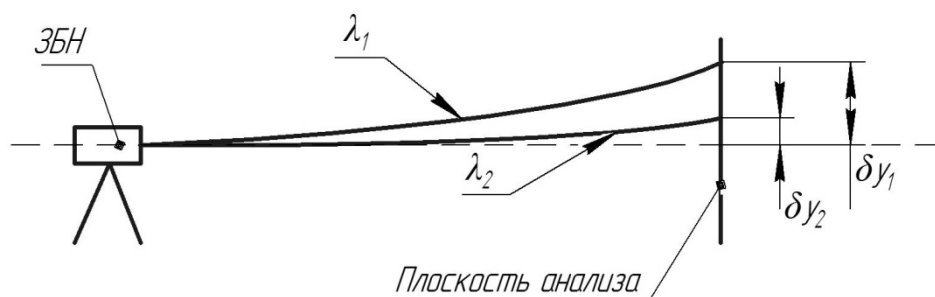


Рис. 2. Деформация ОРСЗ при двух длинах волн

Измерив разность деформации луча, обусловленную рефракцией при работе на длинах волн λ_1 и λ_2 , получим:

$$\delta y_{12} = \delta y_1 - \delta y_2,$$

$$\delta y_{12} = -[(n_1 - 1)/T] grad_y T \cdot l_0^2 / 2 + [(n_2 - 1)/T] grad_y T \cdot l_0^2 / 2, \quad (1)$$

где δy_1 , δy_2 – величины деформации луча при работе на длинах волн λ_1 и λ_2 ; n_1 и n_2 – показатели преломления для длин волн λ_1 и λ_2 .

Преобразуя выражение (1), получим формулу для подсчета вертикального градиента температур через разность деформации ОРСЗ:

$$grad_y T = \frac{2T \delta y_{12}}{l_0^2 (n_2 - n_1)}. \quad (2)$$

Таким образом, появляется возможность внесения поправок в получаемые результаты измерения.

Для исследования возможности применения матричных фотоприемников в системе ОРСЗ и их сравнительного анализа был создан стенд, структурная схема которого показана на рис. 3. Для проецирования ОРСЗ в плоскость приемника применялся задатчик базового направления системы ПУЛ-Н. В качестве приемника в стенде использовались 2- и 5,17-мегапиксельные КМОП-матрицы видеокамер (ВК), совмещенных с объективом приемной части (ОПЧ) системы ПУЛ-Н, имеющим ИК-фильтр. Управление работой ИК диодов, регистрация и запись отображений ОРСЗ производилась на персональном компьютере (ПК) с применением пакета National Instruments LabVIEW.

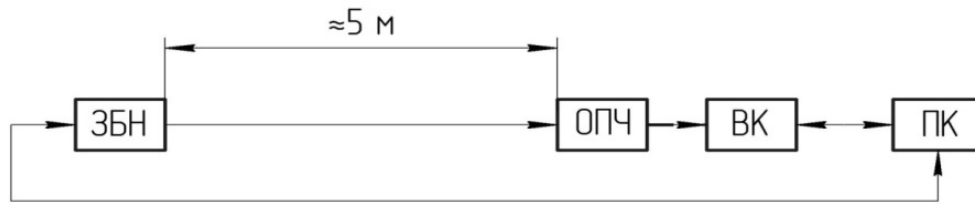


Рис. 3. Структурная схема экспериментального стенда

На первом этапе с помощью оригинальной системы ПУЛ-Н была получена зависимость напряжения на фотоприемнике (фотодиод ФД-9К) от величины смещения ПЧ. Была произведена оценка потенциальной чувствительности и среднеквадратического отклонения (СКО), которые составили 0,05 мм и 0,004 В соответственно.

В ходе дальнейшей работы было получено изображение выходного зрачка ЗБН в плоскости КМОП-матрицы видеокамеры. Приемник смещался по одной оси в диапазоне от 0 до 25 мм с шагом 1 мм, и производилась регистрация излучения попеременно от каждого из диодов. Далее полученные изображения обрабатывались – производилось интегрирование по полю освещенности и вычислялась их разность ΔE в каждой паре, соответствующей определенной величине смещения. На рис. 4 и 5 показаны зависимости этой разности от координаты для двух фотоприемных матриц.

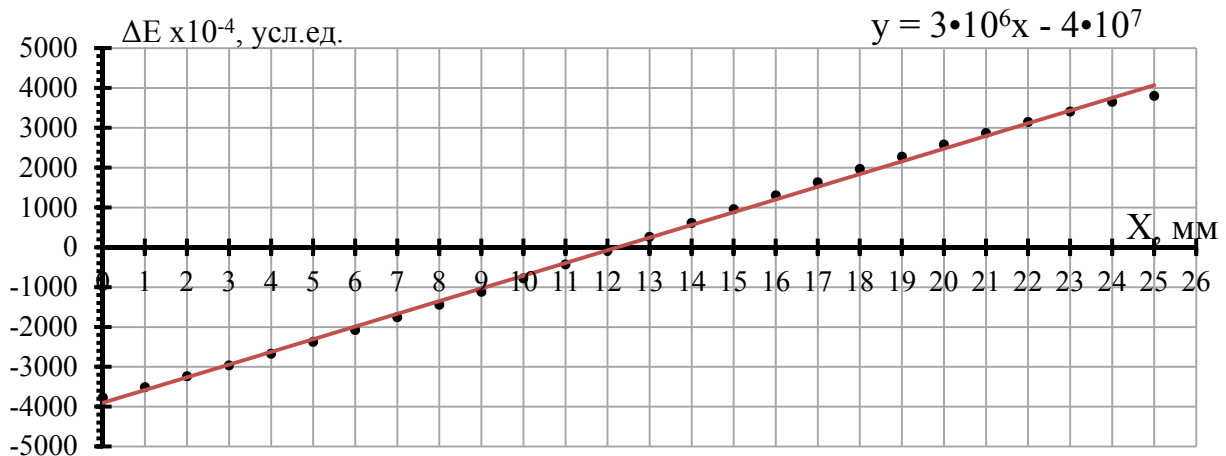


Рис. 4. Зависимость величины разности полей освещенностей от смещения приемника с 2-мегапиксельной матрицей

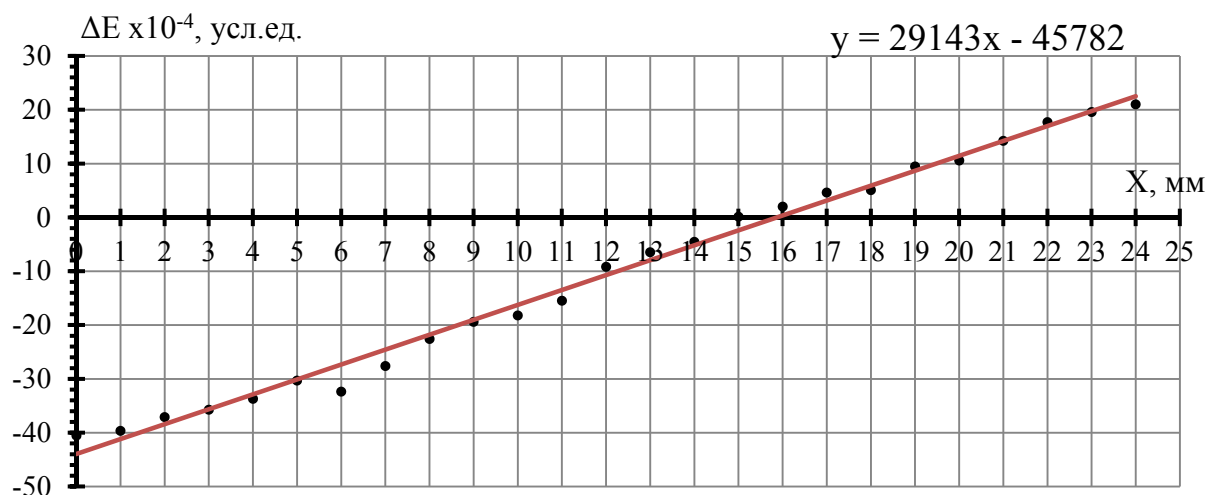


Рис. 5. Зависимость величины разности полей освещенностей от смещения приемника с 5,17-мегапиксельной матрицей

С учетом полученных статических характеристик и рассчитанных СКО для обеих матриц ($32,2 \cdot 10^3$ усл. ед. для 2 Мп и $28,4 \cdot 10^3$ усл. ед. для 5,17 Мп) была произведена оценка потенциальной точности системы. Под потенциальной точностью в данном случае следует понимать точность регистрации смещения ОРСЗ при влиянии внутренних шумов фотоприемника и фона. Результаты представлены в Таблице.

Таблица

Результаты расчетов

Тип фотоприемника	Фотодиод ФД-9К	КМОП, 2 Мп	КМОП, 5,17 Мп
СКО	0,004 В	$32,2 \cdot 10^3$ усл. ед.	$28,8 \cdot 10^3$ усл. ед.
Оценка потенциальной точности	0,05 мм	0,016 мм	0,97 мм

Таким образом, показано, что применение матричных фотоприемников и цифровых методов обработки регистрируемых отображений оптической равносигнальной зоны является перспективным направлением развития ОЭС с ОРСЗ.

К областям возможного применения описанного метода и системы относятся [2, 3]:

- приборостроение и машиностроение – измерение углов наклона, угловых перемещений и взаимного углового положения объектов;
- задачи определения угловой ориентации объектов;
- контроль в реальном масштабе времени деформаций и прогибов нагруженных элементов промышленных и транспортных сооружений;
- определение положения движущегося объекта при причаливании или стыковке, элемента конструкции при сборке, рабочего органа строительной машины.

Заключение

Был рассмотрен метод оптической равносигнальной зоны для решения задач позиционирования. Проведенный анализ современных методов и систем, применяемых при проведении инженерно-геодезических измерений в дорожном строительстве, показал перспективность предложенного метода

Создан экспериментальный стенд, позволивший произвести сравнительный анализ потенциальной точности работы ОЭС с ОРСЗ с применением разных приемников излучения и с использованием цифровых методов обработки принимаемой информации. Было отмечено, что применение КМОП-матриц в качестве приемников предъявляет дополнительные требования к сборке и юстировке оптической схемы приемной части, а внедрение цифровых методов обработки определяет необходимость выбора элементов схемы, обеспечивающих максимальное быстродействие для достижения работы в режиме реального времени и реализации адаптивности системы.

Таким образом, данные, полученные в ходе экспериментов, позволяют говорить о перспективности использования матричных фотоприемников в системах с оптической равносигнальной зоной.

Публикации

1. Maraev A.A., Timofeev A.N., Gusarov V.F. Applying of digital signal processing to optical equisignal zone system // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95254B.
2. Гусаров В.Ф., Тимофеев А.Н. Особенности применения оптико-электронных систем позиционирования в дорожном строительстве // XI Международная конференция «Прикладная оптика – 2014». СПб., 2014. Т. 1. С. 116–119.

3. Коняхин И.А., Мараев А.А., Тимофеев А.Н., Гусаров В.Ф. Контроль смещений в оптико-электронных системах с оптической равносигнальной зоной // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 1. С. 38–44.
4. Гусаров В.Ф., Тимофеев А.Н. Выбор и расчет элементов оптико-электронной системы с оптической равносигнальной зоной для измерения вертикального градиента температур воздушного тракта // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2013. Т. 87. № 5. С. 44.

Литература

1. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение. М., 2008. – 591 с.
2. Гусаров В.Ф., Тимофеев А.Н. Особенности применения оптико-электронных систем позиционирования в дорожном строительстве // XI Международная конференция «Прикладная оптика – 2014». СПб., 2014. Т. 1. С. 116–119.
3. Джабиев А.Н., Мусяков В.Л. и др. Оптико-электронные приборы и системы с оптической равносигнальной зоной. СПб., 1998. – 238 с.
4. Maraev A.A., Timofeev A.N., Gusarov V.F. Applying of digital signal processing to optical equisignal zone system // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95254B.
5. Hirt C., Guillaume S. et al. Monitoring of the refraction coefficient in the lower atmosphere using a controlled setup of simultaneous reciprocal vertical angle measurements [Electronic resource] // Journal of Geophysical Research. 2010. Vol. 115. No D21. URL: onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2010JD014067/full (accessed: 11.09.2015).



Дородников Николай Александрович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
E-mail: nucleofag@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЛВС В МОМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ УГРОЗАМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.А. Дородников

Научный руководитель – профессор С.А. Арустамов

Цель представленной работы – оптимизация процесса проектирования компьютерных сетей и обеспечения информационной безопасности гетерогенных локальных вычислительных сетей (ЛВС).

В рамках выполнения данного исследования был разработан способ описания и моделирования ЛВС, предложена универсальная модель ЛВС и ее математическое представление. Разработан генетический алгоритм, реализующий задачу оптимизации безопасности ЛВС в целом и ее элементов по отдельности. Предложены алгоритмы расчета параметров информационной безопасности ЛВС, а также подходы к подбору ее конфигурации с целью получения необходимого уровня защищенности и противодействия угрозам их информационной безопасности на этапе проектирования.

Для дальнейших выкладок будем пользоваться так называемыми квазиподсетями – набором конечных узлов и вложенных квазиподсетей, подключенных параллельно к единственной общей точке входа [1].

Термин «представление» в рамках разработанной модели обозначает способ описания топологии квазиподсети (в том числе и корневой квазиподсети – проектируемой системы). В ней задействованы три уровня модели взаимодействия открытых систем (OSI): физический, канальный и сетевой. В связи с этим выделяются три представления: общее (учитывает топологию квазиподсети как на канальном и физическом уровнях, так и на сетевом уровне модели OSI), канальное (учет топологии квазиподсети только на канальном уровне модели OSI; а также на физическом уровне, являющемся его компонентом) и сетевое (учет только топологии квазиподсети на сетевом уровне). Канальное и сетевое представления строятся на основе общего путем упрощения нюансов, не относящихся к задействованным уровням модели OSI.

Все представления в данной модели являются рекурсивными графами коммуникации, узлы которых – конечные узлы (ПК, сервера, узлы IP-телефонии, устройства печати и сканирования и прочие) и разветвители, к которым подсоединены вложенные графы коммуникации того же рода (каждый граф отвечает квазиподсети той или иной степени вложенности).

1. Общее представление квазиподсети объединяет в себе описание топологии квазиподсети на всех уровнях в модели OSI с физического по сетевой.

Общее представление корневой квазиподсети строится на основе полного набора входных данных, введенных от пользователя (сведения о физической топологии системы, например количество офисов, тип связи внутри офиса и между ними и т. д.; сведения о логической топологии системы, например количество групп пользователей, распределение их по офисам и т. д.). Группы пользователей распределяются по офисам при помощи технологии виртуальной локальной сети (VLAN).

При построении общего представления руководствуются следующими принципами: коммутатор с настроенными VLAN-ами находится в каждом из офисов, которые объединяются при помощи маршрутизаторов; на входе в систему располагается сетевой экран.

Сетевые экраны при этом разбиваются на две сущности: глобальный, который определяет разрешенные маршруты внутри системы и может быть вынесен на ее вход, и встроенные сетевые экраны, которые занимаются определением и фильтрацией «мусорного» трафика.

2. В канальном представлении отражена физическая топология квазиподсети.

Разветвителями являются любые физические устройства (маршрутизаторы, коммутаторы), осуществляющие развилку в сети. Построение канального представления происходит посредством превращения всех устройств, осуществляющих «развилку» в сети, в разветвители и игнорирования наличия VLAN-ов.

3. В сетевом представлении отражена сетевая топология квазиподсети. Разветвителями являются порты маршрутизаторов, порождающие подсети и/или VLAN-ы.

Построение сетевого представления происходит посредством игнорирования наличия коммутаторов, а также объединения фрагментов каждого VLAN-а в один. При этом руководствуются следующими принципами:

- для каждого VLAN-а V удалить все фрагменты V из всех подсетей;
- объединить в один и подключить в качестве дочерней подсети к маршрутизатору R наинизшего уровня иерархии, в дочерних сетях которого содержится хотя бы один фрагмент VLAN-а V, а в дочерних сетях всех маршрутизаторов более высоких уровней иерархии нет ни одного фрагмента V, не принадлежащего дочерним сетям R.

Критерии информационной безопасности сетей и целевые функции

Когда говорят о безопасности сети, имеют в виду два аспекта.

1. Целостность (безопасность структуры квазиподсети). Ввиду того что отдельно рассматривается функционирование квазиподсети на физическом, канальном и сетевом уровнях, будет говориться о целостности в канальном и о целостности в сетевом представлении. В канальном представлении целостность означает устойчивость квазиподсети к нарушениям структуры на физическом (обрыв кабеля) и на канальном (нетаргетированная распределенная атака с целью отказа оборудования (DDOS-атака)) уровнях. В сетевом представлении – это устойчивость квазиподсети к таргетированным DDOS-атакам. При рассмотрении этого типа атак учитывается наличие сетевого экрана на входе в корневую квазиподсеть.

2. Конфиденциальность (безопасность данных в квазиподсети). Исключая тривиальные случаи, в которых система заведомо полностью скомпрометирована (когда у злоумышленника есть возможность украсть данные, хранящиеся на сервере, либо когда критичные данные располагаются в одной подсети (в пределах одного офиса)), конфиденциальность описывает свойства квазиподсети, проявляющиеся исключительно на сетевом уровне: сложность получения несанкционированного доступа на чтение и/или запись к критичным данным.

Целевые функции были выбраны так, чтобы они обладали аддитивностью (недоступность – величина, противоположная целостности):

- недоступность в канальном представлении;
- недоступность в сетевом представлении;
- конфиденциальность в сетевом представлении.

Абстрактная методология модели

При разработке методологии количественной оценки нарушений/компрометации квазиподсети приходится сталкиваться с тем, что эти характеристики проявляются не в статике, а в динамике, причем зависящие от них процессы (разрушения/взлома) могут протекать по-разному в силу различной природы. Поэтому количественные оценки должны фиксировать динамику, а не статику системы. Например, в качестве оценки возможно взять не скаляр, а функцию зависимости некоторой характеристики системы от времени (с начала взлома/разрушения или от настоящего момента).

После того, как будет установлен вид целевых функций для конечных узлов, нужно считать их для квазиподсети по значению тех же целевых функций для конечных узлов и вложенных квазиподсетей.

Для получения дальнейшей возможности алгоритмического подбора параметров ЛВС при заданных требованиях информационной безопасности, была задана (скалярная) фитнес-функция, которая позволяет определить относительную «хорошесть» решения. Введенные оценки представляют собой элементы функционального, а не скалярного, пространства. Поэтому перед применением модели на практике необходимо задать норму в пространстве количественных оценок.

Реализация абстрактных методов

1. Недоступность в канальном представлении (НКП) – функция зависимости степени нарушения структуры конечного узла или квазиподсети от времени (0 – ненарушенная структура; 1 – абсолютно нарушенная структура, конечный узел или квазиподсеть полностью неработоспособны).

При агрегировании квазиподсети совокупная НКП рассчитывается через НКП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$НКП_G = \frac{НКП_{g_0} * 1}{N} * \sum_{i=1}^N НКП_{g_i} * НКП_{l_{iw}},$$

где g_i – узлы и вложенные квазиподсети, относящиеся к квазиподсети G , g_0 – устройство в точке входа в G , а l_{0i} – соединения между g_0 и g_i .

Естественная норма для оценки НКП – значение НКП в определенный момент времени.

2. Недоступность в сетевом представлении (НСП) – функция зависимости степени «проседания» узла или связи (отношения скорости передачи данных к скорости их передачи в штатном режиме) от времени и интенсивности таргетированной атаки.

При агрегировании квазиподсети совокупная НСП рассчитывается через НСП конечных узлов, вложенных квазиподсетей и связей, ведущих к ним, по следующей формуле:

$$НСП_G = \frac{НСП_{g_0} * 1}{N} * \sum_{i=1}^N НСП_{g_i},$$

где g_i – узлы и вложенные квазиподсети, относящиеся к квазиподсети G , g_0 – устройство в точке входа в G .

Нормирование при этом можно определять двумя способами. Это максимальное «проседание» за бесконечное время при заданной пользователем эталонной интенсивности атак или время, необходимое для того, чтобы произошел полный отказ в обслуживании узла при тех же условиях.

3. Конфиденциальность в сетевом представлении (КСП) – это время между входом сигнала в узел/квазиподсеть и выходом из него/нее.

Целевой функцией при этом является минимальное время доступа извне (через открытые узлы, с учетом времени доступа извне к самим открытым узлам) к серверу. Она считается путем суммирования КСП квазиподсети, непосредственно содержащей открытый узел, КСП квазиподсети, непосредственно содержащей сервер, и КСП всех узлов на кратчайшем пути между этими квазиподсетями.

Все переменные в задаче оптимизации предполагаются вещественными числами в заданном для каждой величины интервале. В связи с этим естественен выбор следующих операторов генетического алгоритма [2]:

- в качестве оператора скрещивания – двухточечное скрещивание;
- в качестве оператора мутации – мутация по Гауссу;
- в качестве оператора селекции – турнирная селекция.

На основе описанной модели было реализовано приложение на ЯП Python с использованием библиотек `dear` (Distributed Evolutionary Algorithms in Python) и `networkx`.

Работа приложения протестирована на примере сети. В качестве фитнес-функции, подлежащей минимизации, бралось отклонение после 5 с безопасных характеристик модели от порогового значения, вводимого с клавиатуры.

Основным результатом проведенного исследования является изучение и структурирование информации в области проектирования ЛВС, а также разработка методов количественной оценки параметров защищенности локальных сетей и их сегментов, с возможностью использования разработанного генетического алгоритма для подбора конфигураций сетей под указанные требования защищенности.

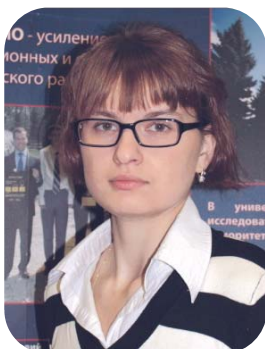
Публикации

1. Дородников Н.А., Ботвинкин П.В., Филиппова Ю.Г. Методы и алгоритмы автоматизации обеспечения безопасности сетевых ресурсов с использованием гетерогенных платформ // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып.1. СПб., 2014. С. 239–240.
2. Дородников Н.А., Филиппова Ю.Г., Арустамов С.А., Гатчин Ю.А. Автоматизация процессов обеспечения безопасности сетевых ресурсов в гетерогенных ЛВС // Информационные технологии в профессиональной деятельности и научной работе: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Йошкар-Ола, 2014. С. 265–269.

3. Дородников Н.А., Безбородов Л.А., Арустамов С.А., Дородникова И.М. Разработка математической модели универсальной ЛВС с учётом требований информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 115–118.
4. Дородников Н.А. Разработка математической модели универсальной ЛВС с учетом требований информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 126–128.
5. Дородников Н.А., Арустамов С.А., Каторин Ю.Ф., Юрьева Р.А., Филиппова Ю.Г. Исследование возможности использования генетических алгоритмов для оценки защищенности ЛВС // Информационные управляющие системы и технологии (ИУСТ-Одесса-2015): материалы Международной научно-практической конференции. Одесса, 2015. С. 167–169.

Литература

1. Дородников Н.А. и др. Пути решения проблем локальных сетей на этапах планирования и эксплуатации // Научные труды SWorld. 2013. Вып. 4. Т. 12. С. 66–70.
2. Дородников Н.А. и др. О подходе к унифицированию описания ЛВС с учетом требований информационной безопасности [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: http://research.ifmo.ru/file/stat/252/trudy_4vkmu.pdf (дата обращения: 05.06.2015).



Ежова Василиса Викторовна
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра прикладной и компьютерной оптики
E-mail: evv_foist@mail.ru

МОДУЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.В. Ежова

Научный руководитель – профессор Л.Н. Андреев

Цель проекта – разработка последовательной методики расчета оптических систем различного назначения на основе модульного проектирования. В результате исследований была показана эффективность применения апланатических оптических модулей при расчете оптических систем.

Модульный принцип проектирования, базирующийся на использовании основ теории аберраций третьего порядка, заключается в том, что системы синтезируются из оптических элементов (модулей) с известными коррекционными свойствами, что позволяет получать новые оригинальные оптические системы.

В качестве оптических модулей при расчете оптических систем различного назначения, в том числе светосильных объективов, конденсоров, объективов и окуляров микроскопа, используются апланатические мениски с различным линейным увеличением, линзы с асферическими поверхностями второго порядка и гиперхроматические линзы. Использование асферических поверхностей в оптических системах позволяет повысить их

оптические характеристики (относительное отверстие, угловое поле и другие), улучшить качество изображения (коррекцию aberrаций), упростить оптическую схему (сократить количество линз).

Относительное отверстие двухлинзовых склеенных объективов при удовлетворительной коррекции сферической aberrации, комы и хроматизма положения не превышает $1:5 \div 1:4$. Окуляры современных микроскопов требуют существенного улучшения качества изображения. Достаточно велики aberrации изображения образованного конденсорами, рассчитанными на минимум сферической aberrации. Даже одна асферическая поверхность второго порядка позволяет существенно улучшить параметры названных оптических систем и повысить качество образованного ими изображения [1–3].

Для расчета **однокомпонентного объектива** в качестве исходной оптической системы выбирается плоско-выпуклая линза из стекла с показателем преломления $n = 1,6 \div 1,65$, обращенная выпуклой поверхностью к плоскости предмета, так как у нее сферическая aberrация близка к минимуму, а кома к нулю. Первая сферическая поверхность объектива заменяется асферической (рис. 1). Путем изменения величины квадрата эксцентриситета асферической поверхности линзы выполняется коррекция сферической aberrации. Для ахроматизации изображения в систему вводится одна или две хроматические поверхности, разделяющие оптические среды, у которых показатели преломления для основной длины волны близки, а коэффициенты средней дисперсии различны (комбинации стекол СТК9-ТФ4 и ТК16-Ф1). Для апохроматической коррекции aberrаций в качестве оптических сред линз следует использовать пары стекол, у которых кроме равенства показателей преломления и неравенства коэффициентов средней дисперсии равны относительные частные дисперсии (пары стекол ОК1-ОФ1, ОК4-ЛК1 и другие).



Рис. 1. Оптическая схема однокомпонентного объектива

При расчете двухкомпонентного объектива его оптическая схема включает одиночную линзу с асферической поверхностью, перед которой расположена плоскопараллельная пластинка с хроматической поверхностью, определяющую хроматическую или апохроматическую коррекцию aberrаций (рис. 2). Следует заметить, что асферизация поверхности не влияет на остаточный астигматизм и кривизну поверхности изображения, образованного исходной оптической системой.

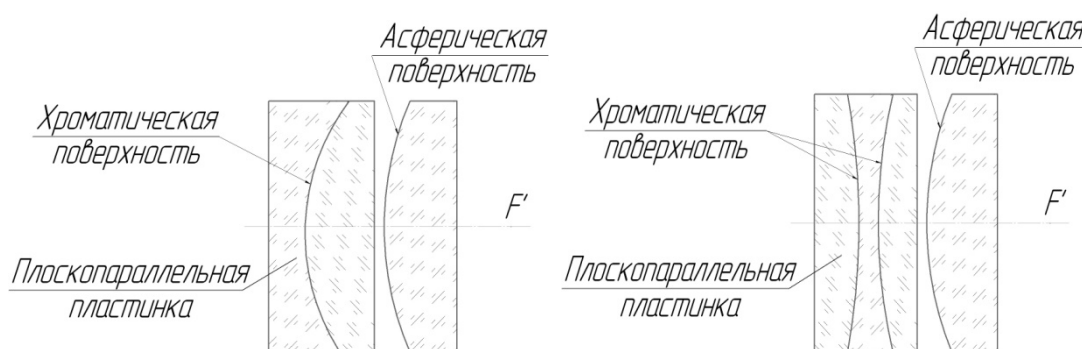


Рис. 2. Оптическая схема двухкомпонентного объектива

У монохроматических объективов коррекции подлежат следующие aberrации: сферическая, кома, астигматизм и кривизна поверхности. Для удовлетворения этих требований оптическая схема должна состоять не менее чем из двух компонентов противоположного знака оптической силы, разделенных воздушным промежутком конечной величины. В качестве первого компонента выбирается плосковыпуклая линза из оптического материала с показателем преломления $n = 1,6 \div 1,65$, выпуклая поверхность которой выполнена асферической (рис. 3). В такой линзе путем интерполяции величины показателя преломления и квадрата эксцентриситета асферической поверхности возможна коррекция сферической aberrации и комы. В качестве второго компонента используют апланатический мениск. С целью повышения числовой апертуры объектива и улучшения коррекции aberrаций в первый компонент вводится апланатический мениск (один или несколько).

Для обеспечения необходимой величины хроматической aberrации положения перед объективом располагается афокальная гиперхроматическая линза (хроматизатор), склеенная из линз, у которых показатели преломления для средней длины волны близки, а средние дисперсии различны. Гиперхроматическая линза не вносит монохроматических aberrаций, так как она расположена в параллельном ходе лучей. Путем интерполяции радиусов хроматической поверхности добиваются нужного значения хроматической aberrации положения.

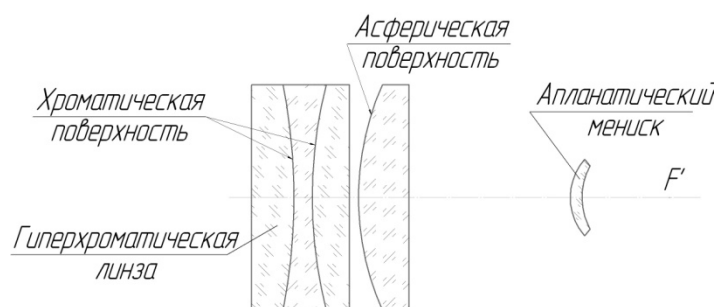


Рис. 3. Оптическая схема монохроматического объектива

При расчете светосильных объективов с небольшим полем порядка $2\omega = 1^\circ \div 2^\circ$, кроме коррекции сферической aberrации и комы необходима коррекция хроматических aberrаций. Оптическая схема таких объективов состоит из плосковыпуклой линзы с асферической поверхностью второго порядка и гиперхроматической линзы (рис. 4). При расчете светосильных объективов с угловым полем $2\omega = 6^\circ \div 10^\circ$ необходима коррекция полевых aberrаций, астигматизма и кривизны поверхности. Оптическая схема таких объективов включает гиперхроматическую линзу, плоскогнутую линзу с асферической поверхностью, два апланатических мениска с $\beta = 1/n$ и апланатический мениск с $\beta = n$.



Рис. 4. Оптическая схема светосильного объектива

Окуляры микроскопа имеют малое относительное отверстие, что определяет малую величину сферической aberrации, и в ее специальной коррекции нет необходимости [1, 2, 4]. Однако в этом случае для получения изображения требуемого качества необходима коррекция полевых aberrаций: астигматизма, дисторсии и хроматизма увеличения. В первом

приближении этим требованиям удовлетворяет плоско-выпуклая линза из стекла с показателем преломления $n=1,6 \div 1,7$, плоской поверхностью обращенной к выходному зрачку (рис. 5). Путем замены сферической поверхности на асферическую второго порядка достигается оптимальная коррекция астигматизма и дисторсии. Введение в оптическую схему окуляра гиперхроматической линзы позволяет исправить хроматизм увеличения.

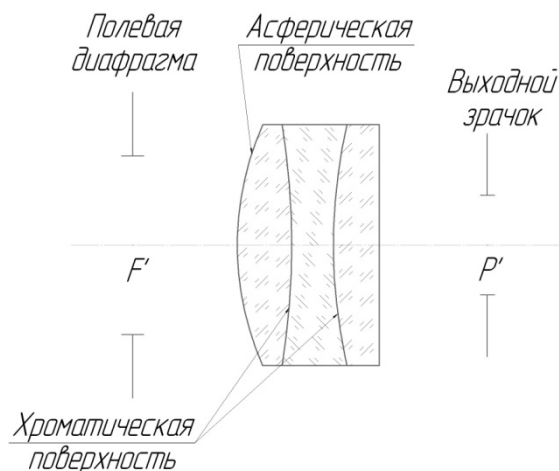


Рис. 5. Оптическая схема окуляра

Наибольшее распространение получили конденсоры, рассчитанные на минимум сферической aberrации [1–6]. Однако в изображении, образованном конденсором, aberrация комы достигает значительных величин. При расчете конденсоров, как правило, коррекции подлежат сферическая aberrация и кома. Оптическая схема конденсора включает одиночную линзу с асферической поверхностью второго порядка (которая рассчитывается как однокомпонентный объектив) и в зависимости от числовой апертуры один или несколько апланатических менисков с увеличением $\beta = 1/n$. Такой конденсор обеспечивает удовлетворительную коррекцию aberrаций при числовой апертуре не более $A \leq 0,5$. Для повышения числовой апертуры за плосковыпуклой линзой располагается апланатический мениск с линейным увеличением $\beta = n$ (рис. 6). Числовая апертура конденсора в этом случае может быть увеличена до $A = 0,6 \div 0,8$.

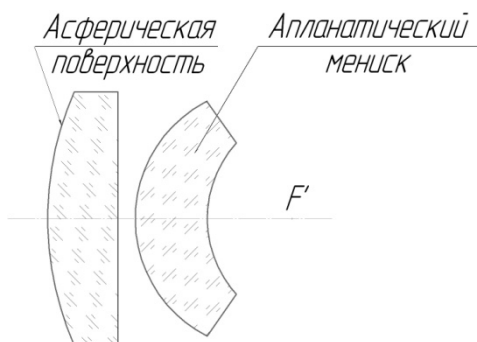


Рис. 6. Оптическая схема конденсора

При расчете оптических систем иногда возникает необходимость коррекции какой-либо одной aberrации, не нарушая коррекции других. Например, при расчете зеркальных или зеркально-линзовых объективов необходимо корректировать сферическую aberrацию. При расчете объективов микроскопа с плоским полем возникают трудности с исправлением кривизны поверхности. Часто приходится сталкиваться с ахроматизацией оптических систем. В связи с этим представляют интерес разработки компенсаторов, исправляющих лишь одну aberrацию, не затрагивая коррекции других [2, 5].

Афокальные трехлинзовые симметричные склеенные и не склеенные компенсаторы для компенсации сферической aberrации включают две одинаковые линзы симметрично

расположенные относительно симметричной линзы противоположного знака оптической силы (рис. 7 и 8). У них при любых значениях коэффициента, определяющего сферическую aberrацию, величина, определяющая кому, всегда равна нулю.

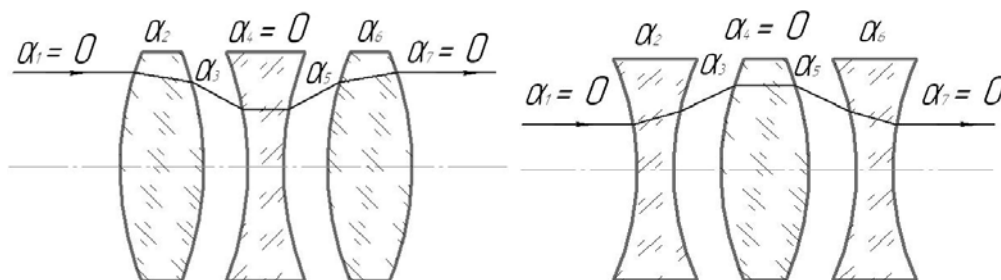


Рис. 7. Афокальные симметричные не склеенные компенсаторы

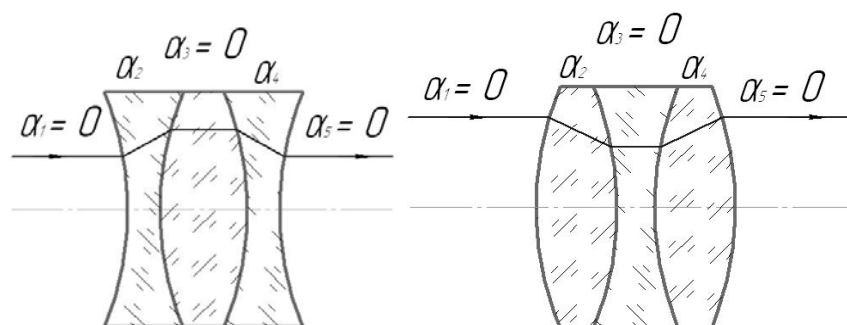


Рис. 8. Афокальные симметричные склеенные компенсаторы

Афокальный компенсатор для коррекции кривизны поверхности изображения и астигматизма состоит из двух одинаковых телескопических линз, симметрично расположенных относительно апертурной диафрагмы, находящейся между ними (рис. 9). Этот компенсатор может исправить кривизну и астигматизм оптической системы, расположенной за ним. Кома, дисторсия и хроматизм увеличения у него отсутствуют в силу симметрии оптической схемы. Следует отметить преимущество афокальных компенсаторов: они не влияют на оптическую силу системы и не сокращают рабочее расстояние.

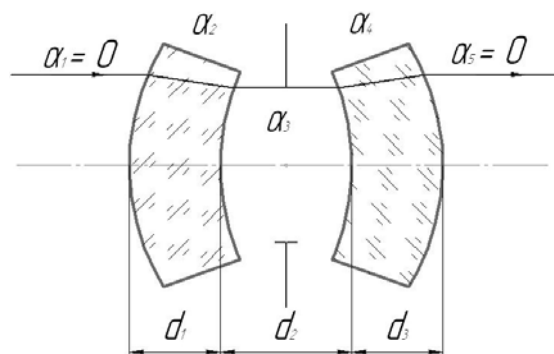


Рис. 9. Оптическая схема афокального компенсатора коррекции кривизны поверхности изображения и астигматизма

Афокальные компенсаторы для коррекции хроматических aberrаций представляют собой плоскопараллельную пластинку, склеенную из плосковыпуклой и плосковогнутой линз из хроматической пары стекол, для которых выполняется условие: показатели преломления материала оптического стекла примерно одинаковы, а коэффициенты средней дисперсии – различны (рис. 10). Такие компенсаторы не вносят никаких aberrаций, кроме хроматизма. Изменяя радиус кривизны хроматической поверхности, можно воздействовать на хроматические aberrации системы. Для коррекции обеих хроматических aberrаций

(положения и увеличения) необходимо воспользоваться двумя гиперхроматическими линзами, расположенными на конечном расстоянии друг от друга.

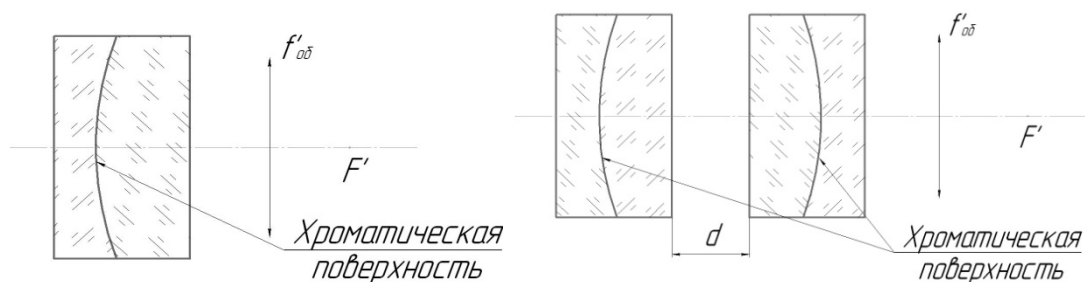


Рис. 10. Афокальные компенсаторы хроматических aberrаций

Апланатический ахроматический компенсатор кривизны поверхности и хроматизма представляет собой апланатический, мениск с увеличением $\beta = 1^x$ (рис. 11). Его особенность в том, что обе его поверхности апланатические третьего рода, не вносят сферической aberrации, комы и астигматизма третьего порядка. Коэффициент, определяющий кривизну поверхности, зависит только от толщины компенсатора, а хроматизм положения можно исправить радиусом хроматической поверхности.

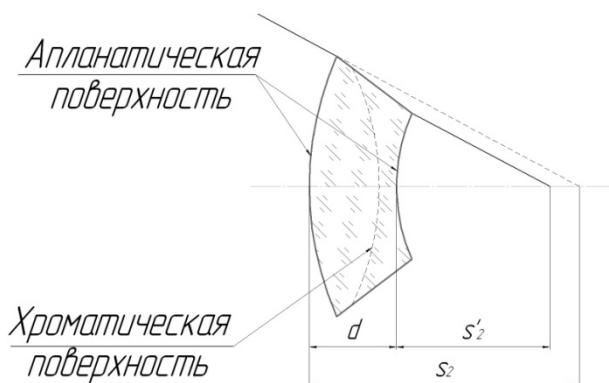


Рис. 11. Апланатический компенсатор кривизны поверхности изображения и хроматизма

Афокальный компенсатор кривизны поверхности, астигматизма, сферической aberrации и хроматизма положения состоит из двух одинаковых телескопических линз симметрично расположенных относительно диафрагмы, установленной между ними (рис. 12). Он позволяет исправить сферическую aberrацию за счет выполнения наружных поверхностей линз асферическими, астигматизм – путем изменения воздушного промежутка. Кривизна поверхности исправляется путем изменения значений радиусов линз. Коэффициенты, определяющие кому, дисторсию и хроматизм увеличения третьего порядка равны нулю, вследствие симметрии оптической схемы компенсатора. Для коррекции хроматической aberrации положения одиночные телескопические линзы следует заменить на двухсклеенные из хроматической пары стекол.

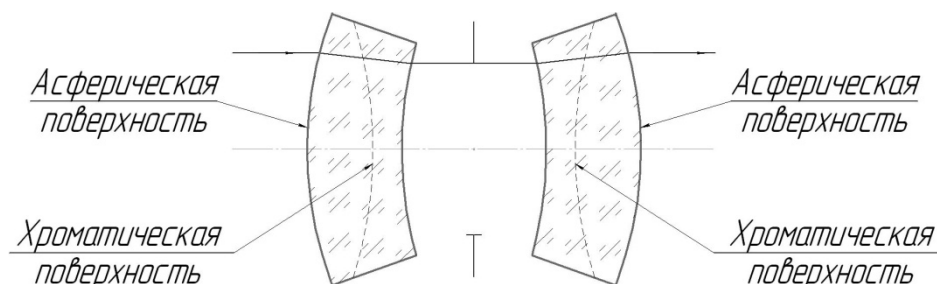


Рис. 12. Афокальный компенсатор кривизны поверхности, астигматизма, сферической aberrации и хроматизма положения

Заключение

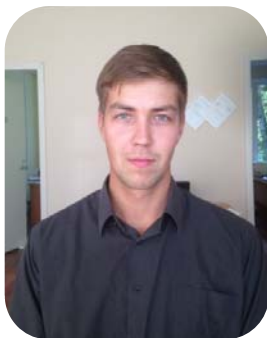
Разработана последовательная методика расчета оптических систем различного назначения на основе модульного принципа проектирования с улучшенным качеством изображения. Показана эффективность применения апланатических оптических модулей при расчете различных оптических систем. Предлагаемый модульный метод расчета, а также разработанные оптические модули и афокальные компенсаторы aberrаций дополняют известные методы расчета и расширяют возможности оптиков-расчетчиков.

Публикации

1. Андреев Л.Н., Ежова В.В. Одно- и двухкомпонентные объективы, окуляры и конденсоры с асферическими поверхностями второго порядка // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 5. С. 10–14.
2. Andreev L.N., Ezhova V.V. One- and two-component objectives, eyepieces, and condensers with second-order aspheric surfaces // Journal of Optical Technology. 2012. Vol. 79. No 5. P. 266–269.
3. Ежова В.В. Монохроматические объективы для систем когерентной микроскопии // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2013. С. 15–16.
4. Андреев Л.Н., Ежова В.В., Дегтярева Г.С. Линзовые гиперхроматические монохроматические объективы микроскопа // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 12. С. 31–34.
5. Andreev L.V., Ezhova V.V., Degtereva G.S. Lens-type hyperchromatic monochromatic microscope objectives // Journal of Optical Technology. 2013. Vol. 80. No 12. P. 741–744.
6. Патент РФ 133947 «Афокальный компенсатор сферической aberrации», опублик. 31.05.2013.
7. Патент РФ 138039 «Монохроматический объектив», опублик. 25.10.2013.
8. Андреев Л. Н., Ежова В.В., Дегтярева Г. С. Модульное проектирование оптических систем // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 3. С. 57–62.
9. Андреев Л.Н., Дегтярева Г.С., Ежова В.В. Симметричные компенсаторы сферической aberrации // Оптический журнал. 2015. Т. 82. № 1. С. 28–31.
10. Andreev L.V., Degtereva G.S., Ezhova V.V. Symmetrical compensators of spherical aberration // Journal of Optical Technology. 2015. Vol. 82. No 1. P. 21–23.
11. Дегтярева Г.С., Ежова В.В. Оптические модули и компенсаторы aberrаций оптических систем [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2015. URL: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/1268/opticheskie_moduli_i_kompensatory_aberraciya_opticheskikh_sistem.htm (дата обращения: 10.02.2016).

Литература

1. Андреев Л.Н. Прикладная теория aberrаций. Учебное пособие. СПб., 2002. – 98 с.
2. Андреев Л.Н., Ежова В.В. Прикладная теория aberrаций. Часть вторая. Учебное пособие. СПб., 2011. – 52 с.
3. Слюсарев Г.Г. Методы расчета оптических систем. М., 1969. – 672 с.
4. Русинов М.М. Композиция оптических систем. СПб., 2011. – 382 с.
5. Грамматин А.П. Методы синтеза оптических систем. Учебное пособие. СПб., 2002. – 65 с.
6. Бахолдин А.В., Романова Г.Э., Цуканова Г.И. Теория и методы проектирования оптических систем. Учебное пособие под редакцией проф. А.А. Шехонина. СПб., 2011. – 104 с.



Ефимов Михаил Евгеньевич
Факультет инфокоммуникационных технологий
Кафедра световодной фотоники
E-mail: spbefimovmikhail@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИДРОФОНОВ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

М.Е. Ефимов

Научный руководитель – доцент А.В. Куликов

Основная цель проекта – разработка и исследование высокочувствительной системы мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов для геофизической разведки. В работе исследуются различные методы мультиплексирования, оптические схемы волоконно-оптических гидрофонов, определяются их преимущества и выбирается оптимальный алгоритм демодуляции сигналов.

Можно выделить следующие основные задачи работы:

- выбор оптимальной оптической схемы волоконно-оптического гидрофона и метода мультиплексирования;
- выбор алгоритма демодуляции сигналов;
- создание и экспериментальное исследование образца высокочувствительной системы мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов для геофизической разведки.

В данной работе использовался способ мультиплексирования по времени с помощью волоконных Брегговских решеток на одной длине волны. Данный метод и предложенная оптическая схема позволят успешно объединить в массив до четырех волоконно-оптических гидрофонов без использования дорогостоящего широкополосного источника, необходимого для мультиплексирования по длине волны. Итоговая оптическая схема приведена на рис. 1.

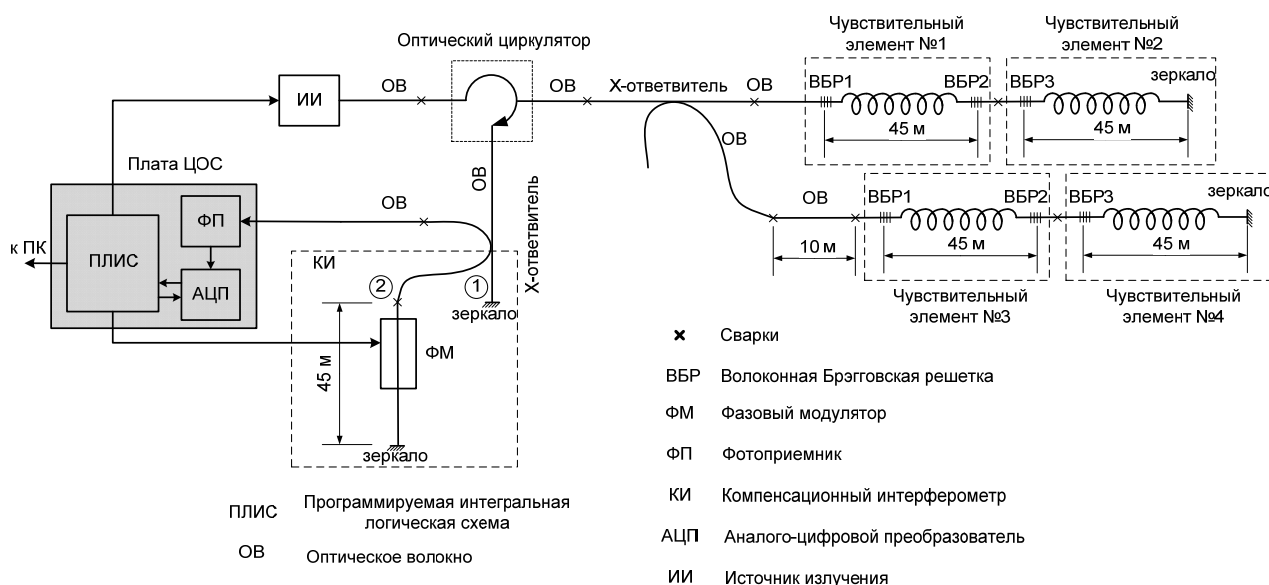


Рис. 1. Схема системы мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов

В качестве отражающих элементов в конструкции волоконно-оптических гидрофонов использовались волоконные Брегговские решетки (ВБР) и зеркала. Для увеличения

количества мультиплексированных гидрофонов с двух до четырех на одном канале был применен X-разветвитель, что способствовало более точному согласованию плеч интерферометра и, следовательно, уменьшению фазового шума в измерительном тракте [2].

Так как целью данной работы является создание высокочувствительной системы волоконно-оптических гидрофонов, предлагается выбрать оптическую схему, основанную на интерферометре Майкельсона. Она обладает наибольшей чувствительностью к акустическому давлению в диапазоне от 0,001 до 10 кГц. Проблема с нестабильностью рабочей точки интерферометра из-за изменения условий окружающей среды была решена выбором оптимального метода демодуляции – пассивного гомодинного приема. Он предполагает использование в схеме цифровой обработки опорного генератора гармонических сигналов. Для получения пары квадратурных компонент из модулированного по фазе импульса интерферометра осуществляется перемножение сигнала интерференции с фотоприемника на два сигнала опорного генератора с частотами, равными одинарной и удвоенной частоте фазовой модуляции. Структурная схема демодуляции для этого случая представлена на рис. 2.

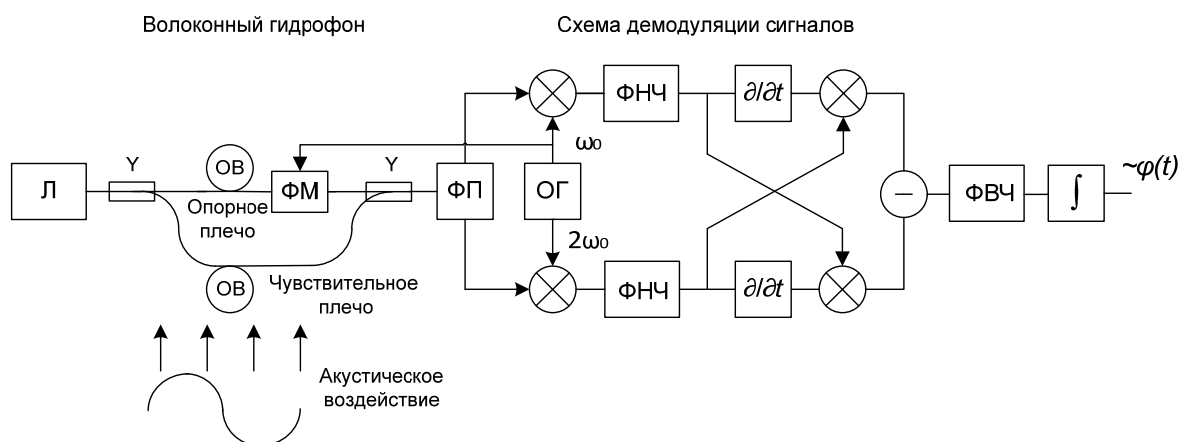


Рис. 2. Структурная схема демодуляции сигналов для метода пассивного гомодинного приема: Л – лазер, ОВ – оптическое волокно, Y – волоконный Y-разветвитель, ФМ – фазовый модулятор, ФП – фотоприемник, ОГ – опорный генератор, ФНЧ – фильтр низких частот, ФВЧ – фильтр высоких частот

Экспериментальное исследование системы мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов проводилось в открытой воде, что обеспечило отсутствие акустических переотражений при излучении низкочастотных акустических волн. В ходе проведения измерений макет размещался на поворотном устройстве в одной плоскости с опорным гидрофоном, а излучатель был размещен на расстоянии 6 м от него и макета. Все измерительное оборудование находилось на одной глубине 11 м, а все гидрофоны – на одинаковом расстоянии от излучателя и опорного гидрофона (рис. 3).

Согласно результатам измерений чувствительность гидрофонов (датчиков) на частоте 8 кГц составила от 0,35 рад/Па (гидрофон 4) до 0,46 рад/Па (гидрофон 1). При этом для всех каналов наблюдался рост чувствительности при понижении акустической частоты до значений от 5,78 рад/Па (гидрофон 4) и до 9,26 рад/Па (гидрофон 2).

Заключение

В ходе выполнения работы были решены следующие задачи:

- выбраны наиболее оптимальные с точки зрения возможных достижимых параметров чувствительности принципиальная оптическая схема и схема демодуляции;
- исследованы преимущества различных способов мультиплексирования волоконно-оптических гидрофонов и выбран наиболее подходящий;
- созданы и мультиплексированы волоконно-оптические гидрофоны;

– проведены экспериментальные исследования действующего макета мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов.

В результате достигнута основная цель – разработана и экспериментально исследована высокочувствительная система мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов для геофизической разведки.

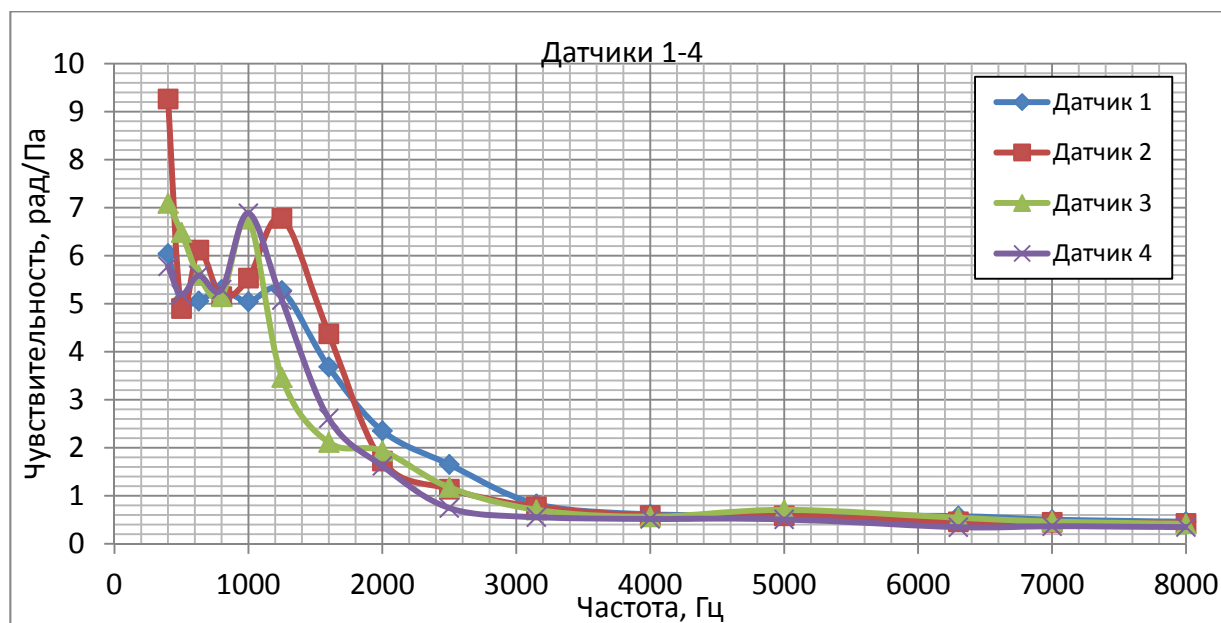


Рис. 3. Частотная характеристика гидрофонов

Публикации

1. Ефимов М.Е., Плотников М.Ю., Куликов А.В. Моделирование и экспериментальное исследование чувствительного элемента волоконно-оптического гидрофона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 93. № 5. С. 158–163.
2. Ефимов М.Е., Киреев А.Ю., Алейник А.С., Мехреньгин М.В. Снижение уровня шумов в измерительном тракте интерферометрического волоконно-оптического гидрофона [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1098/1098.pdf> (дата обращения: 29.03.2016).
3. Ефимов М.Е., Плотников М.Ю., Мехреньгин М.В., Лавров В.С. Исследование характеристик направленности сдвоенного волоконно-оптического гидрофона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 1015–1020.

Литература

1. Ефимов М.Е., Плотников М.Ю., Куликов А.В. Моделирование и экспериментальное исследование чувствительного элемента волоконно-оптического гидрофона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 93. № 5. С. 158–163.
2. Ефимов М.Е., Киреев А.Ю. и др. Снижение уровня шумов в измерительном тракте интерферометрического волоконно-оптического гидрофона [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2015. URL: <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/1098/1098.pdf> (дата обращения: 29.03.2016).
3. Ефимов М.Е., Плотников М.Ю. и др. Исследование характеристик направленности сдвоенного волоконно-оптического гидрофона // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 6. С. 1015–1020.
4. Свирдлин Г.М. Гидроакустические преобразователи и антенны. Л., 1988. – 200 с.

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



Жук Денис Владимирович
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра управления государственными информационными системами
E-mail: jukdenis@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОНЛАЙН-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРАЖДАН И ВЛАСТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ТЕРРИТОРИЙ

Д.В. Жук

Научный руководитель – доцент М.И. Шубинский

Цель исследовательского проекта состоит в изучении возможностей коммуникации граждан и органов государственной власти с использованием технологий краудсорсинга, способствующих интеграционному взаимодействию и эффективному продвижению системы взаимодействия органов власти и граждан, формулировки их текущих потребностей и выделению эффективных (на взгляд граждан) управленческих решений, которые могли бы их удовлетворить, задействовав информационные технологические решения.

В ходе реализации проекта был проведен экспертный опрос, в котором приняли участие 32 эксперта из числа представителей органов исполнительной и законодательной власти, области информационных технологий, а также представителей ИТ-компаний, занимающихся развитием технологий краудсорсинга и электронной демократии. Привлечение экспертов позволило получить оценку развитости технологий краудсорсинга в мире и России. С экспертами были проведены полуструктурированные интервью по основным тематическим блокам. В ходе исследования также был проведен сравнительный анализ 99 региональных и федеральных площадок онлайн-взаимодействия граждан и власти, используемых в России, что позволило сделать выводы о востребованности таких проектов со стороны граждан и эффективности их использования со стороны органов власти.

Предметом исследования являются проблемы и факторы развития технологий краудсорсинга и онлайн-коммуникации как среды взаимодействия органов власти с гражданами для решения проблем территорий и их совместного развития.

Обилие возможностей и элементов краудсорсинга затрудняет создание классификации структур краудсорсинг-проектов. Основные комбинации различных приемов и методов технологий краудсорсинга следующие:

- решение производственно-технических проблем;
- поиск и решение социальных, муниципальных и государственных проблем;
- поиск инноваций;
- повышение лояльности клиентов (граждан);
- поиск новых идей для расширения сфер деятельности или производства;
- оптимизация бизнес-процессов;
- краудрекрутинг.

Фундаментом «электронной демократии» в современной научной литературе принято считать технологии web 2.0 и web 3.0, основанные на принципах прозрачности и общедоступности информации при принятии значимых политических решений на разных уровнях власти (национальной, региональной, местной), а также ответного доверительного отношения со стороны гражданского общества [1]. Актуальная практика на сегодняшний день такова, что gov 2.0 (социальные сети в политике) реализуется с использованием следующих инструментов:

- создание эффективных краудсорсинговых платформ для взаимодействия общества и представителей власти;

- интеграция государственных структур в социальные сети и блогосферу;
- образование сообществ в популярных социальных сетях, где чиновники реагируют на обращения граждан;
- создание блогов, где размещаются и обсуждаются государственные услуги;
- доступ граждан к действующим законодательным актам, а также законам, которые в данное время находятся на стадии разработки и обсуждения, в режиме онлайн;
- прямая отчетность чиновников перед гражданами на специальных интернет-ресурсах и через другие сетевые практики [2].

Особенностью применения краудсорсинг-технологии как в российской, так и мировой публичной политике, является сама роль участников взаимодействия. Органы власти (в отличие от коммерческих компаний) обращаются к пользователям не только по вопросу формулировки их текущих потребностей, но и для выделения эффективных (на взгляд граждан) управленческих решений, которые могли бы удовлетворить данные потребности, задействовав информационные технологические решения. В целом подход можно представить как предполагаемое со стороны власти желание представителей гражданского общества предложить на безвозмездной основе свои идеи ради самой возможности их воплощения в жизнь [3].

Можно выделить следующие формы реализации онлайн-коммуникации как среды взаимодействия органов власти с гражданами:

- разработка краудсорсинговых платформ в условиях чрезвычайных ситуаций силами гражданских активистов (в условиях отсутствия системы менеджмента информации органов власти в РФ);

- краудсорсинг законотворчества;

- вики-сотрудничество органов власти и социума на региональном уровне.

В ходе исследования рассмотрены конкретные примеры платформ и выделены успешные практики и проблемы по данному направлению развития электронной демократии.

Для анализа возможностей коммуникации граждан и органов государственной власти с использованием онлайн-технологий были использованы следующие данные:

- результаты экспертного опроса, проведенного исполнителем;
- результаты изучения региональных и федеральных площадок онлайн-взаимодействия граждан и власти;
- результаты контент-анализа массивов текстовых данных, содержащихся на краудсорсинговых порталах.

Краудсорсинг (от англ. crowd – толпа, source – источник) – совокупность практических способов, методов и приемов использования ресурсов больших совокупностей людей для достижения различных целей на условиях прямой или косвенной выгоды. Идеи краудсорсинга были сформулированы и описаны менее десяти лет назад – в 2006 году редактором журнала о компьютерных технологиях Wired Джеффом Хау в статье «Восход краудсорсинга». Краудсорсинг городских проблем – это вовлечение граждан в улучшение городской инфраструктуры. В большинстве случаев такие проекты основаны на использовании онлайн ресурса и мобильных устройств. Граждане находят проблемы вокруг места, где они живут, и отправляют их на онлайн-ресурс (сервер приложения или сайт). Чиновники же в свою очередь решают эти проблемы, а также отчитываются об их выполнении.

Одним из первых онлайн-проектов по усилению влияния граждан на развитие городской инфраструктуры стал проект «FixMyStreet» – британский картографический сервис, с помощью которого пользователи Англии, Уэльса и Шотландии могут оповещать власти о городских проблемах. Другой пример, который определенно стоит привести, – SeeClickFix, завоевавший популярность в первую очередь в США. Также существует ряд других инициатив и онлайн-сервисов в рамках проекта Open311.org и подобных ему. В России такие проекты также имеют место, достаточно привести хорошо известный пример

проекта StreetJournal.org, родившийся в Перми и распространяющийся по другим городам России. Проект базируется на тех же принципах, что SeeClickFix и FixMyStreet. Стоит отметить важный аспект использования подобных сервисов для решения задач города – они работают эффективно только при наличии соответствующим образом организованной коммуникации между администрацией проекта и городскими или региональными властями, инициирующими исправление выявленных с помощью обозначенных платформ проблем через указания соответствующим подведомственным им структурам.

Сбор идей и предложений – еще одно направление в развитии коммуникаций городских или региональных властей и граждан, проживающих на этих территориях. Основное отличие от предыдущей категории в том, что проекты направлены не только на предоставление гражданам возможности обозначать проблемы, но и предложить свои идеи властям города или региона по вариантам их решения или развитию. Такая практика сбора идей успешно зарекомендовала себя во многих странах, а сейчас практикуется и в России.

Публичная отчетность – это отдельное направление общественных и государственных проектов, нацеленных на открытие информации в части отчетности государства по затраченным средствам. Как правило, подобные проекты предоставляют различные возможности визуализации бюджетов, информации по государственным контрактам и о результатах аукционов. Однако суть всегда одна – реализовать сервис, с помощью которого любой гражданин сможет контролировать как власть в целом, так и отдельных ее представителей в частности. Из мировых проектов в качестве примера можно привести USASpending.gov – онлайн-база по всем государственным контрактам США, заключенным органами государственной власти США за последние десять лет. Еще один пример из Российской практики – Московский проект электронного бюджета budget.mos.ru.

В ходе реализации проекта был проведен контент-анализ исследуемых платформ. Из массива были исключены базовые для рассматриваемых текстов фразы и слова, их производные, союзы и предлоги. На основе анализа результатов контент-анализа массивов текстовых данных, содержащихся на краудсорсинговых порталах, можно ожидаемо прийти к следующему выводу: краудсорсинговые платформы являются сервисом, призванным предоставлять (доносить) структурам власти оформленные коллективные заявления активной части социума.

Анализ наиболее полного перечня российских краудсорсинговых платформ позволяет выделить для исследования два уровня: федеральный и региональный. Под федеральным подразумевается охват сайтом населения нескольких субъектов федерации.

На федеральном уровне объектом исследования стали 40 платформ. Из них государственное участие отмечено только у двух, в то время как 38 являются независимыми (созданы и поддерживаются на основе гражданской инициативы). На рис. 1 представлено количество федеральных платформ онлайн-взаимодействия граждан и власти.

Уровень регионов показывает обратную ситуацию: из 59 региональных краудсорсинговых порталов независимыми являются менее половины – двадцать семь сайтов. Инициатива местных властей отмечена в функционировании тридцати двух платформ. На рис. 2 представлено количество региональных платформ онлайн-взаимодействия граждан и власти.

Логичным представляется вывод, что региональные власти могут использовать свое участие в краудсорсинговых проектах, как своеобразный индикатор вовлеченности в социальные процессы, как сигнал федеральным властям о своей заинтересованности в поддержке инициатив и обработке обратной связи от граждан.

Всплеск активности в 2011–2012 года обусловлен особым вниманием правительства к данной сфере деятельности. Задачи краудсорсинга неоднократно выносились на обсуждение на высшем государственном уровне во время президентского срока Д.А. Медведева, который всегда внимательно относился к сетевой активности в России. В рамках заседания было отмечено, что участие опытных инженеров, программистов,

проектных менеджеров должно дополняться специалистами по коммуникации. Д.А. Медведев отнес способы вовлечения и активизации участников к методам социальной инженерии, то есть синтезу социологии, психологии, коммуникаций, веб-технологий и других смежных направлений [4].



Рис. 1. Количество федеральных платформ онлайн-взаимодействия граждан и власти по годам возникновения



Рис. 2. Количество региональных платформ онлайн-взаимодействия граждан и власти по годам возникновения

Можно утверждать, что инициативы граждан в интернет-среде должны быть на порядок более массовыми (в численном выражении по участникам), чтобы признаваться на высшем уровне власти.

Публикации большинства специалистов, занятых в области внедрения информационных технологий в российскую публичную политику, свидетельствуют о широких перспективах краудсорсинговых проектов. Так, «Конкурс проектов на базе открытых данных и краудсорсинга Apps4Russia» позволяет рассчитывать на использование принципа коллективного творчества в трансформации городской инфраструктуры, сфере ТСЖ и тарифов, государственных финансов и экологии [5].

Результаты исследования позволяют утверждать, что идея построения практически применимой модели взаимодействия социально-активных жителей, местных муниципалитетов и органов городского самоуправления имеет ряд успешных примеров

реализации как на мировом уровне, так и в ряде населенных пунктов Российской Федерации. Причем речь идет не только о больших городах, но и о весьма удаленных провинциальных регионах. Для последних наиболее актуальным путем развития можно назвать дальнейшее усиление роли публичной отчетности перед количеством поданных заявлений от населения.

Можно предположить, что краудсорсинг городских проблем еще на долгое время останется актуальной темой научных исследований и публикаций. Данная тема вызывает оживленный интерес в академической среде социологов, культурологов, урбанистов, специалистов в области информационных технологий и других.

Заключение

Важно отметить, что краудсорсинг-технологии позволяют разрешить сразу несколько проблем публичной политики.

Во-первых, они способствуют успешному и конструктивному вовлечению «сетевого гражданского общества» в решение значимых социальных проблем. Такие их характеристики, как открытость, наличие многомерных коммуникационных связей, свободное от влияния «сверху» формирование экспертного сообщества представлены в рамках «сетевой» формы в полном объеме. Следовательно, краудсорсинг-технологии не стоит отделять от классических политических инструментов. Сетевые технологии позволяют формировать открытое пространство для преодоления личностной изоляции граждан, разделения социума, теневой роли государственной и региональной власти, неполноценности социальных коммуникаций. Сетевой принцип организации структур общества способствует развитию принципов эффективного взаимодействия органов власти по направлению к публичному управлению.

Во-вторых, краудсорсинг в публичной политике инициирует внедрение инноваций в саму систему политического менеджмента. Социальные сети становятся инструментом системообразующей основы краудсорсинга и предстают площадками для принятия политических решений, осуществления целей и намерений субъектов федеральной и региональной политики. Краудсорсинг дает возможность пользователям социальных сетей интегрироваться в политическое сообщество экспертов, предлагая и участвуя в создании инновационных проектов, способствующих не только распространению эффективных управленческих практик, но и модернизации отдельных сфер жизнедеятельности человека.

Публикации

1. *Shubinskiy M.I., Zhuk D.V., Tokarev N.V., Kushelev S.A.* Perception of cryptography and cryptographic protection by internet users as a tool for preserve of a privacy in the modern internet environment // 2nd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2015: Proceedings. 2015. Book 1. Vol. 1. P. 723–730.
2. *Shubinskiy M.I., Zhuk D.V., Tokarev N.V., Kushelev S.A.* The ratio of savings and investment in russia in terms of financial instability // 2nd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM2015: Proceedings. 2015. Book 2. Vol. 2. P. 499–504.
3. *Бершадская Л.А., Жук Д.В., Низомутдинов Б.А.* Возможности и границы использования инструментов электронного участия людьми старшего поколения в России // Информационные ресурсы России. 2015. № 6 (148). С. 25–27.
4. *Токарев Н.В., Жук Д.В.* Плавающая готика. Роль света в архитектуре соборов. 1130–1280 гг. // Сборник тезисов научно-практической конференции «Световой дизайн 2015». СПб., 2015. С. 82–84.
5. *Бершадская Л.А., Биккулов А.С., Жук Д.В., Низомутдинов Б.А.* Интернет и пожилые: включенность старших возрастных групп и внимание к их проблемам // Информационные ресурсы России. 2014. № 5 (141). С. 11–15.
6. *Жук Д.В., Петухов С.Н.* Антипиратский закон: анализ реакции в социальных сетях // Интернет и современное общество: сборник научных статей. Труды XVI Всероссийской

объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2013). СПб., 2013. С. 82–85.

7. Жук Д.В. Анализ реакции интернет-пользователей на социально-резонансные изменения в законодательстве РФ // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. С. 654.

8. Биккулов А.С., Жук Д.В. Обзор возможностей бесплатных автоматизированных программных средств для исследования социальных сетей // Труды XX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2013». СПб., 2013. Т. 2. С. 349–351.

9. Жук Д.В. Сервисы мониторинга социальных медиа в сети интернет и анализ частотности поисковых запросов как инструменты исследования социальных проблем // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 3. СПб., 2013. С. 67–68.

10. Жук Д.В., Биккулов А.С. Обзор возможностей бесплатных автоматизированных программных средств для исследования социальных сетей // Труды XX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика 2013». СПб., 2013. Т. 2. С. 349–351.

Литература

1. Мирошниченко И.В. Модернизационный потенциал краудсорсинга в современной публичной политике // Проблемный анализ и государственно-управленческое проектирование. 2011. № 6. С.31–39.

2. GOV 2.0 или социальные сети в политике [Электронный ресурс] // Сарафанное радио [Интернет-портал]. URL: www.sarafannoeradio.org/analitika/304-gov-2-0-ili-sotsialnie-seti-v-politike.html (дата обращения: 23.03.2015).

3. Geerts S. Discovering crowdsourcing. Theory, classification and directions for use. Eindhoven, 2009. – 117 p.

4. Заседание Правительственной комиссии по координации деятельности Открытого правительства [Электронный ресурс] // Правительство Российской Федерации [Официальный сайт]. URL: www.archive.government.ru/docs/21422/# (дата обращения: 23.03.2015).

5. Конкурс проектов на базе открытых данных и краудсорсинга Apps4Russia [Электронный ресурс] // Полит.ру [Интернет-портал]. URL: www.polit.ru/article/2011/06/23/konkurs (дата обращения: 23.03.2015).



Жуков Михаил Валерьевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра нанотехнологий и материаловедения
e-mail: cloudjyk@yandex.ru

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ НАНОЗОНДЫ ДЛЯ СКАНИРУЮЩИХ ЗОНДОВЫХ МИКРОСКОПОВ: ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ, ПРИМЕНЕНИЕ

М.В. Жуков

Научный руководитель – профессор А.О. Голубок

Цель проекта – создание, исследование и дальнейшая апробация новых специализированных нанозондов на основе нановискерных структур для повышения

качества исследований и модификации объектов живой и неживой природы в различных средах и режимах сканирования методами сканирующей зондовой микроскопии.

Сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) является одним из основных методов исследования и модификации материалов с нанометровым разрешением, объединяя в себе широкий спектр различных методик. Данное направление приобретает все большую актуальность, так как позволяет проводить не только прецизионное изучение топологии поверхности материалов различной природы, но и проводить механические, электрические, магнитные и другие локальные измерения на поверхности образцов, находящихся в вакууме, газе или жидкости.

Одним из основных элементов, предопределяющих качество получаемых экспериментальных данных, является зондовый датчик с твердотельным нанозондом (острой иглой), находящимся в непосредственном контакте с поверхностью образца. Стандартные зондовые датчики не всегда позволяют достичь желаемого качества сканирования или модификации поверхности (особенно при исследовании объектов с размерами менее 50 нм), поэтому в последнее время ведется разработка новых специализированных типов зондовых датчиков с улучшенными параметрами, расширяющих экспериментальные возможности сканирующих зондовых микроскопов.

Так, для улучшения остроты и повышения аспектного отношения развиваются технологии формирования на вершинах СЗМ-зондов наноструктур нитевидной формы или нановискерных образований [1, 2]. Разрабатываются также специализированные зонды для решения определенных прецизионных задач, таких как высокоточная литография поверхности или выполнение точных операций с объектами биологической природы [3].

В процессе выполнения работы был проведен анализ имеющейся литературы в области разработки новых типов специализированных зондовых датчиков для СЗМ, направленных на решение конкретных задач по улучшению параметров сканирующих зондовых микроскопов, к которым можно отнести специализированные нанозонды с нановискерными структурами. Подобраны образцы и подготовлено оборудование для проведения исследований.

Разработаны и созданы специализированные нанозонды для СЗМ на основе нановискерных структур, формируемых на вершинах стандартных зондовых датчиков. Изучены их характеристики и прочностные параметры при механических взаимодействиях зонда с поверхностью.

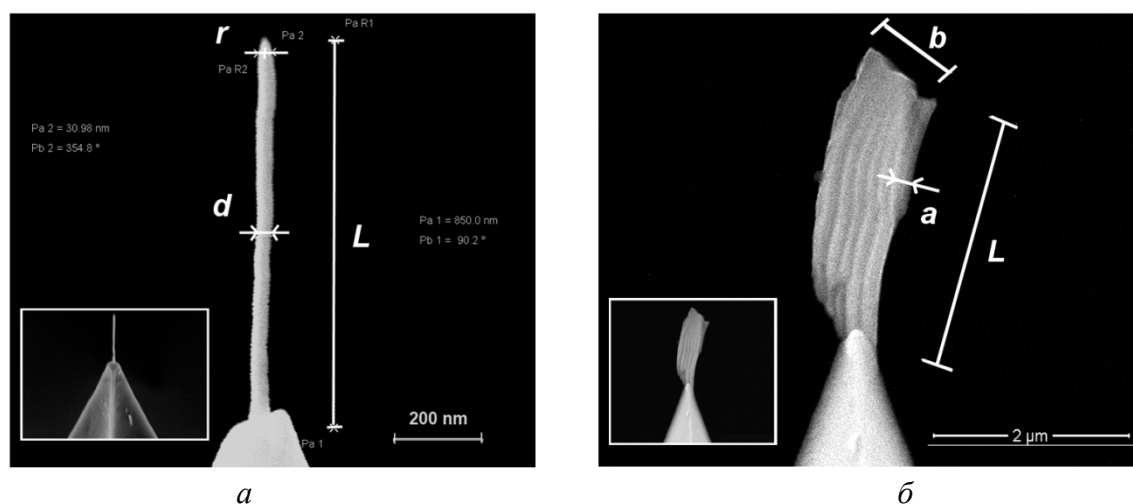


Рис. 1. Изображения выращенных в вакуумной камере методом ОФЭП на вершинах пирамид стандартных зондовых датчиков, полученные в сканирующем электронном микроскопе:
а – НВ; б – НС

В данной работе разрабатывались специализированные зонды с одиночными Pt/C (платина-углерод) нановискерами (НВ) (рис. 1а) и ассиметричными С (углерод)

наноскальпелями (НС) (рис. 1б), выращиваемыми на кончиках зондов методом осаждения фокусированным электронным пучком (ОФЭП) в вакууме с использованием газов-прекурсоров.

НВ представляет собой вытянутый нитевидный стержень длиной L , диаметром d и радиусом скругления кончика r . Использовались зонды длиной около 400–800 нм, диаметром 40–60 нм и радиусом скругления кончика 7–12 нм. НС характеризуются несимметричной формой; толщина НС (a) значительно меньше его ширины (b) и длины (L) (рис. 1б). Использовались зонды с НС шириной 60–80 нм, глубиной 300–400 нм и длиной, не превосходящей 400 нм.

Выполнены исследования топологических свойств и литографии поверхности на тестовых объектах, таких как калибровочные решетки, искусственные структуры на электронном резисте, а также поверхность магнитного диска. Выявлено улучшение разрешающей способности специализированных нанозондов по сравнению с результатами, полученными на стандартных зондовых датчиках. Проведены работы по прецизионному манипулированию объектами в нанометровом масштабе с использованием широкой части зонда при различных значениях силы воздействия.

Кроме того, были изучены результаты отображения магнитных полей специализированными зондами с НВ. Для этого было выполнено напыление магнитного материала (30 нм слой Co) на поверхность НВ, выращенного на вершине кремниевой пирамиды стандартного зонда. В качестве образца использовался сегмент магнитного жесткого диска (рис. 2).

В результате проведенных исследований было выяснено, что на расстояниях $\Delta Z = 20$ –30 нм и более от поверхности образца зонд с НВ отображает магнитные поля подобно стандартным зондам. На расстояниях $\Delta Z = 10$ нм и менее зонды с НВ позволяют добиться лучшего разрешения и фазового контраста при отображении магнитных полей. Однако при этом начинает проявляться структура самой подложки, что может быть связано с большей чувствительностью зонда с НВ (5° стандартного зонда вместо 10 – 14° у зонда с НВ) благодаря его высокому аспектному отношению.

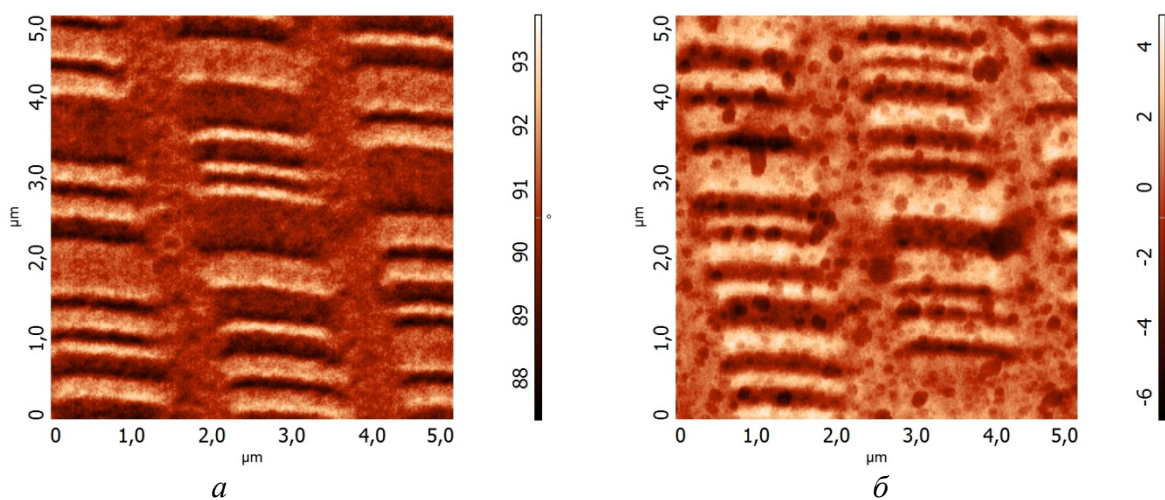


Рис. 2. СЗМ-изображение магнитных полей на поверхности жесткого диска, полученное: а – стандартным зондом; б – зондом с НВ

Проведено исследование объектов биологической природы в нативном (бактерии *E. Coli*) и высушенном (клеточные структуры) состояниях. Выполнены исследования топологии структуры и препарирование объектов биологической природы (эритроциты) при разных параметрах скорости воздействия и силы прижима зондовых датчиков.

Образцами биологического происхождения, исследуемыми в воздушной среде, являлись клетки крови эритроциты, также известные как красные кровяные тельца. Объекты исследовались как стандартными, так и НВ-зондами для сравнения разрешения и контраста получаемых изображений. Для корректного сравнения получаемых результатов был

исследован один и тот же эритроцит, что можно видеть по дефекту в верхней части и линиям перепада высот на его поверхности (рис. 3).

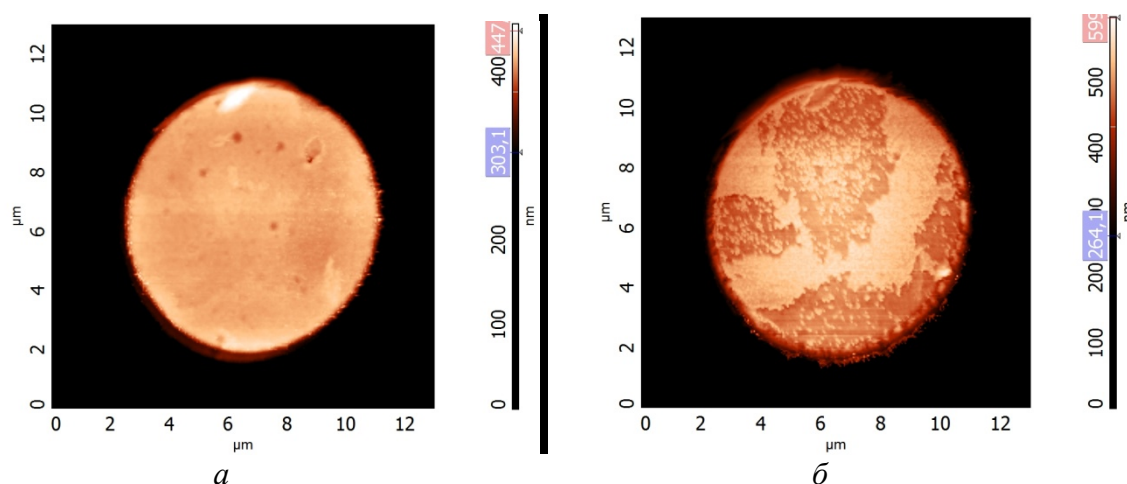


Рис. 3. СЗМ-изображение единичного эритроцита и его мембраны, полученное: а – стандартным зондом; б – зондом с НВ

При исследовании единичных бактерий *E.Coli* в нативном состоянии обнаружено существенное улучшение контраста и разрешения при использовании зондов с НВ (рис. 4). Так, на сечениях, взятых у конкретной единичной бактерии *E.Coli* в одном и том же месте, выявлено общее увеличение разрешения и перепадов высот зондами с НВ (до 200 нм), а также замечена визуализация тонкой наноразмерной структуры по периметру бактерии *E.Coli* (левый пик на рис. 4б). Предположительно, данные структуры могут быть волокнами *E.Coli*, которые обычно присутствуют на поверхности бактерий *Escherichia* [4]. Использование стандартных зондов не позволило выявить данную наноразмерную структуру.

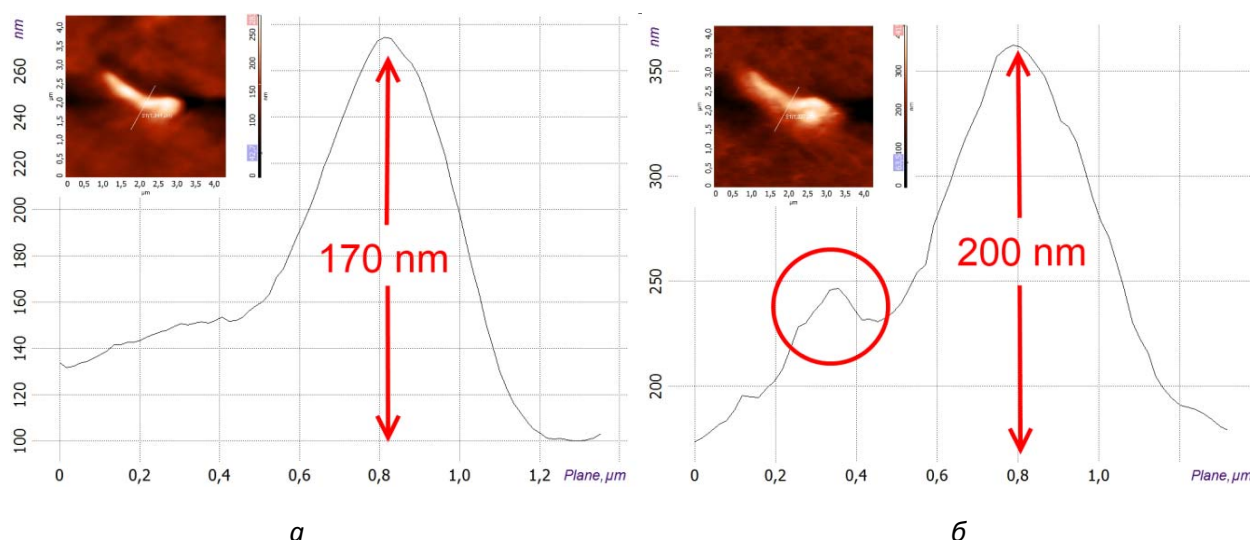


Рис. 4. СЗМ-изображение одиночной бактерии *E.Coli* и сечения, полученные в натрий-фосфатном буфере: а – стандартным зондом; б – зондом с НВ

Таким образом, при работе зондами с НВ в жидких средах при исследовании образцов биологического происхождения, в частности нативных бактерий *E.Coli*, замечено общее улучшение пространственного разрешения и контраста получаемых изображений.

Все успешно достигнутые результаты соответствуют поставленным целям и задачам проекта.

Заключение

При выполнении проекта созданы, исследованы и апробированы новые специализированные нанозонды на основе нановискерных структур, позволяющих существенно повысить качество экспериментальных данных, получаемых при исследовании и модификации объектов живой и неживой природы в различных средах методами СЗМ.

По тематике работы выполнен литературный обзор, выбраны и обоснованы оптимальные направления исследования, подобраны образцы и подготовлено оборудование.

Разработаны и созданы специализированные нанозонды для СЗМ, изучены их характеристики и прочностные параметры при механических взаимодействиях зонда с поверхностью.

Выполнены исследования топологических свойств и проведена литография поверхности на тестовых объектах с целью определения разрешающей способности специализированных нанозондов и сравнения с результатами, полученными на стандартных зондах. Проведены прецизионные манипуляции с объектами в нанометровом масштабе при различных значениях силы воздействия.

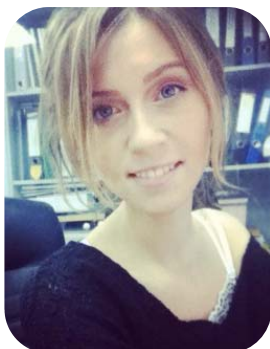
Изучены объекты биологической природы в нативном и высушенном состояниях. Выполнены высокоточные исследования топологии структуры и проведено препарирование объектов биологической природы при разных параметрах скорости воздействия и силы прижима зондовых датчиков.

Публикации

1. Mukhin I.S., Fadeev I.V., Zhukov M.V., Dubrovskii V.G., Golubok A.O. Framed carbon nanostructures: synthesis and applications in functional SPM tips // *Ultramicroscopy*. 2015. Vol. 148. P. 151–157.
2. Жуков М.В., Мухин И.С., Левичев В.В., Голубок А.О. Об инверсии контраста при визуализации гидрофильных поверхностей методом силовой микроскопии с использованием зондов на основе Pt/C-вискеров // *Письма в журнал технической физики*. 2015. Т. 41. Вып. 3. С. 96–102.
3. Zhukov M.V., Belousov K.I., Mozharov A.M., Mukhin I.S., Golubok A.O. Specialized probes with nanowhisker structures for high resolution magnetic force microscopy // *Book of abstracts: 2nd International School and Conference «Saint-Petersburg OPEN 2015»*. 2015. P. 356–357.
4. Zhukov M.V., Mukhin I. S., Levichev V.V., Golubok A.O. Investigation of the contrast inversion effect on hydrophilic surfaces using Pt/C whisker probes in a scanning force microscope // *Technical Physics Letters*. 2015. Vol. 41. No 2. P. 149–152.
5. Zhukov M.V., Belousov K.I., Mozharov A.M., Mukhin I.S., Golubok A.O. Specialized probes with nanowhisker structures for high resolution magnetic force microscopy // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. Vol. 643. P. 012059.

Литература

1. Levichev V.V., Zhukov M.V. et al. On the operating stability of a scanning force microscope with a nanowhisker at the top of the probe // *Technical Physics*. 2013. Vol. 58. No 7. P. 1043–1047.
2. Ashiri I., Gartsman K. et al. Attachment of single multiwall WS₂ nanotubes and single WO₃-x nanowhiskers to a probe // *AIP Conference Proceedings*. 2003. Vol. 685. P. 545–549.
3. Beard J.D., Burbridge D.J. et al. An atomic force microscope nanoscalpel for nanolithography and biological applications // *Nanotechnology*. 2009. Vol. 20. No 44. P. 445302.
4. Prescott L.M., Harley J.P., Klein D. *Microbiology*. New York, 2008. – 1222 p.



Ильина Екатерина Евгеньевна
Факультет холодильной, криогенной техники и кондиционирования
Кафедра технологии металлов и металловедения
E-mail: il-190.89@mail.ru

УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ВОЛНОВЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Е.Е. Ильина

Научный руководитель – профессор С.А. Вологжанина

Введение

Одним из основных направлений современного материаловедения является развитие новых технологий высокоэнергетического воздействия на детали машин с целью их упрочнения. К наиболее значимой проблеме данного направления можно отнести вопросы поверхностного упрочнения, поскольку известно, что эксплуатационные свойства металлических изделий в значительной мере определяются состоянием поверхности.

На сегодняшний день актуальной остается задача разработки такого метода упрочняющей обработки, который мог бы обеспечить малые энергозатраты, высокие экономические показатели, экологичность и одновременно с этим дать возможность получать необходимый комплекс характеристик механических свойств, особенно для деталей сложной конфигурации.

Основным трендом развития технологий упрочнения металлов является переход к управлению свойствами материала на все более тонком уровне путем, предусматривающим формирование мелкозернистой структуры различными методами. Перспективным видится разработка нового метода, основанного на периодическом воздействии ударными волнами или мощным акустическим полем (акустическая обработка – АО), содержащим колебания дискретного тона. Он основан на эффекте возникновения волн Максвелла в поверхностном слое кристаллической решетки [1], который позволит влиять на изменение микроструктуры, субструктуры и дислокационной структуры металлов.

Цель работы – определение механизмов (процессов) влияния АО на структуру и свойства сталей, а также оценка эффективности этих воздействий.

Исследование технологических режимов АО

Для того чтобы иметь возможность осуществлять эксперименты по термоакустическому упрочнению, необходимо сформировать представление о режимах работы установки. Для этого была проведена серия экспериментов, направленных на исследование параметров акустического поля, генерируемого установкой при различных условиях.

По результатам проведенных измерений получены графики зависимости основных частот от энергии потока (мощности). Примеры результатов измерений представлены на рис. 1–3. В большинстве случаев можно отчетливо отследить главные частоты акустического излучения на каждом из исследуемых режимов. При минимальном диаметре канала резонатора (рис. 1) спектры размытые, на больших диаметрах – режимы дискретного тона ярко выражены. На основе полученных данных можно определить наиболее эффективные (с точки зрения энергетического воздействия) режимы для упрочняющей обработки.

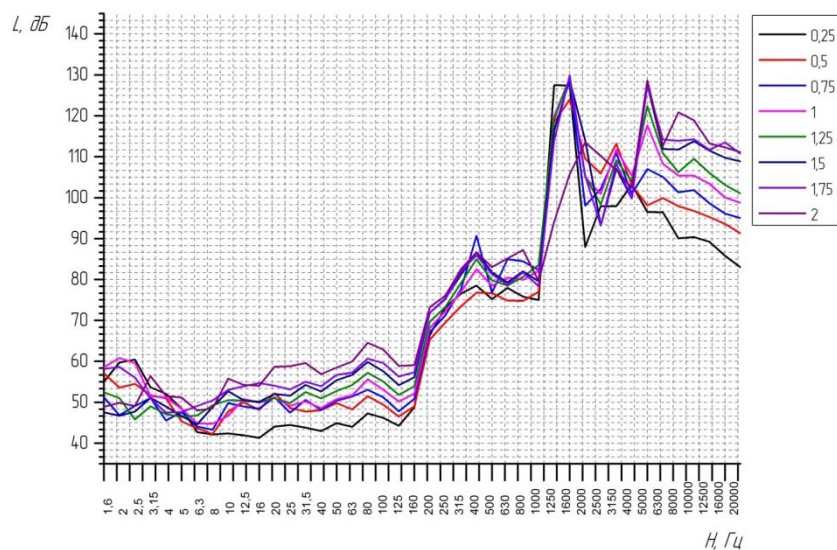


Рис. 1. Результаты измерения акустического поля. Диаметр технологического кольца – 60 мм, положение штока – минимум

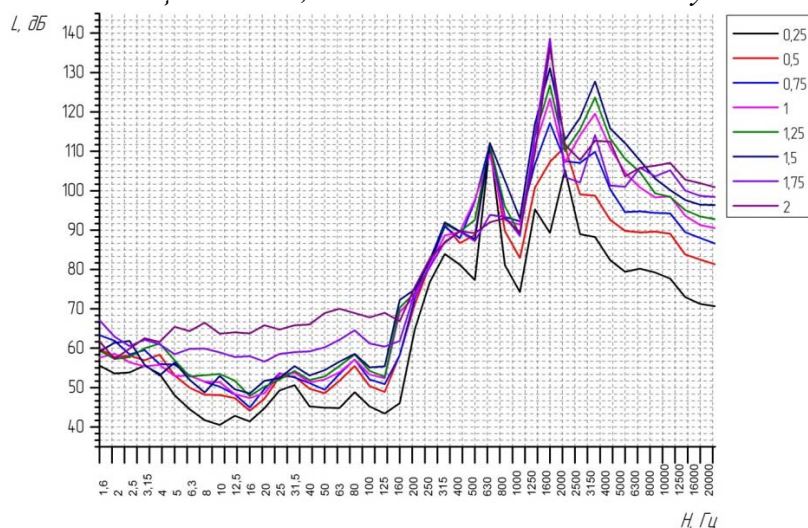


Рис. 2 Результаты измерения акустического поля. Диаметр технологического кольца – 80 мм, положение штока – минимум

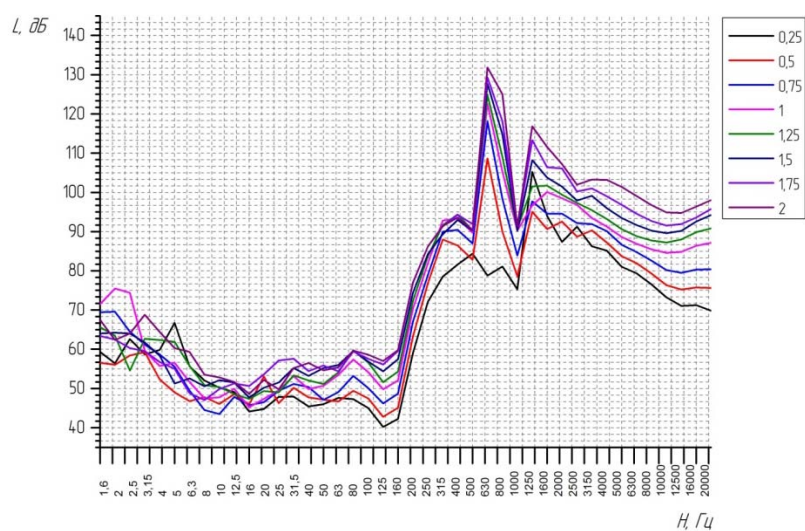


Рис. 3. Результаты измерения акустического поля. Диаметр технологического кольца – 100 мм, положение штока – минимум

Динамические испытания на ударный изгиб

Испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах осуществлялись в соответствии с ГОСТ 9454-78 Металлы. В результате были получены значения работы разрушения, на основании которых проводили расчет ударной вязкости (KCU) [2].

Для оценки вклада акустической обработки в изменение свойств сталей проведено исследование на ударную вязкость образцов, которые ранее подвергались только термической обработке. Значения ударной вязкости, полученные после закалки, составили $0,0125 \text{ МДж/м}^2$. Дополнительная их обработка в акустическом поле, генерируемом пульсирующим воздушным потоком, позволила получить значения ударной вязкости, равные $0,18 \text{ МДж/м}^2$.

Значение показателя KCU для образца после закалки при температуре 850°C с последующим низким отпуском в воду при температуре 200°C составило $0,2 \text{ МДж/м}^2$. Если к описанным процедурам добавить акустическую обработку при комнатной температуре, то KCU в среднем будет равно $0,34 \text{ МДж/м}^2$. Это соответствует повышению сопротивления охрупчиванию при динамическом нагружении более чем на 50 % (рис. 4) при не менее высоких значениях предела прочности и условного предела текучести.

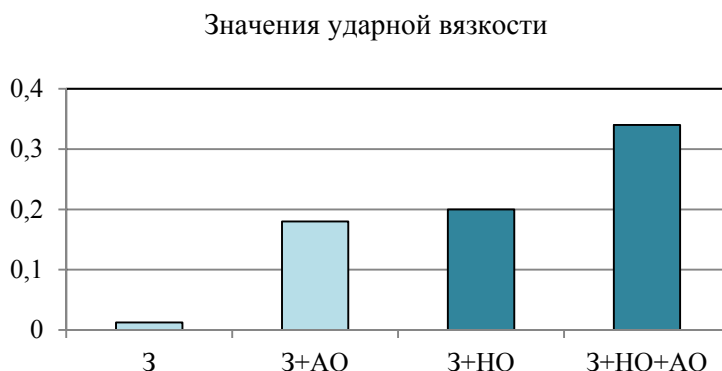


Рис. 4. Результаты, полученные после различных сочетаний обработки:

3 – закалка; АО – акустическая обработка; НО – низкий отпуск

Традиционно термическая обработка на высокопрочное состояние включает в себя низкий отпуск, проводимый после закалки в течение 1,5–2 ч. Столь продолжительное время требуется для наиболее полного снятия остаточных напряжений. Как следует из полученных результатов, появляется возможность сокращения его длительности в 3-4 раза, если после традиционной термической обработки дополнительно использовать технологический процесс обработки детали пульсирующим воздушным потоком. Полученные при этом значения ударной вязкости обеспечивают достаточную надежность детали благодаря получению ею комплекса высоких механических свойств [3, 4].

Фрактографический анализ изломов образцов

Фрактографический анализ изломов образцов проводится с целью изучения изменений в структуре металла, произошедших в результате дополнительной акустической обработки. Морфология изломов анализируется с использованием метода растровой электронной микроскопии в интервале увеличений от 100 до 5000. Полученные результаты представлены на рис. 5 и 6.

На рис. 5а и 5б приведены фотографии изломов предварительно закаленных образцов (без АО). Полученные изображения свидетельствуют о хрупком характере их разрушения, которое идет по границам зерен. Увеличение 5000х показывает наличие в образце трещины (рис. 5б), а полученная в результате динамических испытаний крайне низкая величина ударной вязкости также свидетельствует о его повышенной хрупкости.

Как следует из рис. 5б и 5г, дополнительная акустическая обработка привела к выделению некогерентной дисперсной карбидной фазы. Следует отметить, что в стали марки 40Х выделение карбидной фазы, связанное с распадом мартенсита, обычно происходит в ходе отпуска. Следовательно, воздействие пульсирующим воздушным потоком интенсифицирует и ускоряет процессы, связанные с самоотпуском. Они соответствуют начальным стадиям распада мартенсита – выделению из него высокодисперсных карбидных частиц. Увеличение изображения до 5000х (рис. 5г) показывает, что карбидная частица располагается в нижней части мелкой ямки, способствуя повышению затрат на работу разрушения и объясняя таким образом повышение значения ударной вязкости до 0,18 Мдж/м².

На рис. 6а и 6б приведены картины изломов образцов после закалки и низкого отпуска, на рис. 6б и 6г – к термической добавлена обработка в акустическом поле. В обоих случаях характер разрушения хрупкий с некоторой долей вязкой составляющей. В образцах с термообработкой наблюдаются фасетки квазискола с развитой инфраструктурой в виде микрогребешков. Если после термообработки образцы подвергнуть обработке в акустическом поле, генерируемым пульсирующим воздушным потоком, то на поверхности излома будет видно значительное увеличение числа каверн и микропустот внутри поперечного сечения с располагающимися на дне неметаллическими частицами, что свидетельствует об увеличении вязкости образца.

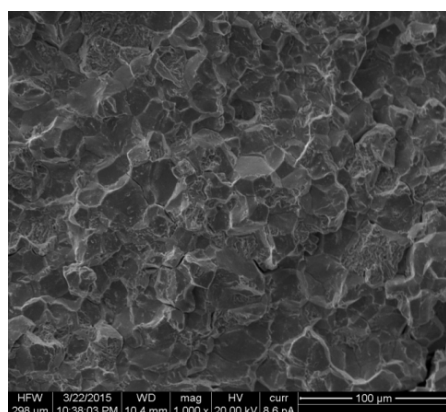
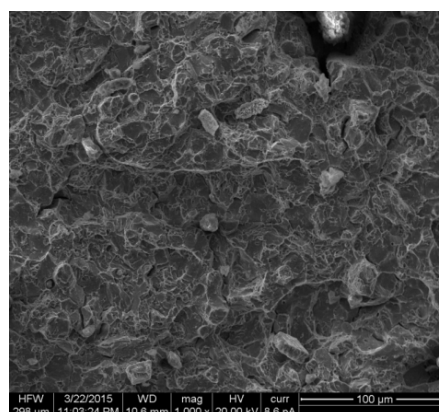
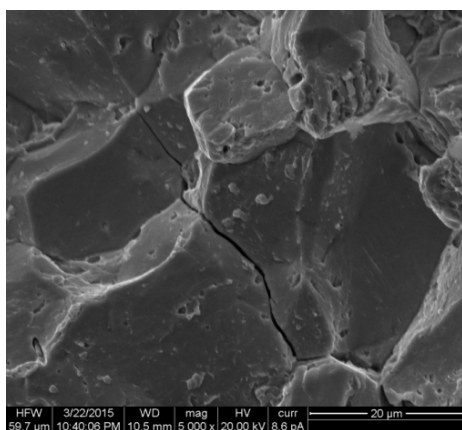
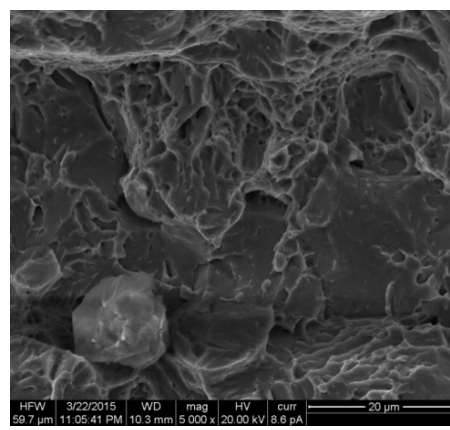
*а (1000х)**б (1000х)**в (5000х)**г (5000х)*

Рис. 5. Изображения поверхности изломов. Предварительный вид термической обработки образцов – закалка: а и в – образцы без АО; б и г – с использованием АО

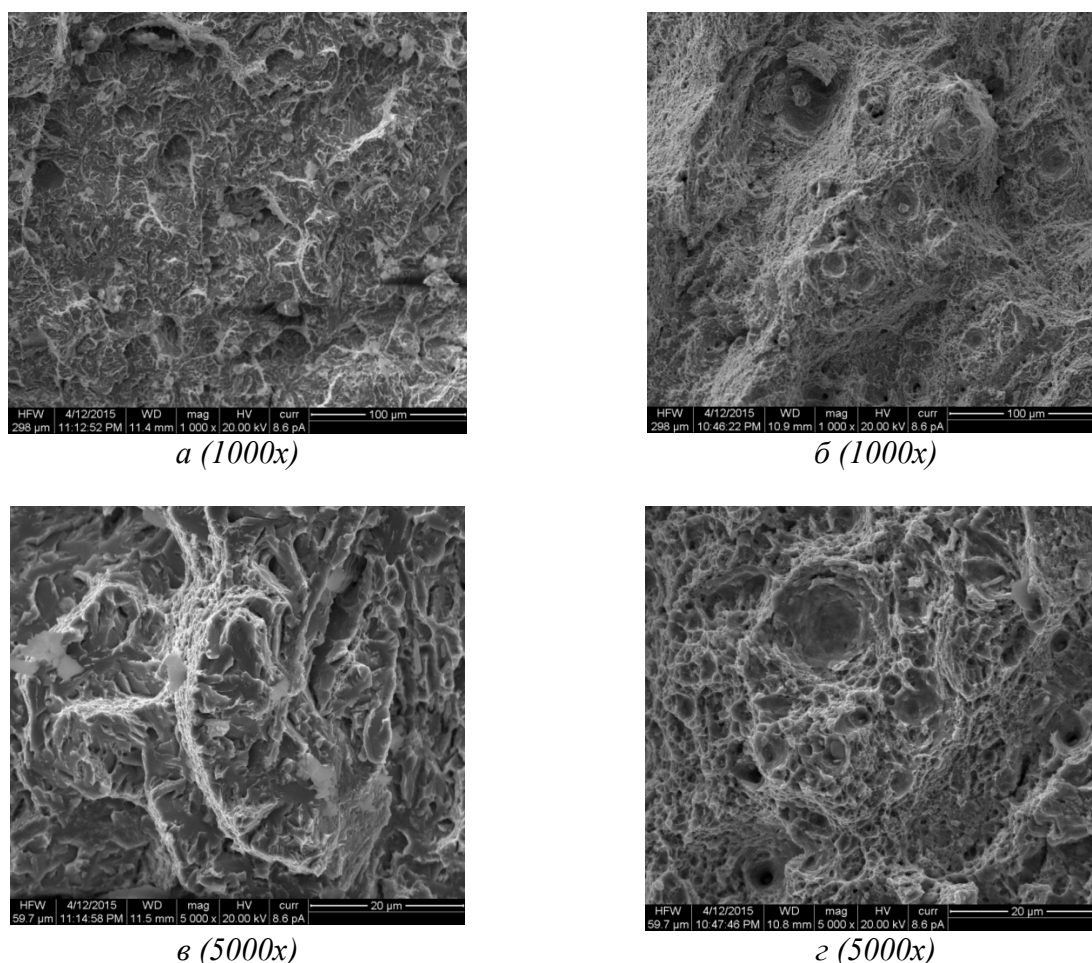


Рис. 6. Изображения поверхности изломов. Предварительный вид термической обработки образцов – закалка с последующим низким отпуском: а и в – образцы без АО; б и г – с использованием АО

Увеличение значений ударной вязкости, вероятно, можно объяснить тем, что дополнительное воздействие, проводимое после закалки и низкого отпуска, обеспечивает существенное повышение подвижности дислокаций, способствуя снижению термических и фазовых напряжений, уменьшению степени тетрагональности мартенсита и протеканию процессов выделения мелкодисперсной карбидной фазы. В результате наблюдается более значительное, чем после низкого отпуска, снижение остаточных напряжений, благодаря чему сталь становится менее хрупкой.

Публикации

1. Ильина Е.Е., Иголкин А.Ф., Вологжанина С.А., Смирнова Ю.А. Использование аэротермоакустической обработки для повышения хладостойкости сталей // Сборник трудов Евразийского симпозиума по проблемам надежности материалов и машин для регионов холодного климата. СПб., 2014. С. 310–312.
2. Оценка влияния режимов термической и термоакустической обработки на величину ударной вязкости сталей 40 и 40Х // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 1. СПб., 2015. С. 230–233.
3. Ильина Е.Е. Упрочнение металлов периодическим волновым воздействием // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). 2015. № 3. С. 104–105.
4. Ильина Е.Е. Аэротермоакустическая обработка – новый метод упрочнения материала // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2014. С. 213–215.

5. Ильина Е.Е., Вологжанина С.А., Иванов Д.А. Влияние термоакустической обработки на свойства поверхностных слоев стальных изделий // Материалы XXII Уральской школы металлургов-термистов. Орск, 2014. С. 222–223.

6. Ильина Е.Е., Вологжанина С.А., Иголкин А.Ф. Оценка влияния термоакустической обработки на свойства стали 40Х // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: материалы 17-й Международной научно-технической конференции. СПб., 2015. С. 292–295.

Литература

1. Патент на полезную модель РФ 146440 «Акустический излучатель», опубл. 25.07.2013.
2. Сорокин В.Г., Гервасьев М.А. Стали и сплавы. Марочник: справочник. М., 2001. – 608 с.
3. Воробьева Г.А., Иводитов А.Н., Сизов А.М. О структурных превращениях в металлах и сплавах под действием импульсной обработки // Известия Академии наук СССР. Металлы. 1991. № 6. С. 131–137.
4. Иванов Д.А. Повышение конструкционной прочности металлических материалов путем обработки нестационарными газовыми потоками без предварительного нагрева // Техно-технологические проблемы сервиса. 2011. № 4 (18). С. 24–29.



Исаев Александр Сергеевич
Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий
Кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз
E-mail: a.s.isaev@yandex.ru

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А.С. Исаев

Научный руководитель – доцент Г.П. Жигулин

Целью научно-технического исследования является повышение эффективности систем защиты информации (СЗИ) за счет разработки научно-методического аппарата по управлению информационной безопасностью [1] и принятию управленческих решений в условиях неопределенности.

Задачи научно-технического исследования. Поставленная цель достигалась поэтапным решением следующих задач.

1. Анализ действующих международных [2, 3] и российских нормативно-правовых документов с целью выявления и систематизации общих требований, предъявляемым к СЗИ.

2. Исследование процессной составляющей управления информационной безопасностью в организациях.

3. Исследование порядка принятия решений в условиях неопределенности возникновения и идентификации угроз информационной безопасности.

4. Разработка методики принятия управленческих решений по информационной безопасности в условиях неопределенности.

5. Программная реализация методики принятия управленческих решений по информационной безопасности на основе предлагаемого порядка снижения неопределенности возникновения и идентификации угроз информационной безопасности.

В рамках выполнения поставленной цели была рассмотрена отдельно взятая организация, обрабатывающая критически важную информацию. Пускай в данной организации протекает $i = 1, \dots, n$ равноправных процессов управления информационной безопасностью и существует ограниченное количество ресурсов r_i , затрачиваемое на их реализацию. Каждый из процессов i определяется параметрами: $t_i(r_i)$ – время, необходимое на получение информации, и $f_i(x_i)$ – количество получаемой информации в ходе выполнения процесса. В рамках своей деятельности организация подверглась атаке со стороны злоумышленников, угрожающей непрерывности ее производства. Руководству организации требуется принять соответствующее управленческое решение для прекращения атаки за время t_{max} , при этом состав имеющихся ресурсов R является неизменным.

Рассмотрим текущее положение дел в организации. В ней существует СЗИ, которая столкнувшись с возникновением угрозы Y , не может ей противостоять в текущем состоянии. Пускай текущее (исходное) состояние рассматриваемой системы – X_0 , тогда множество всех возможных состояний – $X_1, X_2, X_3 \dots X_k$, P – вероятность нахождения в k -ом состоянии, при этом они будут являться равновероятностными:

$$P_0 = P_1 = P_2 = P_3 = \dots P_k$$

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_k = 1$$

Предположим, что существует такое состояние рассматриваемой системы $X_Y \in X_k$, когда она способна противостоять угрозе Y . Тогда суть принимаемого решения должна сводиться к выбору такого состояния из всего множества возможных состояний. Согласно положениям теории информации, неопределенность нахождения системы в равновероятностных состояниях будет определяться максимальной энтропией H . Тогда энтропия для рассмотренных случаев, когда неизвестно и известно состояние рассматриваемой системы, при котором она способна противостоять угрозе Y , будет H_0 и H_Y соответственно. Согласно Шеннону, разность H_0 и H_Y является количеством информации, тогда $F = H_0 - H_Y$ – количество информации, необходимое для принятия решения о переходе рассматриваемой системы из текущего состояния X_0 в состояние $X_Y \in X_k$ для противостояния угрозе Y .

Обозначим общее множество всех возможных угроз как $Y_{общ}$. Очевидно, что возникшая угроза $Y \in Y_{общ}$. Пускай каждая из возможных угроз $Y_x \in Y_{общ}$ (где $x = 1 \dots m$ – номер угрозы) описывается совокупным рядом независимых параметров α_j (где $j = 1 \dots n$ – номер параметра), тогда множество $Y_{общ}$ будет описываться совокупным множеством всех возможных уникальных параметров α_{jx} , присущих угрозам. Таким образом, можно составить полную матрицу соответствия угрозы и их параметров размерности m на n .

Прежде чем принимать решение о переводе СЗИ в определенное состояние, необходимо определить возникшую угрозу Y . В данном случае мы сталкиваемся с неопределенностью выбора, ведь вероятности возникновения каждой из указанных выше угроз будут равны. Таким образом, мы имеем проблему при принятии управленческого решения, ведь в данном случае неопределенность, а значит и энтропия H необходимого нам выбора, будет максимальной:

$$H(Y_x) = -\ln P(Y_x),$$

где P – вероятность возникновения угрозы Y_x .

Поскольку полученная максимальная энтропия будет являться полной (совместной) энтропией ряда независимых случайных угроз $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$, мы можем воспользоваться свойством аддитивности энтропии и представить их совместную энтропию как полную сумму энтропий по каждой угрозе:

$$H(Y_x) = H(Y_1) + H(Y_2) + H(Y_3) + \dots H(Y_m).$$

Для того чтобы снизить получившуюся неопределенность и принять решение о переводе СЗИ в состояние, способное противостоять угрозе Y , необходимо провести сбор информации для описания возникшей угрозы, то есть определить один из совокупных параметров α_{jx} . Каждый из протекающих в организации процессов информационной безопасности (ИБ) способен предоставить информацию о значении текущего параметра α_{jx} для возникшей угрозы, а, основываясь на их соотношении (в зависимости от полученных значений), ряд угроз из общего множества $Y_{\text{общ}}$ будет отвергаться в виду несоответствия этому параметру. Таким образом, при повышении количества определяемых параметров угрозы неопределенность выбора состояния защиты уменьшается. Рассмотрим случай, когда общее количество возможных угроз равно пяти, а общее количество уникальных параметров угроз – семи. Представим матрицу соотношения угроз и их параметров в виде Таблицы.

В случае необходимости определения возникшей угрозы Y , принадлежащей рассматриваемому множеству, нам стоит обратиться к одному из процессов ИБ для определения случайно выбранного параметра α_n . Общая энтропия для данного случая будет вычисляться как полная сумма энтропий по каждой из угроз:

$$H(\text{Общ}) = H(Y_1) + H(Y_2) + H(Y_3) + H(Y_4) + H(Y_5) + H(Y_6) + H(Y_7).$$

Пусть на первом шаге определяется параметр $\alpha_4 = 1$. Исходя из данных Таблицы очевидно, что только угрозы Y_1 и Y_4 удовлетворяют полученному значению параметра, а следовательно, оставшиеся угрозы исключаются. Получившаяся энтропия снижается и будет вычисляться как:

$$H(1) = H(Y_1) + H(Y_2) + H(Y_3) + H(Y_4) + H(Y_5) + H(Y_6) + H(Y_7) - H(Y_2) - H(Y_3) - H(Y_5) = H(Y_1) + H(Y_4).$$

Очевидно, что $H(\text{Общ}) > H(1)$. На втором и последующем шагах будем выбирать новый параметр угрозы до того момента, пока не останется единственно возможной угрозы Y , которая и будет искомой. Следует обратить внимание, что в данном случае мы не ограничены в ресурсных и временных рамках, поэтому мы в состоянии снизить неопределенность выбора до нуля. Однако в общем случае ввиду ограниченности во времени и ресурсах однозначное определение угрозы может оказаться невозможным. Неопределенность выбора будет уменьшена, но все еще сохранится. В данном случае рассмотрен пример, в котором учитывается лишь наличие параметра α , а не его реальное значение. Теперь перейдем к анализу ситуации, сложившейся в рассматриваемой организации.

Пусть за каждый из процессов ИБ, протекающих в СЗИ организации, отвечает отдельно взятый специалист или эксперт. Положим, что каждый из экспертов, основываясь на собственной логике и профессиональном опыте способен заполнить таблицу соотношения угроз и их параметров в части его касающейся. Так мы получим полную таблицу априорных вероятностей возникновения угрозы, основанную на совокупном экспертном мнении (Таблица).

Таблица

Соотношение угроз и их параметров, основанное на экспертных оценках

	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	...	α_n
Y_1	0,04	0	0,06	0,1	0,04	0,06	0,04	...	0
Y_2	0	0,06	0	0,04	0,6	0	0	...	0,35
Y_3	0,6	0,1	0,04	0	0	0,1	0,04	...	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Y_m	0,04	0	0,1	0,06	0	0,04	0,1	...	0,6

Поскольку число параметров, определяющих угрозу, строго фиксировано, а их совокупность дает ее полное описание, полную сумму всех параметров, описывающих

конкретную угрозу, можно принять равной единице. Пускай после n итераций определения параметров α общая энтропия уменьшилась и отсекала часть угроз $Y_{отс}$, ввиду явного несоответствия предполагаемых параметров апостериорным значениям, но не свелась к одной. При этом общие показатели априорной неопределенности снизились и стали равны апостериорной энтропии, которая меньше априорной, то есть область возможных решений уменьшилась соответственно их разности и равна количеству полученной информации от процессов ИБ. С учетом имеющихся условий количество итераций выбора ограничено временными и ресурсными рамками. Основываясь на информации, собранной за отведенное время, необходимо принять соответствующее управленческое решение (с учетом изменившейся неопределенности), когда искомая угроза $Y(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) \in (Y_{общ} - Y_{отс})$. Данную задачу можно представить в виде конечного древа выбора, представленного на рис. 1.

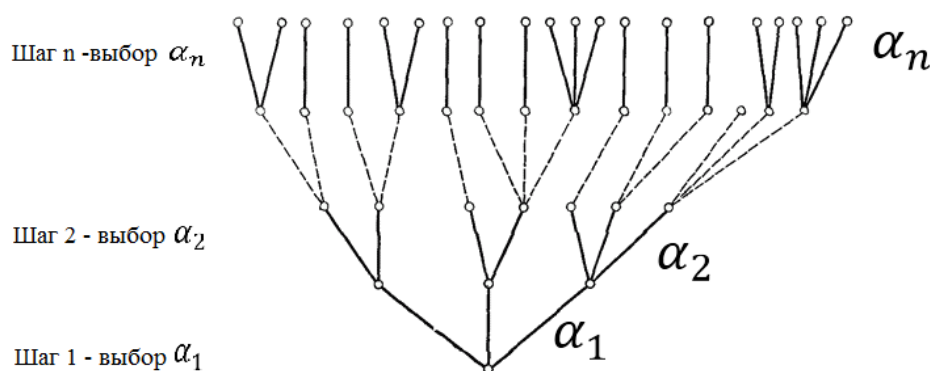


Рис. 1. Древо выбора искомой угрозы по определяемым параметрам

При этом каждая конечная ветвь, получаемая в результате перебора, будет однозначно описывать угрозу, а значит и состояние СЗИ, при котором она способна ей противостоять. Таким образом, мы получаем задачу, решение которой повлечет за собой снижение неопределенности выбора и принятия соответствующего управляющего воздействия для устранения возникшей угрозы с учетом имеющихся требований и ограничений, включая условия использования времени и ресурсов, отводимых на принятие управленческого решения. С точки зрения теории управления, решение, которое требуется принять, будет описываться параметрами: F – совокупный объем информации, необходимый для принятия решения, T – время, необходимое для принятия решения и обработки информации, R – состав ресурсов на выполнение задачи, – а также аналитическими алгоритмами, используемыми для обработки информации и принятия решения. С учетом имеющихся условий и принимая во внимание равноправность процессов в рассматриваемой системе, получаем, что:

$$\sum_{i=1}^n r_i = R = \text{const.}$$

Таким образом, руководству рассматриваемой организации требуется собрать такое количество информации f от действующих процессов управления ИБ, чтобы перевести СЗИ в состояние, при котором она способна противостоять угрозе Y , используя имеющиеся ресурсы и ограничиваясь максимальным временем, отведенным на принятие решения. Сформулируем полученную задачу в математическом виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \rightarrow \max_{x=(x_1, \dots, x_n) \in Z_+^n} \\ \sum_{i=1}^n t_i(r)x_i \leq t_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

Рассмотрим общий алгоритм действий при наступлении данной ситуации. После определения формальных условий осуществления задачи, при расчете минимально

необходимого времени получения информации от процессов ИБ для ее решения возможны ситуации, когда:

$$\max \sum_{i=1}^n f_i(x_i) < F, \max \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \leq F, \max \sum_{i=1}^n f_i(x_i) = F, \max \sum_{i=1}^n f_i(x_i) \geq F.$$

Для ситуации 1 необходимо определить существование такого времени t , для которого бы выполнялось условие $\sum_{i=1}^n f_i(x_i) = F$. Если такое t существует, то задача может решаться дальше. В противном случае она не может быть полностью решена, и смысл ее решения будет сводиться к нахождению максимально приближенного количества информации $f \rightarrow F$ при $t = t_{\max}$.

Для ситуации 2 необходимо определить, существует ли такое время t , при котором соблюдаются требуемые условия по достижению необходимого количества информации F . Если такое t существует, то задача может решаться дальше, в противном случае она не может быть полностью решена и смысл ее решения будет сводиться к нахождению максимально приближенного количества информации $f \rightarrow F$ при $t = t_{\max}$.

Для ситуаций 3 и 4 существует такое время $\min t$, при котором соблюдаются требуемые условия по достижению необходимого количества информации F . В таком случае в свою силу вступает ограничение $t_{\max}$, если $\min t \leq t_{\max}$, то задача имеет итоговое решение с учетом выполнения всех условий (это справедливо и для положительного сценария ситуации 2), в противном случае решение задачи будет сводиться к нахождению максимально приближенного количества информации $f \rightarrow F$ при $t = t_{\max}$ для последующего принятия решения.

Рассмотрим решение данной задачи для наиболее сложной ситуации 2. Она может быть представлена в виде (1). Обозначим частный случай как n , $f \leq t_{\max}$ и определим его в общем семействе подобных задач $\{i, f \leq K, i = 1, \dots, n, 0 \leq K \leq t_{\max}\}$. Пусть $S_i(K)$ – оптимальное значение целевой функции задачи i , $f \leq K$, тогда справедливы следующие рекуррентные соотношения:

$$S_1(K) = \max_{x_1=0, \dots, [K/t_1]} f_1(x_1), 0 \leq K \leq t_{\max};$$

$$S_i(K) = \max_{x_i=0, \dots, [K/t_i]} \{S_{i-1}(K - t_i x_i) + f_i(x_i)\}, i = 2, \dots, n, 0 \leq K \leq t_{\max}.$$

В результате прямого хода значений $S_i(K)$, $K = 0, \dots, t_{\max}$ необходимо восстановить оптимальный вектор x , отображающий ход выполнения процесса для достижения результата. Пускай сначала $x = 0$, $K = 0$. Затем последовательно выполним шаги и на каждом найдем такой индекс i , при котором было бы действительно равенство: $S_i(K) = S(K - t_i) + f_i$, $t_i \leq K$. Пусть $x_i = x_i + 1$; $K = K - t_i$ и повторим шаги до тех пор, пока не станет допустимых индексов i . Итоговый вектор x будет оптимальным, а значит, будет являться решением нашей задачи. Решения ситуаций 1, 3 и 4 будут практически совпадать.

Заключение

В результате разработки методики принятия управленческих решений по информационной безопасности в условиях неопределенности:

- был проведен анализ действующих международных и российских нормативно-правовых документов;
- выявлены основные процессные составляющие управления информационной безопасностью;
- сформулированы основные недостатки стандартного подхода к построению систем защиты информации с точки зрения классического контура управления;
- разработана методика принятия управленческих решений по информационной безопасности;
- предложен новый подход к снижению неопределенности возникновения угроз информационной безопасности.

Совокупность формализованных результатов анализа нормативно-правовой документации, предметной области исследования, разработанной методики и подхода к снижению энтропии, была систематизирована. Она получила конечное выражение в виде программных модулей, реализующих механизм поддержки-принятия управленческих решений по информационной безопасности. В его основу заложен анализ исходных и динамически обновляемых данных, полученных в процессе управления и обеспечения информационной безопасности. Это привело к существенному сокращению времени на принятие решений и увеличению эффективности системы защиты информации.

Публикации

1. Исаев А.С., Хлюпина Е.А. Принятие управленческих решений в условиях неопределенности возникновения угроз информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 145–147.
2. Исаев А.С. Автоматизация процесса формирования модели угроз безопасности персональных данных, при их обработке в информационных системах персональных данных, на основе теории построения экспертных систем // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 133–135.
3. Исаев А.С., Жигулин Г.П. Формирование функциональных групп процессов управления информационной безопасностью согласно положениям метода управления информационной безопасностью на основе теории построения экспертных систем // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 5. С. 206–208.
4. Воронцов П.А., Исаев А.С., Смолярчук А.А. Модель формирования управляющих воздействий на основе мониторинга состояния процесса обеспечения непрерывности работы информационных систем // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствования образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2014. С. 160–166.
5. Исаев А.С. Методика автоматизации процессов управления ресурсами системы защиты информации // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствования образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2013. С. 103–107.

Литература

1. ISO/IEC 27001:2005. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements.
2. ISO/IEC 17021:2006. Conformity assessment. Requirements for bodies providing audit and certification of management systems.
3. ISO 9000:2005. Quality management systems. Fundamentals and vocabulary.



Клещенко Максим Андреевич
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра оптико-электронных приборов и систем
E-mail: mkleshchenok@corp.ifmo.ru

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ СМЕЩЕНИЙ С РЕТРОРЕФЛЕКТОРАМИ

М.А. Клещенко

Научный руководитель – профессор В.В. Коротаев

Цели работы – исследование и создание авторефлексионной системы контроля соосности (АСКС) на базе ретрорефлекторов и матричного поля анализа, а также разработка макетного образца системы, стенда и методик его настройки и испытаний.

Актуальность проблемы возрастает пропорционально техническому прогрессу человечества. Системы такого рода позволяют предотвращать техногенные катастрофы, например, такие как катастрофа Бхопал (1984), Чернобыльская (1986), Саяно-Шушенская ГЭС (2009), разлив трубопровода в Израиле (2014).

Серьезная проблема внедрения систем такого класса связана с необходимостью обеспечения максимальной автономности средств измерения, прежде всего, энергоснабжения. Нахождение эффективных решений, обеспечивающих автономное питание (использование фотоэлементов, преобразование энергии вибрации, воздушных потоков, беспроводной передачи электричества), позволяет масштабировать системы безопасности без повышения затрат на их обслуживание (в виде смены батареек или подзарядки аккумуляторов конечных приборов).

В настоящей работе приводятся результаты теоретического и экспериментального анализа погрешностей оптико-электронной системы контроля соосности как канала в комплексе систем техносферной безопасности, оказывающих влияние на точность измерений. Исследовалось влияние наиболее существенных факторов, таких как погрешность метода определения координат полупроводникового излучающего диода (ПИД), погрешность от неточности системы, влияние температурного градиента воздушного тракта и методы их компенсации.

Был выполнен анализ существующих технических решений для контроля смещений на основании критериев качества системы (диапазон и погрешность измерения, рабочая дистанция, удобство эксплуатации, степень адаптации к существующему технологическому процессу, устойчивость к влиянию внешних условий), что позволило выделить для определенных методов и систем их характерные достоинства и недостатки.

Согласно диаграмме (рис. 1), лазерные системы (группа 6) способны частично обеспечить решение задачи. Однако значительное время их выхода на режим, температурная нестабильность, необходимость обеспечения электропитания в точке контроля и повышенные требования к безопасности работ ограничивают их использование. Особенностью подобных систем является линейное увеличение погрешности измерений с увеличением измеряемого смещения (от ± 5 до ± 10 мм), что обусловлено нелинейностью позиционно чувствительного приемника (ПЧП) (до 1-2 %) и в конечном итоге ограничивает точностные характеристики.

Теоретические исследования принципов и особенностей построения АСКС на базе оптических ретрорефлекторов позволили создать методику настройки и испытаний для макетного образца.

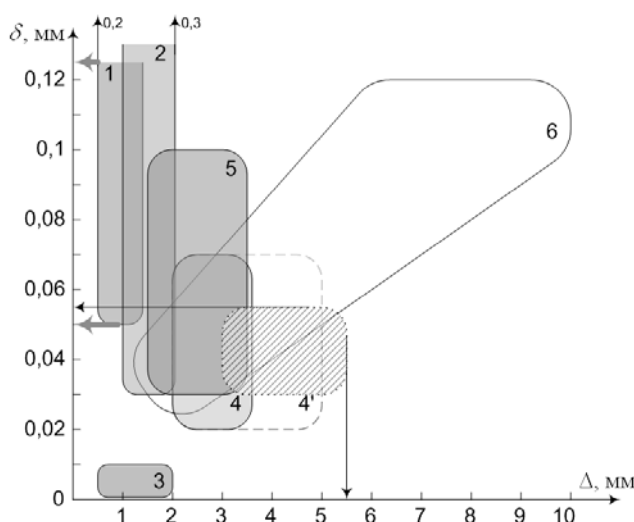


Рис. 1. Сравнение систем контроля смещения: 1 – визирные системы; 2 – механические методы; 3 – интерферометры; 4 – системы с оптической равносигнальной зоной; 5 – телевизионные и 6 – лазерные системы

На основании разработанных ранее [1] структурной и оптической схем АСКС создан универсальный макетный стенд. Он предназначен для экспериментальной проверки точностных характеристик АСКС (рис. 2). Стенд состоит из оптической скамьи (ОСК-2), на которой расположен приемный блок (ПБ), включающий приемник оптического излучения (ПОИ) (пятимегапиксельная USB-камера), оптическую систему (объектив с фокусным расстоянием 200 мм) и ПИД. Отражательный блок (он же контрольный элемент (КЭ)), состоит из двух триппель-призм, которые возвращают падающие лучи вдоль идеальной визирной линии (ВЛ) с ПИД (TSAL5100). ВЛ может менять свое положение из-за локальных дефектов, обусловленных неоднородностью среды (кривизна визирной линии (КВЛ)). Отражательный блок закреплен на двухосевой линейной подвижке Standa (ЛП), управляемой с помощью драйвера линейной подвижки (ДЛП) с ПК. Расстояние от приемного блока до отражательного может варьироваться от 1,5 до 10 м. Управление всеми элементами происходит с помощью ПК на базе Windows с программным обеспечением LabView и постобработкой данных в Python.

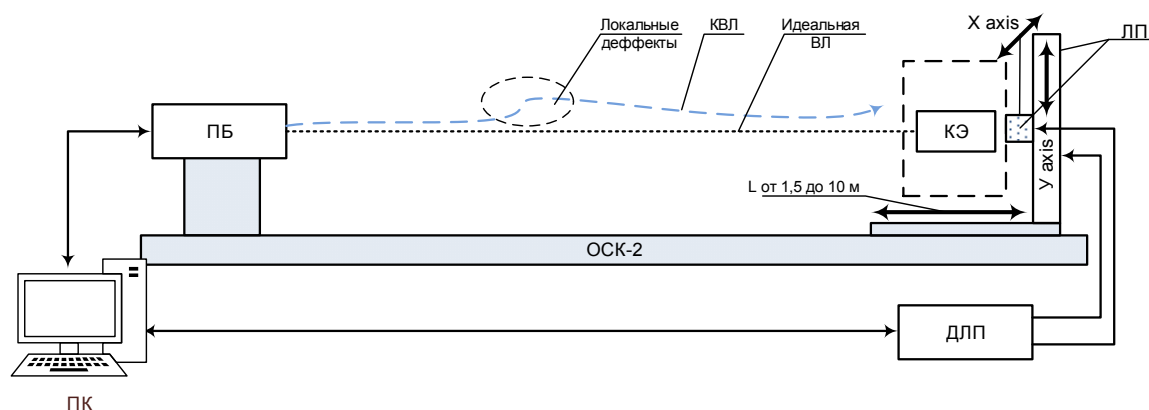


Рис. 2. Структура стенда

Определение расположения энергетических центров марки

Для начала проверим точность определения центра изображения марки (часть виртуальной лабораторной установки отражена на рис. 3). В первом приближении можно принять модель формирования изображений объекта, учитывающую прохождение светового потока через случайно-неоднородную среду. Она включает в себя три фактора, по-разному искажающих конечное изображение. Первый фактор – случайные изменения

наклона волнового фронта в пределах апертуры. Крупномасштабные неоднородности плотности воздуха действуют как большие слабые призмы, слегка отклоняя световые лучи в разные стороны, из-за чего изображение дрожит. Дрожание можно убрать, измеряя смещение текущего кадра относительно некоторого опорного и сдвигая изображение обратно на ту же величину. Второй фактор – мелкомасштабные флуктуации плотности, приводящие к случайному (для каждого кадра) искажению мелких деталей изображения [2]. Третий фактор – дифракционные искажения, связанные с конечностью приемной апертуры, с которыми ничего сделать нельзя. Идеальное изображение точки всегда будет не точкой, а диском с кольцами (так называемая картина Эйри).

С подробным теоретическим обоснованием такого рода погрешностей можно ознакомиться в работах [3–6]. Данная погрешность вызвана в основном неточностью метода определения энергетического центра изображения тест-объектов (в данном случае ПИД). Широко известны методы, позволяющие достигать субпиксельной точности определения координат подобных изображений: методы взвешенного суммирования, аппроксимации функцией Гаусса и другие.

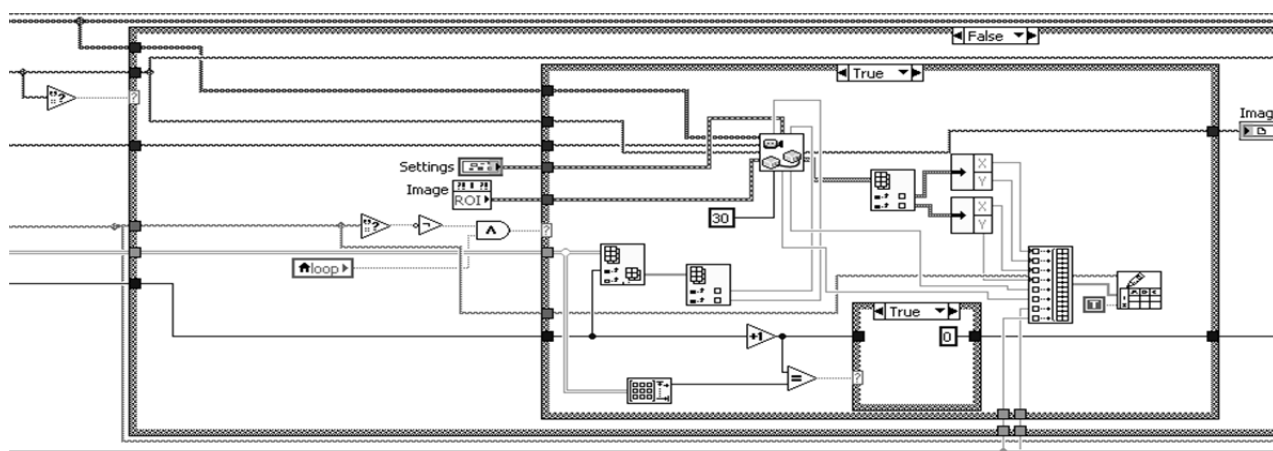


Рис. 3. Вычислительная часть виртуальной лаборатории в программе LabView

Изменяя яркость ПИД в среде LabView, были выполнены семь пар измерений положения энергетического центра тест-объекта. При небольшой засветке камеры и токе в 10 мА, подаваемом к светодиоду, как и предполагалось, были получены наилучшие результаты (рис. 4, 5). Среднеквадратическое отклонение (СКО) регистрируемого положения энергетического центра составляет 0,04 пк при размере единичного элемента матрицы 2,20 мкм. Тенденция отрицательного роста СКО обуславливается нелинейным падением яркости светодиода при уменьшении силы тока. Присутствие расходимости от экспоненциальной зависимости обусловлено наличием дополнительного рода погрешностей, таких как нестабильность градиента воздушного тракта и вибрации [7]. Стоит отметить, что рост СКО по оси Y матричного приемника выше, чем по оси X ; возможно, имел место разворот ПОИ.

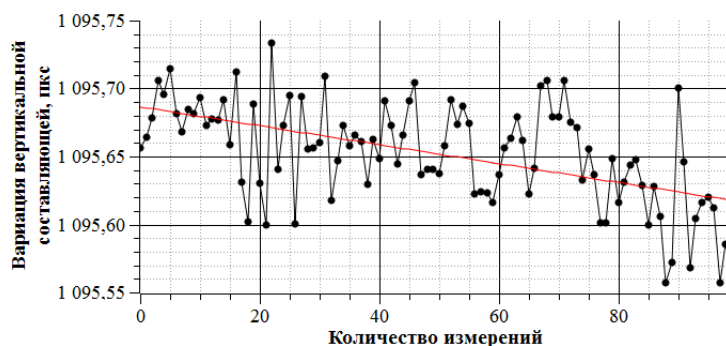


Рис. 4. Вариация показаний координаты по оси Y на матрице в зависимости от количества измерений

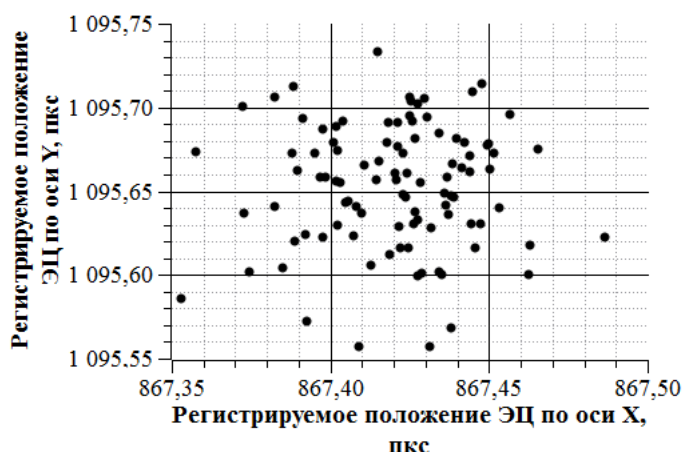


Рис. 5. Регистрируемое положение энергетического центра тест-объекта на матрице

Подытоживая все вышеперечисленное, можно сказать, что лучше использовать матрицы с большим разрешением, то есть с наименьшим размером пикселя вплоть до дифракционного предела. В эксперименте использовался лишь алгоритм взвешенного суммирования квадратов облученности, так как при измерениях в условиях малых шумов он является оптимальным как по точности, так и по производительности (по сравнению с геометрическими алгоритмами, аппроксимацией функцией Гаусса и другими) и может быть рекомендован для оптико-электронных систем, использующих светодиодные визирные цели [8, 9].

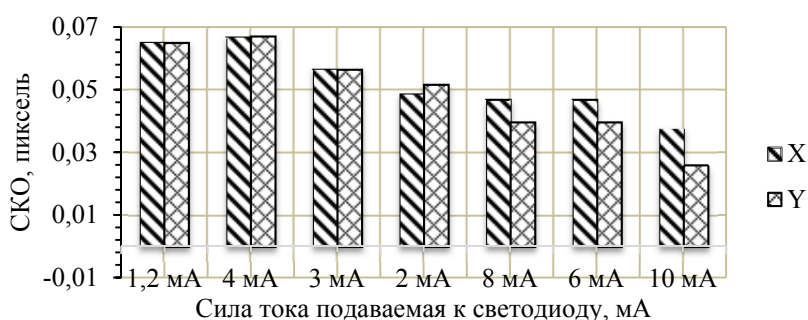


Рис. 6. График зависимости СКО от силы тока, подаваемого к ПИД, при разрешении матрицы 2592x1320 пкс

Экспериментальное исследование статической характеристики

Задача заключительного этапа эксперимента состояла в исследовании систематической составляющей погрешности. Работа проводилась в соответствии с известной методикой [10] определения статической характеристики АСКС, которая позволяет оценить основные точностные характеристики системы, а именно значения систематической составляющей и значение СКО случайной составляющей основной погрешности системы.

В результате обработки полученных данных (рис. 7 и 8) – измерений по координате $X(Y)$ – максимальное значение систематической составляющей основной погрешности составило: $\tilde{\Delta}_{xosH} = 0,052\text{ мм}$ ($\tilde{\Delta}_{yosH} = 0,073\text{ мм}$); максимальное значение вариаций показаний – $\tilde{H}_{xo} = 0,016\text{ мм}$ ($\tilde{H}_{yo} = 0,023\text{ мм}$); максимальное значение СКО случайной составляющей основной погрешности $\sigma[\Delta_{xоH}] = 0,0320\text{ мм}$ ($\sigma[\Delta_{yoH}] = 0,0460\text{ мм}$).

Полученные результаты несколько выше теоретических, так как был неверно выбран масштабный коэффициент, не учитывались такие факторы, как влияние среды, вибрации и другие погрешности.

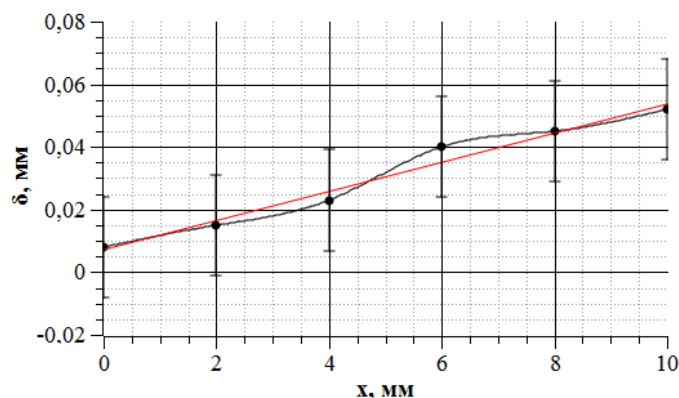


Рис. 7. Горизонтальная составляющая систематической погрешности

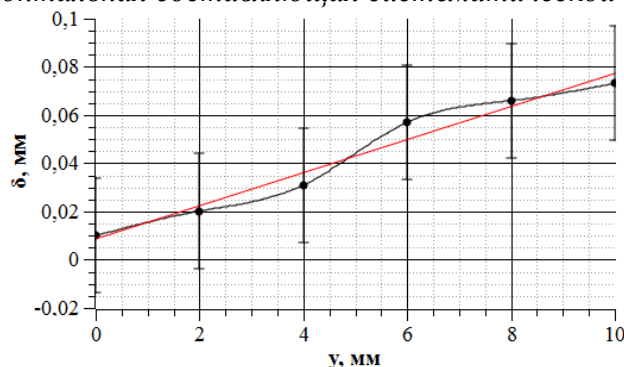


Рис. 8. Вертикальная составляющая систематической погрешности

Заключение

Новизна полученных результатов заключается в способе контроля соосности элементов турбоагрегатов, основанном на использовании авторефлексионной оптико-электронной схемы с управляемым базовым структурированным тест-объектом и отражателем в виде нескольких ретрорефлекторов, а также цифрового анализа поля изображения, обеспечивающего заданную величину погрешности и диапазон измерения трех линейных координат ретрорефлектора.

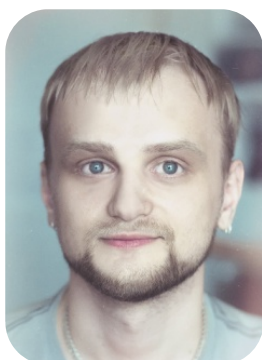
Публикации

1. Konyakhin I.A., Kleshchenok M.A. Monitoring deformations of industrial objects using optical-electronic autoreflexion system // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95251W.
2. Korotaev V.V., Kleshchenok M.A. The choice of marks for systems with noncontact position control // Proceedings of SPIE. 2015. Vol. 9525. P. 95253T.
3. Kleshchenok M.A., Anisimov A.G., Lashmanov O.U., Timofeev A.N., Korotaev V.V. Alignment control optical-electronic system with duplex retroreflectors // Proceedings of SPIE. 2014. Vol. 9131. P. 91311X.
4. Korotaev V.V., Kleshchenok M.A. Optical-electronic system for alignment control // Latin America Optics and Photonics Conference. 2014. P. LTh4A.
5. Анисимов А.Г., Тимофеев А.Н., Клещенко М.А. Исследование схемы внешнебазного оптико-электронного канала для контроля соосности // Сборник трудов IX Международной конференции «Прикладная оптика – 2010». 2010. Т. 1 С 243–246.

Литература

1. Анисимов А.Г., Тимофеев А.Н., Клещенко М.А. Исследование схемы внешнебазного оптико-электронного канала для контроля соосности // Сборник трудов IX Международной конференции «Прикладная оптика – 2010». 2010. Т. 1 С 243–246.
2. Goodman J.W. Statistical optics. 1988. – 572 p.

3. *Averin A.P., Pryanichnikov V.S.* Computer correction of distorted images by atmospheric turbulence // *Quantum Electronics*. 2010. Vol. 40. P. 418–420.
4. *Averin A.P., Morozov Y.B. et al.* Computer correction of turbulent distortions of the image of an extended object on the surface roads // *Quantum Electronics*. 2011. Vol. 41. P. 475–478.
5. *Neumyvakin J.K.* Automation geodetic measurements. 1984. – 126 p.
6. *Andreev A.L., Korotaev V.V., Paszkowski D.M.* Selection of images of small objects on an inhomogeneous background in noisy environments // *Priborostroenie*. 2013. Vol. 56. No 10. P. 88–93.
7. *Dementiev V.E.* Modern geodesic technics and its application: textbook for institutes of higher education. 2nd ed. Moscow, 2008. – 591 p.
8. *Anisimov A.G., Yarishev S.N. et al.* Multispectral method for air tract influence attenuation // *Frontiers in Optics* 2011. Laser Science XXVII. 2011. P. JWA24.
9. *Konyakhin I.A., Kleshchenok M.A.* Monitoring deformations of industrial objects using optical-electronic autoreflection system // *Proceedings of SPIE*. 2015. Vol. 9525. P. 95251W.
10. *Korotaev V.V., Kleshchenok M.A.* The choice of marks for systems with noncontact position control // *Proceedings of SPIE*. 2015. Vol. 9525. P. 95253T.



Коломойцев Владимир Сергеевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра вычислительной техники
E-mail: dek-s-kornis@yandex.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ДОСТУПА К РЕСУРСАМ ВНЕШНЕЙ СЕТИ

В.С. Коломойцев

Научный руководитель – профессор В.А. Богатырев

Цели проекта – разработка и исследование организации защищенного подключения узлов корпоративной сети к ресурсам внешней сети. Результаты исследования планируется использовать при внедрении разработанной схемы доступа в определенных (наиболее подходящих) типах корпоративных сетей, требующих комплексной защиты обрабатываемой в них информации.

В процессе исследования решались следующие задачи:

- анализ существующих методик и средств по защите информации в вычислительных сетях;
- выбор средств для каждого из элементов системы с целью увеличения степени защищенности информации на узлах корпоративной сети;
- разработка схемы безопасного доступа узлов сети во внешнюю сеть;
- разработка математической модели системы;
- оценка возможностей разработанной схемы;
- анализ полученных результатов и выработка рекомендаций по применению разработанной схемы на практике;
- формулировка выводов и предложений по дальнейшим исследованиям;
- подготовка результатов исследования к публикации.

Для решения сформулированных задач и достижения поставленных целей использованы методология и математический аппарат теорий систем, надежности, вероятности, принятия решений и массового обслуживания, а также математической статистики и общих методов системного анализа.

В современных сложных вычислительных системах, имеющих множество как внутренних, так и внешних связей, проблема защищенности обрабатываемой в них информации становится очень важной. Несанкционированный доступ (НСД), отказ узла в обслуживании, потеря информации, а также нарушение режима секретности на узле может привести к значительным экономическим и иным потерям. Поэтому знание и понимание структуры организации защиты вычислительной системы, а также средств и мер, которые возможно применять и использовать для устранения проблем защиты информации, является одним из ключевых задач [1–3].

В работе проанализирована стандартная структура соединения вычислительной системы с узлами внешней сети, имеющая три зоны угроз. Зона У-3 – это зона канала передачи данных, соединяющего корпоративную сеть с внешней. В ней возможны угрозы неправильной работы канала передачи информации.

Зона У-2 отвечает за организацию сетевой архитектуры корпоративной сети. В нее могут входить маршрутизаторы, промежуточные вычислительные узлы и иные вычислительные устройства, предназначенные для правильной работы автоматизированной системы и соединения вычислительных устройств сети между собой. Данная зона подвержена угрозам отказа правильной работы отдельных вычислительных устройств сети (DDoS-атаки) или их подмены, а также угрозам некорректной работы узлов в результате их заражения.

Зона У-1 связана с оконечными узлами и устройствами, входящими в вычислительную систему. В ней могут располагаться хранилища данных или вычислительные сервера, рабочие места пользователей корпоративной сети и иные устройства обработки информации. Угрозы в этом случае связаны с получением злоумышленником НСД к оконечным узлам и устройствам, заражением их вирусами и иным вредоносным программным обеспечением (ПО) или внедрением аппаратных закладочных устройств, а также отказ вычислительного узла в обслуживании, уничтожение или подмена хранящихся на нем данных.

Для ликвидации этих угроз чаще всего применяют:

- шифрование трафика;
- резервирование ключевых узлов и устройств системы;
- использование межсетевых экранов (МЭ);
- создание копий критически важной и ценной информации;
- использование защищенного хранилища информации на узле;
- использование средств обнаружения вторжения;
- применение программно-аппаратных средств защиты от НСД;
- использование антивирусного программного обеспечения на узле;
- соблюдение ключевых организационно-технических мер безопасности при взаимодействии с системой;
- проведение проверок и стресс-тестов программных и аппаратных средств, применяемых в системе, а также своевременное обновление ПО и аппаратных средств.

При организации сетевой безопасности в каждой конкретной организации необходимо учитывать, какие из параметров работы вычислительной сети для нее являются наиболее важными, а какими можно пренебречь. Для выявления наиболее подходящих средств обеспечения сетевой безопасности были проанализированы существующие виды МЭ. Оказалось, что МЭ с фильтрацией пакетов (МЭ-Ф) практически никак не влияют на производительность вычислительной сети, в которую они были внедрены, и имеют простую настройку и низкую стоимость. Однако они не способны обеспечить высокий уровень безопасности сети и часто не имеют функций контроля безопасности (аудита) и журнала регистрации событий.

Другой вид МЭ – МЭ с адаптивной проверкой пакетов (МЭ-А) – имеет возможность «глубокого» анализа проходящих через них пакетов в зависимости от качества своей настройки. Однако такой тип МЭ существенно снижает производительность сети (при увеличении «глубины» анализа пакетов) и имеет высокую стоимость.

Третьим видом являются МЭ прикладного уровня (МЭ-П). Они, как и МЭ-А, способны «глубоко» анализировать проходящие через них пакеты и устанавливаются на любое вычислительное устройство сети, тем самым обеспечивая безопасность строго определенного узла или участка сети. С другой стороны они снижают производительность сети (зависящую от возможностей вычислительного узла) и имеют ряд ограничений по скорости работы и анализу пакетов.

В ходе исследования было показано, что для обеспечения высокого уровня безопасности корпоративной сети требуется использовать комплексный подход к организации системы защиты информации, включающий в себя различные виды МЭ, средства защиты от НСД, экранирование трафика, проведение периодического аудита системы безопасности и т. д.

В результате предложена схема доступа «Прямое соединение» (рис. 1), способная обеспечить комплексную безопасность корпоративной сети. Она базируется на типовой сетевой схеме доступа узла к внешней сети: узел «Внутренней (локальной) сети» – маршрутизатор – устройства «Внешней сети (интернет)». Такой подход позволяет минимизировать как степень возможной реорганизации уже имеющейся корпоративной сети, так и дополнительные финансовые затраты на ее создание [4].

В этой схеме на входе во внутреннюю сеть (сразу после маршрутизатора) устанавливается МЭ-Ф (МЭ-1). Далее, после следующего маршрутизатора – МЭ-А (МЭ-2). С учетом того, что на вход МЭ-2 будет поступать меньше данных, чем на вход МЭ-1, нагрузка на него будет меньше и, следовательно, производительность самой сети выше.

После прохождения МЭ-2 потенциально «чистые» данные поступают на адресуемый оконечный узел, на котором предусмотрены установка АВС со встроенным в него МЭ (МЭ-П), система защиты от НСД и организация защищенного хранилища. При такой схеме доступа канал передачи данных должен быть защищенным, что способствует снижению, а в идеальном случае предотвращению возможности влияния злоумышленника на данные, курсирующие в нем.

В целях повышения общей защиты сети от DDoS-атак, потери и уничтожения данных и других аналогичных угроз критически важные узлы (как в плане сетевой архитектуры, так и в плане хранящихся на них данных) резервированы, а для данных, хранящихся на них, создаются резервные копии.

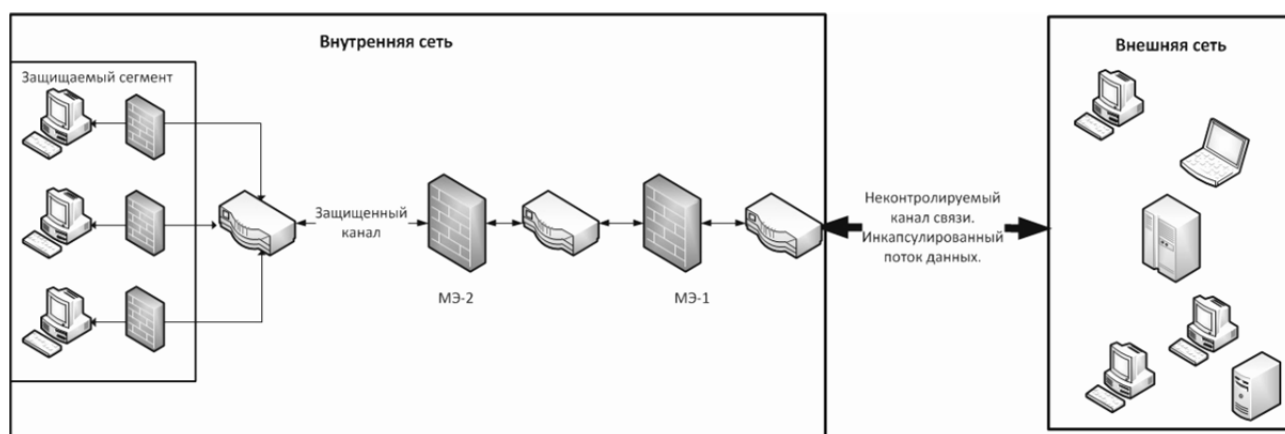


Рис. 1. Схема «Прямое соединение»

Схема «Прямое соединение» имеет в своей сетевой архитектуре три основных составляющие: МЭ-Ф, МЭ-А и маршрутизаторы, соединяющие все элементы схемы между

собой. Возможны четыре варианта ее построения: с помощью трех (DC-3), двух (DC-2-1 и DC-2-2) или одной групп (DC-1) маршрутизаторов на всю систему.

Выполнена оценка эффективности вариантов построения схемы доступа «Прямое соединение», которую можно получить путем сравнения соответствующих им показателей среднего времени пребывания запроса в системе (СВПЗС) и надежности, при имеющихся значениях кратности каждого из элементов системы и заданной ее стоимости [5, 6].

В ходе исследования были последовательно рассмотрены два возможных случая работы предлагаемой схемы доступа:

- каждое из устройств, входящих в сетевую архитектуру схемы, устраняет только свою часть угроз (ошибок) во входящем потоке;
- каждое из устройств, входящих в сетевую архитектуру схемы, может устранять часть угроз, которые способно определять и устранять другое устройство.

Первый случай. Для четырех вариантов схемы «Прямое соединение» СВПЗС определяются как:

$$T_{DC-3}(\lambda) = \frac{v_0}{1 - \frac{\lambda \cdot v_0}{n_{01}}} + \frac{v_1}{1 - \lambda \cdot (1 - A_0 \cdot p_0) \cdot \frac{v_1}{n_1}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_0}{n_{02}}} + \frac{v_2}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_2}{n_2}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t2} \cdot \frac{v_0}{n_{03}}},$$

$$T_{DC-2-1}(\lambda) = \frac{v_0}{1 - \frac{\lambda \cdot v_0}{n_{01}}} + \frac{v_1}{1 - \lambda \cdot (1 - A_0 \cdot p_0) \cdot \frac{v_1}{n_1}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_0}{n_{02}}} + \frac{v_2}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_2}{n_2}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t2} \cdot \frac{v_0}{n_{02}}},$$

$$T_{DC-2-2}(\lambda) = \frac{v_0}{1 - \frac{\lambda \cdot v_0}{n_{01}}} + \frac{v_1}{1 - \lambda \cdot (1 - A_0 \cdot p_0) \cdot \frac{v_1}{n_1}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_0}{n_{01}}} + \frac{v_2}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_2}{n_2}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t2} \cdot \frac{v_0}{n_{02}}},$$

$$T_{DC-1}(\lambda) = \frac{v_0}{1 - \frac{\lambda \cdot v_0}{n_{01}}} + \frac{v_1}{1 - \lambda \cdot (1 - A_0 \cdot p_0) \cdot \frac{v_1}{n_1}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_0}{n_{01}}} + \frac{v_2}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t1} \cdot \frac{v_2}{n_2}} + \frac{v_0}{1 - \lambda \cdot \alpha_{t2} \cdot \frac{v_0}{n_{01}}},$$

причем $\alpha_{t1} = (1 - A_0 \cdot p_0) \cdot (1 - A_1 \cdot p_1)$, а $\alpha_{t2} = \alpha_{t1} \cdot (1 - A_2 \cdot p_2)$, где $(1 - A_i \cdot p_i)$ – доля отфильтрованного входного потока ранее расположенным узлом.

При этом v_0, v_1, v_2 – среднее время обслуживания запроса в маршрутизаторах, МЭ-Ф и МЭ-А; λ – интенсивность потока запросов; A_0, A_1, A_2 – соответственно доли ошибок (угроз) во входном потоке, обнаруживаемых маршрутизатором с вероятностью p_0 , МЭ-Ф – с вероятностью p_1 и МЭ-А – с вероятностью p_2 ; n_{0i} – число маршрутизаторов в i -ой группе; n_1 – число МЭ-Ф; n_2 – число МЭ-А.

Второй случай. Так как «перекрытие работ» устройств, обеспечивающих безопасность системы, является более вероятным событием, то требуется построить более точную модель для расчета СВПЗС. Для четырех вариантов схемы «Прямое соединение» СВПЗС определяются как:

$$T_{DC-1} = \frac{v_0}{1 - R/n_{01}} + \frac{v_1}{1 - d_1 \cdot F_1} + \frac{v_0}{1 - d_2 \cdot R/n_{01}} + \frac{v_2}{1 - d_3 \cdot F_2} + \frac{v_0}{1 - d_4 \cdot R/n_{01}},$$

$$T_{DC-2-1} = \frac{v_0}{1 - R/n_{01}} + \frac{v_1}{1 - d_1 \cdot F_1} + \frac{v_0}{1 - d_2 \cdot R/n_{02}} + \frac{v_2}{1 - d_3 \cdot F_2} + \frac{v_0}{1 - d_4 \cdot R/n_{02}},$$

$$T_{DC-2-2} = \frac{v_0}{1 - R/n_{01}} + \frac{v_1}{1 - d_1 \cdot F_1} + \frac{v_0}{1 - d_2 \cdot R/n_{01}} + \frac{v_2}{1 - d_3 \cdot F_2} + \frac{v_0}{1 - d_4 \cdot R/n_{02}},$$

$$T_{DC-3} = \frac{v_0}{1 - R/n_{01}} + \frac{v_1}{1 - d_1 \cdot F_1} + \frac{v_0}{1 - d_2 \cdot R/n_{02}} + \frac{v_2}{1 - d_3 \cdot F_2} + \frac{v_0}{1 - d_4 \cdot R/n_{03}},$$

$$C_{STD} = c_0 \cdot n_{01} + c_1 \cdot n_1, \quad C_{DC-1, DC-2-1, DC-2-2, DC-3} = c_0 \cdot \sum_i n_{0i} + c_1 \cdot n_1 + c_2 \cdot n_2,$$

где ν_0, ν_1, ν_2 – среднее время обслуживания в маршрутизаторах, МЭ-Ф, МЭ-А; d_1, d_2, d_3, d_4 – доля входного потока, оставшаяся после прохождения через каждое из устройств (маршрутизатор, МЭ-Ф, МЭ-А); n_{0i}, n_1, n_2 – число маршрутизаторов в каждой из групп, МЭ-Ф, МЭ-А; c_0, c_1, c_2 – стоимости маршрутизаторов, МЭ-Ф и МЭ-А соответственно. Причем $R = \lambda \cdot \nu_0$; $F_1 = \lambda \cdot \nu_1 / n_1$; $F_2 = \lambda \cdot \nu_2 / n_2$, а λ – интенсивность входного потока запросов;

$$d_1 = (1 - A_0 \cdot p_0); \quad d_2 = 1 - (p_1 \cdot (A_1 - l_{10}) + p_0 \cdot (A_0 - l_{10}) + l_{10} \cdot (1 - \bar{p}_0 \cdot \bar{p}_1));$$

$$d_3 = 1 - (p_1 \cdot (A_1 - l_{10}) + (A_0 - l_{10}) \cdot (1 - \bar{p}_0^2) + l_{10} \cdot (1 - \bar{p}_0^2 \cdot \bar{p}_1));$$

$$d_4 = 1 - (p_1 \cdot M_{e1} + (1 - \bar{p}_0^2) \cdot R_{emp} + p_2 \cdot M_{e2} + (l_{10} - l_{00}) \cdot (1 - \bar{p}_0^2 \cdot \bar{p}_1) + (l_{20} - l_{00}) \cdot (1 - \bar{p}_0^2 \cdot \bar{p}_2) + (l_{21} - l_{00}) \cdot (1 - \bar{p}_1 \cdot \bar{p}_2) + l_{00} \cdot (1 - \bar{p}_0^2 \cdot \bar{p}_1 \cdot \bar{p}_2)),$$

где $R_{emp} = (A_0 - l_{20} - l_{10} + l_{00})$; $M_{e1} = (A_1 - l_{21} - l_{10} + l_{00})$; $M_{e2} = A_2 - l_{21} - l_{20} + l_{00}$, а A_0, A_1, A_2 – доли ошибок (угроз) во входном потоке, обнаруживаемых маршрутизатором с вероятностью p_0 , МЭ-Ф – с вероятностью p_1 и МЭ-А – с вероятностью p_2 ; l_{00} – величина перекрытия обнаружения ошибок маршрутизатора, МЭ-Ф и МЭ-А; l_{10} – маршрутизатора и МЭ-Ф; l_{20} – маршрутизатора и МЭ-А; l_{21} – МЭ-Ф и МЭ-А.

При приведении к нулю соответствующих показателей (перекрытий работы устройств) данная модель приводится к модели для расчета СВПЗС для первого случая. Затраты на реализацию рассматриваемых вариантов построения системы защиты в обоих случаях равны:

$$C_{DC-1, DC-2-1, DC-2-2, DC-3} = c_0 \cdot \sum_i n_{0i} + c_1 \cdot n_1 + c_2 \cdot n_2,$$

где c_0 – стоимости маршрутизаторов, c_1 – МЭ-Ф, c_2 – МЭ-А.

Надежность для каждого варианта построения схемы, а также в обоих случаях, равна: $P_{DC-1} = P_{01} \cdot P_{m1} \cdot P_{m2}$, $P_{DC-2-1, DC-2-2} = P_{01} \cdot P_{m1} \cdot P_{02} \cdot P_{m2}$, $P_{DC-3} = P_{01} \cdot P_{m1} \cdot P_{02} \cdot P_{m2} \cdot P_{03}$, причем $P_{m1} = (1 - (1 - r_1)^{n_1})$, $P_{m2} = (1 - (1 - r_2)^{n_2})$, а при условии, что маршрутизаторы в каждой из групп являются одинаковыми $P_{0i} = (1 - (1 - r_0)^{n_{0i}})$, где $r_j = e^{-\lambda_j t}$, а $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ – интенсивность отказов маршрутизаторов, МЭ-Ф и МЭ-А, n_{0i} – число маршрутизаторов в i -ой группе; n_1 – число МЭ-Ф; n_2 – число МЭ-А.

Для оценки возможностей схемы были рассчитаны СВПЗС каждого из вариантов ее построения, а также надежность полученной системы, по найденному распределению числа узлов каждого типа, обеспечивающих минимум СВПЗС при известных значениях плотности входного потока [7–9]. Результаты расчетов также были сравнены с показателями типовой схемы доступа, дополненной МЭ-А. СВПЗС, надежность и стоимость реализации типовой схемы равны:

$$T_{STD} = \frac{\nu_0}{1 - R/n_{01}} + \frac{\nu_1}{1 - d_1 \cdot F_1} + \frac{\nu_0}{1 - d_2 \cdot R/n_{01}}; \quad C_{STD} = c_0 \cdot n_{01} + c_1 \cdot n_1; \quad P_{STD} = P_{01} \cdot P_{m1}.$$

Выявлено, что лучшими показателями по СВПЗС и надежности в обоих случаях обладает вариант типовой схемы доступа с дополнительным МЭ-А. С другой стороны, вариант «Прямое соединение» (обеспечивающий комплексную безопасность и снижающий нагрузку на конечные узлы сети) DC-1 обладает сравнительно тем же уровнем надежности, что и типовая схема, и лучшим среди остальных вариантов показателем СВПЗС. Если ставится задача использовать две группы маршрутизаторов, то вариант DC-2-1 будет более приемлем, так как он способен обеспечить более высокий уровень надежности системы, чем вариант схемы DC-2-2, при примерно равных показателях СВПЗС.

При анализе предложенной схемы доступа было показано, что ее внедрение не потребует кардинального изменения архитектуры уже существующей корпоративной сети и она обеспечивает высокий уровень надежности и производительности. При этом

сохраняется высокий риск DDoS-атаки на оконечные узлы сети (как и в случае с типовой схемой) из-за того, что защита от атак отказа в обслуживании обеспечивается только аппаратно-программными средствами. В рамках данного исследования было положено начало разработке другой схемы безопасного доступа к ресурсам внешней сети «Связующий узел». Предлагаемая схема доступа призвана увеличить уровень защищенности оконечных узлов от DDoS-атак, уменьшить возможность получения злоумышленником контроля над оконечными узлами корпоративной сети, а также еще больше снизить нагрузку на них.

Она представляет собой схему «Прямое соединение», расширенную элементом «связующий узел». В его состав входят две составляющие – МЭ-А и дополнительный вычислительный узел. Наличие «связующего узла» позволяет существенно повысить защиту от угроз в сети и снизить нагрузку на ее оконечные узлы. Вычислительный узел предназначен для сохранения и предобработки поступающей из внешней сети информации. Взаимодействие между разными сегментами внутренней сети происходит через подключенные к ним «связующие узлы» разных видов.

Публикации

1. Коломойцев В.С., Богатырев В.А. Оценка эффективности и обоснование выбора структурной организации системы многоуровневого защищенного доступа к ресурсам внешней сети // Информатика и космос. 2015. № 3. С. 71–79.
2. Коломойцев В.С. Сравнительный анализ подходов к организации безопасного подключения узлов корпоративной сети к сети общего доступа // Кибернетика и программирование. 2015. № 2. С. 46–58.
3. Коломойцев В.С. Безопасность подключения к общедоступной сети // Теоретические и практические аспекты технических наук: сборник статей Международной научно-практической конференции. Уфа, 2014. С. 40–41.
4. Богатырев В.А., Коломойцев В.С. Безопасность объединенных автоматизированных систем // Региональная информатика (РИ-2014). XIV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2014)»: материалы конференции. СПб., 2014. С. 402–405.
5. Коломойцев В.С. Варианты конфигураций схемы доступа «Прямое соединение» // Наука: прошлое, настоящее, будущее: сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2-х ч. Ч. 1. Уфа, 2015. С. 44–46.
6. Коломойцев В.С. Схема безопасного доступа во внешнюю сеть // Наука и образование в жизни современного общества: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. В 12 ч. Ч. 9. Тамбов, 2015. С. 81–82.
7. Коломойцев В.С. Структура контура защиты автоматизированных систем // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Т. 2. СПб., 2015. С. 45–47.
8. Коломойцев В.С. Выбор варианта построения многоуровневого защищенного доступа к внешней сети // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 1. С. 115–121.
9. Kolomoitsev V.S. Selecting multilevel structure secure access to resources external network // Proceedings of the 18th International Conference on Distributed Computer and Communication Networks: Control, Computation, Communications (DCCN-2015). Moscow, 2015. P. 525–532.
10. Коломойцев В.С. Организация безопасного доступа во внешнюю сеть // Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых». Севастополь, 2015. Т. 1. С. 277–279.
11. Коломойцев В.С. Анализ возможностей типов межсетевых экранов // Информационная безопасность регионов России (ИБРР-2015): IX Санкт-Петербургская межрегиональная конференция: материалы конференции. СПб., 2015. С. 218–219.

Литература

1. Гатчин Ю.А. и др. Математические модели оценки инфраструктуры системы защиты информации на предприятии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Т. 12. № 2. С. 92–95.
2. Алиев Т.И. Проектирование систем с приоритетами // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 4. С. 30–35.
3. Богатырев В.А. и др. Оптимизация интервалов проверки информационной безопасности систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2014. Т. 14. № 5. С. 119–125.
4. Kenneth I., Stephanie F. A history and survey of network firewalls. New Mexico, 2002. – 42 p.
5. Богатырев В.А. и др. Оптимизация древовидной сети с резервированием коммутационных узлов и связей // Телекоммуникации. 2013. № 2. С. 42–48.
6. Богатырев В.А., Богатырев С.В. Критерии оптимальности многоуровневых отказоустойчивых компьютерных систем // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2009. № 5 (63). С. 92–97.
7. Bogatyrev V.A. et al. Optimization and the process of task distribution between computer system clusters // Automatic Control and Computer Sciences. 2012. Vol. 46. No 3. P. 103–111.
8. Богатырев В.А. и др. Оценка надежности выполнения кластерами запросов реального времени // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 4. С. 46–48.
9. Богатырев А.В. и др. Перераспределение запросов между вычислительными кластерами при их деградации // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 9. С. 54–58.



Колчин Максим Александрович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра информатики и прикладной математики
E-mail: kolchinmax@niuitmo.ru

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ СЕНСОРНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

М.А. Колчин

Научный руководитель – доцент Д.И. Муромцев

Цель работы – разработка методов и алгоритмов распределенной обработки гетерогенных данных сенсорной сети на основе онтологического подхода для решения проблемы обеспечения ее интероперабельности.

В настоящее время повышается доступность электронных устройств с ограниченными вычислительными ресурсами, в которые встроена поддержка передачи данных по беспроводным или проводным сетям, а также появляются новые протоколы идентификации

и передачи данных, такие как IPv6, RFID, 6LoWPAN, ZigBee и т. д., что привело к формированию и развитию концепции «интернета вещей» [1]. Такие электронные устройства применяются для создания и внедрения огромного количества сенсорных сетей во все виды производства и жизнедеятельности человека [2].

Например, растет интерес к использованию технологий интернета вещей в различных областях, таких как сельское хозяйство, пищевая и перерабатывающая промышленность, экологический мониторинг, системы безопасности и многих других. Их использование позволяет городским и муниципальным органам получать информацию о состоянии окружающей среды (воздуха и воды) и различных элементов городской инфраструктуры, тем самым прогнозировать и принимать обоснованные решения для развития города.

В настоящее время существует большое количество разработок [3, 4] в области обеспечения взаимодействия с электронными устройствами с ограниченными вычислительными ресурсами на коммуникационном уровне. Однако на прикладном уровне, где различные устройства от разных производителей формируют небольшие и обособленные кластеры со своим набором форматов, моделей и стандартов, по-прежнему существуют нерешенные задачи. Одной из них является отсутствие механизмов обеспечения семантической интероперабельности на уровне моделей и понятий, что затрудняет разработку информационных систем, использующих разные типы и модели устройств от различных производителей.

В то же время методы обеспечения интероперабельности на основе онтологического подхода уже доказали, что они могут стать инструментом для решения проблем синтаксической и семантической интероперабельности в гетерогенных средах. Они используют модель данных RDF (модель обмена данными, в рамках которой данные описываются тройками <субъект, предикат, объект>, а элементами являются ресурсы, идентифицируемые с помощью URI) и верхнеуровневые OWL-онтологии (семейство языков представления знаний для создания онтологий) [5–8]. Значительный вклад в разработку таких методов внесли российские и зарубежные ученые А.Ф. Тузовский, О. Corcho, K. Taylor, A. Zaslavsky, N. Noy, M. Krotzsch и другие.

В данной работе предлагается комбинированный подход для обработки гетерогенных данных сенсорных сетей, который реализован в программном обеспечении SemIoT Platform и заключается:

- в использовании модульной архитектуры программного обеспечения, где сбор данных с устройств различного типа и моделей обеспечивается через сторонние модули, называемые драйверами устройств;
- в применении верхнеуровневых онтологий для нормализации моделей данных устройств сенсорной сети.

Аналог программного обеспечения SemIoT Platform описан в работе [7]. Он позволяет декларативным способом (с использованием XML-файлов) конфигурировать сбор данных с различных устройств. Но данная система поддерживает только ограниченный набор типов устройств, так как для реализации работы алгоритма с новым типом устройства необходимо перепрограммирование всей системы. В отличие от существующих работ метод агрегации данных сенсорной сети, предлагаемый в данной статье, позволяет реализовывать поддержку новых типов устройств в виде самостоятельного модуля, который подключается к системе без необходимости ее перепрограммирования или даже остановки. Метод заключается в использовании модульной архитектуры программной системы, основанной на стандарте OSGi1.

Если с помощью описанного выше подхода можно решить проблему агрегации данных гетерогенной сенсорной сети на коммуникационном уровне, то для обеспечения семантической интероперабельности на уровне модели и структуры данных предлагается использовать верхнеуровневые OWL-онтологии [9]. Они предназначены для декларативного описания концептов предметной области на основе логики первого порядка и дискрепционной логики.

Для экспериментального исследования программного обеспечения SemIoT Platform использовались данные электрических счетчиков, полученные методом симуляции показаний потребления электроэнергии в жилом доме. Для представления концептов сети электрических счетчиков была разработана онтология ElectricMeters, которая расширяет существующую онтологию Semantic Sensor Networks.

Так как действующие форматы сериализации RDF-данных требуют значительных вычислительных ресурсов для их обработки, то в данной работе предложены алгоритмы кодирования и декодирования данных на основе бинарного формата, расширяющего формат EXI (Efficient XML Interchange). Это позволило значительно снизить объем памяти, необходимый для записи RDF-данных.

Нормализация гетерогенных данных сенсорной сети на основе верхнеуровневых онтологий позволила реализовать метод доступа к ним внешних информационных систем посредством протоколов CoAP и HTTP. Этот метод позволяет «скрыть» разнородность устройств сети на уровне модели данных, тем самым позволив работать с этими данными независимо от протокола и модели этих устройств сети.

Заключение

В ходе выполнения данной работы была достигнута цель, заключающаяся в разработке методов и алгоритмов распределенной обработки гетерогенных данных сенсорной сети на основе онтологического подхода для решения проблемы обеспечения интероперабельности сенсорной сети.

Разработана архитектура программного обеспечения для сбора, нормализации, хранения и публикации гетерогенных данных сенсорной сети. Кроме того, был разработан метод и алгоритмы кодирования и декодирования RDF-данных для их передачи с устройств с ограниченными вычислительными ресурсами. Для нормализации гетерогенных данных сенсорной сети были разработаны и расширены верхнеуровневые онтологии для описания концептов сенсорной сети. Разработан алгоритм обеспечения доступа внешних информационных систем к данным сенсорной сети.

Результаты, полученные в рамках данного проекта, позволяют:

- сократить время разработки программного обеспечения для сбора, нормализации, хранения и публикации данных сенсорной сети;
- повысить эффективность доступа к данным сенсорной сети за счет скрытия ее гетерогенной природы и предоставления возможности идентификации устройств на основе их метаданных.

Публикации

1. Kolchin M., Klimov N., Andreev A., Shilin I., Garayzuev D., Mouromtsev D., Zakoldaev D. Ontologies for web of things: a pragmatic review // Knowledge Engineering and Semantic Web: 6th International Conference (KESW 2015): proceedings. Saint-Petersburg, 2015. P. 102–116.
2. Колчин М.А., Фенцель А., Муромцев Д.И., Попов С.О., Павлов Д.С., Климов Н.В., Андреев А.А., Гарайзюев Д.С. Мониторинг потребления энергии в умных сетях электроснабжения (Smart grid) на основе семантического анализа потоковых данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 2. С. 285–292.

Литература

1. Ashton K. That «Internet of things» thing // RFiD Journal. 2009. No 50.
2. Atzori L. et al. The Internet of things: a survey // Computer Networks. 2010. Vol. 54. No 15. P. 2787–2805.
3. Liu D. L., Zhu X. B. et al. The design of modern agriculture control system based on Internet of things // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 517. P. 1519–1522.
4. Bainbridge S. et al. GBROOS – an ocean observing system for the Great Barrier Reef //

Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium. 2010. P. 529–533.

5. Колчин М.А., Фенцель А. и др. Мониторинг потребления энергии в умных сетях электроснабжения (Smart grid) на основе семантического анализа потоковых данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. Т. 15. № 2. С. 285–292.

6. Oliveira L., Rodrigues J. Wireless sensor networks: a survey on environmental monitoring // Journal of Communications. 2011. Vol. 6. No 2. P. 143–151.

7. Aberer K. et al. A middleware for fast and flexible sensor network deployment // Proceedings of the 32th International Conference on Very Large Data Bases. 2006. P. 1199–1202.

8. Lanthaler M., Guetl C. Hydra: a vocabulary for hypermedia-driven Web APIs // Proceedings of the WWW2013 Workshop on Linked Data on the Web. 2013.



Коннов Кирилл Александрович
Факультет инфокоммуникационных технологий
Кафедра световодной фотоники
E-mail: kirill-konnov@rambler.ru

ЗАПИСЬ РЕШЕТОК БРЭГГА В ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩЕЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ НАПРЯГАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ, ПОДВЕРГНУТОЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКЕ

К.А. Коннов

Научный руководитель – доцент С.В. Варжель

Введение

В настоящее время волоконные брэгговские решетки (ВБР) получили широкое применение в телекоммуникационном оборудовании, волоконных лазерах, измерительных системах на основе оптических волокон (ОВ) и т. д.

Волоконно-оптические датчики различных физических параметров на основе решеток Брегга имеют ряд преимуществ перед традиционными устройствами аналогичного назначения. Измерительные системы на основе ВБР обеспечивают более высокую точность измерения контролируемых величин, надежность и стабильность работы, имеют малые массогабаритные параметры, низкое энергопотребление и относительно небольшую стоимость [1]. При записи волоконных решеток Брегга в стандартные типы ОВ возникают трудности, связанные со слабой фоточувствительностью материала, из которого они изготовлены. В литературе предложен ряд методов увеличения фоточувствительности германо-силикатных оптических волокон. Большой интерес представляет метод низкотемпературной водородной обработки волоконных световодов (ВС) [2]. Насыщение уже изготовленных ОВ водородом при низких температурах и высоком давлении существенно увеличивает их фоторефрактивность, что позволяет осуществлять запись решеток Брегга с достаточной модуляцией показателя преломления (ПП) [3].

Целью данной работы являлось исследование записи ВБР в двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой, подвергнутое водородной обработке. В ходе исследования осуществлен обзор современной литературы, проанализированы результаты аналогичных исследований. Реализована установка для записи волоконных решеток Брегга

двадцатинаносекундным импульсом КгF-экимерного лазера методом фазовой маски. Исследовано влияние различных факторов на эффективность записи волоконных решеток Брегга.

Основная часть

Решетки Брэгга, исследуемые в настоящей работе, были записаны эксимерным лазером Coherent COMPeX Pro 102 F с энергией в импульсе ~ 250 мДж при использовании газовой смеси КгF методом фазовой маски (ФМ) [4]. Схема записи ВБР представлена на рис. 1.

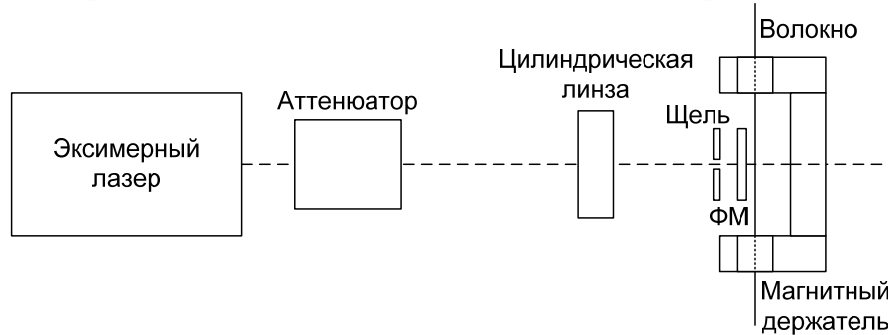


Рис. 1. Схема записи волоконных брэгговских решеток методом фазовой маски

Лазер генерирует импульсы длительностью 20 нс на длине волны 248 нм с частотой от 1 до 20 Гц. Аттенюатор со встроенным затвором позволяет выделить одиночный импульс из их последовательности, когда лазер уже выведен в стационарный режим работы. Цилиндрическая линза фокусирует лазерный пучок по одной из осей для достижения требуемой плотности энергии. Щель дает возможность менять размер облучаемой области волокна, тем самым, позволяя варьировать длину ВБР, а следовательно, и ее спектральные характеристики.

Лазерный импульс, проходя через ФМ с периодом $\Lambda_{ФМ} = 1068,4$ нм и подавлением нулевого порядка дифракции ($< 3\%$) на длине волны 248 нм, дифрагирует на +1 и -1 порядки. Интерференционная картина +1 и -1 порядков осуществляет запись решетки ПП в сердцевине ОВ, закрепленного в магнитном держателе вплотную к ФМ.

В ходе выполнения настоящей работы для записи решеток Брэгга применялось двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой, полученное по технологии [5]. Его конструкция представлена на рис. 2.

Использование ВБР совместно с двулучепреломляющими ОВ позволяет создавать наиболее точные фазовые интерферометрические датчики [6] для измерения различных физических величин.

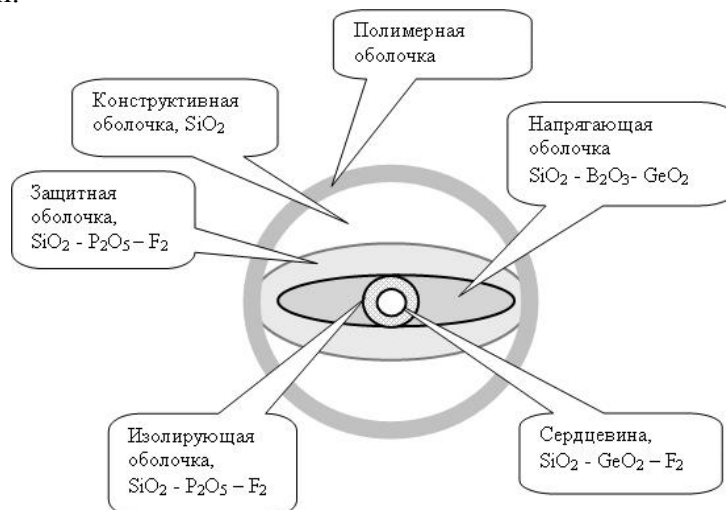


Рис. 2. Конструкция двулучепреломляющего ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой

Для реализации водородной обработки ОВ производилась его намотка на пластиковую трубку диаметром 20 мм, которая помещалась в газовый баллон, заполненный водородом марки «А» (молярная доля водорода 99,99 %). Давление в баллоне составляло 10,4 МПа, температура 18 °С. Исследуемый образец ОВ выдерживался в этих условиях в течение 32 суток.

Запись решеток ПП производилась в образцы двулучепреломляющего ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой ESC-4 двух типов: не подвергнутых водородной обработке и выдержанных в атмосфере водорода, а также в двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой ESC-12 с повышенной концентрацией диоксида германия. Характеристики ОВ, используемых в работе, приведены в Таблице.

Таблица

Характеристики оптических волокон

	Концентрация GeO_2	Диаметр волокна	Диаметр сердцевины	Оптические потери	h – параметр
ESC-4 мол.% GeO_2	4 мол.%	125 мкм	9 мкм	~0,5 дБ/км	$5 \cdot 10^{-6}$ 1/м
ESC-12 мол.% GeO_2	12 мол.%	125 мкм	5 мкм	~4 дБ/км	$5 \cdot 10^{-5}$ 1/м

Известно, что водород, растворенный в стекле, изменяет его ПП, что приводит к некоторому смещению резонансной длины волны решетки. Так, в работе [7] показано, что спектр ВБР, записанной в ОВ, подвергнутое водородной обработке, смещен в длинноволновую область на ~1,2 нм. Величина этого смещения зависит от исходной концентрации водорода и может достигать нескольких нанометров [2].

На рис. 3 представлены спектры отражения ВБР, записанных в двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой ESC-4. Коэффициенты отражения решеток ПП в подвергнутом и не подвергнутом водородной обработке ВС составляют 94 % и 2 % соответственно.

Спектры решеток получены на оптическом спектроанализаторе Yokogawa AQ6370C с диапазоном измерений 600–1700 нм и разрешающей способностью в 0,02 нм.

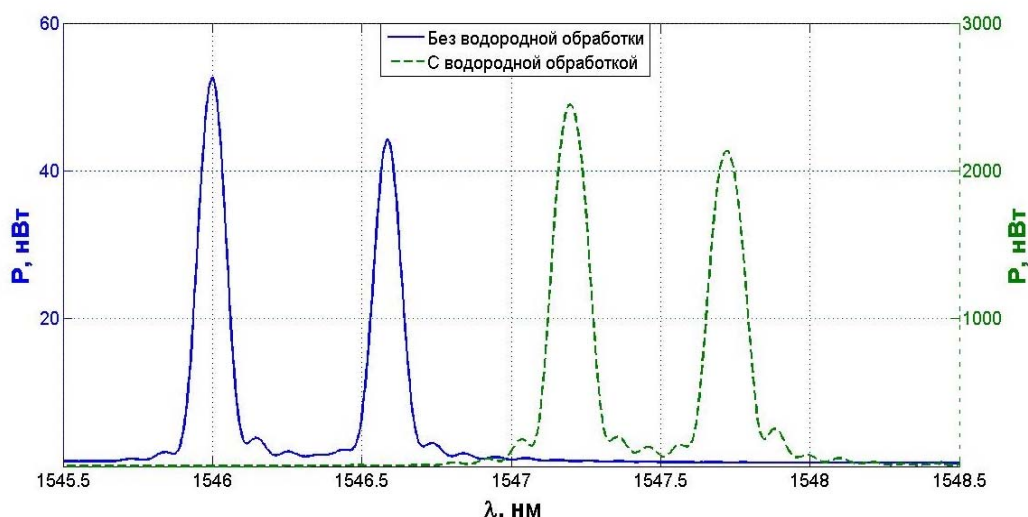


Рис. 3. Спектры отражения ВБР в оптическом волокне ESC-4

Запись волоконных решеток ПП производилась при плотности энергии лазерного импульса на ОВ порядка 400 мДж/см^2 , время экспозиции составляло 5 мин при частоте следования импульсов 1 Гц. Наличие двух пиков в спектрах отражения ВБР, записанных в ОВ ESC-4, обусловлено различием эффективных ПП для быстрой и медленной оси анизотропного ВС.

Одним из важнейших параметров ВБР является величина наведенной модуляции ПП Δn . Для оценки амплитуды наведенной модуляции ПП волоконной решетки Брэгга можно использовать следующую формулу:

$$\Delta n = \frac{\lambda_B}{\pi \cdot l} \cdot \tanh^{-1}(\sqrt{r_{\max}})$$

где λ_B – центральная длина волны брэгговского резонанса; $r_{\max}$ – коэффициент отражения на центральной длине волны отражения решетки; l – длина ВБР.

На рис. 4 представлена динамика роста коэффициента отражения решеток Брэгга, записанных в двулучепреломляющее оптическое волокно с эллиптической напрягающей оболочкой, подвергнутое (ESC-4 mol.% GeO₂ (H₂)) и не подвергнутое водородной обработке (ESC-4 mol.% GeO₂), а также в волокно с повышенной концентрацией диоксида германия (ESC-12 mol.% GeO₂). Плотность энергии лазерного импульса на ОВ составила около 400 мДж/см², время экспозиции 5 мин при частоте следования лазерных импульсов 1 Гц.

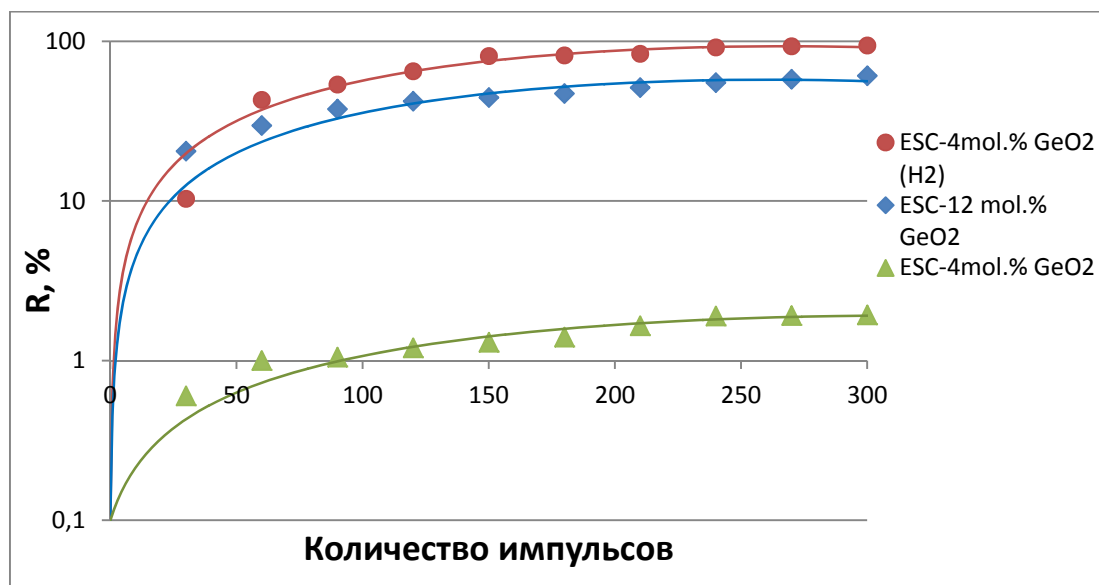


Рис. 4. Динамика роста коэффициента отражения решеток Брэгга от количества импульсов

С учетом того, что длина ВБР l во всех случаях – 8 мм, а центральная длина волны брэгговского резонанса λ_B равна 1550 нм, величина наведенной модуляции ПП Δn составила для ОВ ESC-4 mol.% GeO₂ около $8,6 \times 10^{-6}$, для ОВ ESC-12 mol.% GeO₂ около $6,4 \times 10^{-5}$, а для ОВ ESC-4 mol.% GeO₂ (H₂) около $1,3 \times 10^{-4}$.

Из рисунка видно, что оба метода увеличения фоторефрактивности являются эффективными для записи ВБР в двулучепреломляющее ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой. К тому же в обоих случаях величина наведенной модуляции ПП достаточно высока. Однако метод увеличения концентрации диоксида германия в сердцевине ВС имеет ряд недостатков, связанных с ростом линейных оптических потерь, поэтому он уступает методу водородной обработки.

Заключение

В ходе настоящего исследования были проведены эксперименты по водородной обработке двулучепреломляющего ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой и реализована запись волоконных решеток Брэгга в данный тип ВС.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что водородная обработка увеличивает фоторефрактивность ОВ, что, в свою очередь, приводит к существенному увеличению эффективности записи решеток Брэгга в ВС. Кроме того, применение данной

методики позволяет исключить такие негативные эффекты, как усложнение процесса изготовления ОВ, увеличение линейных потерь и потерь на сварных соединениях, возникающих при дополнительном легировании сердцевины ОВ диоксидом германия.

Запись волоконных решеток Брэгга является неотъемлемым технологическим процессом при создании чувствительных элементов для целого ряда волоконно-оптических сенсорных систем.

Большинство ОВ имеет низкую фоточувствительность, что негативно сказывается на эффективности записи волоконных решеток Брэгга и усложняет процесс создания чувствительных элементов датчиков на их основе. Для создания распределенных датчиков физических величин требуется записывать массивы волоконных брэгговских решеток. Пример массива, получаемого в исследованном типе двулучепреломляющего оптического волокна, подвергнутого водородной обработке, представлен на рис. 5.

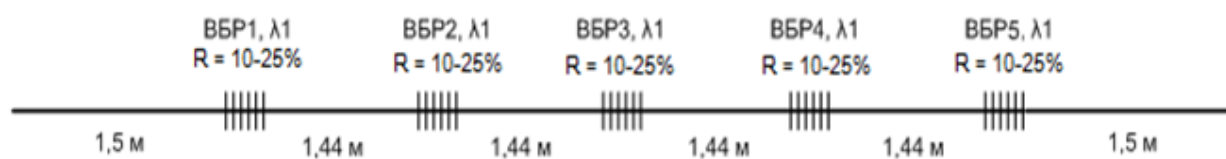


Рис. 5. Схема массива из пяти ВБР

Получаемые массивы волоконных решеток Брэгга могут использоваться для создания чувствительных элементов оптоволоконных датчиков на данном типе ВС.

Таким образом, отработка методики увеличения фоточувствительности ОВ является необходимым этапом для упрощения технологического процесса создания датчиков на основе ВБР.

Публикации

1. Коннов К.А., Грибаев А.И., Варжель С.В., Куликов А.В., Кулаченков Н.К. Моделирование интерферометрической установки для записи волоконных брэгговских решеток // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб, 2013. С. 31–32.
2. Gribaev A.I., Konnov K.A., Palanjyan D.A., Petrov A.A., Varzhel' S.V. High-performance fiber Bragg gratings, induced by a single ArF excimer laser pulse in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding // International Symposium «Fundamentals of Laser Assisted Micro- and Nanotechnologies» (FLAMN-13): abstracts. 2013. P. 91.
3. Паланджян Д.А., Грибаев А.И., Коннов К.А., Петров А.А., Варжель С.В. Запись решеток Брэгга ArF эксимерным лазером в анизотропном оптическом волокне // Сборник трудов VIII международной конференции молодых ученых и специалистов «Оптика – 2013». СПб, 2013. С. 315–316.
4. Плотников М.Ю., Варжель С.В., Коннов К.А., Грибаев А.И., Куликов А.В., Артеев В.А. Применение решёток Брэгга при создании современных волоконно-оптических сенсорных систем // Сборник трудов I Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2013». СПб, 2013. С. 76–77.
5. Varzhel' S.V., Kulikov A.V., Konnov K.A., Gribaev A.I. Single excimer pulse writing of Bragg gratings in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding: visualization and thermal annealing of the gratings // Materials of the V International Research and Practice Conference. 2013. Vol. 1. P. 305–310.
6. Varzhel' S.V., Petrov A.A., Gribaev A.I., Palanjyan D.A., Konnov K.A. High-performance fiber Bragg gratings exposed by a single 17-ns excimer laser pulse in birefringent optical fiber with an elliptical stress cladding // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 9065. P. 90650H.
7. Азаревич Р.Д., Грибаев А.И., Коннов К.А., Паланджян Д.А., Петров А.А., Варжель С.В. Исследование воздействия СО₂-лазера на спектральные характеристики волоконных

решеток Брэгга типа II // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб, 2014. С. 9–10.

8. Петров А.А., Варжель С.В., Куликов А.В., Паланджян Д.А., Грибаев А.И., Коннов К.А. Запись решеток Брэгга ArF эксимерным лазером в анизотропном оптическом волокне // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 6. С. 31–36.

9. Коннов К.А., Забиякин А.Н., Варжель С.В., Грибаев А.И., Лавров В.С. Исследование влияния механических напряжений на характеристики волоконных брэгговских решеток // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб, 2014. С. 74–76.

10. Аксарин С.М., Лавров В.С., Грибаев А.И., Коннов К.А., Варжель С.В., Погорелая Д.А. Исследование зависимости параметров анизотропных одномодовых волоконных световодов от приложенного давления // Сборник трудов II Международной научно-практической конференции «Sensorica – 2014». СПб, 2014. С. 87–88.

11. Мунько А.С., Коннов К.А., Варжель С.В., Архипов С.В. Методы уменьшения и компенсации влияния внешнего механического воздействия на сдвиг длины волны брэгговского резонанса волоконной решетки показателя преломления [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб, 2015. URL: [www. http://kmu.ifmo.ru/](http://kmu.ifmo.ru/) (дата обращения: 11.05.2016 г.).

12. Грибаев А.И., Коннов К.А., Варжель С.В., Венидинова Л.П., Петров А.Б. Индуцирование длиннопериодных решеток пошаговым методом CO₂-лазерным излучением в двулучепреломляющее оптическое волокно с эллиптической напрягающей [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб, 2015. URL: [www. http://kmu.ifmo.ru/](http://kmu.ifmo.ru/) (дата обращения: 11.05.2016 г.).

13. Мунько А.С., Варжель С.В., Куликов А.В., Коннов К.А., Грибаев А.И., Архипов С.В. Запись решеток Брэгга в двулучепреломляющее оптическое волокно с эллиптической напрягающей оболочкой подвергнутое водородной обработке // Сборник трудов III конференции «Будущее оптики – 2015» для молодых специалистов, кандидатов наук, аспирантов и студентов оптической отрасли и смежных дисциплин. СПб, 2015. С.145–147.

Литература

1. Окоси Т. Волоконно-оптические датчики. Л., 1991. – 256 с.
2. Васильев С.А., Медведков О.И. и др. Волоконные решетки показателя преломления и их применение // Квантовая электроника. 2005. Т. 35. № 12. С. 1085–1103.
3. Mayer E., Gillett D., Govorkov S. Fiber Bragg grating writing by interferometric or phase-mask methods using high-power excimer lasers // Fiber and Integrated Optics. 1999. Vol. 18. No 3. P. 189–198.
4. Meshkovskiy I.K., Strigalev V.E. et al. Bragg Gratings Induced in Birefringent Optical Fiber with an Elliptical Stress Cladding // Journal of Photonics. 2013. Vol. 2013. Article ID 936036. 4 P.
5. Патент РФ 2155359 «Способ изготовления волоконных световодов, сохраняющих поляризацию излучения», опубл. 27.08.2000 г.
6. Мешковкий И.К., Варжель С.В. и др. Термический отжиг решеток Брэгга при изготовлении волоконно-оптических фазовых интерферометрических датчиков // Известия вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 5. С. 91–93.
7. Варжель С.В., Мунько А.С. и др. Запись решеток Брэгга в двулучепреломляющее оптическое волокно с эллиптической напрягающей оболочкой подвергнутое водородной обработке // Сборник трудов III конференции «Будущее оптики – 2015» для молодых специалистов, кандидатов наук, аспирантов и студентов оптической отрасли и смежных дисциплин. СПб, 2015. С.145–147.



Коржук Виктория Михайловна
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра безопасных информационных технологий
E-mail: vika@cit.ifmo.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТА

В.М. Коржук

Научный руководитель – доцент И.С. Лебедев

Цели работы – изучение возможностей беспроводных самоорганизующихся сетей в области отслеживания изменений местоположения объекта, организация беспроводной сенсорной сети с устройствами ZigBee (рис. 1), проведение экспериментов с различными количеством устройств и вариантов их расположения. В качестве практического применения данного проекта планируется использование такой сети в целях оптимизации управления доступом к информационным ресурсам кафедры «Безопасные информационные технологии» Университета ИТМО.

Исследования проводились в области использования сети типа ZigBee в целях определения траектории движения объекта в трех направлениях: непосредственное определение траектории движения объекта с помощью матрицы сенсоров 3x3, отслеживание прохождения объектом намеченного маршрута и использование метки для определения траектории его движения.

В ходе выполнения работы были рассмотрены особенности конфигурации беспроводной сенсорной сети, изучены характеристики используемых датчиков, рассчитаны и разработаны модели функционирования сети в соответствии с целями проекта, проведены эксперименты.



Рис. 1. Используемая плата с присоединенным съемным модулем ETRX3-LR

Модули ZigBee компании Telegesis совмещают преимущества передовой технологии Ember построения беспроводных ячеистых сетей ZigBee с простотой их использования и богатой функциональностью. Встроенное программное обеспечение модулей ETRX2 поддерживает выполнение всех функций беспроводной меш-сети, таких как самоорганизация и самовосстановление сети, ретрансляция данных, поиск оптимального маршрута, передача широковещательных, групповых и адресных сообщений, поддержка спящих и мобильных узлов, удаленный опрос аналоговых и цифровых входов, удаленное управление состоянием цифровых выходов.

В результате моделирования тестового эксперимента при участии устройства со световым датчиком было выявлено, что сенсор чутко реагирует на изменение освещения в целом, на резкие его изменения и световые последовательности. Для сбора информации

использовалась разрабатываемая группой студентов под руководством автора программа LANA, предназначенная для передачи команд конечным устройствам беспроводной сенсорной сети, их опрашивания о состоянии и количестве переданных пакетов и составления отчетов по результатам работы.

В процессе выполнения проекта программа LANA была модернизирована: появилась возможность собирать данные от девяти сенсоров в режиме реального времени. Эта ее особенность используется в двух методах, представленных в работе: определение траектории движения объекта и отслеживание прохождения объектом установленного маршрута.

При реализации первого метода сенсоры были расположены на горизонтальной поверхности без наклона (на полу). Объектом выбран непрозрачный бумажный диск диаметром 50 см на радиоуправляемой движущейся модели. Такая величина диаметра соответствует среднему значению размера тени человека при вертикальном освещении. Расстояние между сенсорами установлено в 30 см в целях возможности перекрытия наибольшего их количества (рис. 2).

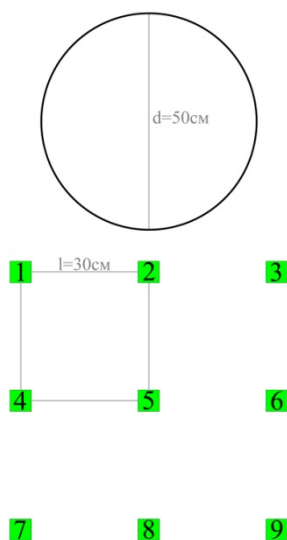


Рис. 2. Модель матрицы сенсоров и отслеживаемого объекта

Каждому сенсору присвоен идентификационный номер. Процесс определения траектории движения заключается в изучении и сопоставлении реакции сенсоров. На рис. 3 представлен пример реакции одного из сенсоров на движение рассматриваемого объекта. Эксперимент проводился в рекреации кафедры безопасных информационных технологий, освещенность составляла около 2 клк. При попадании тени от объекта на сенсор, показатель уровня освещенности на нем резко падает и держится на уровне около 100 лк на протяжении всего процесса движения диска. На рис. 4 представлены модели реакции сенсоров на разное положение объекта.

Распознанная программой траектория движения объекта соответствует действительности. Недосток данного метода – сложность в распознавании кругового движения – может быть решен с помощью увеличения количества датчиков и площади покрытия. Результаты определения траектории представлены на рис. 5, 6. Красным цветом выделены сенсоры основного направления, оранжевым – задействованные для его уточнения.

Второй метод был реализован также с помощью упоминавшейся выше программы. Маршрут, который должен был пройти объект, выбрали заранее.

Результаты представлены на рис. 7. В дальнейшем планируется разработать систему определения траектории движения объекта с помощью сенсорной метки. Метка устанавливается на объект, и в зависимости от того, с какой скоростью передаются пакеты данных между меткой и наблюдающими устройствами и в зоне действия каких устройств

находится объект в конкретный промежуток времени, мы сможем вычислить траекторию его движения и скорость.

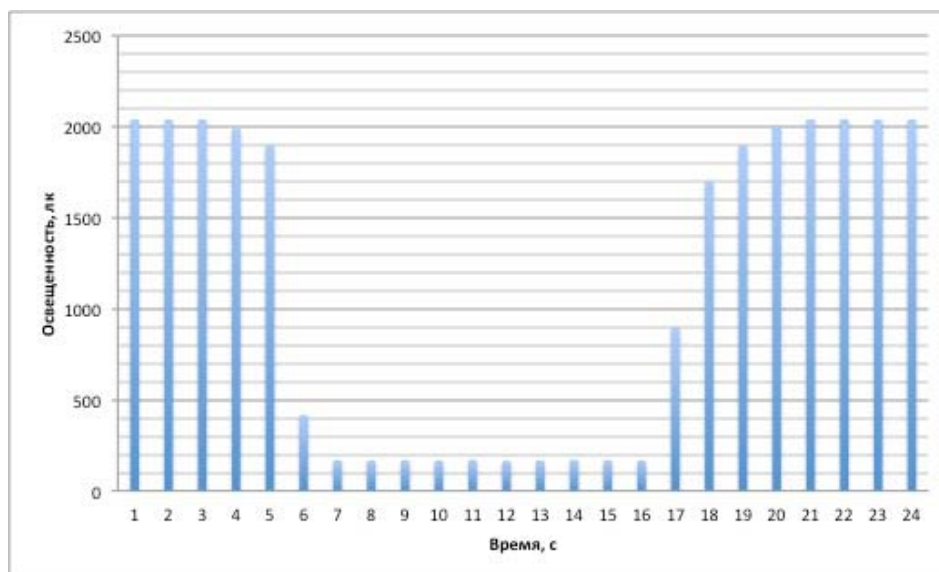


Рис. 3. Реакция сенсора на движение через него рассматриваемого объекта

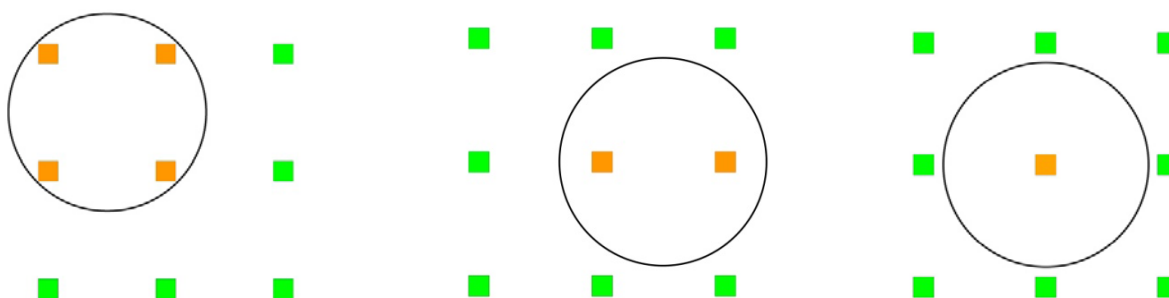


Рис. 4. Модели реакции сенсоров на различные положения объекта

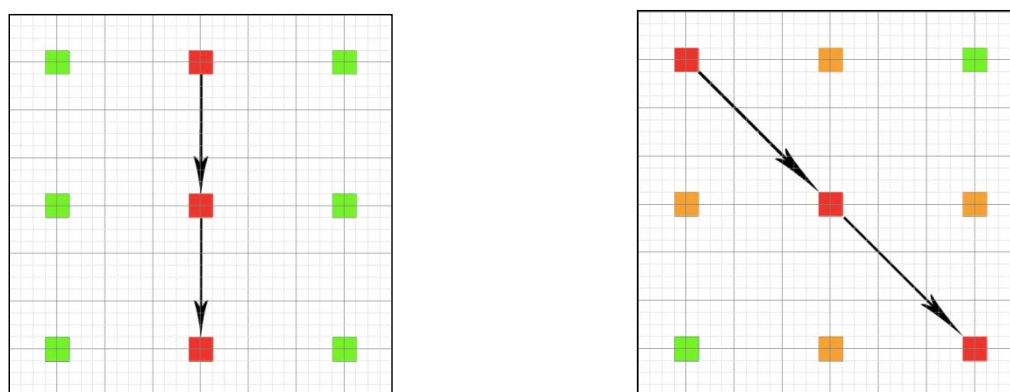


Рис. 5. Распознанная траектория движения объекта (по прямой и по диагонали)

Заключение

В ходе выполнения данной работы была решена задача определения траектории движения объекта с помощью сенсорной сети.

Изучены характеристики сенсоров, проведены тестовые эксперименты. Разработана модель определения траектории движения с использованием данных о реакции набора сенсоров. Недостатком данного проекта является трудность определения траектории кругового движения, но данная проблема исчезнет, если увеличить число датчиков и покрываемую ими площадь.

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

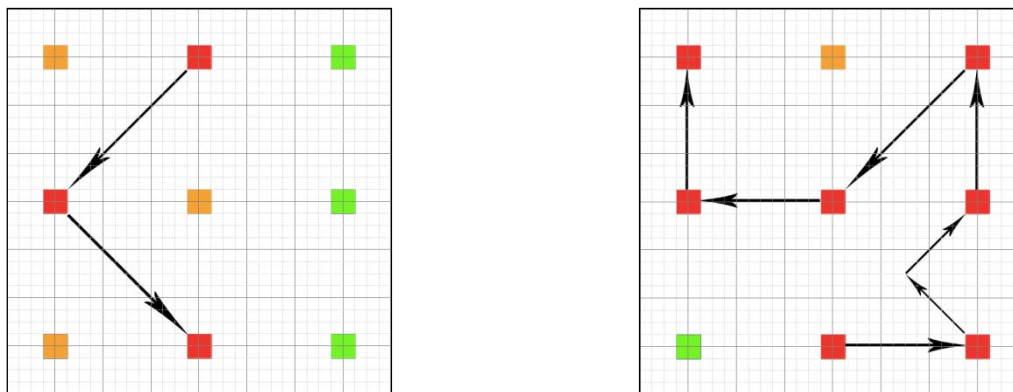


Рис. 6. Распознанная траектория движения объекта (сложные маршруты)

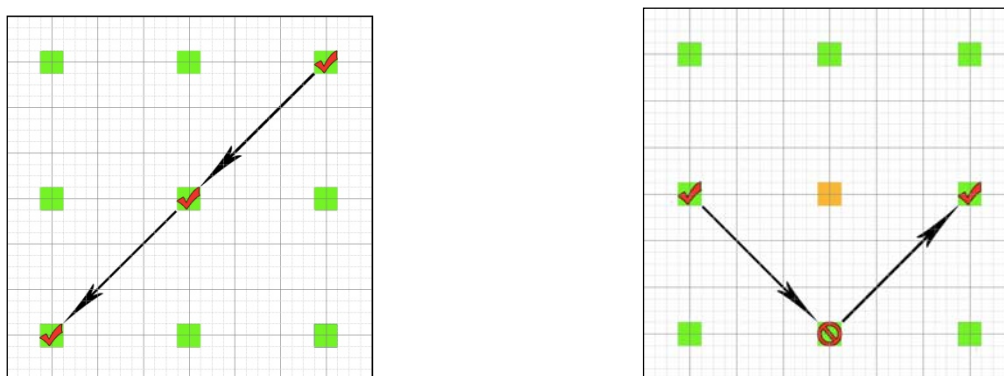


Рис. 7. Результаты сравнения намеченного маршрута и действительного движения объекта

Проведены успешные эксперименты по отслеживанию траектории движения объекта и по определению соответствия его движения намеченному маршруту.

Предложенные в статье методы могут быть использованы в различных областях жизнедеятельности: медицине, спорте, астрономии, военном деле и многих других.

Публикации

1. Lebedev I.S., Korzhuk V.M. The monitoring of information security of remote devices of wireless networks // Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems. 2015. Vol. 9247. P. 3–10.

Литература

1. Telegesis [Electronic resource]. URL: www.telegesis.com (accessed: 17.09.2015).
2. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Беспроводные персональные сети на основе ZigBee: учебное пособие. СПб., 2012. – 68 с.



Косульников Сергей Юрьевич
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра нанофотоники и метаматериалов
E-mail: serg.kosulnikov@phoi.ifmo.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА УСИЛЕНИЯ СУБВОЛНОВОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОСРЕДСТВОМ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОВОДОВ

С.Ю. Косульников

Научный руководитель – доктор физико-математических наук П.А. Белов

Среда из проводов – это массив из плотно расположенных параллельных проводов, который может быть описан с точки зрения тензора эффективной диэлектрической проницаемости. Подобные среды представляют класс метаматериалов. Они характеризуются многими интересными свойствами и рассматриваются как очень перспективное направление для приложений [1–3]. Данные метаматериалы разрабатываются для различных частотных диапазонов и имеют соответствующие различные диаметры проводов и периоды массивов. Для применения в видимом диапазоне период структуры может быть около нескольких десятков нанометров, в случае СВЧ-устройств соответствующие значения достигают порядка нескольких миллиметров. Дисперсионные свойства и сильная анизотропия позволяют получить эффект конвертирования всего спектра пространственных гармоник в распространяющиеся моды внутри среды из проводов. Данное свойство было использовано ранее в основном для целей субволновой передачи изображения [4].

В данном исследовании будет рассматриваться другое свойство сред из проводов – усиление степени излучения диполя внутри слоя гиперболического метаматериала. В сравнении с излучением в свободное пространство, степень усиления излученной энергии достигает величины порядка λ^2/a^2 , где λ – длина волны в материале, вмещающем массив среды из проводов, a – период расположения проводов в данном массиве. Часто этот эффект интерпретируется как крайне высокая плотность фотонных состояний в широком частотном спектре и рассматривается как присущее гиперболическим метаматериалам свойство. Оно ведет к значительному повышению степени взаимодействия света с веществом, особенно если эффект становится резонансным. Усиленное взаимодействие света и вещества на частотах, соответствующих видимому диапазону электромагнитного спектра, приводит к резкому увеличению спонтанного излучения. Иначе данный эффект называют эффектом Парселла [5].

Ранее было предложено использовать гиперлинзы на основе сред из проводов для усиления излучения от нагретых тел. В настоящем исследовании данная концепция переработана и обобщена для работы в миллиметровом и микроволновом частотных диапазонах. Главная цель – добиться широкополосного усиления излученной источником энергии, которая может быть охарактеризована величиной фактора Парселла F_p таким образом, чтобы ее среднее было максимальным в наиболее широком диапазоне длин волн. Наиболее перспективной областью применения этого принципа на данный момент представляются задачи радиационного отбора тепла от микронных и субмикронных объектов, испытывающих сильный нагрев.

Принцип действия рассматриваемых структур происходит в два этапа: сначала провода транспортируют излученную энергию на внешнюю эффективную поверхность массива. Затем волновой пакет излучается в свободное пространство с данной поверхности вследствие увеличенного расстояния между проводами (рис. 1).

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

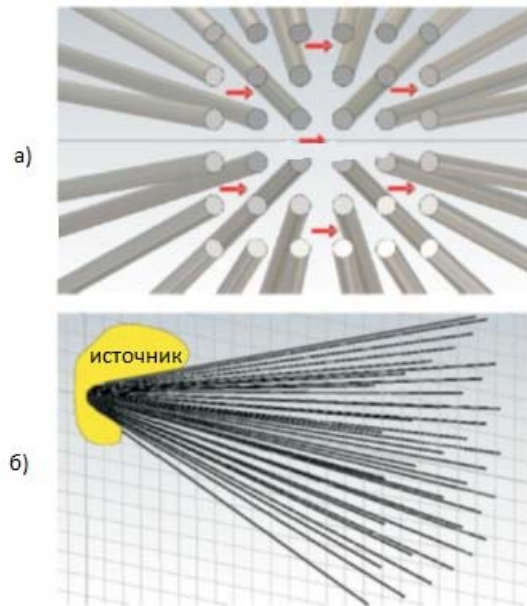


Рис. 1. Концепция возможного микроволнового приложения гиперлинзы на основе среды из проводов: а – провода, закрепленные в массив, принимают и усиливают излучение от источника шума; б – гиперлинза позволяет эффективно излучить распределение электромагнитного излучения от источников на широкополосную принимающую антенну анализатора

Эндоскоп на основе среды из металлических проводов может быть применен для сканирования источников шума. Различные источники возбуждают в основном лишь те участки гиперлинзы, где они расположены (рис. 1а). Дипольный момент источника, возле которого они находятся, пренебрежимо мал. Большие значения фактора Парселла для среды из проводов означают, что шумы могут быть эффективно преобразованы в распространяющиеся моды внутри гиперлинзы. Субволновое пространственное распределение источников шума, воспроизведенное на внешней поверхности гиперлинзы, может быть записано с помощью сканирующего зонда или массива из таких зондов, подключенных к спектральному анализатору [6]. Достаточно тонкие провода могут быть размещены без электрического контакта с источником в области, где зонд не мог бы находиться из-за своих размеров. Таким образом, гиперлинза на основе среды из проводов является перспективным инструментом для измерения ближних полей в широком диапазоне частот [7].

Цель и задачи проекта

Наиболее важная задача, решению которой посвящено данное исследование, касается угла расхождения между проводами α . Понятно, что он должен быть достаточно большим, чтобы согласовать гиперлинзу со свободным пространством. Чем больше расстояние A между концами проводов (рис. 2), тем лучше происходит конверсия собственных мод среды в излучение в свободное пространство. Максимальная граница допустимых значений α также очень важна. Если α слишком велико, может быть полностью разрушен принцип работы среды из проводов, разработанный для случая, когда они располагаются параллельно друг другу. Тогда высказанные предположения становятся неприменимыми и невозможно получить больших значений F_p .

Итак, в рассматриваемом случае провода длиной L должны быть расположены под оптимальным углом α друг к другу в рамках допустимых отклонений, при которых значение

усиления будет достаточно высоким. Второй вопрос касается минимального количества проводов, позволяющих получить широкополосное усиление. Первоначально гиперлинза из проводов обладала формой полусферы, расположенной над идеальным отражателем. В очень широком диапазоне частот, волновой пучок, направляемый в сторону внешней поверхности структуры, имеет эффективную ширину, намного меньше диаметра самой структуры из проводов. В дальнейшем будет показано, что он примерно в два раза больше периода между проводами. Также будет рассмотрено влияние отражателя на работу гиперлинзы.

На рис. 2а, 2б изображена структура, рассматриваемая в следующих частях исследования. В данном случае отражатель отсутствует, а нижний интерфейс структуры представляет собой плоскость площадью $5a \times 5a$.

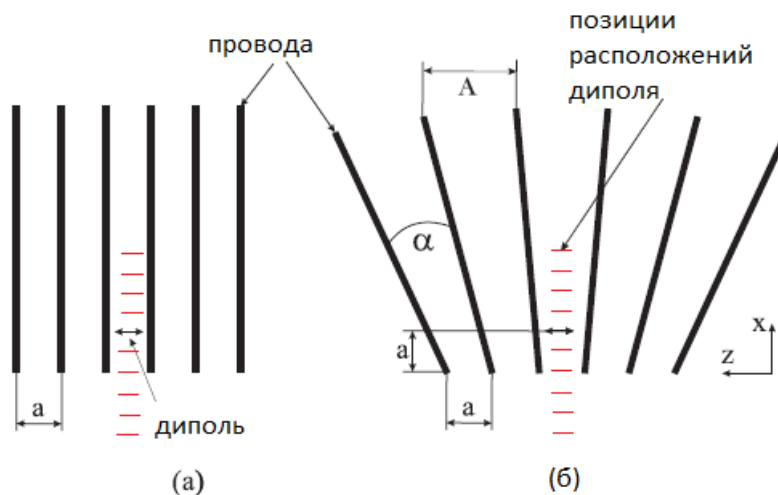


Рис. 2. а – схема блока среды из проводов без расхождения; б – его обобщенный случай – структура с расхождением между соседними проводами, характеризуемым углом $\alpha \geq 0$.

Дипольная антенна перемещается в центральном зазоре вдоль оси X

Следующий вопрос заключается в определении зависимости степени фактора Парселла от положения источника. Очевидно, что оптимальное положение находится внутри гиперлинзы в непосредственной близости от ее внутренней поверхности. Тем не менее важно понимать, насколько большой является данная оптимальная область (возможные положения показаны на рис. 2). Последний вопрос, на который планируется получить ответ в данном исследовании – влияние собственных резонансов Фабри – Перро структуры. Действительно, в режиме работы реальной гиперлинзы конечного размера предполагается основываться на результатах расчета фактора Парселла для бесконечной среды из параллельных проводов. Многократные переотражения между двумя интерфейсами (границами) гиперлинзы должны вызвать резонансы Фабри – Перро данной структуры. Необходимо учесть их влияние на работу структуры.

После предоставления результатов симуляций и их обсуждения во второй части работы будет представлен отчет по экспериментальному исследованию в микроволновом диапазоне частот. Так как принцип работы гиперлинзы одинаков для любого частотного диапазона, улучшенные параметры, полученные при исследовании в миллиметровом диапазоне частот, могут дать общие рекомендации для конструирования гиперлинзы, работающей в микроволновом диапазоне.

Основные результаты

В результате проведенной работы был исследован фактор Парселла гиперлинзы на основе среды из проводов в сравнении с ее частным случаем – линзы на основе параллельных проводов, а также значениями предсказываемыми теорией для бесконечной среды из металлических проводов.

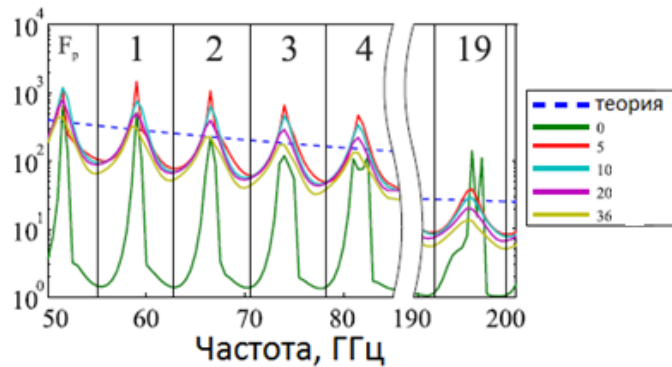


Рис. 3. Фактор Парселла в диапазоне 50–200 ГГц для различных α . $L = 20$ мм, FEKO

На рис. 3 отображено значение F_p , рассчитанное при помощи программного пакета FEKO для пяти значений α при $x = a$. В случае, когда $\alpha = 0$, F_p стремится к 1 на частотах, соответствующих минимумам между резонансами Фабри – Перро, а ширина этих минимумов значительно больше, чем ширина соседних максимумов. Когда $\alpha = 5 \dots 20$, значения F_p становятся сравнимыми по величине с F_p^{IWM} даже на частотах, соответствующих минимумам между резонансами Фабри – Перро. Тем не менее, когда значение α превышает величину в 30, основное интересующее значение $\langle F_p \rangle$ уменьшается. В случае $\alpha = \alpha_{maximal} = 36^\circ$ значения F_p становятся меньше F_p^{IWM} даже на частотах, соответствующих максимумам Фабри – Перро.

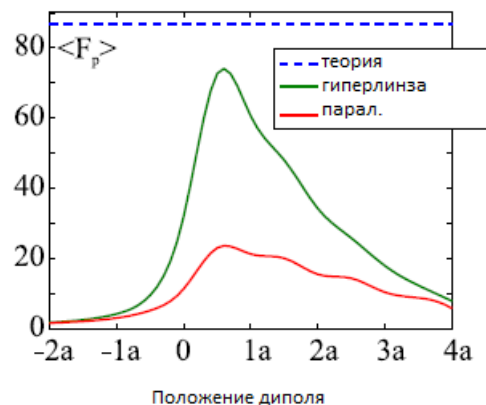


Рис. 4. Усредненное значение фактора Парселла в зависимости от расположения диполя для $\alpha = 0$, $\alpha = 10$ ($L = 20$ мм, FEKO) и максимального значения фактора Парселла в соответствии с теоретической моделью [5]

Влияние положения источника для двух геометрий представлено на рис. 4. Здесь «парал.» обозначает кривую для случая параллельно расположенных проводов, то есть $\alpha = 0^\circ$, а «гиперлинза» соответствует взаимному отклонению проводов на угол $\alpha = 10^\circ$. «Теория» обозначает оценку теоретически максимально достижимого значения фактора Парселла при рассмотрении бесконечной среды из параллельных идеально проводящих элементов [5]. Оптимальное положение источника внутри гиперлинзы соответствует величине $x = a/2$. В данном случае усредненное значение $\langle F_p \rangle = 73$ и очень приближено к $\langle F_p^{IWM} \rangle = 86$. Для структуры из параллельных проводов существуют две симметричные точки оптимального положения источника, соответствующие $x = a/2$ и $x = L - a/2$. Для данных положений усредненное по частоте значение фактора Парселла максимально и равно $\langle F_p \rangle = 22$. Таким образом, в рассматриваемом диапазоне с помощью структуры на основе параллельных проводов также можно достигнуть больших значений усредненной по частоте степени усиления излучения от источника в свободное пространство. В данном случае (на частоте 50 ГГц): $\alpha = 4^\circ$, $a = 100$ мкм, расстояние A между соседними проводами на внешней поверхности структуры примерно составляет $\lambda/8$.

Заключение

В данной работе были исследованы рабочие характеристики гиперлинзы, изготовленной из расходящихся металлических проводов. Гиперлинза возбуждается субволновым диполем, расположенным внутри нее. Параметр, на максимизацию которого направленно данное исследование – фактор Парселла. В рассматриваемом случае при использовании структуры без потерь он равен коэффициенту усиления излученной от субволнового источника в свободное пространство энергии. Такое усиление достигается за счет использования гиперлинзы из проводов. В работе показано, что исследование, подготовленное для проводов без учета потерь, применимо для работы гиперлинзы в миллиметровом диапазоне частот.

Было исследовано влияние отражателя, а также углового усечения гиперлинзы на процесс усиления излученной энергии. Для дальнейших углубленных исследований была определена упрощенная геометрия блока из 6х6 проводов, расположенных в свободном пространстве. Оценено влияние угла расходимости α между проводами на степень усиления излученной энергии. Исследована зависимость степени усиления от положения источника для двух типов структур: гиперлинзы с расходящимися проводами и блока из параллельных проводов.

Определены оптимальные углы взаимного отклонения проводов для реализации режимов работы гиперлинзы. Было проанализировано соотношение между фактором Парселла бесконечной среды из параллельных проводов и гиперлинзы конечного размера с оптимизированными размерами. Работе гиперлинзы конечных размеров присущи сильные резонансы Фабри-Перро. Тем не менее значение фактора Парселла, усредненное по частоте, при использовании оптимизированных параметров гиперлинзы равняется (при возбуждении диполем Герца) фактору Парселла, который можно получить в бесконечной среде из проводов. Такое усреднение имеет смысл не только для широкого диапазона, но и для интервала между двумя соседними максимумами или минимумами в рассматриваемых частотных зависимостях.

Публикации

1. Kosulnikov S.Yu., Simovski C.R. On Fabry-Perot resonances of a wire-medium hyperlens // *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*. 2015. Vol. 15. P. 1–9.
2. Simovski C.R., Maslovski S.I., Nefedov I.S., Kosulnikov S.Yu., Belov P.A., Tretyakov S.A. Hyperlens makes thermal emission strongly super-Planckian // *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*. 2015. Vol. 13. P. 31–41.

Литература

1. Brown J. Artificial dielectrics // *Progress in Dielectrics*. 1960. Vol. 2. P. 195–225.
2. Rotman W. Plasma simulation by artificial dielectrics and parallel-plate media // *IRE Transactions Antennas and Propagation*. 1962. Vol. 10. No 1. P. 82–95.
3. Belov P.A., Marqu'es R. et al. Strong spatial dispersion in wiremedia in the very large wavelength limit // *Physical Review B*. 2003. Vol. 67. P.113103.
4. Simovski C.R., Belov P.A. et al. Wire metamaterials: physics and applications // *Advanced Materials*. 2012. Vol. 24. P. 4229–4248.
5. Poddubny A.N., Belov P.A., Kivshar Yu.S. Purcell effect in wire metamaterials // *Physical Review B*. 2013. Vol. 87. P. 035136.
6. Lemoult F., Fink M., Lerosey G. A polychromatic approach to far-field superlensing at visible wavelengths // *Nature Communications*. 2012. Vol. 3. P. 889–893.
7. Simovski C.R., Maslovski S.I. et al. Hyperlens makes thermal emission strongly super-Planckian // *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*. 2015. Vol. 13. P. 31–41.



Котов Николай Александрович
Факультет методов и техники управления «Академия ЛИМТУ»
Кафедра компьютерного проектирования и дизайна
E-mail: roy2048@gmail.com

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ХРАНЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВЫВОДА ДАННЫХ

Н.А. Котов

Научный руководитель – профессор В.И. Погорелов

На протяжении долгого времени человек старается получать из разных источников, которые его окружают, точную и оперативную информацию. От нее зависят такие факторы, как предсказание погоды, безопасность государства в целом, безопасность населения во время стихийных бедствий, планирование хозяйственной деятельности.

Объемы таких данных превышают уровень, который человек может воспринимать, следовательно, ее правильное хранение и распространение ведет к упорядочиванию и структурированию многих процессов [1]. Создание системы по обработке геопространственной информации, в которой хранятся такого рода данные, позволяет оперативно извлекать нужные сведения с последующим выводом их на различные мобильные устройства или стационарные рабочие системы.

Целью данной работы является обеспечение множественного доступа к хранимым пространственным данным с последующим выводом их в режимах 2D и 3D средствами веб-приложения.

В ходе работы была определена основная система управления базами данных (СУБД) из тех видов, которые поддерживают работу с пространственными данными. Выбор ее производился на основе технических характеристик каждого программного продукта в отдельности, а также в результате полученной информации о производительности в целом. Технические характеристики рассмотренных СУБД, представлены в Таблице [2].

В результате анализа представленных в ней данных были выделены несколько аспектов, говорящих в пользу выбора СУБД PostgreSQL с модулем PostGIS как ядром БД. Ее бесплатность вкупе с высоким функционалом, уменьшенными затратами на комплексное создание всей системы и несложной настройкой говорят о том, что она наилучшим образом вписывается в архитектуру будущей системы хранения и обработки пространственных данных [3]. Для последующей работы и исследования характеристик системы были отобраны пространственные данные, состоящие из набора точек (XY), а также наполнена таблица, состоящая из полигонов с разным количеством узлов. Все эти объекты в целом обеспечивают высокую нагрузку при использовании запросов от разных пользователей.

Тестирование проводилось на ПК со следующими спецификациями:

- процессор Intel Core i7 – 4790 3,6 GHz;
- оперативная память 16 Гб;
- операционная система Windows 7 x 64.

В рабочем состоянии процессы PostgreSQL/PostGIS показывали следующие результаты:

- в режиме ожидания ~ 45 Мб;
- подключения пользователей от 150 до 400 Мб, в зависимости от количества человек одновременно выполняющих запросы к БД.

Таблица

Сравнение основных технических характеристик баз данных

Наименование баз данных Характеристики	PostgreSQL	MySQL	MS SQL Server 2014
Кроссплатформенность	Да	Да	Да
Поддержка хранения пространственных данных	Да, с помощью дополнения PostGIS	Да	Да
Варианты распространения	Бесплатно	Бесплатно (техническая поддержка доп. плата)	Платная
Поддерживаемые типы данных	Point, PointM, SRID, Linestring, Polygon, Multipoint, Multilinestring, Multipolygon, Geometry collection, TIN, TRIANGLE	Point, Linestring, Surface, Geometry collection, Curve	Point, Linestring, CircularString, CompoundCurve, Polygon, CurvePolygon, MultiPoint, MultiLineString, MultiPolygon, GeometryCollection
Максимальный размер таблиц	32 Тб	32 Эб	Размер БД: max 524 272 Тб

Вывод географической информации был выполнен с помощью двух вариантов систем. Первый – при помощи библиотеки JavaScript. Второй – с помощью связующего звена в виде специализированного сервера, преобразующего данные из БД в вид, который транслируется в браузер с последующим отображением на веб-карте.

Два этих варианта имеют свои плюсы и минусы, но наиболее выгодным является вариант с сервером, так как он изначально имеет больше возможностей.

Тестировались эти системы в браузерах Google Chrome, Mozilla Firefox и мобильной версии Opera Mini. Считаем, что система в целом кроссплатформенна и доступ к ней можно осуществлять с различных устройств [4].

Для подтверждения того, что такой подход к созданию единых систем является универсальным, подключение и просмотр данных был произведен в таких широко известных программах обработки геопространственных данных, как Autodesk Civil 3D, Global Mapper, ArcGis и QantumGIS.

Также была исследована возможность подключения БД к программе визуализации при подготовке инфраструктурных моделей перед основным проектированием в Autodesk InfraWorks 2015.

Векторные и растровые данные свободно импортируемы и просто могут быть выведены в веб-приложении. PostgreSQL/PostGIS полностью поддерживает SSL [5], шифрование данных и имеет сертификат подтверждающий соответствие требованиям надзорных органов (до 1Б(2НСД+2НДВ)) [6].

Области возможного применения:

- электронная картография;
- планирование городской инфраструктуры;
- визуализация;
- создание реалистичных симуляторов;
- лесопользование и анализ произрастания пород на территории.

Заключение

Рассмотрена система хранения и вывода географических данных с использованием базы данных, проанализированы ее характеристики и возможности. Приведен анализ современных решений представления информации при проведении работ различного характера от планирования до вывода конечных материалов заказчику.

Можно утверждать, что такой подход по сравнению с хранением данных стандартным методом перспективен и экономически выгоден. В ходе тестирования выяснилось, что скорость обмена, обновления и дополнения БД соответствует комфортной работе с системой. Результаты были подтверждены в ходе тестирования на предприятии при множественном подключении пользователей. Ресурсы основного ПК, где проходили тестирование и отладка, были достаточны при работе с базой и последующим выводом результатов запросов.

Публикации

1. Котов Н.А. Сравнительный анализ построения ландшафта средствами геоинформационных систем: MapInfo и Autodesk 3D Map // Альманах научных работ молодых ученых. СПб., 2013. С. 173–175.
2. Котов Н.А. Цифровая модель рельефа, как объект пространственного анализа в различных ГИС-системах // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 215–217.

Литература

1. Lee J., Zlatanova S. 3D geo-information sciences. 2009. – 438 p.
2. Shaw P. Postgres succinctly. 2013. –118 p.
3. Obe R.O., Hsu L.S. PostgreSQL: up and running. 2012. –168 p.
4. Henderson C. Mastering GeoServer. 2014. – 588 p.
5. Documentation PostgreSQL [Electronic resource]. URL: <http://www.postgresql.org/docs> (accessed: 25.09.20015).
6. Бабенко Л.К. и др. Защита данных геоинформационных систем. М., 2010. – 336 с.



Кравцова Евгения Владимировна
Факультет пищевых биотехнологий и инженерии
Кафедра процессов и аппаратов пищевых производств
E-mail: kev90@bk.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗКИ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ НА ЧАСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЗАЛКОГОЛЬНЫХ ГАЗИРОВАННЫХ НАПИТКОВ

Е.В. Кравцова

Научный руководитель – профессор Г.В. Алексеев

Цели работы:

– разработка малогабаритного экономичного аппарата для резки на части плодов и овощей, близких к сферической форме, совмещающего в одном рабочем объеме несколько технологических операций;

- выполнение инженерных расчетов с акцентом на закономерности упругого деформирования;
- апробация результатов расчетов при разработке принципиальной схемы измельчителя с оптимальной формой лезвийного инструмента.

Исследования проводились на основе анализа результатов теоретических и экспериментальных исследований процесса рубящего резания при формировании модели процесса силового взаимодействия материала и ножа при его поступательном движении. Осуществлялся подбор оптимальной формы лезвия, определяемый режимами резания и свойствами обрабатываемого материала.

В ходе выполнения работы была разработана модель аппарата для измельчения плодов и овощей. Проведен сравнительный анализ известных и разработанных форм режущей кромки лезвийного инструмента с точки зрения технологической эффективности аппаратов. Выбран наилучший первоначальный угол заточки в каждой точке режущей кромки. Получены аналитические решения уравнений упругой деформации, описывающие поведение кожуры лимона в процессе измельчения. Получена экспериментальная зависимость усилия резания при поступательном движении ножей, контактирующих с плодом, подобрана оптимальная форма лезвийного инструмента, учитывающая физические и механические свойства измельчаемого продукта, позволяющая улучшить параметры процесса резания.

Устройство для резки плодов и овощей, близких к сферической форме (рис. 1), состоит из опорных поверхностей, выполненных в виде цилиндра, снабженного сквозным направляющим крестообразным вырезом с вертикальным пазом. При этом в вертикальном пазу размещен ножевой блок, выполненный в виде пластины с установленными по обе стороны перпендикулярно ее поверхности и соосно с горизонтальным пазом крестообразного выреза опорными полочками. Общая длина ножевого блока L , ширина режущей части его лезвия b , длина l и ширина a каждой из опорных полочек выполнены с размерами, связанными с радиусом плода R следующими соотношениями (рис. 2):

$$b = (2,0 \div 2,1)R; \quad (1)$$

$$L = (4,0 \div 4,5)R; \quad (2)$$

$$l = (2,0 \div 2,1)R; \quad (3)$$

$$a = (0,3 \div 0,4)R. \quad (4)$$

Работает устройство, например при резке плодов и овощей на две части, следующим образом. В начальный момент времени ножевой блок находится в крайнем правом положении, при этом его режущее лезвие расположено в створе с вертикальным пазом опорного цилиндра, а опорная полочка перекрывает внутреннюю полость, куда сверху под действием силы тяжести из накопительной емкости (на чертеже не показана) поступает плод или овощ. При поступательном движении ножевого блока справа налево по горизонтальному пазу за счет его ориентации вертикальным пазом режущая кромка лезвия ножевого блока разрезает фрукт пополам. При этом ножевой блок оказывается в крайнем левом положении, а левая опорная полочка освобождает проход для отрезанной дольки фрукта или овоща, и она попадает на дальнейшую переработку. Правая опорная полочка в это время поддерживает вторую отрезанную половину лимона, а ножевой блок верхней своей кромкой удерживает следующий лимон перед входом его в резательную камеру. После перемещения ножевого блока слева направо правая опорная полочка освобождает проход для ранее отрезанной части, и она тоже поступает на переработку. Одновременно проход перекрывается левой опорной полочкой. Новый фрукт или овощ устанавливается в резательной камере в исходном положении. Далее процесс повторяется.

При последовательном расположении вдоль одной вертикальной оси нескольких пар опорных цилиндров с ножевыми блоками аналогичный процесс происходит с половинками фрукта или овоща.

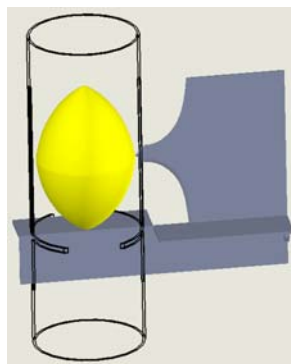


Рис.1. Общий вид устройства для резки плодов и овощей

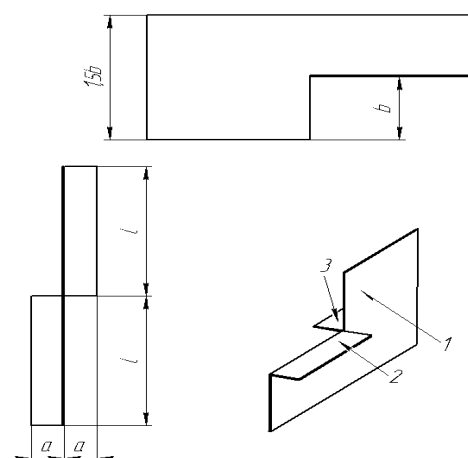


Рис. 2 – Геометрические параметры ножевого блока: 1 – ножевого блок;
2, 3 – опорные полочки

Основной задачей экспериментальных исследований являлось изучение динамики процесса резки плода лимона при различных режимах. Для решения основной задачи предварительно требовалось установить:

- динамику измельчения различных плодов лимона в лабораторной модели аппарата;
- особенности процесса измельчения плода в зависимости от вида лезвия и усилия резания;
- изменение качественных показателей плода в зависимости от приложенных усилий и вида лезвийного инструмента.

Обеспечение наибольшего выхода продукта при минимальных потерях и поддержание хорошего его качества – основная задача разработанной модели аппарата.

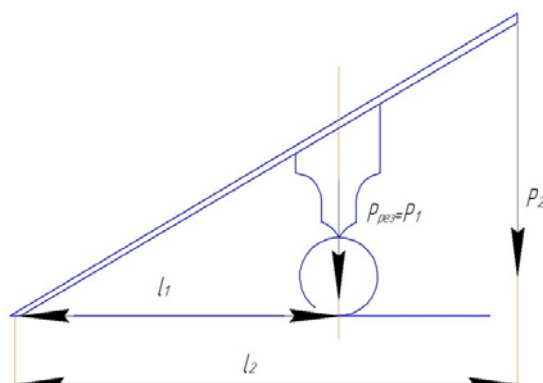


Рис. 3. Схема лабораторной установки, используемой при исследовании свойств материала, подвергающегося резке

Для получения объективных оценок эксперимент для каждой подгруппы данных повторяли по три раза. Исследовались зависимости усилия разрезания от геометрических параметров лезвийного инструмента (угла заточки лезвия, толщины и прочности его материала). При этом использовался лабораторный стенд, схематично представленный на рис. 3. Результатом экспериментальных исследований является схема разреза плода лимона (рис. 4) (близкого к сферической форме), соответствующая углублению ножа в плод по его ширине (поперечно).

На схеме просматриваются пять характерных областей, а также с высокой точностью определяются их линейные размеры в мм и процентные соотношения от общего диаметра плода (плоды брались диаметром от 60 до 110 мм). АБ – 0,3 %, БВ – 17...27,2 %, ВГ – 4,5...12,4 %, ГД – 11,2...19,6 %, ДЕ – 44,3...54,3 %.

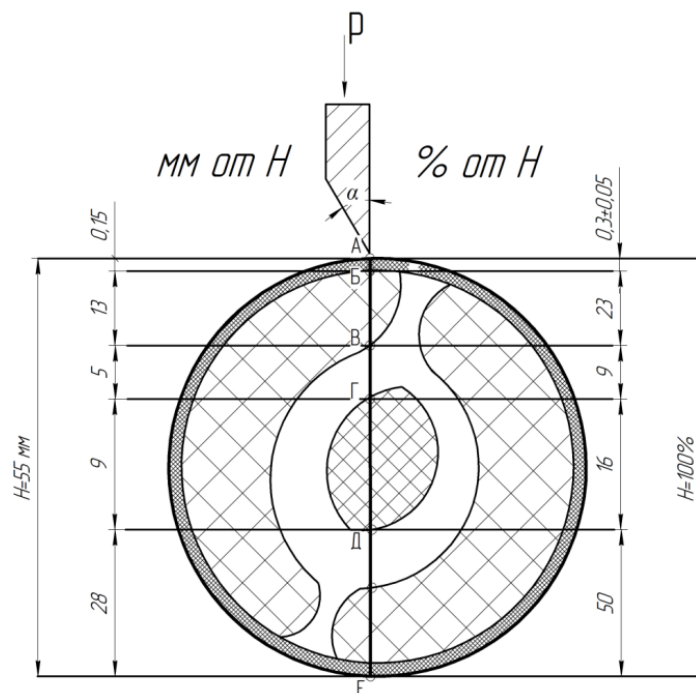


Рис. 4. Вид плода лимона в разрезе

Имея в виду особенность построения плода лимона, необходимо отметить области ВГ (альбеда) и ГД (внутренняя мякоть, семечки, семечковые камеры), которые вызывают добавочное сопротивление углублению ножа вглубь структуры плода. Учитывая рассмотренные данные, можно выделить три основных фактора, влияющих на усилие при резании плода лимона: скорость резания, сдвиг ножей по горизонтали относительно плода лимона, а также возможность попадания твердых косточек [2].

В ходе исследования процесса рубящего резания варьировались углы заточки лезвийного инструмента от 10 до 90°. Согласно эксперименту, соблюдая рандомизацию, определялся номер опыта и соответствующее значение параметров. Для получения более точных результатов проводились повторные опыты, из которых исключали те результаты, которые сильно отличались от средней выборки.

При увеличении угла заточки лезвия ножа от 10 до 35° отмечается увеличение работы, необходимой для процесса разрезания [3]. Для продуктов волокнистой и волокнисто-сетчатой структуры (кожи) зависимость работы от угла заточки лезвия ножа является непрямолинейной и описывается сложными функциями; а для продуктов волокнисто-наполненной структуры (мякоти) она либо прямолинейна, либо близка к ней.

Заключение

В ходе выполнения данной работы была решена задача оптимизации формы режущей кромки ножа в форме критериального соотношения. Изготовлен экспериментальный образец

ножа и проведены его лабораторные испытания. Аналитически получено уравнение, описывающее взаимосвязь между усилием резания, геометрическими параметрами ножа и физико-механическими свойствами измельчаемого материала при его квазистатической деформации. Выполнен анализ влияния различных факторов на энергоемкость процесса резания и выявлены наиболее значимые из них. Получены уравнения для вычисления движущей силы процесса при рубящем резании материала сплошного сечения с учетом его физико-механических характеристик и основных геометрических параметров режущего инструмента. Составлены силовая схема резания материала ножом и схема его деформирования в динамике.

Разработана обобщенная классификация разновидностей механического резания плодоовощного сырья. Показано, что различия в существующих классификациях связаны с многообразием факторов, характеризующих процесс, определяющими из которых являются особенности кинематики взаимодействия лезвия режущего инструмента и материала [1]. Разработана конструкция аппарата для резки плодов и овощей, близких к сферической форме, защищенная патентом РФ на изобретение, изготовлена его опытно-конструкторская модель.

Внедрение в производство устройства для резки плодов и овощей с выбранной конструкцией лезвийного инструмента позволит снизить потери и повысить выход готового продукта за счет уменьшения энергопотребления и снижения трудозатрат в момент разрезания плода, а также за счет выбора оптимальной формы ножа. Аппарат имеет компактную конструкцию и может быть использован в качестве узла в более сложном оборудовании в пищевой промышленности, а также как самостоятельный компактный аппарат для производства безалкогольных газированных напитков.

Публикации

1. *Верболоз Е.И., Кондратов А.В., Кравцова Е.В.* Возможные пути совершенствования измельчителя для фруктов и овощей [Электронный ресурс] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. № 4 (18). URL: www.processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10711.pdf (дата обращения: 21.09.2015).
2. *Алексеев Г.В., Кравцова Е.В.* Особенности влияния взаимодействия сырья и рабочих органов в аппарате на тонкое измельчение фруктов и овощей [Электронный ресурс] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. № 2 (16). URL: www.processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10664.pdf (дата обращения: 21.09.2015).
3. *Кравцова Е.В.* Устройство для измельчения фруктов и овощей // VI Международная научно-практическая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: материалы конференции. СПб., 2013. С. 324–327.
4. *Кравцова Е.В., Минаева Л.В., Минаева Т.В.* Установка для резки на части плодов и овощей близких к сферической форме // Поколение будущего: взгляд молодых ученых: материалы 2-й Международной молодежной научной конференции. В 6-и томах. Т. 6. Курск, 2013. С. 156–158.
5. *Кравцова Е.В., Минаева Л.В., Минаева Т.В.* Применение инновационных технологий в пищевой промышленности для эффективного измельчения плодов и овощей // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Бийск, 2013. С. 371–374.
6. *Кравцова Е.В.* Повышение эффективности процесса измельчения путем подбора оптимальных геометрических параметров лезвийного инструмента // VI Международная научно-практическая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: материалы конференции. СПб., 2013. С. 103.
7. Патент на полезную модель РФ 131996 «Устройство для измельчения фруктов и овощей», опубл. 10.09.2013.

8. Патент на полезную модель РФ 138201 «Устройство для резки на части плодов и овощей», опубл. 10.03.2014.

Литература

1. Бондаренко В.А. Обеспечение качества и улучшение характеристик режущих инструментов. М., 2000. – 142 с.
2. Гуць В., Губеня А. Определение усилия резания продуктов с разными структурно-механическими свойствами // Научни трудове на УХТ. 2010. Т. 57. № 2. С. 411–416.
3. Львов Д.Л. Совершенствование процесса скользящего резания пищевых полуфабрикатов пластинчатыми ножами: автореф. дисс. канд. техн. наук. Кемерово, 2009. – 24 с.



Кривошеев Сергей Владимирович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра мехатроники
E-mail: krivosheev.sergey89@gmail.com

РАЗРАБОТКА РЕАБИЛИТАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕЛКОЙ МОТОРИКИ РУК ЛЮДЕЙ, ПОСТРАДАВШИХ ОТ ИНСУЛЬТА

С.В. Кривошеев

Научный руководитель – доцент С.С. Резников

Данный проект направлен на создание современного реабилитационного комплекса для восстановления мелкой моторики рук для людей, пострадавших от инсульта. Данная проблема является актуальной в первую очередь потому, что только в России около 400 тысяч людей ежегодно страдают от данного недуга. После первичной реабилитации около 250 тысяч остаются жить в частично дееспособном состоянии. Одна из наиболее важных задач человека [1] – умение обслуживать себя, осуществлять основные функции по захвату объектов и манипулированию ими. Чаще всего процесс реабилитации заканчивается на восстановлении возможностей садиться, медленно ходить и сгибать/разгибать локти. Однако для полноценного самообслуживания человеку необходимо восстановление мелкой моторики рук, что позволит в конечном счете осуществлять манипуляцию небольшими объектами, с которыми пациент сталкивается каждый день. В основе проблемы с мелкой моторикой чаще всего лежит нарушение связи между нервной системой и мышцами супинаторами/пронаторами [2]. Преодолеть эту проблему планируется с помощью использования игрового программного обеспечения (ПО) и применения поверхностной электромиографии. Внимание, которое пациент будет уделять навязанному движению, позволит задействовать поврежденные отделы мозга, что будет благотворно сказываться на скорости процесса реабилитации [3].

Первый этап работ связан с разработкой конструкции устройства. Первоначально планировалось скопировать существующий зарубежный аналог [4, 5, 6]. Трехмерная модель полученного механизма приведена на рис. 1. Палец приводится в движение линейными актюаторами, которые заставляют двигаться основное звено, оказывающее давление на дистальную и медиальную фаланги. Через систему дополнительных связей оно передает

движение другому элементу, который в свою очередь осуществляет сгибание проксимальной фаланги.

Однако у этого варианта конструкции было выделено сразу несколько недостатков. Первый и один из наиболее серьезных: при использовании аддитивных технологий производства (3D-печать) возникали перекосы конструкции, которые приводили к тому, что невозможно было осуществить движение устройства, а кроме этого его сборка оказалась крайне сложной и неудобной. Вторым не менее важным недостатком являлось то, что сгибание выполнялось на небольшой угол, далекий от физиологического крайнего положения пальцев при сгибании. Этот критерий был выделен при анализе существующих решений, которые представлены на рынке реабилитационных устройств. Кроме этого данная конструкция оказалась ресурсозатратной с учетом дальнейшего выхода в серийное производство, которое планируется осуществить к середине 2016 года после проведения всех сопутствующих сертификационных и патентных процедур.

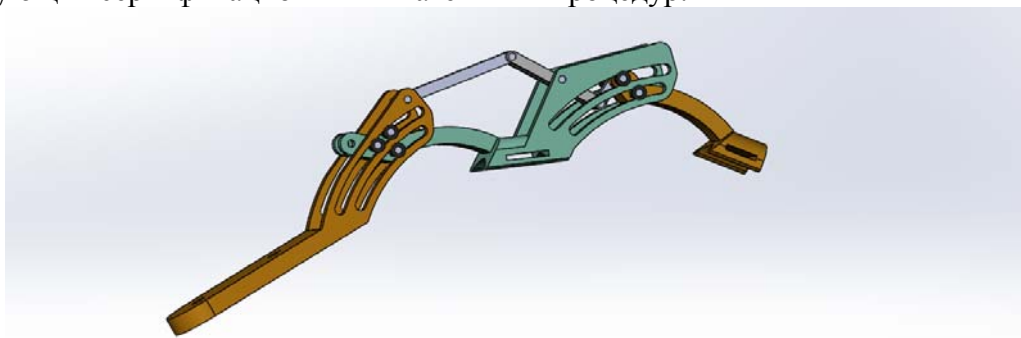


Рис. 1. Первый вариант конструкции устройства

Следующим этапом работы была переработка конструкции, повышение технологичности изготовления деталей и упрощение сборки реабилитационного устройства. Первоначально была проведена работа по прорисовке примерной кинематической схемы при заданных геометрических параметрах. Результаты приведены на рис. 2.

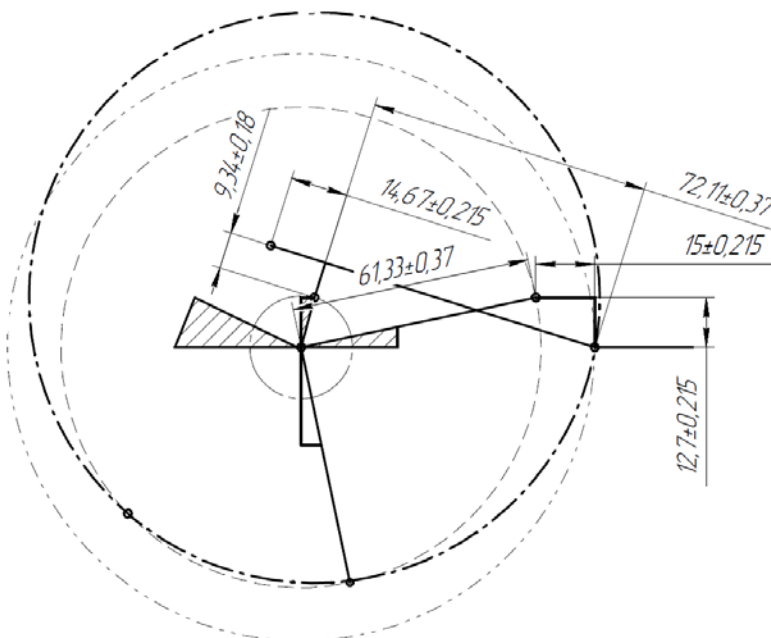


Рис. 2. Примерная кинематическая схема с указанием геометрических параметров устройства

Далее в программе «Компас» были определены основные геометрические размеры, на которые решили опираться при создании трехмерных моделей, а также способ реализации

движения. После этого в среде SolidWorks было выполнено моделирование создаваемого объекта. Получившуюся модель вы можете увидеть на рис. 3. Подход к реализации конструктивной схемы остался прежним: на один палец предполагается один линейный актюатор, однако существенно изменился способ передачи движения. Оно передается через коромысло, жестко закрепленное с валом актюатора, а также с нижней точкой зацепления звена, действующего на дистальную фалангу. При выдвижении оси актюатора изменяется положение и угол наклона звена, отвечающего за дистальную фалангу. Влияние на медиальную фалангу оказывается через среднее звено, которое напрямую не взаимодействует с актюатором, или коромыслом, а выполняет роль ограничителя между базовым звеном и звеном, действующим на дистальную фалангу.

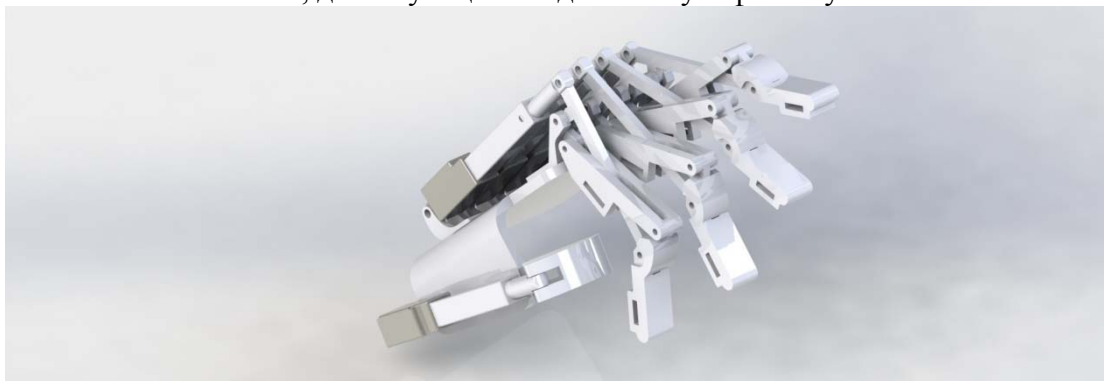


Рис. 3. Рендер трехмерной модели прототипа

Разработанные элементы были изготовлены на лазерном режущем станке с помощью 3D-принтера, ABS-пластика и технологии наплавки. В общей сложности изготовление деталей заняло не больше двух суток. После сборки были выявлены некоторые неудобные места, которые будут устранены в следующих версиях устройства. Результаты изготовления можно увидеть на рис. 4.



Рис. 4. Собранный прототип устройства

Для осуществления движения устройства необходимо было подобрать линейные актюаторы. Выбор пал на актюаторы одной канадской фирмы. Они отвечают следующим параметрам: небольшой вес (56 г – один двигатель), большая длина хода штока (50 мм), небольшое электропотребление (12 В), интегрируемость с популярными платформами open-source (Arduino). В процессе подключения возникали некоторые опасения, что не удастся

управлять с помощью всего одной Arduino Uno сразу пятью подобными двигателями, но сомнения были развеяны. Однако оказалось, что ход штока в 50 мм избыточен, и в дальнейших версиях планируется использование актюаторов с меньшим ходом. Это повысит компактность конструкции и облегчит ее.

Управление в прототипе устройства осуществляется с помощью двух кнопок, которые подключены к Arduino через макетную плату. Одной кнопкой необходимо выбрать режим работы, а второй – его запустить. Режимы работы пальцев: совместное сгибание и последовательное одного за другим.

Алгоритм работы сводится к следующему – после запуска программа циклично выполняет ряд повторений на сгибание-разгибание. В первом режиме происходит сгибание всех пяти пальцев одновременно на заранее запрограммированный угол. Во втором режиме происходит сгибание сначала большого пальца n -ое количество раз, затем указательного n -ое количество раз и так далее. Угол сгибания, так же как в первом режиме работы, должен быть определен заранее. В процессе реабилитации в зависимости от стадии, на которой находится пациент этот угол может быть как увеличен, так и уменьшен. Кроме этого, данные двигатели позволяют осуществлять сгибание/разгибание с разной скоростью, однако эти возможности будут внедрены в более поздней версии.

В дальнейшей версии устройства планируется реализовать управление тренировочным процессом с помощью поверхностной электромиографии. Уже проведена работа по подключению Arduino к системе MatLab для обработки данных с сенсоров в режиме реального времени, а также написано несколько программ, позволяющих отследить возмущение, вызванное изменением мышечного потенциала. Однако вопрос с реализацией этого подхода связан с некоторыми финансовыми причинами, затрудняющими приобретение необходимых датчиков.

Дальнейшим этапом разработки устройства является проработка игрового режима тренировки, что повысит заинтересованность пациента и облегчит монотонный процесс восстановления. На данном этапе начата разработка программного обеспечения (ПО), которое поможет лечащему врачу и пациенту ориентироваться в среде, а также будет дополнительно аудиально мотивировать пациента к сосредоточению внимания на процессе реабилитации.

Заключение

Планируется разработать устройство для реабилитации людей после инсульта с системой управления с помощью поверхностной электромиографии. Предполагается ввести в него один из режимов силовой тренировки с преодолением порогового значения, а также блок, отвечающий за наблюдение за давлением пальцев пациента на элементы устройства. Этот вариант не будет содержать игровое ПО. Его планируется ввести после проведения финальных тестирований по эффективности метода.

Далее планируется собрать тестовую группу и провести испытания в связке с медицинскими специалистами для подтверждения эффективности данного метода реабилитации и сравнения его с традиционными. Следующим этапом предполагается интеграция системы управления с миографией и разработка игрового ПО.

Публикации

1. *Borisov I.I., Krivosheev S.V., Oleinik R.V., Reznikov S.S.* Development of design, control system and feedback system of electromechanical hand // Closing Conference of the Project «Doctoral School of Energy and Geotechnology II». 2015. P. 181–182.
2. *Кривошеев С.В., Орманов Д.Р.* Управление моделью многозвеного манипулятора с помощью значения электрических токов, снятых с поверхности руки // Автоматизация и современные технологии. 2014. № 2. С. 41–44.

3. *Кривошеев С.В.* Оптимизация движения с помощью решения обратной задачи кинематики для твёрдотельной модели многозвенного манипулятора в среде Matlab методом перебора // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 12. С. 20–22.

Литература

1. *Енифанов В.А., Енифанов А.В.* Реабилитация в неврологии. М., 2015. – 416 с.
2. *Nijland R.H., van Wegen E.E. et al.* Presence of finger extension and shoulder abduction within 72 hours after stroke predicts functional recovery: early prediction of functional outcome after stroke: the EPOS cohort study // Stroke. 2010. Vol. 41. No 4. P. 745–750.
3. *Barclay-Goddard R.E., Stevenson T.J. et al.* Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke // Cochrane Database of Systematic Reviews. 2011. No 5. P. CD0005950.
4. *Chiri A., Giovacchini F. et al.* Design of a hand exoskeleton (HANDEXOS) for the rehabilitation of the hand // Gerontechnology. 2008. Vol. 1. P. 1106–1111.
5. Hand of Hope [Electronic resource] // Rehab-Robotics [Official website]. URL: www.rehab-robotics.com/intro.html (accessed: 18.07.15).
6. *Rahman A., Al-Jumaily A.* Design and development of a bilateral therapeutic hand device for stroke rehabilitation // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2013. Vol. 10. P. 1028–1034.



Львов Александр Александрович
Факультет технологического менеджмента и инноваций
Кафедра социальных и гуманитарных наук
E-mail: camenes@yandex.ru

АНТРОПОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СУБЪЕКТА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

А.А. Львов

Научный руководитель – доцент С.В. Полатайко

Концепция постиндустриального общества получила свое развитие в связи с продуктивными исследованиями в области политологии, экономики и информатики. Уже к началу XXI века информация понимается как универсальная единица, ставшая предметом как экономических, так и социально-политических и даже культурных отношений в мировом сообществе. Следовательно, необходимо было предложить такую теорию, в которой информация занимала бы центральное место и определяла порядок вновь устанавливающегося положения вещей в мире.

Такой проект получил название информационного общества. В нем информация рассматривается уже помимо детерминации какими бы то ни было историческими формациями, или производственными отношениями, или культурными особенностями данного конкретного региона, а именно как некоторое универсальное условие существования нового порядка вещей, актуальной политической и социологической перспективы. В этом отношении информационное общество не только становится ведущей социально-критической теорией, но и развивает предложенный создателями концепции постиндустриального общества политический аспект. Как считал американский

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

исследователь Д. Белл, эта концепция постиндустриального общества предполагает, что существует общее ядро проблем, которое главным образом обнаруживается в отношениях науки к общественной политике. Более того, с этой точки зрения постиндустриальное общество оказывается одним из «упорядочивающих устройств» (ordering devices) в условиях изменяющейся общественной структуры стран Запада [1].

Отсюда видно, как информационное общество, в котором именно операции с информацией и ее доступность становятся необходимым и достаточным условием социокультурного и даже политико-экономического исследования, становятся в наше время объектом пристального внимания ведущих зарубежных и отечественных специалистов в области общественных и гуманитарных наук. Однако поскольку именно социологическая сторона этой проблемы оказывается отлично разработанной, предложены продуктивные исследовательские стратегии к описанию характеристических свойств общественного устройства мира информации. Отдельный и, на наш взгляд, объективный интерес представляет исследование антропологического аспекта существования информационного общества.

Положение вещей в «мировой деревне» в условиях принципиально возможного всеобщего доступа к новейшим технологическим и политическим разработкам, при которых «быть» означает быть представленным в системе глобальной информационной сети, не может не затронуть человека в качестве субъекта, обнаруживающего себя и свое место в них. Неоднократно отмечалось, что классический проект новоевропейской субъектности, описанный основоположниками Нового времени, критикуется и деконструируется в работах ведущих представителей современной философии. Тем не менее сама проблема субъекта современности не упраздняется, но переосмысливается и уточняется в связи с антропологическим вектором актуальных философских исследований (имеются в виду прежде всего работы постструктуралистов – М. Фуко, Ж. Бодрийяра, Ж. Делеза и пр.), и именно этим обуславливается актуальность такого рода исследования.

Кроме того, новый порядок мира не только объективно выстаивается и формируется вследствие успешных социально-политических проектов или технологических преобразований действительности, но и наблюдается субъектом этого мира, образуя своеобразную, отличную от любого иного порядка картину. Мы имеем в виду складывающийся в рамках актуальных общественных преобразований тип мировоззрения, который не мог быть присущ классической эпохе (XVI–XVIII веков) или эпохе XIX–XX столетий. Эпистема современности, на наш взгляд, предлагает не только своеобразный антропологический аспект проблемы субъективности, но и требует обоснования этого мировоззрения, которое позволяет каждому включенному в информационное общество индивиду обнаружить себя в адекватном ему дискурсивном пространстве и свободно ориентироваться в нем.

В качестве основного мы избрали археологический метод, разработанный М. Фуко в ряде его трудов. Исследование проблемы субъекта в том качестве, в котором она представлена в трудах авторов, критически относящихся к классической субъект-объектной парадигме, требует выявления неперенных дискурсивных связей, которые позволяют нам говорить о методологической легитимности постановки ее в рамках информационного общества. М. Фуко в ряде своих работ (например, «История безумия в классическую эпоху», «Рождение клиники», «Слова и вещи», «Археология знания») показал, что археологический метод, с одной стороны, позволяет обнаруживать исторические преемственности различным дискурсивным практикам внутри единой эпистемы, с другой же – ограничивать их на основании констелляции данного конкретного дискурса, в принципе отличного от любого другого, имеющего собственное историческое а priori [2]. Таким образом, само наше исследование становится в известном смысле методологическим проектом по восстановлению пехус'ов (в терминах М. Фуко) – «связок» антропологического дискурса в неклассической философской традиции.

Проект археологии субъекта информационного общества является одновременно и методологически, и теоретически значимым, и по его итогам мы получили два главных результата. С одной стороны, нам удалось обнаружить, что, несмотря на установку по ликвидации «человека как суверенного субъекта» [3] из поля зрения археолога гуманитарного знания, именно антропологическая проблематика конституирует индивид в качестве смыслообразующего феномена коммуникации в глобальном пространстве информационной сети. С другой стороны, мы выявили дискурсивные связи, позволяющие обосновать антропологический аспект с точки зрения его преемственности с неклассическим философским дискурсом как таким, который направлен, в том числе и на деконструкцию и децентрализацию рациональных властных отношений. При этом идеология постиндустриального общества становится залогом включенности субъекта в его политическую репрезентацию как в свой особый жизненный мир (Lebenswelt).

Кроме того, мы показали, что «общество знания», сложившееся в рамках глобальной информационной сети, становится эффективным только за счет сведения своего субъекта к определенной одномерности. Субъект оказывается здесь в двояком положении: он должен стать одновременно собой и другим, причем таким другим, который фактом своей представленности в сети сообщает ему самому осмысленное существование. Однако это невозможно без регулирующего принципа, которым руководствуется любой способ репрезентации, известный нам со времен древних стоиков. Логическое или онтологическое основание всякой рациональной деятельности всегда имеет под собой особый способ соотнесенности с некоторым третьим, причем именно это третье сообщает такой соотнесенности истинностный статус. Если человек может наблюдать порядок мира, но одновременно и быть включенным в этот мир, в котором *в том числе* и он как автор способен производить истину, необходимо искать конституирующий принцип истинностных отношений в нем самом. Таким образом, оказывается, что антропологическая характеристика субъекта информационного общества является регулирующим принципом, дающим миру как полноту, так и правило порядка в нем.

Публикации

1. *Львов А.А.* Формирование понятия мировоззрения в немецкой классической философии // Вестник МГТУ: труды Мурманского государственного технического университета. 2014. Т. 17. № 4. С. 693–697.
2. *Львов А.А.* Аватар как природа субъекта современного общества и образования // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: сборник материалов VI Международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.). 2013. С. 781–782.
3. *Львов А.А.* Стоические основания новоевропейской субъектности [Электронный ресурс] // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2015». М., 2015. 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM).

Литература

1. *Bell D.* The post-industrial society: the evolution of an idea // Survey. 1971. Vol. 17. P. 102–168.
2. *Фуко М.* Слова и вещи. Археология гуманитарных наук. М., 1977. – 406 с.
3. *Дьяков А.В.* Мишель Фуко и его время. СПб., 2010. – 672 с.



Мелихова Алина Семеновна
Факультет естественных наук
Кафедра высшей математики
E-mail: alina.s.melikhova@gmail.com

О СПЕКТРЕ ЦЕПОЧКИ СЛАБО СВЯЗАННЫХ НАНОРЕЗОНАТОРОВ С ОДНОКРАТНЫМ ИЗЛОМОМ В СЛУЧАЕ ДЕЛЬТА-ШТРИХ СОЕДИНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЦЕПОЧКИ

А.С. Мелихова

Научный руководитель – профессор И.Ю. Попов

Введение

Ряд экспериментальных работ [1–4] описывает процесс создания и свойства систем, представляющих собой нанотрубку, заполненную молекулами фуллерена. Естественно возникает задача создания математической модели для описания и предсказания свойств подобных структур.

Данный проект можно рассматривать как продолжение большой работы, посвященной изучению спектральных свойств гибридных систем типа цепочек слабо связанных резонаторов. Интерес к этой теме у автора возник после изучения работ экспериментаторов, а также результатов, полученных для квантовых графов типа цепочек различной конфигурации (например, [5–7]).

Основной целью данного проекта является изучение спектра оператора построенной в рамках теории расширений модели цепочки с однократным изломом в случае наличия условия δ' -соединения в точках сочленения резонаторов и условия Неймана на их границе. А именно нас будет интересовать структура непрерывного и дискретного спектра в зависимости от параметров системы как геометрических (угле излома цепочки), так и физических (интенсивности соединения β).

Постановка задачи и построение модели

Рассмотрим бесконечную цепочку нанорезонаторов, допускающую однократный излом под углом γ (рис. 1а). Элементарной ячейкой цепочки является шар (не умаляя общности, будем считать, что это шар единичного радиуса).

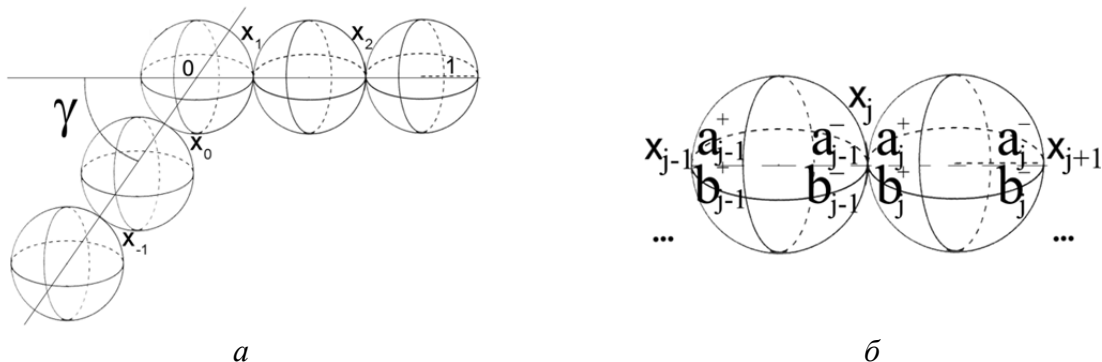


Рис. 1. Схема цепочки: а – фрагмент цепочки, содержащий излом; б – прямой участок цепочки

В данной работе рассматривается стационарное уравнение Шредингера:

$$\hat{H}(\mathbf{x})\psi(\mathbf{x}) = \lambda \psi(\mathbf{x}),$$

описывающее стационарные состояния нерелятивистской бесспиновой частицы, находящейся в описанной выше системе.

Для простоты все дальнейшие рассуждения будем проводить в системе измерений, в которой $\hbar = 2m = 1$. Опишем Гамильтониан в рамках теории самосопряженных расширений симметрических операторов [8]. В выбранной системе измерений исходный оператор может быть представлен в виде ортогональной суммы неймановских Лапласианов:

$\hat{H} = -\Delta = - \bigoplus_{j=-\infty}^{\infty} \Delta_j$, где $-\Delta_j \in L_2(\Omega_j)$. Далее сузим оператор $-\Delta$ на множество всех гладких функций из области определения $D(-\Delta)$, которые обращаются в нуль в точках соединения резонаторов $\mathbf{x}_j$. Это сужение $-\Delta_0$ исходного оператора является симметрическим оператором с индексами дефекта (∞, ∞) , а роль дефектных элементов играют функции Грина $G(\mathbf{x}, \mathbf{x}_j, \lambda)$. Область определения $D(-\Delta_0^*)$ сопряженного оператора представима в следующем виде:

$$D(-\Delta_0^*) = D(-\Delta_0^F) \dot{+} N_{\lambda_0},$$

где $D(-\Delta_0^F)$ – это расширение по Фридрихсу оператора $-\Delta_0$, а N_{λ_0} – это дефектное подпространство, соответствующее регулярному значению λ_0 [9].

В случае, когда у нас есть только два резонатора, соединенных в точке $\mathbf{x}_0$, функция f из $D(-\Delta_0^*)$ представима в следующем виде:

$$f = \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1^0 + a_1^- G_1(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0, \lambda_0) + b_1^- \\ f_2^0 + a_2^+ G_2(\mathbf{x}, \mathbf{x}_0, \lambda_0) + b_2^- \end{pmatrix},$$

где $f_i^0 \in D(-\Delta_0)$ ($i = 1, 2$), а a_1^- , a_2^+ , b_1^- , b_2^+ – это некоторые коэффициенты.

В случае бесконечной цепочки функция из области определения сопряженного оператора описывается аналогичным образом, а соответствие коэффициентов $a_j^\pm$ и $b_j^\pm$ точкам сочленения резонаторов $\mathbf{x}_j$ представлено на рис. 1б. Самосопряженное расширение $-\Delta^*$ нашего симметрического оператора, с учетом наличия условия δ' -соединения с константой связи β , можно получить, выбрав следующее соотношение между коэффициентами $a_j^\pm$, $b_j^\pm$:

$$\begin{cases} a_j^+ + a_{j-1}^- = \beta b, \\ b_j^+ = b_{j-1}^- = b. \end{cases} \quad (1)$$

В данном проекте используется метод трансфер-матриц (или метод матриц монодромии). Такая матрица позволяет транслировать решение с одной ячейки цепочки на другую, выражая связь коэффициентов $a_j^\pm$ с $a_{j-1}^\pm$. Кроме того, анализ трансфер-матрицы позволяет исследовать спектр исходной системы.

Спектральный анализ системы

Выделим несколько случаев в зависимости от параметров β и γ .

Спектр Гамильтониана в случае свободного движения частицы является частным случаем задачи, рассматриваемой в [10, 11], и может быть описан следующим образом:

Теорема 1. Существенный спектр модельного Гамильтониана для цепочки слабо связанных шарообразных резонаторов с изломом под углом $0 \leq \gamma \leq 2\pi/3$ и так называемыми свободными граничными условиями ($\beta = 0$) состоит из непрерывного спектра, имеющего зонную структуру, и собственных значений бесконечной кратности. Границы зон определяются условием:

$$\left| \frac{\lim_{x \rightarrow x_j} (G(x, x_j, \lambda) - G(x, x_j, \lambda_0))}{G(x_j, x_{j+1}, \lambda)} \right| = 1, \text{ где } j \geq 1.$$

Дискретный спектр модельного оператора для прямой цепочки пуст; для цепочки с изломом ($0 \leq \gamma \leq 2\pi/3$) значение дискретного спектра λ является решением системы:

$$\begin{cases} G^2(x_j, x_{j+1}, \lambda) = G^2(x_0(\gamma), x_1, \lambda), \\ \left| \frac{\lim_{x \rightarrow x_j} (G(x, x_j, \lambda) - G(x, x_j, \lambda_0))}{G(x_j, x_{j+1}, \lambda)} \right| > 1, \\ j \geq 1. \end{cases}$$

В случае нетривиального δ' -соединения (то есть $\beta \neq 0$) непрерывный спектр имеет зонную структуру, полностью описываемую следующим условием:

$$\left| \beta G + \frac{1-X^2}{\beta G} \right| \leq 2, \quad (2)$$

где $X = 1 - \beta g$, $g = \lim_{x \rightarrow x_j} (G(x, x_j, \lambda) - G(x, x_j, \lambda_0))$, $G = G(x_j, x_{j+1}, \lambda)$ (для $j \neq 0$) – функция Грина.

Границы первой зоны могут быть найдены аналитически в предельном случае $\lambda \rightarrow -0$.

Дискретный спектр находится как решение следующей задачи:

$$\begin{cases} \frac{G^2(1-4\beta g+2\beta^2(2g^2-Z^2)+\beta^3g(Z^2-g^2))-Z^2(1+\beta^2g^2(\beta g-2))}{GZ} + \frac{\beta g^3(\beta g-2)^2}{GZ} = 0, \\ \left| \beta G + \frac{1-X^2}{\beta G} \right| > 2, \\ Z = G(x_0(\gamma), x_1, \lambda). \end{cases} \quad (3)$$

Результаты численного моделирования

Расчет с использованием ЭВМ позволяет найти значения границ непрерывного спектра для различных значений параметров системы: силы потенциала β и угла изгиба цепочки γ .

На рис. 2 приведена зависимость расположения первой зоны непрерывного спектра и значения бесконечной кратности от силы потенциала. Видно, что ширина зоны сильно зависит от значения потенциала β .

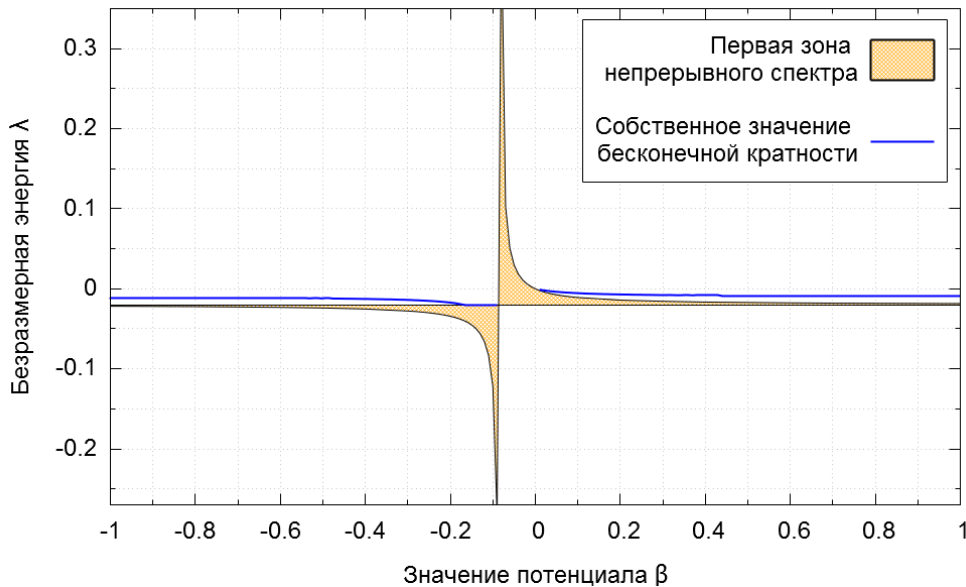


Рис. 2. Первая спектральная зона и значение бесконечной кратности для прямой цепочки

На рис. 3 показана структура спектра системы в зависимости от угла изгиба цепочки при фиксированном значении силы потенциала β . Отметим, что в лакуне между первой и второй полосой имеется два значения дискретного спектра. Следовательно,

в рассматриваемой системе могут возникать связанные состояния, что представляет собой практический интерес данной работы.

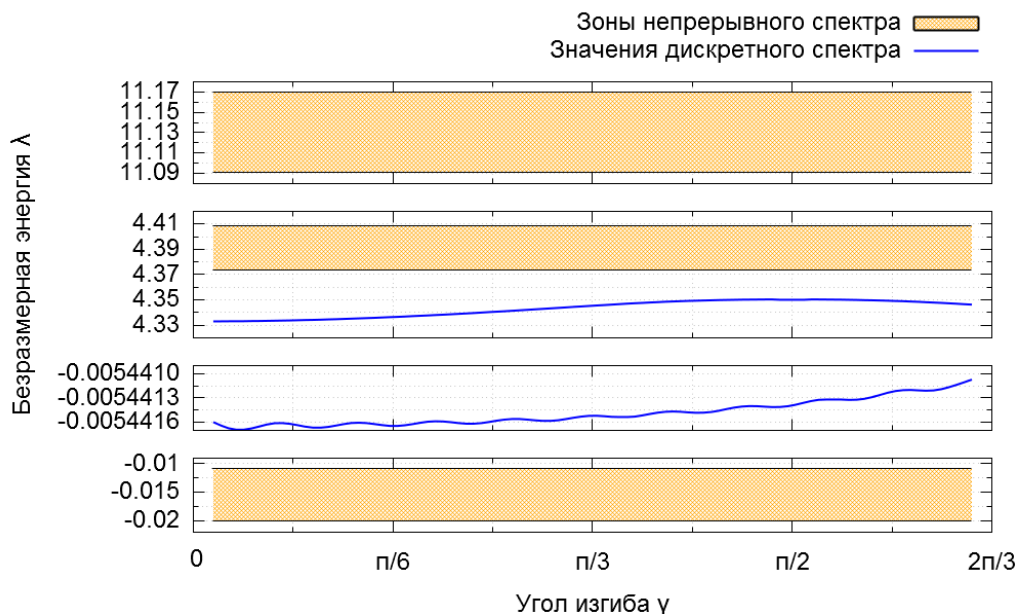


Рис. 3. Структура спектра в зависимости от угла изгиба цепочки при $\beta = 0,1$

Заключение

Данная работа, являясь теоретической, может быть использована для построения реальной физической системы с заранее определенными свойствами, так как приведенная математическая модель позволяет найти параметры системы, которые обеспечат требуемые спектральные свойства реальной системы.

В дальнейшем на основе этой математической модели можно разработать процедуру для описания спектра систем более сложной геометрической конфигурации, что позволит конструировать все более нетривиальные реальные физические системы.

Публикации

1. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочек слабо связанных шарообразных резонаторов // Наносистемы: физика, химия, математика. СПб., 2012. Т. 3. № 3. С. 23–30.
2. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочек слабо связанных резонаторов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2012. С. 249.
3. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочек слабо связанных шарообразных резонаторов // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ бакалавров НИУ ИТМО. СПб., 2012. С. 13–15.
4. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочек слабо связанных шарообразных резонаторов // XVII Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов: сборник тезисов. СПб., 2012. С. 36.
5. Anikevich A.S. On the spectrum of Y-type chain of weakly coupled conglobated resonators // Mathematical Challenge of Quantum Transport in Nanosystems: Book of Abstracts of the International Conference (Saint Petersburg, March 12–15, 2013). 2013. P. 8.
6. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочек слабо связанных резонаторов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2013. С. 267.
7. Аникевич А.С. Спектральная задача для цепочки слабо связанных шарообразных резонаторов с Y-разветвлением. Случай дельтаобразного соединения // Альманах научных работ молодых ученых. СПб., 2013. С. 24–26.

8. *Anikevich A.S.* Negative eigenvalues of the Y-type chain of weakly coupled ball resonators // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2013. Vol. 4. No 4. P. 545–549.
9. *Anikevich A.S.* Negative eigenvalues of Laplacian for the Y-bent chain of weakly coupled conglobated resonators // *Days on Diffraction 2013: International Conference*. Saint Petersburg, May 27–31, 2013. Abstracts. 2013. P. 17.
10. *Мелихова А.С.* О спектре цепочек слабо связанных шарообразных резонаторов // *Труды студенческого центра прикладных математических исследований*. СПб., 2013. Т. 3. С. 70–79.
11. *Мелихова А.С.* Спектральная задача для Y-разветвленной цепочки слабо связанных шарообразных резонаторов // XVIII Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов: сборник тезисов. СПб., 2013. С. 39.
12. *Мелихова А.С.* Построение математической модели и ее спектральный анализ для изогнутой и разветвленной цепочки нанорезонаторов // *Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых*. Вып. 2. СПб., 2014. С. 290.
13. *Melikhova A.S.* Spectral bands for chain of ball resonators with Dirichlet condition // *Days on Diffraction 2014: International Conference*. Saint Petersburg, May 26–30, 2014. Abstracts. 2014. P. 65–66.
14. *Melikhova A.S., Popov I.Yu.* Bent and branched chains of nanoresonators // *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. Vol. 541. P. 012061.
15. *Melikhova A.S.* Estimates for numbers of negative eigenvalues of Laplacian for Y-type weakly coupled chain of ball resonators // *Mathematical Results in Quantum Mechanics: Proceedings of the QMath12 Conference*. – 2014. P. 325–330.

Литература

1. *Wang Y. et al.* Designed functional systems from peapod-like Co@Carbon to Co₃O₄@Carbon nanocomposites // *ACS Nano*. 2010. Vol. 4. No 8. P. 4753–4761.
2. *Yang Y. et al.* Plasmon absorption of Au-in-CoAl₂O₄ linear nanopeapod chains // *The Journal of Physical Chemistry C*. 2013. Vol. 117. No 27. P. 14142–14148.
3. *Enyashin A.N., Ivanovskii A.L.* Nanotubular composites: modeling of capillary filling of nanotubes of disulfide of molybdenum by molecules of TiCl₄ // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2010. Vol. 1. No 1. P. 63–71.
4. *Abou-Hamad E. et al.* Hydrogenation of C₆₀ in peapods: physical chemistry in nano vessels // 2009. Vol. 113. No 20. P. 8583–8587.
5. *Duclos P., Exner P., Turek O.* On the spectrum of a bent chain graph // *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*. 2008. Vol. 41. No 41. P. 415206.
6. *Popov I.Yu., Smirnov P.I.* Spectral problem for branching chain quantum graph // *Physics Letters A*. 2013. Vol. 377. No 6. P. 439–442.
7. *Popov I.Yu., Skorynina A.N., Blinova I.V.* On the existence of point spectrum for branching strips quantum graph // *Journal of Mathematical Physics*. 2014. Vol. 55. P. 033504.
8. *Павлов Б.С.* Теория расширений и явнорешаемые модели // *Успехи математических наук*. 1987. Т. 42. № 6. С. 99–131.
9. *Бирман М.Ш., Соломяк М.З.* Спектральная теория самосопряженных операторов в гильбертовом пространстве. СПб., 2010. – 464 с.
10. *Аникевич А.С.* Спектральная задача для цепочек слабо связанных шарообразных резонаторов // *Наносистемы: физика, химия, математика*. СПб., 2012. Т. 3. № 3. С. 23–30.
11. *Melikhova A.S., Popov I.Yu.* Bent and branched chains of nanoresonators // *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. Vol. 541. P. 012061.



Миняев Андрей Анатольевич
Институт комплексного военного образования
Кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз
E-mail: minyaev.a@gmail.com

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

А.А. Миняев

Научный руководитель – доцент М.Ю. Будько

Цель проекта – разработка методики оценки эффективности системы защиты информационной системы персональных данных за счет использования методов обработки трудно формализуемых данных предметной области.

Задачи:

- анализ требований по защите персональных данных, обрабатываемых в информационных системах;
- анализ характеристик систем защиты персональных данных информационных систем;
- выработка критериев для оценки эффективности системы защиты персональных данных информационной системы;
- разработка методики оценки эффективности системы защиты персональных данных информационной системы за счет использования методов обработки трудно формализуемых данных предметной области.

При оценке эффективности системы защиты персональных данных информационной системы возникает ряд трудностей, связанных с проблемами формализации предметной области. Это обусловлено разнообразием информационных технологий и программных средств, используемых при создании системы защиты персональных данных информационной системы. В связи с этим для оценки системы защиты применены экспертные оценки качественных характеристик [1].

Методы теории нечетких множеств позволяют получать аналитические выражения для количественных оценок нечетких условий принадлежности элементов к тому или иному множеству [2].

В предложенной методике предлагается оценивать разработанный в соответствии с ГОСТ 34.201-89 [3] технический проект по созданию информационной системы.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ характеристик системы защиты персональных данных информационной системы оператора связи ООО «ЮНИС». В качестве критериев оценки системы защиты выбраны документы технического проекта:

- пояснительная записка к техническому проекту;
- схема организационной структуры;
- схема комплекса технических средств;
- схема функциональной структуры;
- схема автоматизации;
- описание программного обеспечения;
- план расположения;
- описание технологического процесса обработки информации;
- описание настроек средств защиты информации.

Оценка эффективности (W) рассчитывается следующим образом:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^m X_j}{m}; 0 \leq W \leq 1, \quad (1)$$

где X_j – выполнение требования одного из критериев, $j=1, m$; m – перечень показателей. Требование выполнено $X_j = 1$, требование не выполнено $X_j = 0$.

Оценку эффективности также можно рассчитывать с учетом важности выполнения требований:

$$W = \sum_{j=1}^m x_j a_j; 0 \leq W \leq 1, \quad (2)$$

где $0 \leq a \leq 1$; $\sum_{j=1}^m a_j = 1$, a – коэффициент важности требования.

При этом предполагается, что минимальное значение оценки эффективности принятых мер, при которой считается, что элемент системы соответствует эталонному, устанавливается экспертной комиссией [4].

Данная методика была применена при проведении оценки эффективности системы защиты персональных данных информационной системы оператора связи ООО «ЮНИС».

Практическая значимость разработанной методики определяется тем, что она позволяет проводить процесс оценки соответствия системы защиты персональных данных информационной системы с учетом трудно формализуемых данных, а также повысить объективность и корректность оценки, сократить сроки ее проведения. Накопленные результаты могут быть использованы для осуществления анализа, сопоставления и их сравнения, а также для поддержки принятых решений по выбору защитных мер.

Данную методику можно использовать для оценки эффективности систем защиты информации распределенных информационных систем любого уровня принадлежности.

Заключение

В данной работе проведен анализ требований по защите персональных данных, предъявляемых к информационным системам, а также анализ характеристик системы защиты персональных данных информационной системы на примере оператора связи ООО «ЮНИС». Предложены критерии оценки и разработана методика оценки эффективности системы защиты персональных данных информационной системы за счет использования методов обработки трудно формализуемых данных предметной области.

Публикации

1. Миняев А.А., Грузинский А.М. Анализ средств защиты информации от несанкционированного доступа. Рекомендации по их применению в информационных системах // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2015. С. 214–218.

1. Миняев А.А., Бudyко М.Ю. Методика оценки эффективности системы защиты информационной системы персональных данных [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: openbooks.ifmo.ru/ru/file/1139/1139.pdf (дата обращения: 19.09.2015).

2. Миняев А.А., Бudyко М.Ю. Проблемы аттестационных испытаний информационных систем по требованиям безопасности информации // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2014. С. 44–47.

3. Миняев А.А., Бudyко М.Ю. Разработка системы защиты персональных данных оператора связи // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 1. СПб., 2014. С. 310–311.

Литература

1. Гвоздик Я.М. Модель и методика оценки систем защиты информации автоматизированных систем: автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2011. – 21 с.
2. Кофман А.И. Введение в теорию нечетких множеств. М., 1982. – 432 с.
3. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность, обозначения документов при создании автоматизированных систем.
4. Будько М.Ю., Миняев А.А. Проблемы аттестационных испытаний информационных систем по требованиям безопасности информации // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствование образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов IV Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2014. С. 44–47.



Минаева Лидия Викторовна
Факультет пищевой инженерии и автоматизации
Кафедра процессов и аппаратов пищевых производств
E-mail: linya99@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИНАМИЧЕСКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ

Л.В. Минаева

Научный руководитель – профессор Г.В. Алексеев

В работе проводятся исследования процесса динамического измельчения плодов и овощей сферической формы, расчет основных параметров режущего органа и режимов измельчения, создание экспериментальной лабораторной установки для моделирования процесса динамического измельчения, совершенствование рабочего органа устройства при производстве лимонного напитка с мякотью.

Измельчение – это механический процесс, при котором воздействие кромок и фасок лезвия на материал, сопровождающееся его пластичностью, упругостью и вязкостью, имеет первостепенное значение.

Модель упруговязкого тела может быть представлена как конгломерат, состоящий из твердого (упругого или пластического) скелета и жидкого, полужидкого или газообразного вещества, заполняющего промежутки между твердыми элементами. Лимон представляет собой ткани, образованные пространственной волокнистой системой, в полостях которой содержится жидкость.

Для отражения картины поведения плодов лимона под нагрузкой подходит физическая модель, содержащая три последовательно соединенных элемента: E_1 – мгновенной упругости, E_2 – запаздывающей упругости, соединенного параллельно с элементом вязкости, и элемента течения η_1 , соединенного с первыми двумя последовательно.

Логический и математический анализы рассмотренной механической модели упруговязкого материала указывают на ее достаточную физическую обоснованность. Такая

модель позволяет весьма иллюстративно объяснить характер поведения упруговязких материалов в процессе их нагружения [1].

Целью настоящей работы является исследование процесса динамического измельчения плодов и овощей, позволяющее целенаправленно рассчитывать конструктивные параметры, определять области применения и допустимые режимы работы проектируемого аппарата. На основе анализа, экспериментальных и теоретических исследований дать предложения по совершенствованию режимов процесса измельчения и оптимизации технологических параметров режущих органов аппаратов для его реализации. Помимо этого необходимо разработать ряд предписаний по совершенствованию рабочего органа аппарата, используемого при производстве лимонного напитка с мякотью [2].

Анализ параметров режущего органа аппарата в плоскости резания указывает на большое значение формы линии лезвия ножа, которая должна обеспечивать наименьший расход энергии на процесс резания, минимальную неравномерность нагрузки на вал и минимальное защемление материала режущей кромкой по всей рабочей длине лезвия.

Было проведено аналитическое исследование различных форм ножей, используемых для плосковращательных аппаратов, дана оценка их достоинствам и недостаткам и определена целесообразность применения. Из всех криволинейных форм для ножей наиболее предпочтительна форма эксцентрической окружности. С производственной точки зрения она несколько сложнее прямолинейной, но значительно проще других криволинейных форм.

Для разработки формы лезвийного ножа рабочего органа аппарата для динамического измельчения используются следующие формулы и значения:

- уравнение окружности с радиусом R и эксцентриситетом e :

$$R^2 = l^2 + r^2 + 2er \cdot \cos\theta; \quad (1)$$

- оптимальный угол скольжения $\tau = 60^\circ$;
- трансформированный угол заточки $\beta_1 = 7^\circ 38'$;
- формула усилия резания:

$$P_{\text{рез.ср}} = 75 \cdot 10^{-0,00129} \cdot v_{\text{рез}}^{2,26} + 40; \quad (2)$$

- частота вращения рабочего органа $n = 3360$ об/мин;
- скорость резания $v = 10,14$ м/с;
- критическое усилие резания:

$$P_{\text{кр}} = \delta \cdot \sigma_p + \frac{E}{2} \cdot \frac{h^2}{h} \cdot \left[\tan\beta + f \cdot \sin^2\beta + \mu \cdot (f + \cos^2\beta) \right]. \quad (3)$$

Полученные соотношения позволяют на основании свойств измельчаемого продукта и конструктивных параметров устройства для измельчения найти форму линии лезвия аппарата, угол его наклона, угол заточки лезвия, а также проверить прочность выбранной конструкции режущего устройства.

Были проведены исследования, цель которых – проверка правомерности допущений, принятых при проведении теоретических исследований, а также оптимальности работы рассматриваемого устройства. Полученные результаты позволили предложить рекомендации по дальнейшему совершенствованию систем аналогичного типа.

Механическая часть экспериментальной установки выполнена из расчета, что объем готового напитка, приготовленного по рецептуре, составляет 500 мл. Установка состоит из рабочего органа, представляющего собой ножевую головку, закрепленную на валу, который в свою очередь находится в полости дежи, закрепленной на опоре на неподвижном основании.

Первоначально, для проведения процесса измельчения плодов и овощей лезвийными ножами необходимо определить, при каком режиме будут получены наиболее оптимальные выходные параметры процесса. Опыты показали, что существенное влияние на процесс

оказывает количество и время добавляемой воды. Важным критерием является дисперсность измельченного продукта и однородность состава полученного напитка.

С технологической точки зрения процесс приготовления лимонного напитка с мякотью (смузи) может осуществляться тремя способами:

- механическое измельчение – плоды измельчаются без использования жидкости, которая добавляется позже;
- гидромеханическое измельчение – весь процесс выполняется с использованием жидкости;
- комбинированное измельчение – на первых стадиях процесса продукт измельчается без добавления жидкой фазы, после достижения некоторой степени измельчения добавляется вся или часть необходимой по рецептуре жидкости и процесс продолжается в гидромеханическом режиме.

Использование комбинированного способа резко повышает эффективность измельчения, так как фрагменты, образовавшиеся на первом этапе, вовлекаются в движение жидкостью, которая циркулирует под действием насосного эффекта ножа. В результате частицы многократно перемещаются через плоскость резания и интенсивно измельчаются.

После проведения экспериментов по комбинированному измельчению были построены графики зависимости количества частиц, оставшихся на сите, через которое процеживали получившуюся смесь, от времени измельчения (рис. 1).

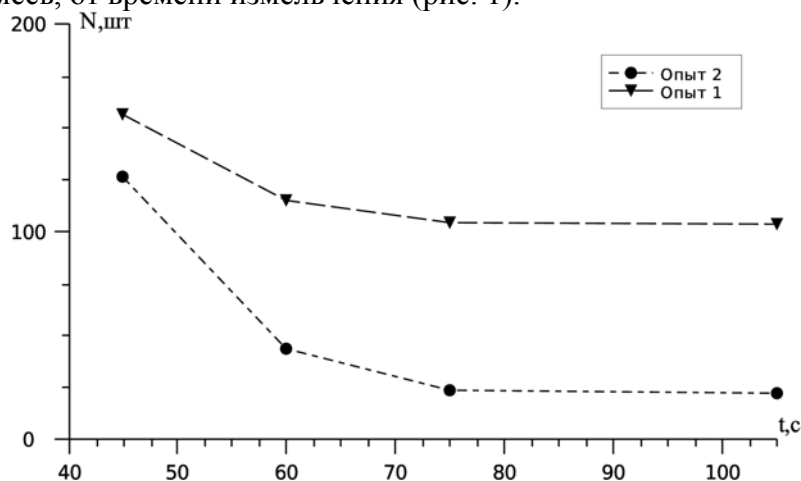


Рис. 1. Зависимость количества частиц, оставшихся на сите, от времени измельчения продукта для случаев комбинированного измельчения

В опыте № 1 на первой стадии эксперимента проводилось механическое измельчение половины лимона с приблизительной массой в 71 г в течение $t_1 = 15$ с. Далее добавлялось 100 мл воды. Затем, изменяя время гидромеханического измельчения лимона, были получены результаты, представленные на рис. 1. Второй опыт отличался от первого только тем, что объем добавляемой воды составлял половину рассчитанного рецептурного значения (192,5 мл)

Анализ полученных результатов показывает, что увеличение количества жидкой фазы улучшает условия измельчения. Это связано с более интенсивной циркуляцией жидкости из-за более глубокого расположения в ней плоскости вращения ножа. Одновременно обнаруживается, что с увеличением времени выше определенного предела (в опытах порядка 75 с) улучшения измельчения практически не происходит [3].

Помимо определения режимов проведения экспериментов, необходимо было рассмотреть влияние входных параметров (частоты вращения ножевой головки, геометрических размеров чаши аппарата для измельчения и количества ножей режущей головки) на выходные – количество частиц, оставшихся после процесса измельчения на сите.

Для определения входных параметров процесса, оказывающих наибольшее влияние на выходные, было выполнено построение нейронной модели экспериментальных

исследований процесса измельчения плодов и овощей лезвийным ножевым органом. Нейронные сети – исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости.

Способность нейронной сети делать точный прогноз на данных, не принадлежащих исходному обучающему множеству (но взятых из того же источника), является обобщением. Обычно это качество сети достигается разбиением имеющихся данных на три подмножества: первое из них используется для обучения сети, второе – для кросс-проверки алгоритма обучения во время его работы и третье – для окончательного независимого тестирования.

Разработка модели производится с помощью программного комплекса NeuroShell 2. Полученные результаты представлены в виде диаграмм (рис. 2).

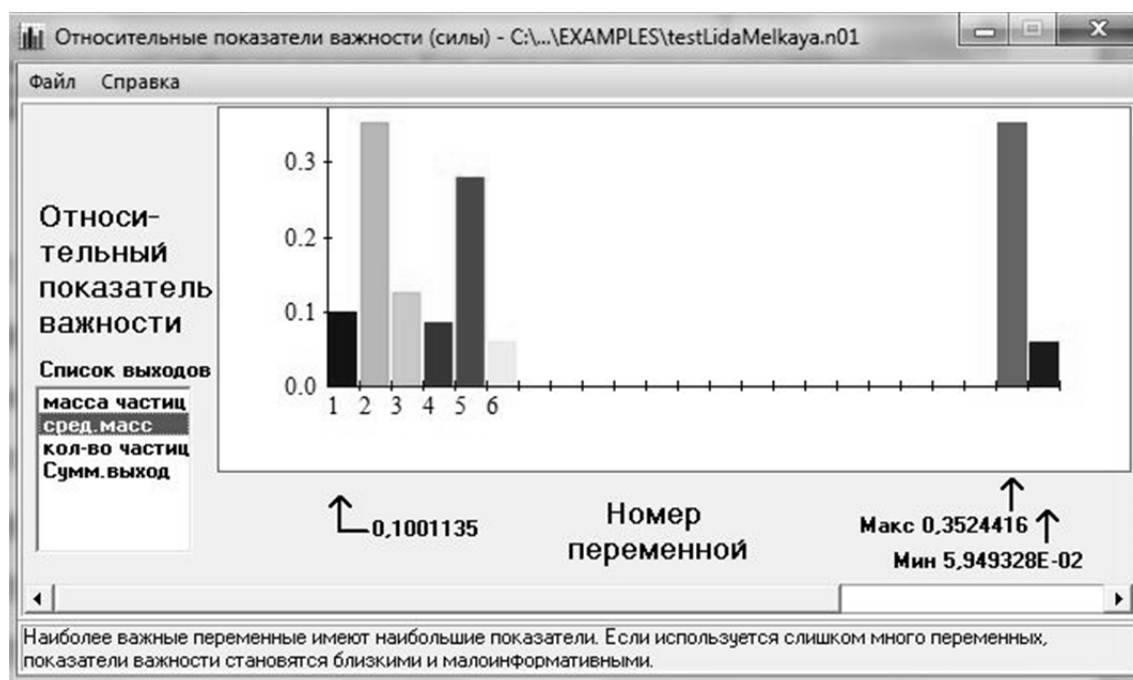


Рис. 2. Относительные показатели важности влияния входных параметров на выходной

Из рис. 2 следует, что наибольшее влияние на количество частиц, оставшихся на сите после измельчения, оказывают время гидромеханического измельчения (2) и количество добавляемой воды (5). Время механического измельчения лимонов (1), количество ножей в режущем органе (3) и частота их вращения (4), меньше влияют на выходной параметр. Высота дежи аппарата (6) – наименее значимый показатель, от которого зависит количество частиц, оставшихся на сите после процесса измельчения.

Был проведен дисперсионный анализ, который позволяет исследовать различия между группами данных, определять, носят ли они случайный характер или вызваны конкретными обстоятельствами; помогает определить, насколько серьезно влияют на измерения внешние факторы. Получены уравнения, описывающие зависимость выходных параметров от входных, но их точность аппроксимации и степень точности низки.

Для экспериментального определения удельной силы нормального резания было проведено исследование с использованием установки гильотинного типа.

Удельную силу резания определяют по общей массе грузов и массе каретки, понадобившейся для преодоления сил сцепления частиц материала и возникновения процесса разрушения, отнесенной к длине разрезаемой поверхности образца. Результаты следующие: для прорезания цедры лимона необходима удельная сила в 2150 Н/м, для прорезания лимона, предварительно нарезанного кольцом, – 1067 Н/м, для прорезания лимона, нарезанного полукольцом, – 1173 Н/м.

Публикации

1. Минаева Л.В., Алексеев Г.В. The study of fruit and vegetable chopping process and refinement of the working element during the production of pulpy lemon drink // Collection of R&D Graduation Projects. 2014.
2. Минаева Л.В., Минаева Т.В., Синявский Ю.В. Интенсификация процесса измельчения плодов и овощей при производстве напитков с мякотью // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы III Международной научно-технической конференции. Воронеж, 2013. № 1 (13). С. 295–298.
3. Минаева Т.В., Минаева Л.В., Алексеев Г.В. Проектирование рецептуры напитков с мякотью с использованием методов нечеткой логики // Информационные технологии, энергетика и экономика: материалы XI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Смоленск, 2014. Т. 1. С. 176–181.

Литература

1. Резник Н.Е. Исследование кромки лезвия путем растровой электронной микроскопии // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1955. № 5. С. 9–12.
2. Минаева Л.В., Минаева Т.В., Синявский Ю.В. Интенсификация процесса измельчения плодов и овощей при производстве напитков с мякотью // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: материалы III Международной научно-технической конференции. Воронеж, 2013. № 1 (13). С. 295–298.
3. Минаева Л.В., Минаева Т.В. Интенсификация процесса измельчения плодов при производстве напитков типа смузи // I студенческий инновационный форум с международным участием «Потенциал». СПб., 2013. Вып. 1. С. 88–90.



Москалева Ксения Сергеевна
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра оптоинформационных технологий и материалов
E-mail: ks.moskaleva@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИТНЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

К.С. Москалева

Научный руководитель – профессор Н.В. Никоноров

Введение

В связи с широким применением оптических и оптоэлектронных устройств в различных областях техники (волоконно-оптическая связь, оптические усилители и лазеры, гражданское и специальное приборостроение) возникает необходимость в создании дешевых, технологичных и компактных аналогов существующим приборам. Одним из путей создания подобных устройств является формирование интегрально-оптических схем на базе материалов, обладающих необходимыми люминесцентными свойствами [1, 2].

К такой группе материалов можно отнести оптические стекла, активированные редкоземельными ионами (РЗИ). Одним из самых эффективных редкоземельных элементов для получения лазерного излучения, ап-конверсии и усиления является эрбий. Люминесцентные свойства эрбия зависят, в том числе от окружения, в которое попадает ион [3]. Таким образом, введение иона-активатора в стеклянную матрицу позволяет варьировать их характеристики (показатель преломления, интенсивность и время жизни люминесценции, химические свойства, электропроводность и др.) в широких пределах путем изменения состава стекла. Кроме того, теллуридные стекла характеризуются достаточно широким окном прозрачности (0,35–5 мкм), низкой энергией фононов (750 см^{-1}), высокой стойкостью к воздействию окружающей среды [4]. Они также характеризуются высокими значениями показателя преломления ($n = 2,14\text{--}2,31$) по сравнению с известными оптическими стеклами, которые прозрачны в видимой и близкой ИК-области, что в свою очередь ведет к увеличению скорости излучательных переходов для редкоземельных элементов и приводит к увеличению квантового выхода [5, 6]. Таким образом, цель проекта заключалась в экспериментальном исследовании спектрально-люминесцентных и физико-химических свойств нового материала на основе теллуридных стекол, активированных ионами эрбия.

Экспериментальная часть

В качестве образцов исследования были использованы теллуридные стекла следующих составов (Табл. 1 и 2):

Таблица 1

Химический состав для образцов 1–4

% мол.	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
TeO ₂	76,24	67,00	55,00	80,00
WO ₃			20,00	
Na ₂ O	5,94			
ZnO	15,35			
Bi ₂ O ₃	1,48			10,00
Bi ₂ O ₅	1,48			
B ₂ O ₃		25,00		
La ₂ O ₃		8,00		
Li ₂ O			25,00	
Nb ₂ O ₃				10,00
Er ₂ O ₃	0,99	1,00	1,00	1,00

Таблица 2

Химический состав для образцов 5 и 6

% мол.	TL 20	TL 21
TeO ₂	63,0	80,0
WO ₃	26,0	
Bi ₂ O ₃	9,0	7,0
Sb ₂ O ₃	2,0	3,0
Nb ₂ O ₃		10,0
Er ₂ O ₃	1,0	1,0

Концентрация эрбия поддерживалась постоянной и равной 1 %мол. Все исследуемые образцы были выполнены в форме плоскопараллельных пластин и оптически отполированы. Толщина образцов составляет 1–3 мм. Измерение спектров поглощения образцов проводилось на спектрофотометре Varian Cary 500. Спектры люминесценции регистрировались при

возбуждении излучением с длиной волны $\lambda_{pump} = 975$ нм, далее по методу МакКамбера [7, 8] были рассчитаны сечения вынужденного излучения.

На рис. 1 представлены спектры поглощения образцов 1–6 для полосы, соответствующей основному резонансному переходу эрбия $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$ (1,5 мкм).

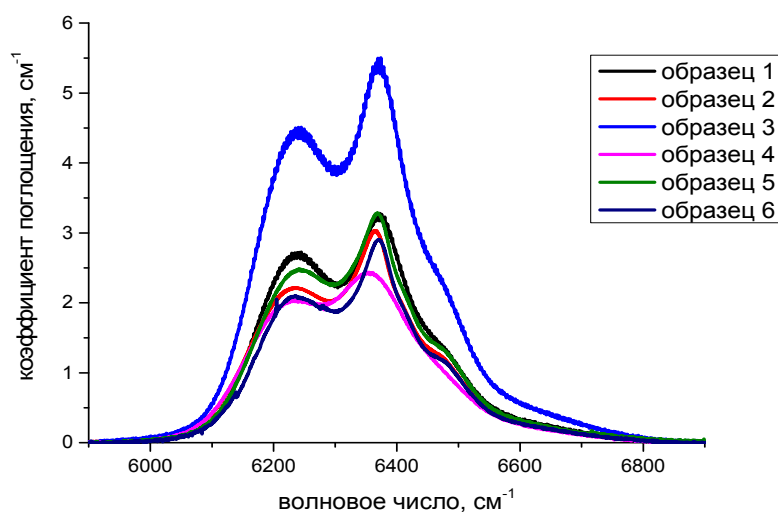


Рис. 1. Спектры поглощения теллуридных стекол, активированных эрбием

Видно, что форма спектра практически не меняется, однако спектр образца 3 заметно шире и имеет большую интенсивность.

Были измерены спектры люминесценции теллуридных стекол, активированных эрбием, для перехода $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$. На рис. 2 и 3 приведены нормированные спектры люминесценции теллуридных стекол, активированных эрбием.

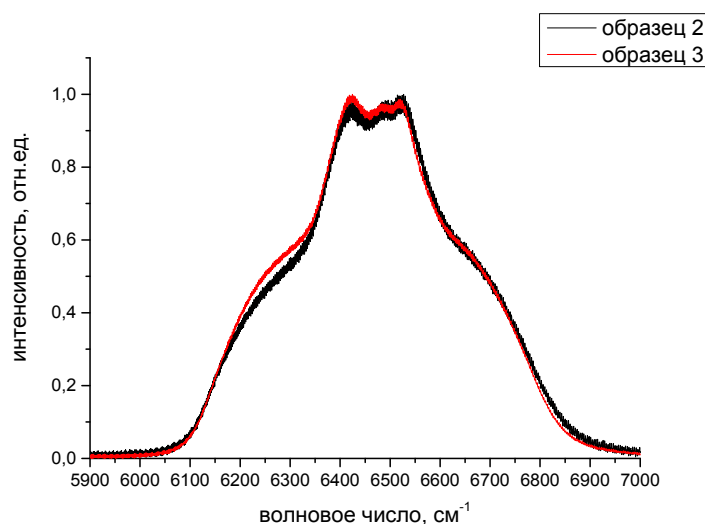


Рис. 2. Спектры люминесценции образцов 2 и 3

Можно заметить, что спектры люминесценции образцов 2 и 3 отличаются от остальных, в том числе меняется их ширина и форма, происходит перераспределение штарковских компонент. Очевидно, что люминесцентные свойства иона-активатора меняются под воздействием окружения.

Поскольку измерение спектров люминесценции выполняется в относительных единицах, можно оценить только их форму. Для получения количественной оценки был выполнен расчет сечения вынужденного излучения. Особенность использованной методики

в том, что вычисление происходит на основе сечения поглощения. Сечения поглощения и вынужденного излучения характеризуют оптическую среду, в частности активную среду лазера. Они представлены на рис. 4 и 5 для перехода ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$.

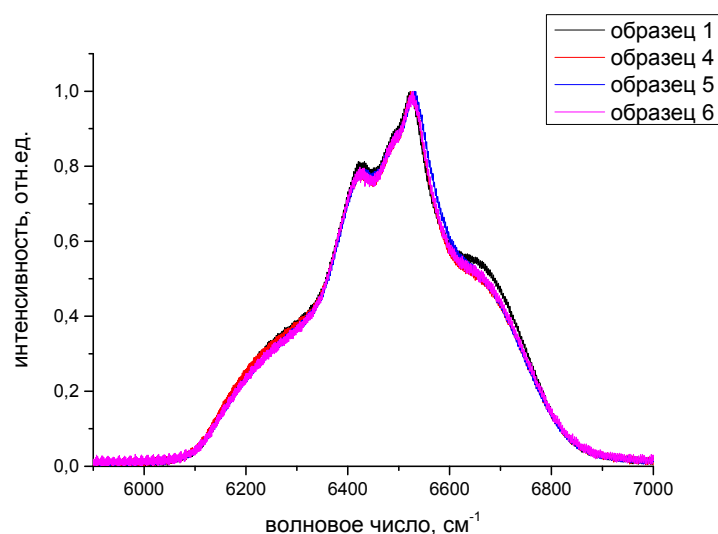


Рис. 3. Спектры люминесценции образцов 1, 4, 5 и 6

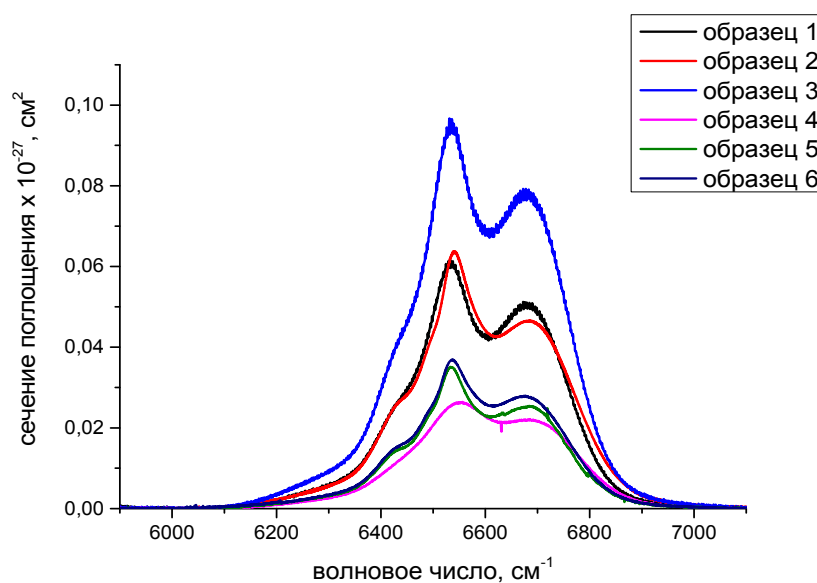


Рис. 4. Сечение поглощения ионов эрбия в теллуридных стеклах с различными составами

Видно, что сечения поглощения заметно различаются по интенсивности. Поскольку концентрация эрбия во всех образцах одинакова, можно сделать вывод об ощутимом влиянии окружения иона-активатора на сечение его поглощения. На рис. 5 представлены сечения вынужденного излучения ионов эрбия в теллуридных стеклах с различными составами.

Сечение вынужденного излучения позволяет произвести количественную оценку люминесцентных свойств материала. В данном случае видно, что с помощью варьирования состава стеклянной матрицы можно добиться увеличения сечения вынужденного излучения практически в пять раз (образец 3).

Была измерена кинетика затухания люминесценции теллуридных стекол, активированных эрбием. После этого произведен расчет радиационного времени жизни и квантового выхода люминесценции теллуридных стекол, активированных эрбием, для

основного резонансного перехода $^4I_{15/2} \rightarrow ^4I_{13/2}$. Полученные результаты представлены в Табл. 3.

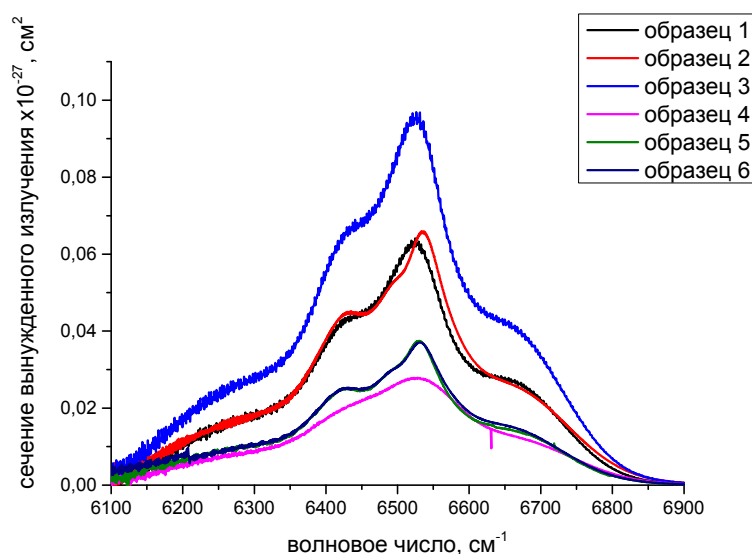


Рис. 5. Сечение вынужденного излучения ионов эрбия в теллуридных стеклах с различными составами

Таблица 3

Результаты расчета квантового выхода люминесценции

Образец	Радиационное время жизни, мс	Кинетика затухания, мс	Квантовый выход, %
1	233,56	3,59	1,53708
2	233,07	1,13	0,48484
3	153,45	3,76	2,45032
4	238,08	6,13	2,57474
5	222,90	3,12	1,98292
6	224,31	5,36	2,38953

Согласно расчетам, наибольшим квантовым выходом обладают образцы 3 и 4.

Заключение

Показано, что окружение иона-активатора влияет на его спектрально-люминесцентные свойства. Были получены численные характеристики таких свойств, как сечение поглощения, сечение вынужденного излучения и квантовый выход люминесценции. Сделан вывод о значительном влиянии матрицы стекла на оптические свойства эрбия. На основании полученных характеристик была произведена оценка каждого выбранного для анализа состава. В результате исследований выявлено, что наиболее перспективным составом для дальнейшего изучения является образец 3, поскольку он имеет максимальные сечения поглощения и вынужденного излучения, а также квантовый выход. Дополнительно можно отметить как достаточно перспективный образец 6, поскольку он обладает квантовым выходом, незначительно уступающим образцу 3, но при этом имеет достаточно большие сечения поглощения и вынужденного излучения. Остальные образцы являются менее перспективными в области применений фотоники и разработки оптических материалов.

Литература

1. Rolli, R., Erbium-doped tellurite glasses with high quantum efficiency and broadband stimulated emission cross section at 1.5 mkm / R. Rolli, M. Montagna, S. Chaussedent, A. Monteil, V.K Tikhomirov, M. Ferrari // Optical Materials. – 2003. – V. 21. – P. 743–748.

2. Marjanovic, S. Characterization of new erbium-doped tellurite glasses and fibers / J. Toulouse, H. Jain, C. Sandmann, V. Dierolf, A.R. Kortan, N. Kopylov, R.G. Ahrens // Journal of Non-Crystalline Solids – 2003. – V. 322. – P. 311–318.
3. Sazali, E.S. Judd-Ofelt intensity parameters of erbium doped lead tellurite glass / E.S. Sazali, R. Sahar, S.K.Ghoshal, S.Rohani, R.Arifin // Journal of Non-Oxide Glasses – 2014. –V. 6. – I. 4. – P. 61–67.
4. Tikhomirov, V.K., Intrinsic defects and glass stability in Er^{3+} doped TeO_2 glasses and the implications for Er^{3+} -doped tellurite fiber amplifiers / V.K. Tikhomirov, A.B. Seddon, D. Furniss, M. Ferrari // J. Non-Cryst. Solids – 2003. – V. 326. – P. 296 – 300.
5. Weber, M.J. / M.J. Weber, J.D. Myers, D.H. Blackburn // J. Appl. Phys., – 1981. – V. 52, – P. 2944.
6. Tanaka, K. Second harmonic generation in BaTiO_3 film crystallized on tellurite glass surface / K. Tanaka, H. Kuroda, A. Narazaki, K. Hirao, N. Soga // J. Appl. Phys. – 1999. –V. 85, P. 1063–1065.
7. Mc Cumber, D.E. Theory of phonon-terminated optical masers / D.E. Mc Cumber, // Phys. Rev. – 1964. – V. 134. – P. 299–306.
8. Miniscalco, M.J. General procedure for the analysis of Er^{3+} cross-sections / M.J. Miniscalco, R.S. Quimby // Optics Letter. – 1992. – V. 16. – P. 258.



Пархимович Ольга Владимировна
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем
E-mail: olya.parkhimovich@gmail.com

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОТКРЫТЫХ БЮДЖЕТОВ НА ПРИМЕРЕ БЮДЖЕТОВ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

О.В. Пархимович

Научный руководитель – доцент Д.И. Муромцев

За последние несколько лет тема публикации открытых государственных данных и открытых бюджетов становится все более актуальной как в России, так и в зарубежных странах. По результатам исследования открытости бюджетов, проводимого Международным бюджетным партнерством (Open Budget Survey, International Budget Partnership) в 2012 году, Россия вошла в десятку лучших стран (в 2015 году заняла 11 место). Это стало одной из причин появления в бюджетном послании, представленном Президентом России, цели по введению в эксплуатацию портала бюджетной системы, на котором размещаются систематизированные данные о формировании и исполнении бюджетов.

Для выполнения поставленных в бюджетном послании задач федеральные органы, регионы Российской Федерации и муниципалитеты активно публикуют на своих сайтах данные о бюджетах. На данный момент опубликовано большое количество массивов региональных и муниципальных бюджетов, для изучения содержательной структуры которых заинтересованным гражданам, экспертам и программистам необходимо не только потратить значительное количество свободного времени, но и изучить формат, в котором

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

представлены данные каждого региона или муниципалитета. Эта проблема появляется из-за отсутствия унифицированного формата (стандарта), который государственные органы могли бы использовать при подготовке бюджетов к публикации (или при преобразовании данных). Отсутствие единого формата также является одной из причин появления ошибок не только в проектах законов о бюджетах, но и в приложениях к принятым законам.

Массивы данных муниципальных бюджетов являются наиболее детализированной информацией о расходах и доходах и самой востребованной у заинтересованных граждан или разработчиков (по сравнению с другими уровнями бюджетов). Данный проект направлен на разработку критериев и алгоритма оценки качества опубликованных массивов данных муниципальных бюджетов, исследуемых на примере муниципалитетов Санкт-Петербурга. Его применение позволит не только составлять рейтинг открытости муниципалитетов и выявлять ошибки в массивах данных, но и разрабатывать для них рекомендации, выполнение которых позволит избегать ошибок и публиковать данные в форматах, пригодных для их изучения и использования.

В процессе выполнения научно-исследовательской работы были выполнены поставленные задачи и достигнуты указанные в заявке планируемые результаты.

В процессе сбора данных и исследования способов публикации муниципальных бюджетов был разработан алгоритм поиска открытых финансовых данных на федеральном, региональном и муниципальном уровнях (рисунок).

Для разработки алгоритма оценки качества открытых бюджетов муниципального уровня был составлен следующий перечень критериев:

- оценка перечня опубликованных массивов данных (в данном критерии учитывается, размещается ли только текст закона о бюджете или бюджет опубликован полностью с приложениями; публикуются ли документы по нескольким стадиям бюджета (например, проект бюджета и утвержденный бюджет); публикуются ли изменения, которые вносятся в бюджет; опубликованы ли отчеты об исполнении бюджета и положения о бюджетном процессе и публичных слушаниях);

- оценка формата публикации данных (является ли формат массива данных машиночитаемым (csv, xls, pdf), может ли массив быть проанализирован или использован без предварительной обработки данных);

- оценка временного периода, за который опубликованы данные;

- оценка ошибок, встречающихся в данных.

При исследовании массивов данных открытых бюджетов муниципального уровня был составлен перечень типичных ошибок, присутствующих в муниципальных бюджетах Санкт-Петербурга:

- использование скрытых строк или столбцов в XLS файлах;

- использование некорректных кодов бюджетной классификации;

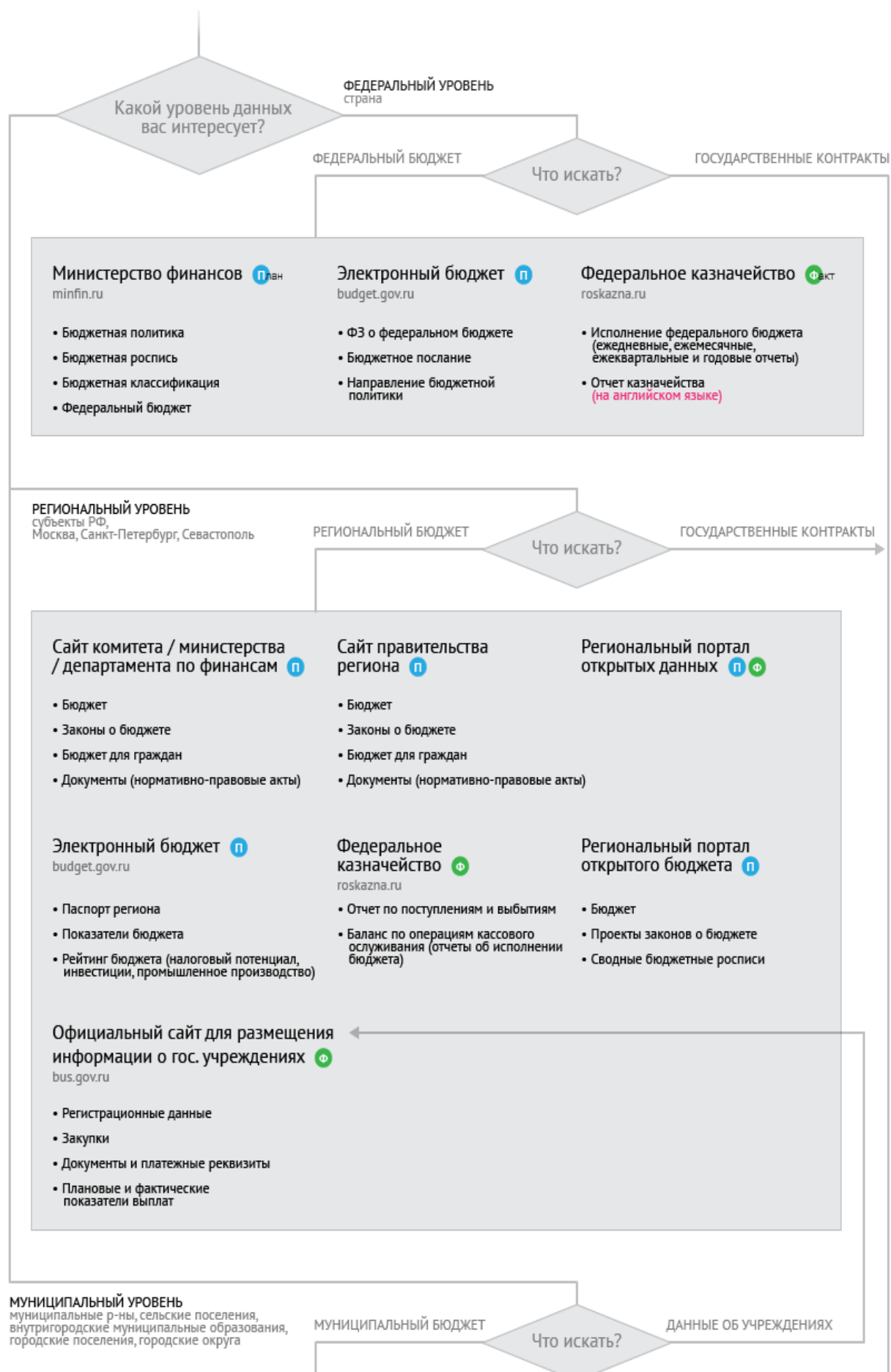
- замена цифр буквами в коде бюджетной классификации (например, «0» заменяется на «О»);

- использование нескольких наименований для одного кода бюджетной классификации (например, при указании кода видов расходов, кода муниципальной программы или кода целевой статьи) и несоответствие используемых наименований Бюджетному кодексу;

- использование несуществующих кодов бюджетной классификации (например, использование кода «000»);

- несоблюдение формата кода бюджетной классификации (например, указание кода подраздела «101» вместо «0101»);

- наличие ошибок в используемых формулах (например, ссылки на другие документы при расчете каких-либо сумм).



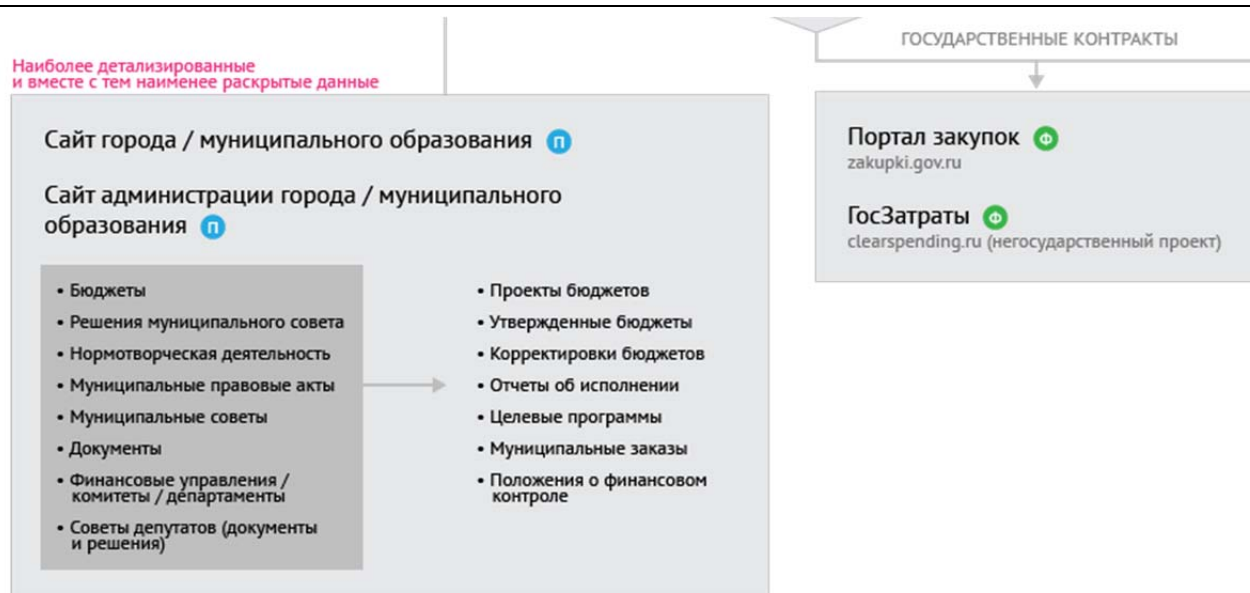


Рисунок. Алгоритм поиска открытых финансовых данных (продолжение)

Рейтинг муниципалитетов Санкт-Петербурга был построен на примере Центрального и Московского районов. Московский район при публикации открытых данных отличается наличием их за длительный временной интервал: например, муниципальный округ (МО) Пулковский меридиан опубликовал бюджеты с 2006 года, а МО Гагаринское – с 2007, что является хорошим показателем по сравнению с остальными муниципальными образованиями. Кроме того, бюджеты 40 % муниципальных образований Московского района опубликованы в формате XLS, который может быть использован разработчиками для создания социально-значимых сервисов.

Бюджеты муниципальных образований Центрального района также частично опубликованы в машиночитаемых форматах, но их временной период значительно ниже – с 2012 года. Меньше всего ошибок содержит бюджет муниципального образования Звездное [1] (в нем присутствуют только скрытые строки), в то время как в бюджете муниципального образования Московская застава есть не только скрытые столбцы и строки, но и использование несуществующего кода «000», наличие в формулах ссылок на другие документы (что не позволяет разработчику или исследователю получить необходимые суммы, рассчитывающиеся в данных ячейках), использование нескольких наименований для одного и того же кода видов расходов. Встречаются и более серьезные ошибки. Например, в бюджете МО Дворцовый округ [2] на 2015 год две муниципальные программы указаны с одним и тем же кодом целевой статьи: 7950500 («Муниципальная программа по профилактике дорожно-транспортного травматизма на территории Дворцового округа» и «Муниципальная программа проведения местных праздничных, культурно-просветительных мероприятий для жителей муниципального образования МО Дворцовый округ на 2015–2017 г.»). Данная ошибка была признана МО Дворцовый округ только после третьего официального обращения, содержащего официальный ответ от Комитета финансов Санкт-Петербурга, подтверждающего наличие ошибки.

Публикации

1. Parkhimovich O.V., Vlasov V.V. Development of the open budget format // 2014 16th Conference of Open Innovations Association (FRUCT16). 2014. P. 129–136.
2. Mouromtsev D.I., Kozlov F.A., Kovrigina, L.Y., Parkhimovich O.V. Combined method for E-Learning ontology population based on NLP and user activity analysis [Electronic resource] // LILE2014 Linked Learning meets LinkedUp: Learning and Education with the Web of Data: proceedings. 2014. URL: www.ceur-ws.org/Vol-1254/5_mouromtsev.pdf (accessed: 23.01.2016).

3. Mouromtsev D.I., Vlasov V.V., Galkin M.A., Knyazev V.S., Parkhimovich O.V. Development of St. Petersburg's linked open data site using Information Workbench [Electronic resource] // 2013 14th Conference of Open Innovations Association (FRUCT14). 2013. P. 77–82. URL: www.fruct.org/publications/fruct14/files/Mou_10.pdf (accessed: 23.01.2016).
4. Dawes S., Vidasova L.A., Parkhimovich O.V. Planning and designing open government data programs: an ecosystem approach [Electronic resource] // Government Information Quarterly. 2016. Vol. 33. No 1. P. 15–27. URL: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740624X1630003X (accessed: 23.01.2016).

Литература

1. Официальный сайт Муниципального образования Звездное [Электронный ресурс]. URL: www.мозвездное.рф (дата обращения: 23.01.2016).
2. Официальный сайт Муниципального образования Муниципальный округ Дворцовый [Электронный ресурс]. URL: dvortsovy.spb.ru (дата обращения: 23.01.2016).



Попов Антон Игоревич
Факультет естественнонаучный
Кафедра высшей математики
E-mail: porov239@gmail.com

ФОРМАЛЬНЫЕ СТЕПЕННЫЕ РЯДЫ ДЛЯ АСИМПТОТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

А.И. Попов

Научный руководитель – профессор В.М. Уздин

Введение

Геофизические задачи обычно не допускают аналитического решения. Компьютерные методы позволяют решать конкретные задачи, но неудобны для выявления общих закономерностей. В связи с этим большое значение приобретают приближенные математические методы, в частности асимптотические. Выделение в физической проблеме малых параметров и построение асимптотических разложений по нему позволяет продвинуться в качественном и количественном исследовании системы, выявить общие закономерности в ее поведении. Однако использование для анализа асимптотических или формальных степенных рядов (в более общем варианте) требует разработки специальной техники взаимодействия с ними, которая отличается от работы с обычными функциями, хотя иногда и аналогична ей. Создание данного математического аппарата – основная цель проекта.

Цель и задачи проекта

Проектом предусмотрено решение двух основных задач. Первая из них связана с теорией Штурма – Лиувилля, мощным инструментом спектральной теории. Она хорошо описана во многих книгах [1, 2]. К ней сводится множество классических и квантовых задач (о квантовых ямах, графах, волноводах и т. д. [3–5]). Нас, в частности, интересует

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

асимптотический подход в теории волн. Построение асимптотических разложений по малому параметру ведется последовательно, член за членом [6–8]. При этом при построении некоторого члена возникает неоднородная задача Штурма – Лиувилля для формальных степенных рядов, правая часть которой зависит от предыдущих, уже построенных, членов ряда. Например, такая задача возникает при построении рядов пространственно-временным лучевым методом [9, 10]. Встает вопрос о ее разрешимости, ведь соответствующая однородная задача имеет нетривиальное решение. В первую очередь выполняется поиск необходимых и достаточных условий разрешимости неоднородной задачи Штурма – Лиувилля для формальных степенных рядов в общем случае.

Вторая часть проекта также связана с построением асимптотических разложений в задаче теории волн. В ходе этого построения возникает необходимость в теореме, аналогичной теореме о неявных функциях. Однако если для функций многих переменных эта теорема хорошо известна, то ее аналога для формальных степенных рядов пока нет. Целью проекта является разработка указанной теоремы и полное ее доказательство.

Методы исследования

Несмотря на широкое использование, техника работы с формальными степенными рядами развита еще недостаточно, потому что в основном используются лишь самые простые операции с ними. Изложение этих методов есть в классической книге [11]. Что же касается более сложных операций, например обращения степенных рядов и их строгого математического обоснования, то в теории еще имеется множество лакун. Две из них и предполагается заполнить в ходе выполнения проекта. При исследовании разрешимости задачи Штурма – Лиувилля для формальных степенных рядов будут использоваться соответствующие теоремы для функций, методы спектральной теории и функционального анализа.

При анализе задачи о неявной функции сначала будет выработано правильное строгое понятие о том, что считается обращением степенных рядов. При исследовании условий обратимости, построении обращения и доказательстве теоремы будут использоваться методы линейной алгебры, функционального анализа и на определенных этапах доказательства теорема о неявных функциях для функций многих переменных.

Основные достигнутые результаты

Задача Штурма – Лиувилля для формальных степенных рядов.

Теорема 1. Рассмотрим однородную задачу Штурма – Лиувилля:

$$\begin{cases} Ly = (p(x)y')' - q(x)y = 0, 8pt \\ \ell_0 y = (\alpha_0 y + \alpha_1 y')|_{x=x_0} = 0, 8pt \\ \ell_1 y = (\beta_0 y + \beta_1 y')|_{x=x_1} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

$$p(x) > 0, \quad \text{Im} q = 0. \quad (2)$$

где $\alpha_j, \beta_j, j = 0, 1$ – вещественные числа. $p(x), q(x)$ – формальные степенные ряды (ф. с. р.).

Пусть существует решение в виде ф. с. р. $y_0 \neq 0$. Тогда необходимое и достаточное условие существования решения в виде ф. с. р. неоднородной задачи Штурма – Лиувилля

$$\begin{cases} Ly = -F, 8pt \\ \ell_0 y = A, 8pt \\ \ell_1 y = B. \end{cases} \quad (3)$$

таково:

$$p(x_1) \frac{B}{\beta_1} y_0 \big|_{x=x_1} - p(x_0) \frac{A}{\alpha_1} y_0 \big|_{x=x_0} = - \int_{x_0}^{x_1} F(x) y_0(x) dx. \quad (4)$$

Здесь $F(x)$, A , B – ф. с. р.

Теорема о неявной функции для формальных степенных рядов. Рассмотрим $r + s$ формальных степенных рядов.

$$\sum_{|\alpha|=0}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = a^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (5)$$

$$\sum_{|\alpha|=1}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = b^{(j-r)}, \quad j = r+1, r+2, \dots, r+s. \quad (6)$$

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_s), \quad (7)$$

$$|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_s, \quad \alpha_i \in \mathbb{Z}_+. \quad (8)$$

Заданны коэффициенты $A_{\alpha}^j \in C_{loc}^{\infty}$ в некоторой области $\Omega \subset \mathbb{R}^r$.

Переменные $x = (x^1, x^2, \dots, x^r)$ будем называть конечными, $y = (y^1, y^2, \dots, y^s)$ – малыми переменными.

Пусть x и y – формальные степенные ряды:

$$x^{(j)} = \sum_{|\alpha|=0}^{\infty} B_{\alpha}^j(a) b^{\alpha}, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (9)$$

$$y^{(j-r)} = \sum_{|\alpha|=1}^{\infty} B_{\alpha}^j(a) b^{\alpha}, \quad j = r+1, r+2, \dots, r+s. \quad (10)$$

Здесь $B_{\alpha}^j(a) \in C^{\infty}(\Omega_1)$ ($\Omega_1 \subset \mathbb{R}^r$) – функции, причем область значений $B_{(0,0,\dots,0)}^j(a) \subset \Omega$, $a = (a^{(1)}, a^{(2)}, \dots, a^{(r)})$ – конечные переменные; $b = (b^{(1)}, b^{(2)}, \dots, b^{(s)})$ – малые переменные.

Тогда x^j и y^j , получаемые из выражений (9) и (10), можно подставлять в ряды (5) и (6). При подстановке формальных степенных рядов для x^j и y^j функции $A_{\alpha}^j(x)$ заменяются рядами Тейлора – Маклорена.

Сходимость не предполагается.

Определение.2 Обращение рядов (5) и (6) – это нахождение таких рядов (9) и (10), что при их подстановке в (5) и (6) получится:

$$\sum_{|\alpha|=0}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = a^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (11)$$

$$\sum_{|\alpha|=1}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = b^{(j-r)}, \quad j = r+1, r+2, \dots, r+s. \quad (12)$$

Теорема 2.3 Рассмотрим ряды:

$$\sum_{|\alpha|=0}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = a^{(j)}, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (13)$$

$$\sum_{|\alpha|=1}^{\infty} A_{\alpha}^j(x) y^{\alpha} = b^{(j-r)}, \quad j = r+1, r+2, \dots, r+s. \quad (14)$$

$$A_{\alpha}^j \in C_{loc}^{\infty}(\Omega), \quad \Omega \subset \mathbb{R}^r. \quad (15)$$

Пусть определитель

$$J = \frac{D(A_{(0,\dots,0)}^1(x), \dots, A_{(0,\dots,0)}^r, \sum_{|\alpha|=1} A_{\alpha}^{r+1} y^{\alpha}, \dots, \sum_{|\alpha|=1} A_{\alpha}^{r+s} y^{\alpha})}{D(x^{(1)}, \dots, x^{(r)}, y^{(1)}, \dots, y^{(s)})} \Big|_{x^{(j)}=x_0^{(j)}, y^{(j)}=0} \neq 0, \quad (16)$$

где

$$x_0^{(j)} = x^{(j)} \Big|_{b^{(1)}=0, b^{(2)}=0, \dots, b^{(s)}=0}. \quad (17)$$

Тогда можно обратить ряды (13) и (14).

Области возможного использования результатов проекта

Основным результатом проекта является доказательство двух теорем, которые могут быть использованы при теоретическом анализе асимптотическими методами любых задач, связанных с разложениями по малому параметру. Являясь строго математически обоснованными, результаты проекта дают надежную основу для работы с формальными степенными рядами. Наиболее естественные, но далеко не единственные, физические приложения возникают в теории волн. Ввиду универсальности математических результатов, они могут быть применены к задачам с малыми параметрами из любых областей. Данная работа вносит свой вклад в развитие математических методов и техники работы с формальными степенными рядами. Результаты выполнения проекта были представлены на семинаре в институте проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН).

Публикации

1. Popov A.I., Popov I.Yu., Lobanov I.S., Gerya T.V. On the stokes flow computation algorithm based on woodbury formula // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2015. Vol. 6. No 1. P. 140–145.
2. Popov A.I., Popov I.Yu., Popov S.I., Lobanov I. S., Gerya T.V. Practical analytical solutions for benchmarking of 2-D and 3-D geodynamic stokes problems with variable viscosity // *Solid Earth*. 2014. Vol. 5. No 1. P. 461–476.
3. Popov A.I., Popov I.Yu., Lobanov I.S., Gerya T.V. Benchmark solutions for nanoflows // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. 2014. Vol. 5. No 2. P. 391–399.
4. Popov A.I., Popov I.Yu., Lobanov I.S., Gerya T.V. Numerical approach to the stokes problem with high contrasts in viscosity // *Applied Mathematics and Computation*. 2014. Vol. 235. P. 17–25.
5. Popov A.I., Popov I.Yu., Lobanov I.S., Popov S.I., Gerya T.V. Practical analytical solutions for benchmarking of 2-D and 3-D geodynamic stokes problems with variable viscosity [Electronic resource] // *Solid Earth Discussions*. 2013. Vol. 5. P. 2203–2281. URL: www.solid-earth-discuss.net/5/2203/2013/sed-5-2203-2013.pdf (accessed: 20.12.2013).
6. Popov A.I. High frequency wave packet concentrated near the moving line on the liquid surface // *Journal of Physics: Conference Series*. 2013. Vol. 435. P. 012023.
7. Popov A.I. Wave walls for waves on the surface of a heavy liquid // *Journal of Mathematical Sciences*. 2013. Vol. 194. No 1. P. 83–97.
8. Popov A.I. Wave wall type solution for liquid surface waves // *AIP Conference Proceedings*. 2012. Vol. 1479. P. 728–731.
9. Babich V.M., Popov A.I. An asymptotic solution of the Hamilton-Jacobi equation concentrated near a surface // *Journal of Mathematical Sciences*. 2012. Vol. 185. No 4. P. 523–525.
10. Popov A.I. Волновые валы для волн на поверхности тяжелой жидкости // *Записки научных семинаров ПОМИ*. 2012. Т. 409. С. 151–175.
11. Babich V.M., Popov A.I. Quasiphotons of waves on the surface of a heavy liquid // *Journal of Mathematical Sciences*. 2011. Vol. 173. No 3. P. 243–253.
12. Бабич В.М., Попов А.И. Асимптотическое решение уравнения Гамильтона-Якоби, сосредоточенное вблизи поверхности // *Записки научных семинаров ПОМИ*. 2011. Т. 393. С. 23–28.

13. Бабич В.М., Попов А.И. Квазифотоны волн на поверхности тяжелой жидкости // Записки научных семинаров ПОМИ. 2010. Т. 379. С. 5–23.
14. Блинова И.В., Попов А.И., Попов С.И. Модель распределения задач при клауд-вычислениях и квантово-компьютерные аналогии // Сборник трудов конференции молодых ученых. Вып. 4. Математическое моделирование и программное обеспечение. СПб., 2009. С. 32–34.

Литература

1. Brannan J.R., Boyce W.E. Differential equations with boundary value problems: an introduction to modern methods and applications. New York, 2010. – 720 p.
2. Levitan B.M., Sargsyan I.S. Sturm-Liouville and Dirac operators. Moscow, 1988. – 432 p.
3. Kong L., Kong Q. Second-order boundary value problems with nonhomogeneous boundary conditions (II) // Journal of Mathematical Analysis and Applications. 2007. Vol. 330. No 2. P. 1393–1411.
4. Jodar L. Explicit solution for non homogeneous Sturm-Liouville operator problems // Publicacions Matematiques. 1989. Vol. 33. P. 47–57.
5. Pokornyi Yu.V., Pryadiev V.L. Some problems of the qualitative Sturm-Liouville theory on a spatial network // Russian Mathematical Surveys. 2004. Vol. 59. No 3. P. 515–552.
6. Babich V.M. The space-time ray method and quasiphotons // Journal of Mathematical Sciences. 2008. Vol. 148. No 5. P. 633–638.
7. Pankratova T.F. Tunneling in multidimensional wells // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2015. Vol. 6. No 1. P. 113–121.
8. Bagrov V.G., Belov V.V., Trifonov A.Yu. The semiclassical trajectory-coherent approximation in quantum mechanics // Annals of Physics. 1996. Vol. 246. No 2. P. 231–290.
9. Babich V.M., Popov A.I. Quasiphotons of waves on the surface of a heavy liquid // Journal of Mathematical Sciences. 2011. Vol. 173. No 3. P. 243–253.
10. Popov A.I. Wave walls for waves on the surface of a heavy liquid // Journal of Mathematical Sciences. 2013. Vol. 194. No 1. P. 83–97.
11. Бохнер С., Мартин У.Т. Функции многих комплексных переменных. М., 1951. – 300 с.



Посевкин Руслан Владимирович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра вычислительной техники
E-mail: rus_posevkin@mail.ru

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВОГО ИНТЕРФЕЙСА К СТРУКТУРИРОВАННЫМ ИСТОЧНИКАМ ДАННЫХ

Р.В. Посевкин

Научный руководитель – доцент И.А. Бессмертный

На сегодняшний день в мире существует множество программных систем. Еще больше разработано принципов взаимодействия с ними. Их разнообразие приводит к увеличению

времени на обучение работы с системой и, как следствие, затрудняет ее свободное использование.

Перспективным в данной ситуации является применение более привычного для пользователя естественного языка в процессе общения с машинами и компьютерными системами.

Данное решение обладает рядом преимуществ:

- минимальной подготовкой пользователя для работы с системой;
- простотой и высокой скоростью задания произвольных запросов к системе.

Простота при работе с естественно-языковым интерфейсом достигается путем применения пользователем языка, используемого в ежедневной коммуникации. Пользователи интернета пытаются найти ответы на вопросы с помощью поисковых машин и форумов. В интернете они уже есть, вопрос только в том, насколько быстро может быть получен этот ответ.

Для решения подобной проблемы используется естественно-языковой интерфейс в составе диалоговой системы.

Поиск знаний, в отличие от простого поиска информации, требует учета семантики запросов. Для естественно-языкового пользовательского интерфейса вопросно-ответных систем можно также использовать ограниченную лексику и грамматику языка. При этом не происходит серьезного ухудшения функциональности и производительности вопросно-ответной системы.

Ограниченный естественный язык – это подмножество естественного языка, текст на котором успешно воспринимается носителем полного естественного языка без приложения дополнительных усилий. Такой язык обладает сокращенным набором лексики и грамматики, что позволяет сократить время анализа естественно-языковых элементов в вопросно-ответной системе, а также избежать неоднозначностей на лингвистическом уровне.

Цикл работы естественно-языкового интерфейса начинается с ввода пользователем сообщения на естественном языке путем ввода текста, по которому строится его формальное описание. Все предшествующие результаты применяются при анализе последующих запросов, что позволяет системе сохранять ход диалога с пользователем и разрешать спорные моменты, связанные с наличием одних и тех же терминов в разных предметных областях [1].

В процессе обработки естественно-языкового текста происходит последовательное выполнение морфологического, синтаксического и семантического анализов (рис. 1).

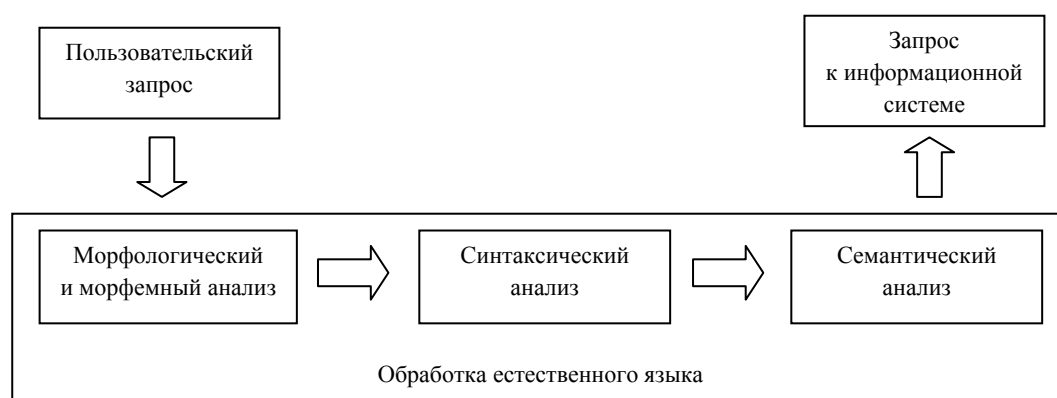


Рис. 1. Схема обработки естественно-языкового текста

Первым этапом обработки пользовательского запроса является морфологический и морфемный анализ. На данном этапе для каждого слова в формальной записи предложения строятся отношения, которые задают соответствия для значений грамматических категорий [2]. В результате морфологического анализа определяются морфологические характеристики каждого слова, такие как падеж, склонение, часть речи и т. д. Количество и наличие морфологических характеристик слов и допустимых значений зависят от

конкретного языка. Однако некоторые характеристики (часть речи) существуют во многих языках.

Для проведения процедуры морфологического анализа текста существует три различных подхода:

- «четкая» морфология;
- «нечеткая» морфология;
- вероятностный подход.

При обработке естественно-языковых (ЕЯ) текстов на русском языке наиболее часто применяется подход, основанный на «четкой» морфологии. Он базируется на словаре Зализняка [3], в котором описаны основные словоформы для русскоязычных слов. С каждой словоформой сопоставляется определенный код. Существует некая система правил, в соответствии с которой для данного слова возможно построить все остальные формы. При этом в качестве исходных данных используется начальная словоформа и соответствующий ей код. В случае использования «четкого» подхода в процессе морфологического анализа, необходимо иметь в наличии словарь всех словоформ и слов для данного языка. Данный словарь на входе принимает форму слова, а на выходе представляет морфологические характеристики конкретной словоформы. Возможно построение словаря на основе словаря Зализняка по следующему алгоритму.

Первым шагом происходит перебор всех слов, содержащихся в словаре. Для каждого из них необходимо определить все возможные словоформы, которые сохраняются в формируемом словаре. В процессе проведения морфологического анализа конкретного слова достаточно найти его в словаре. В результате будут получены точные значения всех морфологических характеристик анализируемого слова.

При морфемном анализе определяются конкретные морфемы в рамках каждого слова: приставка, корень, суффикс, окончание. В словаре морфем русского языка [4, 5] для каждого слова приведено разделение на составные части, однако не указываются типы каждой из них. Поэтому достоверно не может быть известно, какая из частей является корнем, а какая суффиксом.

При этом совокупность всех возможных корней слов русского языка представляет собой открытое множество. В то же время множество всех приставок, суффиксов и окончаний ограничено. Также известен порядок следования морфем в составе слова: сначала идут приставки, затем корни, далее суффиксы и окончания. Таким образом, с помощью словаря морфем русского языка возможно построить словарь, содержащий как разбиение слова на составные части, так и тип каждой из морфем. В результате для проведения морфемного анализа слова достаточно просто обратиться к разработанному словарю.

При этом морфемный анализ не ограничивается такими обращениями. В ситуации, когда слово отсутствует в словаре, возможно непосредственное проведение анализа на основе стандартного строения слов русского языка (приставка – корень – суффикс – окончание) и множества всех приставок, суффиксов и окончаний [6].

На этапе синтаксического анализа внутри предложения определяются отношения синтаксических связей. Далее выявляются главные и второстепенные члены предложения, определяется тип предложения и т. д. Синтаксический анализ выполняется поэтапно: при описании формальной структуры предложения используется информация, которая была получена ранее на этапе морфологического анализа. На этом этапе применяются лексические и синтаксические правила для анализируемого языка.

Этап семантического анализа представляет наиболее сложную часть обработки естественно-языкового текста. Семантический анализ можно представить как обработку семантической сети, которая отражает результат анализа на предыдущих этапах естественно-языкового текста, присутствующих в системе знаний о предметной области и языке программной системы. На данном этапе анализируются соотношения лингвистической

конструкции и тех конструкций, которые хранятся в памяти системы для выявления отношений соответствия.

В процессе построения семантической модели слова учитывается его многозначность. Смысл слова рассматривается как некоторое множество различных значений, каждое из которых (или вся совокупность в целом) реализуется в определенном контексте. Результатом семантического анализа является конструкция запроса к информационной системе.

Заключение

В рамках научно-исследовательской работы описана процедура обработки естественно-языкового текста на русском языке.

В результате разработан прототип программной системы, реализующей естественно-языковой пользовательский интерфейс к структурированному источнику данных. Данная система может применяться в областях, где требуется обеспечить доступ пользователя к информации из определенной предметной области. Например, возможно реализовать естественно-языковой интерфейс для аналитической системы. Введя запрос на естественном языке, пользователь получает отчет, выборку по данным за определенный временной период.

Публикации

1. *Посевкин Р.В.* Естественно-языковой интерфейс как элемент пользовательского взаимодействия [Электронный ресурс] // Электронный периодический научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». 2015. № 19. С. 213–217. URL: www.sci-article.ru/number/03_2015.pdf (дата обращения: 18.09.2015).
2. *Посевкин Р.В.* Практическое применение методов компьютерной лингвистики // Сборник научных трудов всероссийской заочной научно-практической конференции «Актуальные вопросы научной и научно-педагогической деятельности молодых учёных». М., 2015. С. 30–31.

Литература

1. *Житко В.А.* Пользовательский интерфейс интеллектуальных вопросно-ответных систему // NB: Кибернетика и программирование. 2012. № 1. С. 23–30.
2. *Крайванова В.А.* Модель естественно-языкового интерфейса для систем управления сложными техническими объектами и оценка эффективности алгоритмов на ее основе [Электронный ресурс] // Управление большими системами: сборник трудов. 2009. № 26. URL: www.cyberleninka.ru/article/n/model-estestvenno-yazykovogo-interfeysa-dlya-sistem-upravleniya-slozhnymi-tehnicheskimi-obektami-i-otsenka-effektivnosti-algoritmov-na (дата обращения: 16.01.2015).
3. *Зализняк А.А.* Грамматический словарь русского языка. Словоизменение. 3-е изд. М., 1987. – 880 с.
4. *Кузнецова А.И., Ефремова Т.Ф.* Словарь морфем русского языка. М., 1986. – 1136 с.
5. *Тихонов А.Н.* Морфемно-орфографический словарь. М., 2002. – 704 с.
6. *Селезнев К.Е.* Обработка текстов на естественном языке // Открытые системы. 2003. № 12. URL: <http://www.osp.ru/os/2003/12/183694/> (дата обращения: 16.01.2015).



Потапов Александр Владимирович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра технологии приборостроения
E-mail: potapov.itmo@inbox.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ АСТПП ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Потапов

Научный руководитель – доцент Р.Р. Магдиев

Цель и задачи проекта

Цель проекта – разработка методики усовершенствования автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП) конкретного приборостроительного предприятия для повышения эффективности проектирования и производства изделий. Основным путем усовершенствования АСТПП было выбрано внедрение новых и улучшение уже имеющихся систем автоматизированного проектирования (САПР), а также оптимизация информационной структуры предприятия и внедрение единого информационного пространства. Процесс модернизации включает в себя несколько основных этапов, описанных далее.

Анализ конкретных проблем и потребностей предприятия

Целью первого этапа является анализ проблем и потребностей конкретного предприятия. Это необходимо для выпуска полного технического задания на усовершенствование его АСТПП. Данный анализ предполагает изучение и оценку всей проектной и производственной деятельности, а также всех структур предприятия с точки зрения информационной структуры производства.

Основные этапы анализа.

1. Определение специфики конкретного производства, под которой подразумеваются все факторы, которые зависят от характера и объема выпускаемой продукции.

2. Определение организационных особенностей предприятия. Далее после общего анализа следует частный анализ предприятия. Определение его основных характеристик, количественных и качественных показателей.

3. Анализ внутреннего и внешнего документооборота. На данном этапе выявляются все основные пути перемещения документов внутри предприятия, включая утверждение или возвращение их на доработку. Также рассматривается обмен данными с поставщиками, заказчиками и партнерами.

4. Оценка существующих решений. Классифицируются все уже существующие на предприятии решения в области АСТПП. Выявляются самые удачные из них, которые будут опорными пунктами процесса усовершенствования. Также выявляются наиболее проблемные участки информационной системы предприятия, которые в первую очередь нуждаются в модернизации.

5. Оценка финансовых возможностей. Включает в себя первичную оценку финансовых вложений, которые предприятие готово пустить на модернизацию АСТПП, в том числе долговременные затраты на переобучение персонала и непрямые финансовые потери, связанные со снижением эффективности производства предприятия в процессе модернизации.

6. Выпуск технического задания на усовершенствование АСТПП предприятия. Конечным результатом этапа анализа является выпуск полного технического задания на модернизацию АСТПП предприятия. В составлении технического задания принимают участие представители всех подразделений предприятия, так или иначе связанных с информационной системой предприятия.

Выбор и внедрение новых решений в области САПР

Современные САПР являются сложными программными комплексами высокой стоимости, способными выполнять широкий спектр задач по автоматизации. Подбор данных программных пакетов и комплексов является ответственной задачей, от успеха которой в значительной мере зависит и успешность модернизации АСТПП предприятия в целом. Создание подробного алгоритма подбора САПР для нужд приборостроительного предприятия позволяет ускорить данный процесс и повысить вероятность принятия удачных решений. Подбор новых САПР ведется согласованно с модернизацией внутреннего и внешнего документооборота предприятия [1].

Обзор рынка САПР. Современный рынок САПР предлагает огромный выбор различных решений всех уровней и ценовых категорий. Для эффективного подбора САПР необходимо тщательно проанализировать текущие предложения рынка и основные его тенденции. В зависимости от характера производства предприятия особое внимание уделяется либо узкоспециализированным программным продуктам, либо многозадачным интегрированным программным комплексам. Если по финансовым или иным причинам приобретение новых САПР считается нецелесообразным, то необходимо сосредоточиться на расширении возможностей уже существующих САПР путем обновления версии и добавления новых модулей с новыми возможностями [2].

Выбор конкретных решений в области САПР. Исходя из технического задания на модернизацию АСТПП, а также из результатов анализа, окончательно определяется круг задач, которые будут решать новые САПР. Это позволяет из всего многообразия рынка САПР выбрать несколько вариантов программных продуктов от разных компаний, которые соответствуют предъявляемым требованиям. Далее производится их сравнение по основным предъявляемым критериям. Для этого составляются таблицы сравнения, которые позволяют наглядно определить преимущества и недостатки предлагаемых САПР как в целом, так и относительно друг друга. Далее необходимо выяснить, как они будут взаимодействовать друг с другом и с уже существующими решениями. Окончательный выбор определенного программного продукта или нескольких происходит на основе требований технического задания, особенностей документооборота, таблиц сравнения и взаимодействия с поставщиками. Решение о приобретении того или иного продукта обосновывается ответственным лицом и утверждается руководством предприятия.

Внедрение новых решений

Новые программные и организационные решения должны быть в обязательном порядке протестированы на предмет их соответствия предъявляемым требованиям уже непосредственно на рабочих местах. Для данного тестирования, как правило, отбирается небольшая группа сотрудников предприятия в одном или нескольких отделах. В их задачу входит проверка функциональных возможностей новых САПР применительно к нуждам предприятия, взаимодействие новых и старых САПР, соответствие выходной информации стандартам предприятия, взаимная интеграция используемых форматов передачи данных. Финальным шагом на этапе тестирования является выполнение пилотного проекта с применением новых решений. В случае его успешного завершения начинается стадия полноценного внедрения новых САПР. При неудовлетворительных результатах требуется тщательный анализ и устранение причин. После успешного завершения этапа тестирования начинается внедрение новых решений уже для всего предприятия. В зависимости от

масштабов планируемых изменений будут использоваться различные стратегии внедрения, отличающиеся друг от друга масштабом и сроками.

Области возможного применения

Представленная в проекте методика усовершенствования АСТПП приборостроительного предприятия, связанная с внедрением новых решений в области САПР и информационным обеспечением процесса проектирования может быть использована в промышленности при условии ее доработки к условиям конкретного предприятия. Результаты проекта также могут быть применены в учебно-методических целях.

Заключение

В виду современных тенденций к снижению долговечности изделий в рамках жизненного цикла снижение времени их проектирования и изготовления является одной из приоритетных задач для приборостроительных предприятий. Помимо использования передовых технологий в производстве, значительный выигрыш во времени дает грамотное применение АСТПП предприятия. Однако постоянный прогресс программных средств автоматизации требует от предприятий непрерывающегося поиска новых решений в этой сфере, что необходимо для сохранения их конкурентоспособности в условиях современной рыночной экономики [3].

В ходе выполнения данного проекта были проанализированы характеристики современного приборостроительного предприятия и создан алгоритм подбора новых программных средств как часть процесса модернизации его АСТПП. Были определены основные факторы, на которые в первую очередь необходимо обратить внимание, и основные шаги при выборе новых или модернизации уже существующих САПР. Особое внимание уделено влиянию внедрения новых решений на систему документооборота предприятия и взаимной интеграции элементов его информационного пространства.

Публикации

1. *Магдиев Р.Р., Уваров М.М., Потапов А.В.* Технологическая подготовка изготовления детали сложной геометрии на современном приборостроительном предприятии // *Металлообработка*. 2013. № 3 (75). С. 40–46.
2. *Потапов А.В.* Роль АСТПП на современном приборостроительном предприятии // *Новые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: материалы I Всероссийской заочной научно-практической конференции*, декабрь 2012. Бийск, 2012. С. 137–140.
3. *Потапов А.В.* Опыт комплексного применения систем автоматизированного проектирования при изготовлении сложного сборочного изделия на современном приборостроительном предприятии // *Путь науки*. 2015. № 4 (14). С. 15–17.
4. *Потапов А.В.* К вопросу выбора САПР ТПП приборостроительного предприятия // *Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых*. Вып. 2. СПб., 2013. С. 414–415.
5. *Потапов А.В.* Опыт комплексного применения систем автоматизированного проектирования при изготовлении детали сложной геометрии // *Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых*. Вып. 2. СПб., 2014.

Литература

1. *Яблочников Е.И. и др.* Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // *Известия вузов. Приборостроение*. 2010. Т. 53. № 6. С. 12–16.
2. *Яблочников Е.И. и др.* Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия: учебное пособие. СПб., 2010. – 188 с.
3. *Куликов Д.Д. и др.* Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // *Известия вузов. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 7–11.



Рудакова Мария Сергеевна
Факультет лазерной и световой инженерии
Кафедра лазерных технологий и лазерной техники
E-mail: RudakovaMS@bk.ru

РАЗРАБОТКА МИКРОПРОЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ СМЕШАННОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

М.С. Рудакова

Научный руководитель – доцент С.А. Смирнов

Расчет и проектирование оптической системы для микропроекторной системы смешанной и дополненной реальности не представляет большой трудности по сравнению с расчетом комбинера, который предназначен для вывода дополнительной информации в поле зрения пилота на фоне окружающей обстановки. Проблема заключается в подборе подходящего структурного воплощения комбинера, который будет удовлетворять требованиям по качеству изображения, а также обеспечения сквозного расчета от плоскости предметов до плоскости изображения с учетом характера освещающего поля [1].

Целью работы является создание микропроекторных систем смешанной и дополненной реальности, а также новых методов их расчета и проектирования.

Рассмотренный принцип построения комбинера заключается в том, что излучение доставляется до глаз наблюдателя посредством распространения его через призмные элементы (ТР-слои), на которые нанесено отражающее/пропускающее покрытие, осуществляющее селекцию пучков.

На рис. 1 показана принципиальная схема транспортировки излучения: изображение с микродисплея 1 поступает на оптическую систему 2, затем на экран 3–8, и транспортируется до плоскости наблюдения (глаза) 9. Основными элементами структуры экрана 3–8 являются два скрещенных призмных блока: блок 3, 4, 5, именуемый в дальнейшем мультипликатор горизонтального поля (МГП), и блок 6, 7, 8 – мультипликатор вертикального поля (МВП). Количество элементов (призм или ТР-слоев) в мультипликаторах полей может быть различным в зависимости от толщины устройства и требуемого поля зрения. Излучение в мультипликаторы вводится через входные призмы 3, 6, поверхность которых выполнена в виде зеркал [1]. Угол наклона входных призм и ТР-слоев в мультипликаторе равен α . Однако возможна такая ситуация, когда угол в основании входной призмы и угол наклона ТР-слоев различны.

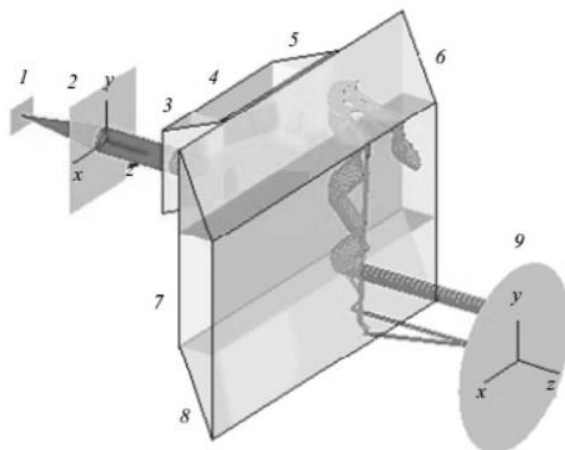


Рис. 1. Плоский волноводный экран

Одной из задач являлось получение аналитических выражений, описывающих взаимосвязь параметров структуры: толщины устройства d , угла наклона входной призмы α' и ТР-слоев α , периода следования слоев T . На основе полученных выражений стало возможным рассчитать все интересующие параметры системы и провести ее моделирование для анализа получаемых картин плотности мощности.

Анализ распределения плотности мощности осуществлялся по яркости изображения (к дисплеям с диагональю 20 см предъявляется требование по яркости > 150 нит), равномерности освещения изображения, наличию слепых зон и потерям в оптическом тракте.

В Таблице приведены рассматриваемые варианты построения мультипликаторов, которые были промоделированы в программном пакете TracePro. Начальное количество лучей составило 119401, мощность излучения $P = 1$ Вт. Длина волны $\lambda = 0,534$ мкм. Показатель преломления материала мультипликаторов $n_c = 1,65$ (стекло ТК-21). Горизонтальное поле зрения составляет $\pm 11,3^\circ$, вертикальное – $\pm 8,5^\circ$. Толщина устройства во всех случаях $d = 4$ мм, а количество слоев $n = 3$. Лучи, вышедшие из мультипликатора, регистрировались на площадке, диаметром 50 мм, расположенной на расстоянии 28 мм от последней его поверхности. Анализ проводился также и по распределению в зрачковой зоне, которая располагалась на том же расстоянии от мультипликатора, что и экран. Расположение зрачковой области относительно центра экрана выбиралось исходя из наиболее оптимального заполнения области при параллельном ходе лучей.

Таблица

Варианты моделирования комбинера

Параметры	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Мультипликатор горизонтального поля				
Угол входной призмы α' , °	45	30	25	30
Угол наклона ТР-слоев α , °	45	30	25	30
T , мм	4,47	7,4	9,05	7,4
Мультипликатор вертикального поля				
Угол входной призмы α' , °	45	30	25	25
Угол наклона ТР-слоев α , °	45	30	25	25
T , мм	4,36	7,28	8,94	8,94

Один из полученных вариантов распределения плотности мощности излучения с углом наклона $\alpha = 30^\circ/30^\circ$ представлен на рис. 2. Потери в тракте равны 9,5 % при мощности в 0,73 Вт. Распределение относительно равномерное, хотя в центре имеется небольшой провал интенсивности, связанный с тем, что в этом месте переналожение пятен не столь равномерное.

Для анализа зрачковой области смещение центра зрачка относительно центра экрана составило: $x = 1,6$ мм, $y = 2,5$ мм. Мощность в зрачковой области 0,022 Вт (рис. 3). Коэффициент пропускания для зрачка: $\tau = 30318/119401 = 0,253$ (или 25,3 %). Яркость изображения для наблюдателя составит $B' = 183,68$ нит. По яркости данный вариант превосходит минимально требуемую характеристику в 3,5 раза.

Система считалась работоспособной, если яркость изображения была не ниже 50 % и потери в оптическом тракте не превышали 40 %. Все рассмотренные в работе варианты удовлетворяли этому условию, но наиболее оптимальными по качеству конечного изображения были варианты 1 и 2. В остальных случаях в распределении освещенности имеются некоторые искажения, такие как фантомные блики и «слепые» пятна, что может быть причиной нарушения полного внутреннего отражения и поляризации изображения.

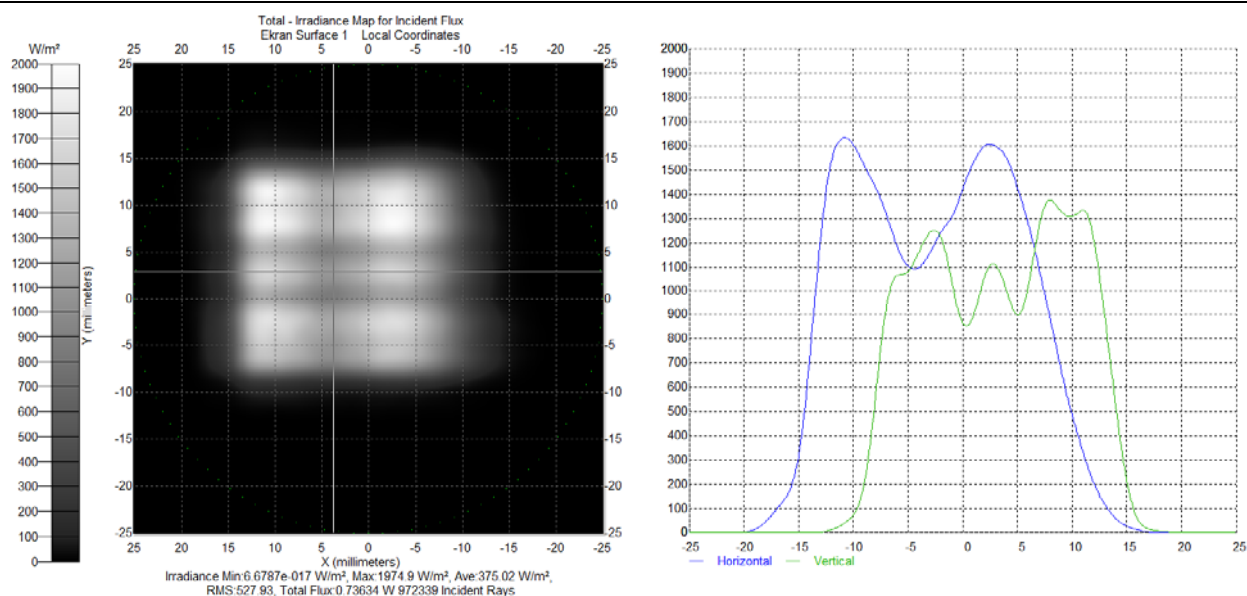


Рис. 2. Картина плотности мощности излучения ($\alpha = 30^\circ/30^\circ$)

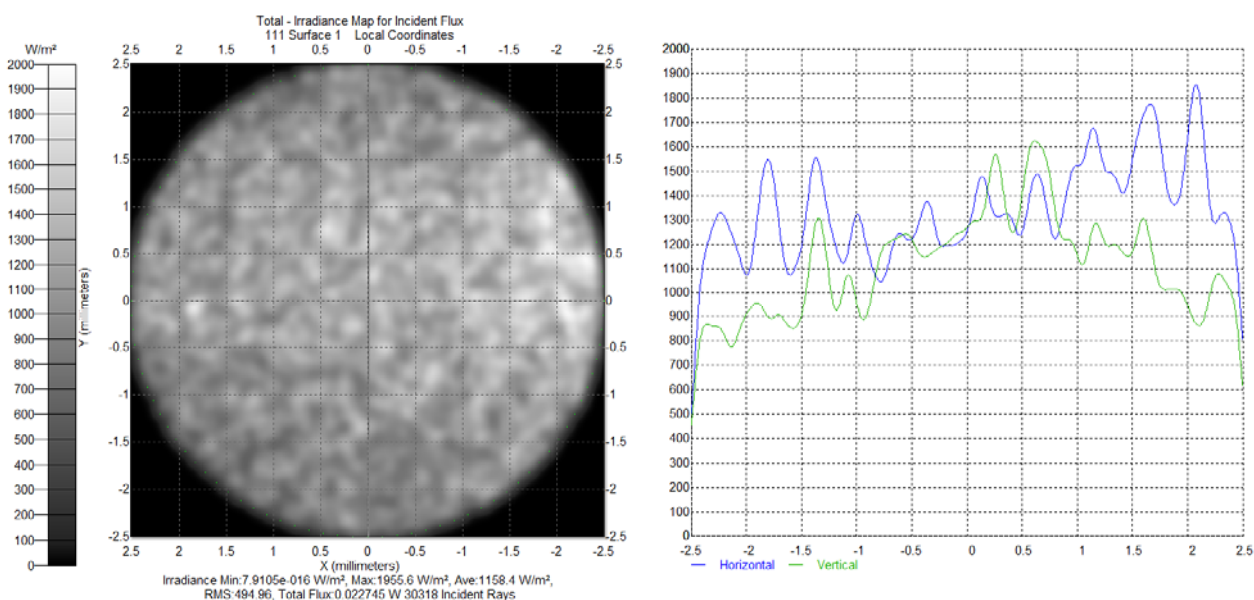


Рис. 3. Картина плотности мощности излучения в зрачковой зоне ($\alpha = 30^\circ/30^\circ$)

Полученные изображения на экране – это картина тиражирования входного зрачка. Реально глаз человека будет видеть другую картину, а именно изображение с микродисплея. По этой причине в систему и соответственно в программу TrasePro была встроена модель глаза, для которой уже были определены все необходимые параметры (рис. 4). Хотя данная модель и не является динамической, а повторяет лишь архитектуру глаза со свойствами, присущими тканям, без психофизических свойств самого зрительного аппарата. В данном случае будут интересовать такие параметры, как размер полученного изображения, потери в тракте и целостность изображения.

Все рассмотренные варианты обеспечивают перенаправление излучения на сетчатку глаза. Потери и неравномерности, полученные при такой оценке, могут являться следствием нерационального расположения глаза относительно выходной поверхности комбинера. Улучшение равномерности распределения можно достигнуть путем подбора рационального расположения комбинера относительно глаза.

При исследовании микропроекторных систем важно уделять внимание вопросу распространения поляризованного излучения в системе. Это необходимо для того, чтобы понять, как происходит перераспределение энергии (и потерь) для каждой компоненты

поляризации при распространении излучения в комбинере за счет отражений от граней и составляющих его элементов. Это в свою очередь даст информацию об эффективности работы комбинера и о причинах, связанных с искажением изображения. В ходе исследования был определен тип поляризации, наиболее подходящий для микропроекторных систем смешанной и дополненной реальности.

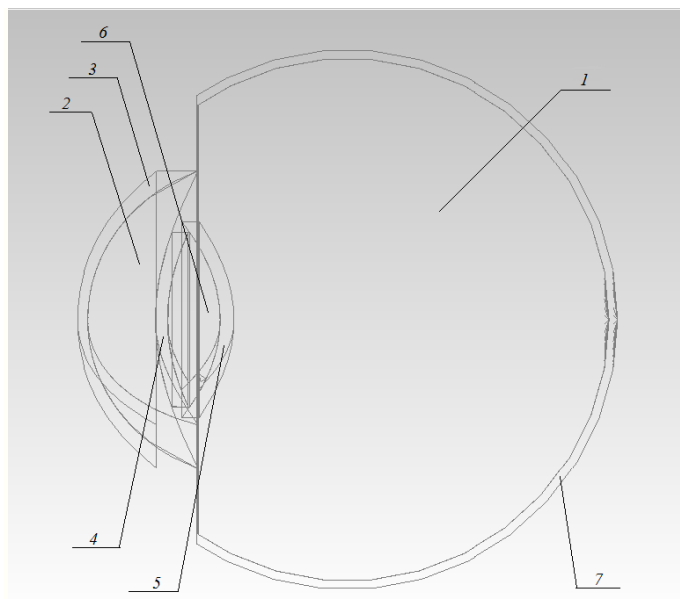


Рис. 4. Модель глаза: 1 – стекловидное тело, 2 – водянистая влага, 3 – роговица, 4 – передняя кора хрусталика, 5 – задняя кора хрусталика, 6 – хрусталик, 7 – сетчатка

Были разработаны схема для проектора на LCoS-микродисплейных модуляторах и оптические схемы составных элементов: конденсора и коллиматорного объектива. Предложены несколько вариантов их реализации и выполнены необходимые габаритно-абберационные расчеты с оценкой качества оптических систем.

Также был выполнен анализ процесса перераспределения энергии (и потерь) для каждого типа поляризации при распространении излучения в комбинере за счет отражений от граней и призматических слоев. Реализовать его можно, рассмотрев падающее на комбинер излучение в виде спектра плоских волн и решив соответствующую систему уравнений [2].

Заключение

Разработана модель расчета комбинера на плоских волноводных экранах призмного типа; выведены аналитические выражения, связывающие основные параметры системы; подобраны оптимальные параметры системы, проведено моделирование и анализ полученных данных с использованием программного продукта TrasePro. Были рассмотрены различные программные продукты для анализа микропроекторных систем и выбран тот, который более всего подходит для анализа. Также были рассмотрены вопросы, касающиеся распространения поляризованного излучения в системе и определены основные вопросы и проблемы, возникающие в данной области.

Главные цели проекта – разработка микропроекторных систем смешанной и дополненной реальности и новых методов их расчета и проектирования, выполнены. На основе полученных данных можно заняться разработкой и изготовлением опытного образца комбинера. Область применения полученных результатов – не только производство новых технологий и устройств дополненной реальности, но и оптимизация уже существующих систем. Представленную модель можно использовать для прогнозирования результатов моделирования при применении голографических элементов (в том и в другом случае

технология распространения излучения по световоду одинакова и осуществляется посредством полного внутреннего отражения на гранях).

Результаты работы предполагается использовать также и в учебном процессе в качестве дополнения учебных курсов по дисциплинам «Теория и методы проектирования оптических систем», «Прикладная физика» и «Лазерные информационные системы и технологии».

Публикации

1. *Гримм В.А., Рудакова М.С., Смирнов С.А.* Микропроекторные системы смешанной и дополненной реальности на плоских волноводных экранах // Известия вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 9. С. 84–89.
2. *Рудакова М.С.* Микропроекторные системы смешанной и дополненной реальности на плоских волноводных экранах // Сборник работ студентов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга. СПб., 2014. С. 143–155.
3. *Рудакова М.С.* Разработка микропроекторной системы смешанной и дополненной реальности на плоских волноводных экранах // Аннотированный сборник научно-исследовательских выпускных квалификационных работ магистров Университета ИТМО. СПб., 2014. С. 131–234.
4. *Рудакова М.С.* Микропроекторные системы смешанной и дополненной реальности на плоских волноводных экранах // Сборник трудов Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики – 2014». СПб., 2014. С. 238–240.
5. *Рудакова М.С.* Моделирование микропроекторной системы смешанной и дополненной реальности [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: openbooks.ifmo.ru/ru/file/1139/1139.pdf (дата обращения: 19.09.2015).

Литература

1. *Гримм В.А. и др.* Микропроекторные системы смешанной и дополненной реальности на плоских волноводных экранах // Известия вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 9. С. 84–89.
2. *Виноградов М.Б. и др.* Теория волн. М., 1979. – 384 с.



Рыбальченко Максим Александрович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра систем управления и информатики
E-mail: paltusoff@gmail.com

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

М.А. Рыбальченко

Научный руководитель – доцент В.И. Бойков

Цели проекта – разработка алгоритмов работы системы технического зрения (СТЗ) в составе мобильного робота, а также системы автоматического управления его движением и перемещением.

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

На данном этапе была определена архитектура мобильного робота, ориентирующегося в локальной местности посредством системы технического зрения, для работы в заведомо неизвестном пространстве. Были выдвинуты и проработаны идеи реализации системы технического зрения.

В вопросах автоматизации автономных мобильных роботов до сих пор не решены комплексные задачи их оцувствления. Применяемые в этих системах датчики, основанные на разнообразных физических явлениях, имеют свои достоинства и недостатки. Так, например, ультразвуковые датчики дешевы и просты в использовании, однако легко улавливают помехи и плохо работают в ветреную погоду, а скорость звука зависит от температуры окружающей среды. Датчики, основанные на электромагнитных волнах СВЧ-диапазона, немного дороже ультразвуковых и инфракрасных и не реагируют на некоторые объекты с определенными конструктивными особенностями, например на тонкие объекты из диэлектрика. Все вместе эти датчики не дают какой-либо конкретной информации об окружающей обстановке и всего лишь напоминают движение на ощупь в темноте.

Более комплексную картину окружающей среды можно получать при помощи лидаров или видеокамер. Первые являются хорошими средствами получения информации об окружающей обстановке и применяются на борту гугл-мобилей. Однако их стоимость очень высока и соизмерима со стоимостью самого автомобиля. Видеокамеры обходятся несколько дешевле, но требуют немалых вычислительных мощностей и сложных алгоритмов. Однако можно утверждать, что именно они являются оптимальным вариантом системы для локальной ориентации, так как покрывают необходимость комплексного восприятия рабочей сцены и при этом не являются такими финансово неподъемными, как лидары.

Любое изображение, которое выдает видеокамера, отличается от исходного изображения рабочей сцены еще до того, как оно будет спроецировано на матричный приемник изображения (МПИ). Это обусловлено рядом факторов. Свет, отраженный от рабочей сцены, проходит через оптическую систему видеокамеры, и изображение приобретает искажения, вызванные ее неидеальностью. Далее свет проецируется на матричный приемник изображения. Здесь можно упомянуть про неоднородность матрицы, проистекающую из неодинаковости пикселей относительно друг друга и постоянных шумах на каждом из них. Далее информация с каждого пикселя оцифровывается блоком аналого-цифровых преобразователей (АЦП), который имеет свой собственный уровень шумов и нелинейностей. Отправной точкой в описании вносимых неравномерностей и неоднозначностей получаемой (оцифрованной) информации с матрицы являются колебания освещенности [1].

Все эти факторы необходимо учитывать и строить СТЗ начиная с борьбы с искажениями и шумами. Сами по себе искажения могут быть сведены к минимуму хорошей оптической системой и не играть значительной роли в формировании изображения.

Шумы, производимые МПИ и АЦП, аппроксимируются моделью белого гауссового шума. Для их подавления существуют различные алгоритмы фильтрации. К ним относят фильтры, сглаживающие с помощью усреднения или с помощью гауссиана.

Отдельно стоит отметить момент устранения неоднородности, вносимой характером освещения рабочей сцены, который проявляется в изменениях яркости и контрастности изображения. В современных матрицах предусмотрена возможность управления сигналом, получаемым с ячеек путем изменения усиления или смещения уровня, а также экспозиции.

После подавления шумов и искажений стоят задачи, непосредственно относящиеся к управлению всем мобильным роботом. Для передвижения робота без столкновения с окружающими предметами должны быть разработаны алгоритмы обнаружения препятствий, определения их геометрических параметров в рабочей сцене и прогнозирования возможного перемещения препятствий. На этом этапе применяются методы преобразования Фурье, выделения границ и морфологического анализа.

В ходе выполнения работы было предложено несколько видов архитектур СТЗ, среди которых была выбрана одна, работающая на принципе стереозрения (изображение считывается двумя камерами по аналогии с системой зрения у людей и животных) и наиболее подходящая к выполнению задачи локальной ориентации.

В этом случае для обнаружения препятствий в поле зрения необходима одновременная обработка двух видеопотоков. Структура такой СТЗ представлена на рис. 1. Она включает модуль обработки и фильтрации (МОФ), модуль обработки стереоизображения (МОС), видеокамеру (ВК) и компьютер. МОФ отвечает за фильтрацию шумов, балансировку яркости, работу специальных фильтров границ (Собеля, Кэнни) [2]. Для соблюдения достоверности приходящие с видеокамер изображения должны соответствовать одному и тому же моменту времени, то есть должна соблюдаться жесткая синхронизация работы фильтров. МОС отвечает за обработку двух стереоизображений для обнаружения объектов в рабочей сцене. Далее информация передается в компьютер для принятия окончательного решения по определению маршрута [3].

Реализацию в «железе» можно выполнить либо в виде одного цифрового сигнального процессора или программируемой логической интегральной схемы, либо в распределенном варианте, состоящем из нескольких микросхем. Случай с одной микросхемой конструктивно проще, ибо вся обработка происходит внутри нее, что облегчает реализацию, однако он ограничен возможностями вычислительного ядра. Вариант с несколькими микросхемами является резервным, он сложнее, так как потребует специальных конструктивных решений, а также решения вопросов взаимодействия и согласования работы отдельных микросхем. Он более гибок и структурно детерминирован.

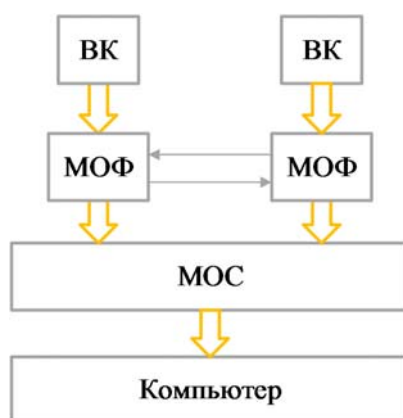


Рис. 1. Архитектура СТЗ стереозрения

Заключение

Для разработки системы локальной ориентации подвижного объекта было решено использовать архитектуру СТЗ, работающую по принципу стереозрения в распределенном исполнении. Это дает возможность разбить имеющиеся задачи на более простые и отработать их детально, что позволит в дальнейшем в случае необходимости вносить изменения в структуру системы без остановки работы над проектом.

Предложенная архитектура наиболее предпочтительна, так как она обладает особенностью обнаружения препятствий в статическом режиме.

Разработана архитектура системы технического зрения, позволяющая решать такие тактические задачи управления движением мобильного робота, как обнаружение препятствия, определения его параметров, прогноз относительного движения препятствия и робота, выбор маршрута объезда препятствия. Все указанные задачи решаются в режиме реального времени, что позволяет существенно улучшить качество управления роботами и расширить сферу их применения.

Литература

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. СПб., 2004. – 928 с.
2. Грузман И.С. и др. Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие. Новосибирск, 2002. – 352 с.
3. Гридин В.Н. и др. Адаптивные системы технического зрения. М., 2009. – 442 с.
4. Блинников А.А. и др. Коррекция искажения перспективой в системе технического зрения // Известия вузов. Приборостроение. 2013. Т. 56. № 4. С. 89–93.
5. Бойков В.И. и др. Бортовая система управления колесного робота с двумя независимыми колесами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. № 8. С. 59–64.



Сагидуллин Александр Сергеевич
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра технологии приборостроения
E-mail: sagi.pochta@gmail.com

РАЗРАБОТКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ САПР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МНОГОАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.С. Сагидуллин

Научный руководитель – профессор Д.Д. Куликов

Цель проекта – разработка программного комплекса САПР технологических процессов как веб-приложения, основанного на применении многоагентного подхода и позволяющего осуществить коллективную работу при проектировании технологического процесса. Исследование проводилось в области создания приложения для написания технологических процессов, повышающих уровень автоматизации, путем интеграции с другими приложениями, используемыми в качестве баз данных (БД) и баз знаний (БЗ).

В современном производстве предъявляются все более строгие требования к обеспечению выпуска высококачественной продукции, отвечающей современному уровню развития науки и техники. Это связано с усложнением конструкций изделий, повышением точности и качества их изготовления, снижением трудоемкости, себестоимости, увеличением долговечности и надежности и т. п. Выполнить эти требования можно на основе комплексной автоматизации технической и технологической подготовки производства.

При автоматизации технологической подготовки производства (ТПП) используются как универсальные, так и специализированные подсистемы ТПП, и делается попытка их интеграции в единую автоматизированную систему технологической подготовки производства (АСТПП). Сложность создания специализированных подсистем ТПП заключается главным образом в необходимости учета специфики предприятия и поддержании актуальности данных в подсистемах ТПП. Внимание к специфике производства связано с анализом проблемной среды, созданием ее модели и фиксацией в базах данных и знаний.

Высокая динамика развития специализированных подсистем заключается в последовательном повышении уровня автоматизации, расширении функциональных возможностей и устранении алгоритмических и программных ошибок. Поэтому

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

целесообразно, с одной стороны, создавать подсистемы, которые можно достаточно просто адаптировать к изменяющимся условиям, а с другой стороны – иметь методику и инструментарий для выполнения такой адаптации.

В настоящее время разработчики АСТПП все большее внимание уделяют разработке продуктов, выполненных в виде веб-сервиса. Данный подход соответствует парадигме облачных вычислений. На сегодняшний день не существует программных комплексов, которые могли бы в полной мере отвечать потребностям современного производства [1]. Поэтому возникают вопросы сопряжения различных систем, таких как CAD, CAPP, PLM и т. д. Следует учитывать, что подсистемы могут различаться степенью автоматизации работ по проектированию и управлению, применяемыми техническими средствами переработки информации, характером проблемно-ориентированных языков конструирования, технологического проектирования и управления, временным интервалом между получением результатов в одной системе и их использованием в других системах [2]. В связи с этим возникает сложная задача обеспечения совместимости между подсистемами по всем видам связей. Под совместимостью будем понимать общность указанных подсистем АСТПП в формализованных языках, характере и структуре входных и выходных документов, времени их получения и использования, которая обеспечивает возможность их взаимодействия. Кооперация возможностей каждой из систем позволит повысить уровень автоматизации АСТПП в целом.

В ходе выполнения проекта была определена и разработана структура программы «ТИС-Процесс». В качестве языков программирования выбраны PHP и JavaScript, так как они не требуют специальных глубоких знаний для освоения. В качестве системы управления базами данных была использована нереляционная MongoDB, которая является кроссплатформенной (использует платформу JavaScript – Node.js) и позволяет реализовать удобную схему хранения технологических процессов. Ее недостаток по сравнению с реляционными БД – повышение скорости обработки запросов при больших объемах самих БД.

Автором было написано тестовое приложение «ТИС-Процесс» (рис. 1), которое работает через любой интернет-браузер с использованием веб-сервиса «ТИС-Админ», автор которого – аспирант ИТМО Н.Е. Филюков [3]. Реализован функционал создания, хранения и редактирования технологических процессов с возможностью разделения прав доступа и хранения всей информации на сервере.

Код ТП	Тип ТП	Тип процесса	Обозначение документа	Разработчик
34-43	ТП	Механ.	КРА 001.400	Сагидуллин А. С.
34-43	ТП	Механ.	КРА 001.400	Сагидуллин А. С.
44-45	ТП	Литьё	ООП 001.544	Иванов П.П.
77-01	ТП	Литьё	КРУ 023.567	Шестаков В.С.
99-98	ТП	Механ.	АПП 004.009	Сидоров А.У.
45-71	ТП	Механ.	ПРА 004.005	Хасп В.Н.
77-01	ТП	Литьё	КРУ 023.567	Вокат В.С.

Рис. 1. Общий вид главной страницы приложения «ТИС-Процесс»

Новизной данной разработки является связь нескольких веб-приложений, работающих как единое информационное пространство. «ТИС-Процесс» при создании нового техпроцесса использует информацию БД и БЗ, заложенную во вспомогательные веб-сервисы системы ТИС. В веб-приложении «ТИС-Деталь» идет формирование параметрической

модели детали, которую обычно называют конструкторско-технологической моделью (КТМ). Все данные хранятся на сервере, управление которым реализует «ТИС-Админ»; «ТИС-Словарь» является приложением управления номенклатурой переменных, общих для всех приложений; «ТИС-ТАП» – приложение БЗ, в котором заложены типовые решения для разработки техпроцессов на основе размеров КТМ.

В настоящий момент реализована и проверена работа приложения «ТИС-Процесс» с программами «ТИС-Админ» и «ТИС-Словарь». Ведется работа над возможностью вывода созданных технологических процессов из программы «ТИС-Процесс» в другие программные продукты АСТПП и использование полученных данных в PDM-системах.

Публикации

1. Сагидуллин А.С., Носов С.О. Создание САПР технологических процессов как комплекса web-приложений // Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности и экономике: сборник статей XVI Международной научно-практической конференции. СПб., 2013. С. 117–119.
2. Сагидуллин А.С., Носов С.О. Применение многоагентных технологий при автоматизированном проектировании технологических процессов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2014. С. 449–450.
3. Носов С.О., Сагидуллин А.С. Организация системы управления знаниями на основе PDM-систем // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Вып. 2. СПб., 2014. С. 446–447.
4. Куликов Д.Д., Сагидуллин А.С., Носов С.О. Интеграция систем автоматизированного проектирования с САД системой // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 8. С. 21–25.
5. Носов С.О., Сагидуллин А.С. Организация метаданных в системе управления знаниями // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 8. С. 45–48.
6. Шестаков В.С., Сагидуллин А.С. Применение технологии websocket в web-приложениях технологического назначения // Известия вузов. Приборостроение. 2015. Т. 58. № 4. С. 328–330.

Литература

1. Brown J. Стратегии основных PLM-поставщиков в 2014 году и дальше // CAD/CAM/CAE Observer. 2014. № 1 (85). С. 30–36.
2. Куликов Д.Д. и др. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 8. С. 7–11.
3. Филуков Н.Е. Система администрирования WEB-ориентированной автоматизированной системы технологической подготовки производства // Известия вузов. Приборостроение. 2014. Т. 57. № 8. С. 15–17.



Скриплева Елена Александровна
Факультет пищевых технологий и инженерии
Кафедра прикладной биотехнологии
E-mail: 4ernamurka@rambler.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЙОГУРТА С СЕЛЕНОМ ДЛЯ ЛЮДЕЙ, СТРАДАЮЩИХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Е.А. Скриплева

Научный руководитель – профессор Т.П. Арсеньева

Цель работы – разработка состава йогурта, обогащенного селеном в органической форме, с добавлением заменителей сахара.

Были проведены экспериментальные исследования показателей качества йогурта, обогащенного селеном, и выбрана биодобавка «Селен Альга Плюс», содержащая органический селен, йод в виде бурых морских водорослей, витамины *E* и *C*, а также топинамбур, усиливающий усвоение селена [4].

Диетотерапия является одним из основных методов лечения при любом типе сахарного диабета. Ее основная цель – снижение гипергликемии и сохранение уровня сахара в крови в нужных границах, поскольку резкое повышение его уровня может вызвать тяжелые последствия [2].

Селен участвует в метаболизме тиреоидных гормонов, глюкозы, во внутри- и внеклеточной антиоксидантной защите, в регуляции окислительно-восстановительных процессов [3], в синтезе ДНК, отвечает за репродуктивную функцию мужчин, участвует в синтезе кофермента *Q*-10, имеющего большое значение для здоровья сердца и восстановления сердечной мышцы после инфаркта, помогает сохранить остроту зрения [4].

Влияние концентрации биодобавки «Селен Альга Плюс» на органолептические показатели йогурта показаны в Табл. 1.

Как видно из данных, представленных в Табл. 1, при увеличении дозы биодобавки свыше 0,4 % начинает ощущаться специфический привкус с выраженным запахом водорослей, что не позволяет повышать ее концентрацию свыше 0,4 %.

Таким образом, по органолептическим показателям – вкусу и запаху – был выбран образец с концентрацией биодобавки 0,4 %, что соответствует 50 % норме потребления селена в сутки при употреблении в пищу 200 граммов продукта [5].

Экспериментальные данные по влиянию концентрации вносимой биодобавки на динамику кислотонакопления представлены на рис. 1.

Как видно из данных, представленных на рис. 1, биодобавка, независимо от дозы внесения, не влияет на титруемую и активную кислотность. Динамика кислотонакопления в опытных и контрольном образцах была аналогична. За четыре часа сквашивания титруемая кислотность достигла $76 \pm 2^\circ\text{T}$, активная рН составила $4,62 \pm 0,05$.

Биодобавку необходимо вносить вместе с закваской в пастеризованную смесь, так как в процессе тепловой обработки при температуре выше 50°C теряется до 50 % селена [6]. Биодобавка «Селен Альга Плюс» расфасована в вакуумную упаковку, поэтому не требует дополнительной обработки с точки зрения безопасности продукта.

Влияние концентрации стевиозида на показатели качества йогурта показано в Табл. 2.

Таблица 1

Влияние концентрации биодобавки на органолептические показатели качества йогурта

Концентрация биодобавки	Показатели качества	
	Вкус и запах	Консистенция
контроль	Чистый, кисломолочный	Однородная, вязкая
0,1 %	Чистый, кисломолочный	Однородная, вязкая, имеются незначительные вкрапления бурого оттенка
0,2 %	Чистый, кисломолочный, характерный внесенному наполнителю	Однородная, вязкая, имеются незначительные вкрапления бурого оттенка
0,3 %	Чистый, кисломолочный, характерный внесенному наполнителю	Однородная, вязкая, имеются вкрапления бурого оттенка
0,4 %	Чистый, кисломолочный, характерный внесенному наполнителю	Однородная, вязкая, имеются вкрапления бурого оттенка
0,5 %	Кисломолочный, со специфическим привкусом и запахом водорослей	Однородная, вязкая, имеются вкрапления бурого оттенка
0,6 %	Кисломолочный, специфический, с выраженным привкусом и запахом водорослей	Однородная, вязкая, имеются многочисленные вкрапления бурого оттенка
0,7 %	Кисломолочный, специфический, с ярко выраженным привкусом и запахом водорослей	Однородная, вязкая, имеются многочисленные вкрапления бурого оттенка
0,8 %	Кисломолочный, неприятный специфический	Однородная, вязкая, имеются многочисленные вкрапления бурого оттенка

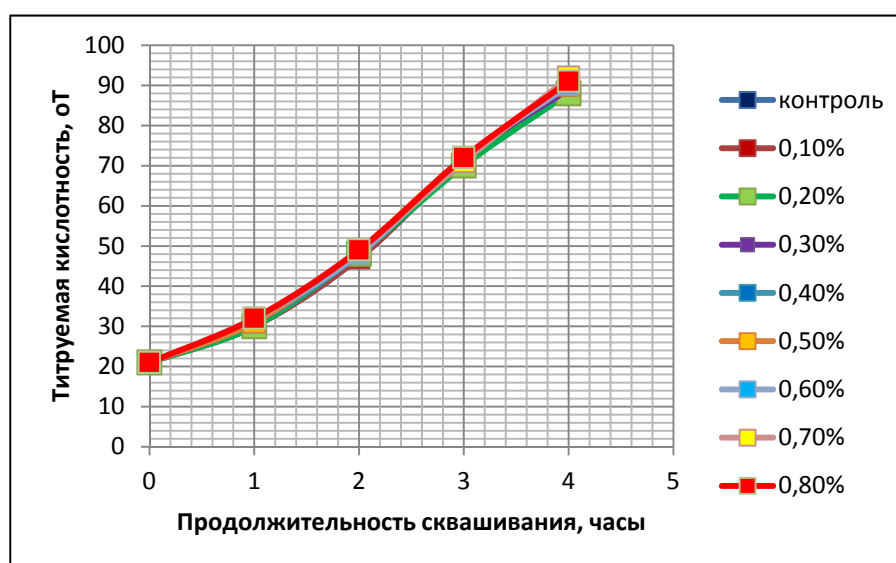


Рис. 1. Влияние концентрации биодобавки на динамику кислотонакопления

Как видно из данных, представленных в Табл. 2, образец с концентрацией стевиозида 0,05 % обладает недостаточной сладостью, но при ее увеличении ощущается явный

специфический привкус. Поэтому для улучшения вкуса было решено дополнительно внести в йогурт сироп топинамбура [7]. Показатели качества йогурта со стевиозидом и сиропом топинамбура представлены в Табл. 3.

Таблица 2

Влияние концентрации стевиозида на показатели качества йогурта

Концентрация стевиозида	Вкус и запах
Контроль	Чистый кисломолочный, в меру сладкий
0,01	Чистый кисломолочный
0,02	Чистый кисломолочный
0,03	Чистый кисломолочный, недостаточно сладкий
0,04	Чистый кисломолочный, недостаточно сладкий
0,05	Чистый кисломолочный, недостаточно сладкий
0,06	Кисломолочный, недостаточно сладкий со специфическим привкусом
0,07	Кисломолочный, сладкий со специфическим привкусом
0,08	Кисломолочный, сладкий со специфическим привкусом
0,09	Кисломолочный, излишне сладкий со специфическим привкусом
0,1	Кисломолочный, излишне сладкий со специфическим привкусом

Таблица 3

Влияние концентрации сиропа топинамбура на показатели качества йогурта

Концентрация стевиозида	Концентрация сиропа топинамбура	Концентрация биодобавки «Селен Альга Плюс»	Вкус и запах
0	0	0	Чистый, кисломолочный
0,05	0	0,4	Чистый, кисломолочный, недостаточно сладкий
0,05	1,0	0,4	Чистый, кисломолочный, недостаточно сладкий
0,05	2,0	0,4	Чистый, кисломолочный, недостаточно сладкий
0,05	3,0	0,4	Чистый, кисломолочный, умеренно сладкий, приятный
0,05	4,0	0,4	Чистый, кисломолочный, неприятно сладкий
0,04	3,0	0,4	Чистый, кисломолочный, недостаточно сладкий
0,04	4,0	0,4	Чистый, кисломолочный, недостаточно сладкий
0,04	5,0	0,4	Чистый, кисломолочный, неприятно сладкий

Как видно из данных представленных в Табл. 3, вкус кисломолочный, сладкий, без посторонних привкусов и запахов имел опытный образец с дозой сиропа топинамбура в 3 %.

Таким образом, на основании экспериментальных исследований выбраны следующие концентрации подсластителей: стевиозид – 0,05 %, сироп топинамбура – 3 %. Влияние момента внесения подслащивающих добавок до и после пастеризации на динамику кислотонакопления представлено на рис. 2.

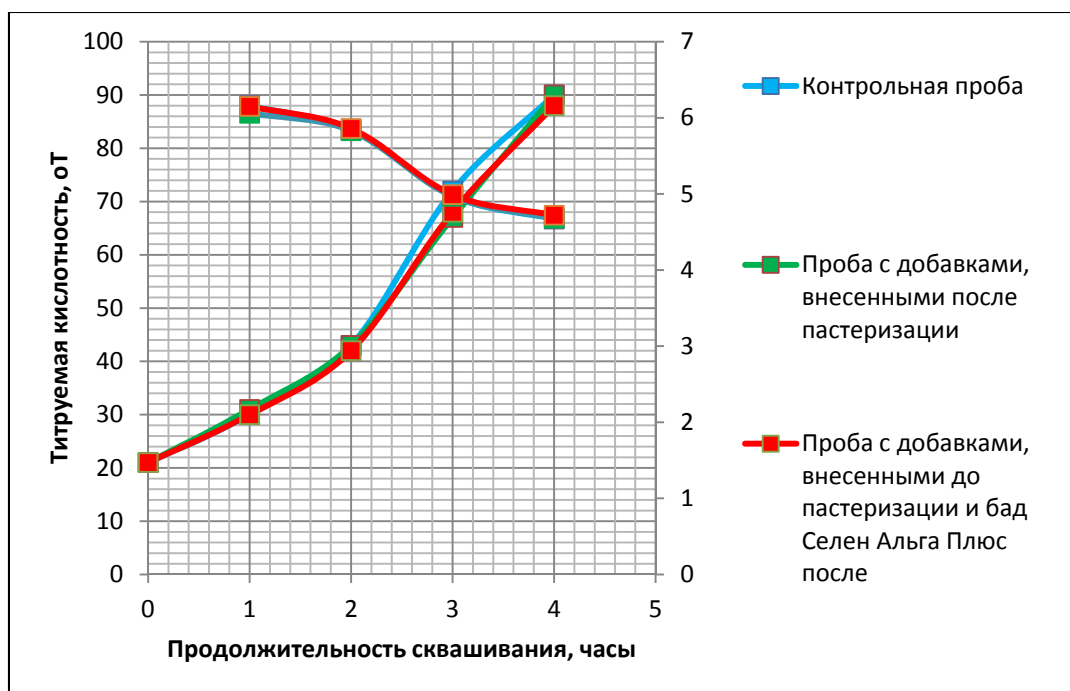


Рис. 2. Динамика кислотонакопления с добавками, внесенными до и после пастеризации

Анализируя данные, представленные на рис. 2, можно отметить, что существенных различий в динамике кислотонакопления титруемой и активной кислотности между опытными образцами с добавками, внесенными до и после пастеризации, в сравнении с контрольным образцом не наблюдалось. Можно рекомендовать оба варианта внесения добавок.

Далее была проведена органолептическая оценка опытных образцов йогурта в сравнении с контрольным образцом. Экспериментальные данные представлены на рис. 3.

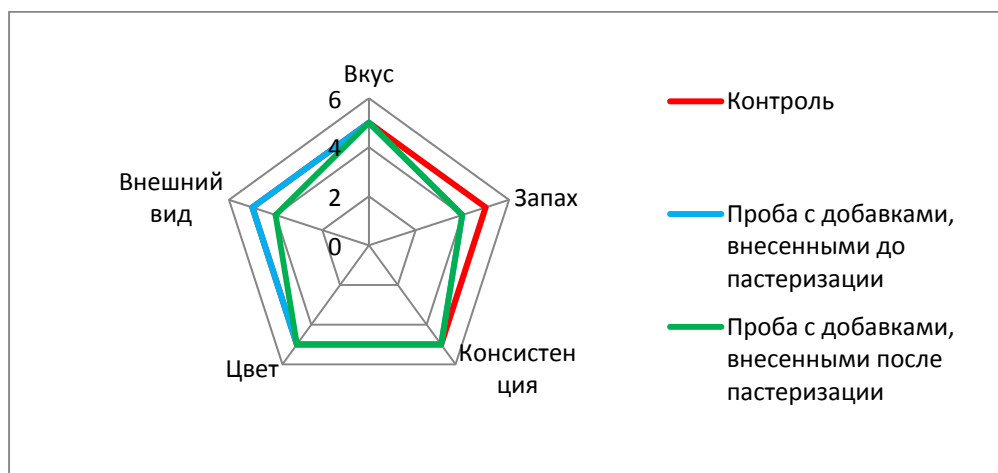


Рис. 3. Органолептическая оценка образцов

Образцы с добавками, внесенными до и после пастеризации, по органолептическим показателям существенно не отличались от контрольного. Ввиду отсутствия разницы и в динамике кислотонакопления подслащивающие добавки можно вносить до и после пастеризации. Однако с точки зрения микробиологической безопасности готового продукта их следует вносить в нормализованную смесь до пастеризации.

Характеристика нового готового продукта представлена в Табл. 4.

Таблица 4

Показатели качества йогурта, обогащенного биодобавкой «Селен Альга Плюс»

Показатель	Характеристика	
	Контроль	Продукт
Вкус	Вкус чистый кисломолочный	Вкус чистый кисломолочный, с привкусом наполнителя, сладкий
Запах	Ярко выраженный кисломолочный аромат	Ярко выраженный кисломолочный аромат, характерный внесенному наполнителю
Цвет	Белый	Соответствующий цвету наполнителя, равномерный по всей массе
Консистенция	Однородная, в меру вязкая, в меру плотная	Однородная, в меру вязкая, в меру плотная
Внешний вид	Поверхность глянцевитая, без отделения сыворотки	Поверхность глянцевитая, без отделения сыворотки, наличие включений биодобавки, равномерно распределенных по всей массе
Кислотность, °Т	78 ± 2	79 ± 2
Активная кислотность	$4,62 \pm 0,05$	$4,58 \pm 0,05$
Относительная вязкость, с	41 ± 2	43 ± 2

Заключение

В результате исследований был создан кисломолочный продукт – йогурт, обладающий сладким вкусом, являющийся источником органического селена, что позволяет снижать риск возникновения онкологических заболеваний. Он доступен для людей, страдающих сахарным диабетом ввиду замены сахарозы на подсластители растительного происхождения.

В результате экспериментальных исследований установлена доза внесения биодобавки «Селен Альга Плюс» в количестве 0,4 % от массы смеси, что соответствует 50 % норме потребления селена в сутки при употреблении в пищу 200 граммов продукта.

В результате экспериментальных исследований установлено, что при использовании в йогурте стевиозида с концентрацией 0,05 % и сиропа топинамбура с концентрацией 3 % он обладает сладким кисломолочным вкусом без посторонних привкусов и запахов.

Выявлено, что стадия внесения подсластителей до или после пастеризации в нормализованную смесь вместе с закваской не оказывает влияния на показатели качества готового продукта. Выбор стадии внесения подсластителей до пастеризации обеспечит получение безопасного продукта с точки зрения микробиологии.

Определены показатели качества готового продукта – органолептические, физико-химические, микробиологические. Выявлено, что йогурт, обогащенный селеном, по вышеуказанным свойствам ничем не уступает традиционному продукту. Биологическая ценность нового продукта значительно выше традиционного аналога. В йогурте с селеном отмечается повышенное содержание селена (удовлетворение суточной потребности на 56,3 % при употреблении в пищу 200 граммов продукта), калия (12,1 %), кальция (23,7 %), йода (34,1 %). Также йогурт с селеном содержит повышенное количество витаминов по сравнению с традиционным продуктом: витамин E (удовлетворение суточной потребности на 51,2 % при употреблении в пищу 200 граммов продукта), витамин C (4,6 %), витамин B2 (17,8 %).

Полученный йогурт входит в сегмент натуральных и экологических молочных продуктов, популярность которых возрастает. На сегодняшний день на рынке отсутствуют молочный товар, способный снижать риск онкологических заболеваний, также отсутствуют сладкие кисломолочные товары для диабетиков. Учитывая приверженность лиц, страдающих

сахарным диабетом, ко всему сладкому, такие продукты должны пользоваться спросом у подобных больных, а также у потребителей, бережно относящихся к своему здоровью.

Публикации

1. *Arseneva T.P., Skripleva E.A.* Optimization of the recipe of yoghurt with additives and control of some quality attributes of new yoghurt recipe // *Agronomy Research*. 2015. Vol. 13. No 4. P. 1086–1096.
2. *Арсеньева Т.П., Скриплева Е.А.* Исследование и разработка йогурта обогащенного селеном в биодоступной форме [Электронный ресурс] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 1 (20). URL: processes.ihbt.ifmo.ru/file/article/10796.pdf (дата обращения: 11.09.2015).
3. *Скриплева Е.А., Арсеньева Т.П.* Подбор закваски для йогурта, обогащенного селеном в легкоусвояемой форме // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2015. № 2-3. С. 46–50.
4. *Скриплева Е.А., Арсеньева Т.П.* Разработка технологии йогурта для людей, страдающих сахарным диабетом // Научный альманах «Вестник Торгово-технологического института». 2014. № 1. С. 51–55.
5. *Скриплева Е.А., Арсеньева Т.П.* Разработка технологии йогурта с использованием заменителя сахара «Стевии» // VI Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке»: материалы конференции. СПб., 2013. С. 603–606.

Литература

1. *Волкотруб Л.П., Андропова Т.В.* Роль селена в развитии и предупреждении заболеваний (обзор) // *Гигиена и санитария*. 2001. № 3. С. 57–61.
2. *Уоткинс П.Дж.* Сахарный диабет. М., 2006. – 96 с.
3. *Rayman M.P.* The importance of selenium to human health // *Lancet*. 2000. Vol. 356. P. 233–241.
4. *Mehdi Y., Hornick J. et al.* Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions // *Molecules*. 2013. № 18. P. 3292–3311.
5. *Свиридова С.П., Кашия Ш.Р. и др.* Возможности эссенциального селена в онкологии // *Вестник РОНЦ им Н.Н. Блохина РАМН*. 2012. Т. 23. № 3. С. 6–15.
6. *Гмошинский И.В., Мазо В.К.* Минеральные вещества в питании человека. Селен: всасывание и биодоступность // *Вопросы питания*. 2006. Т. 75. № 5. С. 15–21.
7. *Полянский К.К. и др.* Стевия в продуктах целебно-профилактического назначения // *Пищевая промышленность*. 2005. № 5. С. 58–60.



Смирнов Николай Викторович
Факультет фотоники и оптоинформатики
Кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики
E-mail: pirate_korsar@mail.ru

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ФИКСАЦИИ ДАТЧИКОВ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ КОНТРОЛЯ

Н.В. Смирнов

Научный руководитель – профессор С.М. Латыев

Цель проекта – разработка и исследование специальных фиксирующих устройств, обеспечивающих принцип отсутствия избыточных связей при соединении датчиков и позволяющих учесть погрешность их работы непосредственно в процессе контроля.

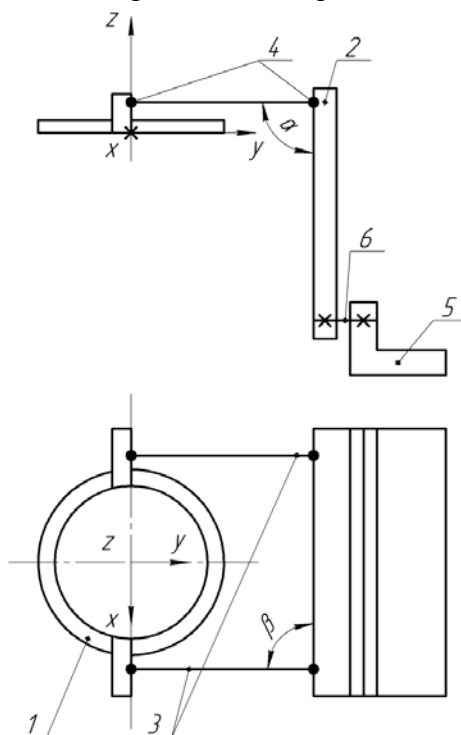


Рис. 1. Упрощенная схема соединительного (фиксирующего) устройства

На рис. 1 представлена схема фиксирующего устройства, основанного на параллелограммном механизме и рычаге [1]. Параллелограммный механизм выполнен в виде кинематической цепи, образованной кольцом 1, качающейся планкой 2, двумя тягами 3 и четырьмя сферическими шарнирами 4, а также рычага, образованного качающейся пластиной 2, соединенной с планкой 5 упругим шарниром 6 (рис. 2). Такая конструкция позволяет корпусу датчика смещаться и поворачиваться относительно осей XYZ (за исключением разворота вокруг оси Z) для компенсации радиальных и осевых биений подшипников соединяемых валов, погрешностей их взаимного расположения при сборке, а также погрешностей соединения валов глухой муфтой [2].

Представленный механизм предназначен для ограничения поворота корпуса контролируемого датчика угловых перемещений, вал которого подключен к валу эталонного датчика при помощи жесткой некомпенсирующей муфты.

На рис. 2 представлена схема подключения датчиков при помощи предложенного параллелограммного механизма [3]. Эталонный датчик 1 неподвижно закрепляется на станине 6 при помощи соединения 8. Вал контролируемого датчика 3 подключен к валу эталонного датчика при помощи глухой муфты 2. Кольцо механизма 5 неподвижно закрепляется на корпусе контролируемого датчика соединением 4, а планка параллелограмма неподвижно закрепляется на станине при помощи соединения 7.

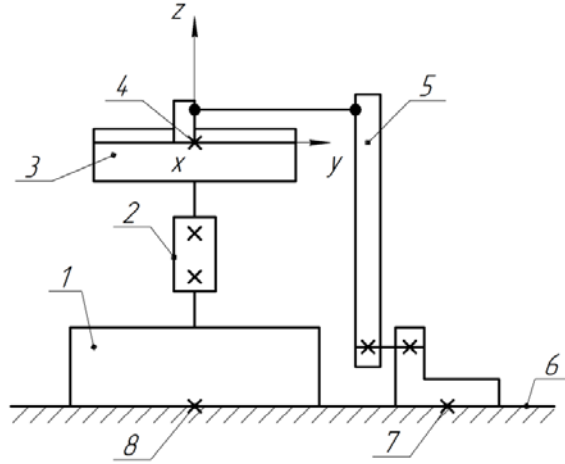


Рис. 2. Функциональная схема подключения стенда

Рассмотрим и проанализируем представленное устройство более подробно. В конструкциях такого вида должны выполняться следующие условия:

- высокая точность ограничения поворота корпуса контролируемого датчика (десятые доли угловой секунды) при достаточно широких допусках на погрешности изготовления и монтажа;
- исключение объемных деформаций элементов устройства как при монтаже, так и при вращении валов датчиков;
- контроль поворота корпуса контролируемого изделия в процессе проверки.

Благодаря параллелограммному механизму со сферическими шарнирами корпус датчика может смещаться вдоль осей X и Z и поворачиваться вокруг осей X и Y , а благодаря рычагу с упругим шарниром – смещаться вдоль оси Y . При этом корпус самого датчика не поворачивается вокруг оси Z .

Экспериментальные исследования данного устройства показали, что оно работает более точно по сравнению с фиксирующим устройством с двумя параллелограммами [4]. Основным показателем качества предложенного механизма является погрешность ограничения поворота корпуса датчика относительно оси его вала (оси Z). Она возникает из-за погрешностей длины звеньев и формы шарниров параллелограммного механизма. Рассмотрим одну из них более подробно.

На рис. 3 изображен преобразованный параллелограммный механизм для определения частичной погрешности устройства, зависящей от погрешности расстояния между сферическими шарнирами на его кольце. На рисунке введены следующие обозначения: l_1 , l_2 , l_3 и l_4 – длины тяг; ΔS_{l_2} , ΔS_{l_3} – погрешности расположения (смещения) тяг, возникающие из-за погрешностей их длин Δl_2 и Δl_3 , соответственно; $\Delta \beta_\Sigma$ – погрешность угла поворота тяг, возникающая из-за погрешностей сборки и несоосности валов датчиков при контроле; $\Delta \varphi_{z\Delta l}$ – погрешность ограничения поворота корпуса.

Погрешность ограничения поворота корпуса зависит от погрешности Δl_2 и определяется выражением:

$$\Delta \varphi_{z\Delta l} = \frac{1}{l_2} \cdot \operatorname{tg}(\Delta \beta_\Sigma) \cdot \Delta l_2. \quad (1)$$

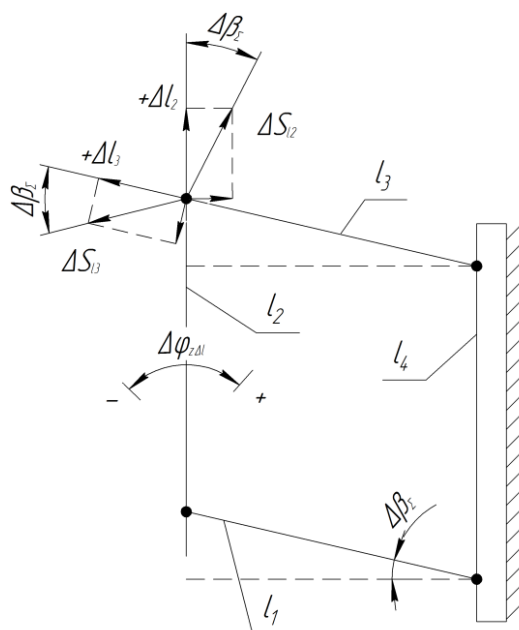


Рис. 3. Преобразованная схема параллелограммного механизма

Таким же образом выглядит погрешность ограничения поворота корпуса для противолежащей тяги l_4 , но с обратным знаком. Суммарная погрешность определяется разностью погрешностей длин тяг l_2 и l_4 : $\Delta l_{2,4} = \Delta l_2 - \Delta l_4$.

Предельная погрешность ограничения поворота корпуса зависит от разности погрешностей длин тяг $\Delta l_{2,4}$ и равняется:

$$\delta\varphi_{\Delta l_{2,4}} = \frac{1}{l_2} \cdot [tg \cdot (\Delta\beta_{\Sigma\max}) - tg \cdot (\Delta\beta_{\Sigma\min})] \cdot \delta l_{2,4}, \quad (2)$$

где $\delta l_{2,4}$ – половина поля допуска на одинаковость расстояний l_2 и l_4 .

В итоге при $\delta l_{2,4} = 0,05$ мм, $\Delta\beta_{\Sigma\max} = 1,05^\circ$ и $\Delta\beta_{\Sigma\min} = 0,95^\circ$ получаем: $\delta\varphi_{\Delta l_{2,4}} = 0,08''$.

Аналогично рассчитывается предельная погрешность ограничения поворота корпуса $\delta\varphi_{\Delta l_{1,3}}$ для тяг l_1 и l_3 [5].

Заключение

В ходе выполнения проекта были достигнуты следующие результаты:

- проведен анализ ошибок датчиков угловых перемещений и фиксирующих устройств, ограничивающих поворот корпуса датчика в процессе контроля;
- предложены новые схемы и составлено описание устройств для фиксации угловых датчиков;
- проведены теоретические исследования и анализ точности разработанных фиксирующих устройств, показавшие правильность их функционирования.

Публикации

1. Smirnov N.V., Latyev S.M., Mitrofanov S.S., Egorov G.V. Centering of the screening patterns and code wheels of angular movement photoelectric converters by means of an annular hairline and scale lines // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. No 4. P. 397–401.
2. Smirnov N.V., Latyev S.M., Theska R. Adjustment and evaluation of incremental optical rotary encoders // Shaping the Future by Engineering: 58 IWK, Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universitat Ilmenau: proceedings. 2014. P. 48.

3. Smirnov N.V., Latyev S.M., Theska R. Enhanced adjustment methods for optical rotary encoders // SPIE Optical Metrology. 2015. P. 952535.
4. Патент на изобретение РФ 2559174C1 «Устройство для контроля погрешности преобразователя поворота вала в код», опубл. 10.08.2015.
5. Патент на изобретение РФ 2560743C1 «Устройство для ограничения разворота корпуса преобразователя вращения в код», опубл. 20.08.2015.

Литература

1. Патент на изобретение РФ 1647224 «Устройство для ограничения поворота статора преобразователя круговых перемещений», опубл. 07.05.1991.
2. Латыев С.М. Компенсация погрешностей в оптических приборах. Л., 1985. – 248 с.
3. Смирнов Н.В., Латыев С.М. и др. Стенд для контроля точности преобразователей угловых перемещений // Измерительная техника. 2015. № 12. С. 20–22.
4. Иванов Б.Н. Фиксирующее устройство круговых измерительных преобразователей // Оптико-механическая промышленность. 1984. № 6. С. 49–51.
5. Smirnov N.V., Latyev S.M., Theska R. Enhanced adjustment methods for optical rotary encoders // SPIE Optical Metrology. 2015. P. 952535.



Таранов Сергей Владимирович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра безопасных информационных технологий
E-mail: serg.tvc@mail.ru

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ, ОБНАРУЖИВАЮЩИХ АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МАНИПУЛЯЦИИ, НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТНЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ

С.В. Таранов

Научный руководитель – доцент А.Б. Левина

Целью проекта является разработка новых конструкций помехоустойчивых кодов, способных обнаруживать алгебраические манипуляции. Необходимой составляющей предлагаемых конструкций являются коэффициенты вейвлетных разложений, на основе которых строятся порождающие матрицы для помехоустойчивых кодов и, таким образом, задается пространство разрешенных кодовых слов. Описание алгоритмов построения линейных кодов на основе вейвлетных разложений подробно представлено в статьях [1, 2]. В данной работе вейвлетные разложения находят применение при создании нелинейных кодов, способных обнаруживать любую конфигурацию ошибок, даже когда в устройство кодирования внедряется ошибка или входные кодовые слова имеют неравномерное распределение. Такие коды называют AMD-кодами или кодами, обнаруживающими алгебраические манипуляции. Алгебраической манипуляцией называется модель внедрения ошибки злоумышленником в абстрактное устройство хранения. Тема кодов, обнаруживающих алгебраические манипуляции, одновременно развивается в работах

Р. Крамера [3] и М.Г. Карповского [4]. Модель алгебраических манипуляций повсеместно используется для изучения AMD-кодов. На нее накладываются следующие ограничения:

- злоумышленник не имеет доступа к абстрактному устройству хранения и не может узнать текущее внутреннее значение устройства;
- злоумышленник может владеть априорной информацией о входном значении, то есть может владеть частичной информацией о внутреннем значении устройства до его обработки помехоустойчивым кодом;
- злоумышленник способен внедрять любую конфигурацию ошибок в абстрактное устройство хранения;
- злоумышленник способен изменять вероятность появления кодовых слов на входе абстрактного устройства хранения и даже при необходимости выбирать следующее кодовое слово.

Под абстрактным устройством хранения понимается любое устройство, для которого внедрение ошибки и контроль входных значений злоумышленником являются критичными событиями, в том числе под это определение обычно попадают схемы разделения секрета, а также каналы передачи информации со случайными помехами.

В результате выполнения данной работы были построены и исследованы две конструкции AMD-кодов. Кодовые слова обеих конструкций состоят из трех частей: аппроксимирующей y и детализирующей x составляющих вейвлетного разложения, а также избыточной части, которая является результатом некоторой функции кодирования $f(y, x)$. Пространство кодовых слов разработанных конструкций задается следующим образом.

Конструкция AMD-кода на основе скалярного умножения имеет вид:

$$C = \{y \in GF(2^{sr}) \mid x \in GF(2^{sr}) \mid f(y, x) \in GF(2^r)\},$$

где $f(x, y) = \sum_{i=1}^s x_i * y_i$ – скалярное умножение векторов x и y . Здесь аппроксимирующая

составляющая y и значение детализирующей составляющей x рассматриваются как векторы конечного поля $GF(2^r)$, а в качестве функции кодирования используется результат скалярного произведения данных векторов. Параметр r задает длину избыточной части, параметр s равен длине составляющих x и y или длине частей, на которые эти составляющие делятся.

Конструкция AMD-кода на основе функции Майорана – МакФарланда имеет следующий алгоритм построения. В данной конструкции аппроксимирующая составляющая x и детализирующая составляющая y делятся на равные части, которые представляются как вектора в некотором поле Галуа, а в качестве функции кодирования используется результат умножения в поле полученных векторов. Получаем следующее выражение:

$$f(y, x) = x_1 \cdot x_2 + x_3 \cdot x_4 + \dots + x_{2s-1} \cdot x_{2s},$$

где $x_{2s-1} \cdot x_{2s}$ умножение в поле Галуа $GF(2^r)$, данная функция кодирования является совершенно нелинейной функцией и носит название функции Майорана – МакФарланда. Как и в предыдущей конструкции, параметр r задает длину избыточной части, соответственно, параметр s равен длине составляющих x и y или длине частей, на которые эти составляющие делятся.

Обе представленные конструкции имеют максимум вероятности маскировки ошибки $\max Q(e) = 2^{-r}$, где r – длина избыточной части кода. Это значит, что вышеописанные конструкции не имеют обнаруживаемых ошибок и, более того, способны обнаружить все возможные комбинации ошибок с вероятностью 2^{-r} . Для сравнения: параметр $\max Q(e)$ для

линейных кодов равен максимальному значению 1, что в свою очередь говорит об уязвимости линейных кодов к внедрению ошибок.

В работе было проведено сравнение разработанных конструкций с современными нелинейными кодами. В качестве критериев для сравнения AMD-кодов были выбраны скорость кодирования, которая находится в прямой зависимости от сложности функций кодирования, и максимум вероятности маскировки ошибки, который характеризует устойчивость кода к внедрению ошибок. При сравнении AMD-кодов немаловажную роль играет также поведение кода при неравномерном распределении входных кодовых слов. Закон распределения вероятности появления кодовых слов на входе устройства кодирования может оказывать существенное влияние на характеристики кода, такие как оптимальность и вероятность маскировки ошибок. Сравнение производилось на программных моделях процессов кодирования для всех рассматриваемых конструкций. Результаты измерений представлены в Табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сравнение максимума вероятности маскировки ошибки для случаев неравномерного распределения кодовых слов на входе устройства кодирования

Сравниваемые конструкции	max Q(e) для равномерного распределения	max Q(e), неравномерное распределение 1	max Q(e), неравномерное распределение 2	max Q(e), неравномерное распределение 3
Вейвлетный AMD-код на основе функции Майорана – МакФарланда	0,0625	0,0742	0,0838	0,0835
Вейвлетный AMD-код на основе скалярного произведения	0,0625	0,0793	0,0723	0,0722
AMD-код на основе кодов Рида – Соломона [5]	0,1250	0,1334	0,1586	0,1270
AMD-код на основе умножения в поле [6]	0,0078	0,0119	0,0093	0,0099

Таблица 2

Сравнение скорости кодирования при обработке информации объемом 1 Мб при длине кодовых конструкций $n = 12$ и размере информационной части $k = 4$

Сравниваемые конструкции	Скорость кодирования в системе без вейвлетов	Скорость кодирования в системе с вейвлетными преобразованиями (ADV612)
Вейвлетный AMD-код на основе функции Майорана – МакФарланда	0, 54 с	0, 42 с
Вейвлетный AMD-код на основе скалярного произведения	0, 56 с	0, 51 с
AMD-код на основе кодов Рида – Соломона [5]	0, 43 с	0, 43 с
AMD-код на основе умножения в поле [6]	0, 68 с	0, 68 с

Из представленных выше таблиц видно, что разработанные конструкции вейвлетных AMD-кодов дают выигрыш в скорости кодирования в системах, использующих вейвлетные преобразования. Новые конструкции AMD-кодов эффективно взаимодействуют с вейвлет-коэффициентами, уже рассчитанными в системе, упрощая процесс кодирования и давая прирост в скорости. Также следует отметить устойчивость представленных конструкций к внедрению ошибок для случаев неравномерного распределения кодовых слов. Из Табл. 1 видно, что увеличение максимума вероятности маскировки при изменении закона распределения входных кодовых слов незначительно для обеих разработанных конструкций, следовательно, данные вейвлетные коды могут успешно использоваться для защиты от алгебраических манипуляций. Вейвлетные AMD-коды имеют более низкий показатель маскировки ошибки, чем AMD-коды на основе кодов Рида – Соломона, которые интенсивно применяются в устройствах хранения информации для противодействия эффекту «старения памяти».

Заключение

В данной работе представлены новые конструкции вейвлетных AMD-кодов. Доказано, что они являются устойчивыми к алгебраическим манипуляциям, а также способны обнаруживать любую конфигурацию ошибок с вероятностью 2^{-r} . Новые конструкции AMD-кодов могут существенно улучшить показатели надежности систем хранения, обработки и передачи информации, в частности данные конструкции могут найти применение при построении нечетких экстракторов, в схемах разделения секрета, а также для борьбы с эффектом «старения памяти». Использование разработанных AMD-кодов в системах с вейвлетными преобразованиями позволяет уменьшить вычислительную сложность процедур кодирования и декодирования. К системам, в которых рекомендуется их использование, в первую очередь стоит отнести системы сжатия и обработки видео, изображений и звука, такие как системы сжатия видео на основе вейвлетов Добеши ADV612.

Публикации

1. *Levina A.B., Kuzmin I., Taranov S.V.* Reed Solomon codes and its application for cloud storage system // 3rd International Conference on Future Generation Communication Technologies, FGCT 2014. 2014. P. 46–49.
2. *Levina A.B., Taranov S.V.* Algorithms of constructing linear and robust codes based on wavelet decomposition and its application // Codes, Cryptology, and Information Security. 2015. Vol. 9084. P. 247–258.
3. *Levina A.B., Taranov S.V.* Spline-wavelet robust code under non-uniform codeword distribution // Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT). 2015. P. 1–5.
4. *Levina A.B., Taranov S.V.* Second-Order Spline-Wavelet Robust Code under Non-Uniform Codeword Distribution // Procedia Computer Science. 2015. Vol. 62. P. 297–302.
5. *Левина А.Б., Таранов С.В.* Построение линейных и надежных кодов на основе коэффициентов масштабирующих функций вейвлетных преобразований // Сибирский журнал индустриальной математики. 2015. Том XVIII, № 3(63). С. 49–56.
6. *Таранов С.В.* Построение кодов, исправляющих ошибки, на сплайн-вейвлетных разложениях и их использование для защиты от атак по сторонним каналам // Региональная информатика (РИ-2014). XIV Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2014)»: материалы конференции. СПб., 2014. С. 574.
7. *Таранов С.В.* Построение линейных и надежных кодов на основе вейвлетных преобразований [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: openbooks.ifmo.ru/ru/file/1139/1139.pdf (дата обращения: 19.09.2015).

Литература

1. *Levina A.B., Taranov S.V.* Algorithms of constructing linear and robust codes based on wavelet decomposition and its application // Codes, Cryptology, and Information Security. 2015. Vol. 9084. P. 247–258.
2. *Levina A.B., Taranov S.V.* Spline-wavelet robust code under non-uniform codeword distribution // Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT). 2015. P. 1–5.
3. *Cramer R., Fehr S., Padro C.* Algebraic manipulation detection codes // Science China Mathematics. 2013. Vol. 56. No 7. P. 1349–1358.
4. *Wang Z., Karpovsky M.G.* Algebraic manipulation detection codes and their applications for design of secure cryptographic devices // 2011 IEEE 17th International On-Line Testing Symposium. 2011. P. 234–239.
5. *Wang Z., Karpovsky M.G.* Reliable and secure memories based on algebraic manipulation correction codes // 2012 IEEE 18th International On-Line Testing Symposium. 2012. P. 146–149.
6. *Wang Z., Karpovsky M.G., Kulikowski K.J.* Design of memories with concurrent error detection and correction by non-linear SEC-DED codes // Journal of Electronic Testing. 2010. Vol. 5. No 5. P. 559–580.



Хлюпина Екатерина Анатольевна

Факультет информационной безопасности и компьютерных технологий

Кафедра мониторинга и прогнозирования информационных угроз

E-mail: e.a.khlyupina@yandex.ru

МЕТОД УСРЕДНЕННОГО РАСЧЕТА МОДЕЛИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ

Е.А. Хлюпина

Научный руководитель – доцент Г.П. Жигулин

Целью научно-технического исследования является повышение эффективности системы защиты информации за счет формирования математически обоснованного метода построения модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки.

Задачи научно-технического исследования. Поставленная цель достигалась поэтапным решением следующих задач.

1. Подбор и анализ имеющихся методов построения моделей угроз информационной безопасности с использованием метода экспертной оценки.
2. Определение ключевых факторов, влияющих на построение модели угроз информационной безопасности.
3. Определение параметров оценки деятельности экспертной группы при построении модели угроз.
4. Формирование критериев использования математического аппарата регрессионного анализа при усреднении результатов экспертной оценки построения модели угроз информационной безопасности.

5. Разработка метода усредненного расчета модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки.

6. В результате проведения анализа подобранных методов построения моделей угроз информационной безопасности с использованием экспертной оценки было установлено, что:

- большинство из них используют риск-ориентированный подход, что приводит к формированию количественного показателя угрозы – риска. Однако первая описанная группа моделей использует более общий подход к построению, не основывающийся исключительно на количественных выражениях реализации угроз. Такие модели не дают общего представления о степени опасности и вероятности реализации угроз, а оперируют лишь понятием «актуальность угрозы»;

- подавляющее большинство рассмотренных методов не опирается на аппарат экспертных оценок при построении самой модели угроз, а использует его лишь при определении параметрических значениях угрозы;

- приблизительно 70 % рассмотренных методов в своем содержании и разъяснении не определяют границы применимости предлагаемых решений;

- ни один из рассмотренных методов не определяет параметры подбора экспертной группы и методологических подходов к обработке и анализу получаемых экспертных мнений. Сформированная экспертная группа воспринимается как данность внутри самой организации;

- примерно 85 % рассмотренных методов не предоставляют математического аппарата для разрешения случаев наличия определенной корреляции, возникающей при проведении оценки со стороны экспертной группы, то есть группа воспринимается как единая система, выдающая на выходе итоговый результат;

- все из рассмотренных методов оперировали совокупностью параметрических значений, описывающих угрозу с точки зрения ее априорной возможности реализации, а также с точки зрения ее реализации в рамках конкретной системы защиты информации;

- итоговые показатели риск-ориентированных моделей были несостоятельны для случаев с невозможностью определения стоимостных показателей объекта защиты, то есть отсутствовали не стоимостные показатели оценки реализации угрозы для ряда объектов защиты.

Таким образом, большинство из рассмотренных методов построения модели угроз информационной безопасности, использующих экспертную оценку, нуждаются в универсальном инструменте для обработки результатов работы экспертной группы. Одним из них является полученный в результате проведения исследования метод усредненного расчета модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки. Он позволяет существенно повысить точность получаемых результатов, что ведет к увеличению показателей эффективности систем защиты информации, как создаваемых, так и уже существующих.

В рамках выполнения второй поставленной задачи были определены ключевые факторы, влияющие на построение модели угроз информационной безопасности, основанные на результатах выполнения первой задачи исследования. Было определено, что подавляющее большинство рассматриваемых моделей угроз формально не опираются на использование экспертных оценок при непосредственном построении модели угроз и обращаются к ней лишь при определении актуальности самих угроз для использования и приведения логики просчета под стандартизированные математические инструменты.

Рассмотренные модели угроз зачастую используют статистический или априорный подход к формированию и установлению зависимостей параметров и факторов возникновения угроз. Таким образом, само формирование модели может быть сведено к простому выводу логических зависимостей параметров угрозы, которые зачастую имеют непосредственное отношение не к самой угрозе, а к связанному с ней источнику угрозы или объекту защиты. В результате анализа нормативно-правовой и методической документации по построению моделей угроз были определены ключевые факторы, влияющие на

построение модели угроз информационной безопасности (факторы первого рода). К ним относятся:

- характеристика объекта воздействия, описывающая как сам объект защиты, включая состав и характер обрабатываемой информации, так и тип носителя;
- источник возникновения угрозы, включая общее описание его возможностей и варианты привязки к объекту воздействия;
- уязвимости системы защиты информации или информационной инфраструктуры организации, возникающие при реализации каждой рассматриваемой угрозы;
- способ реализации уязвимости, характерной для каждой из рассматриваемых угроз;
- возможные деструктивные воздействия, возникающие в случае реализации угрозы.

Данные факторы [1] в том или ином виде присутствуют в любой модели угроз, при этом ряд из них может быть объединен посредством модели в большее множество. Однако в процессе проведения исследования было установлено, что формирование и описание сценариев реализации угрозы в любой рассматриваемой модели, применяющей или подразумевающей использование априорного подхода, получаемые сценарии полностью описываются именно данными факторами. Само наличие данных факторов дает возможность для построения сценарного древа реализации угрозы, однако не дает никаких характеризующих значений для определения актуальности самих угроз в рамках рассматриваемой системы защиты информации. Подавляющее большинство рассмотренных методик содержат дополняющие элементы, необходимые для непосредственного определения количественных и качественных характеристик угрозы, а также определения ее актуальности для рассматриваемых систем защиты информации. Именно в этот момент возникает необходимость и реальная потребность применения экспертных оценок. Итоговыми характеризующими параметрами угрозы (факторы второго рода) будут являться:

- степень опасности реализации угрозы для конкретного объекта воздействия;
- вероятность реализации угрозы;
- актуальность угрозы.

Основываясь на статистических данных, для построения модели угроз [2] российские организации зачастую прибегают к услугам одного-двух специалистов в данной области [3], что по факту сводится к простому использованию коллективного разума, отсутствию индивидуализации полученных результатов, виной которому служит простой человеческий фактор. В итоге получим множество результатов, которые будут отличаться друг от друга. Решением данной проблемы является усреднение полученных мнений экспертов внутри согласованной группы и введение доверительных интервалов полученных результатов, исходя из следующих основных параметров оценки деятельности экспертной группы (факторы третьего рода):

- оперативность получения оценок;
- обоснованность выставленной оценки;
- степень корреляции с совокупным экспертным мнением;
- степень корректности предыдущих оценок.

Обобщенные показатели доверительных интервалов d_m , полученных в рамках настоящего исследования, варьируются от 0 до 1. При этом $d_m = \frac{\sum T,O,K,R}{4}$, где Т – оперативность получения оценок, О – обоснованность выставленной оценки, К – степень корреляции с совокупным экспертным мнением, R – степень корректности предыдущих оценок. Для удобства применения были сформированы следующие корректирующие коэффициенты для обработки экспертного мнения:

- 1 – коэффициент присваивается экспертной оценке в случае получения значения доверительного интервала эксперта $d_m \in [0,85 \dots 1]$;
- 0,85 – коэффициент экспертной оценки при $d_m \in [0,7 \dots 0,85]$;
- 0,7 – коэффициент экспертной оценки при $d_m \in [0,5 \dots 0,7]$;

- 0,5 – коэффициент экспертной оценки при $d_m \in [0,3 \dots 0,5]$;
- 0,1 – коэффициент экспертной оценки при $d_m \in [0 \dots 0,3]$.

Таким образом, общее формализованное выражение разработанного метода сводится к последовательному осуществлению следующего набора действий.

1. Выбор и применение метода и/или методики построения модели угроз информационной безопасности, применяемой в организации.

2. Определение состава рассматриваемых угроз и их параметров, исходя из положений выбранной методики.

3. Формирование параметрических зависимостей реализации угрозы исходя из ее статического описания мерками самой выбранной модели, определение сценариев априорной реализации угрозы. Определение и установление факторов первого рода для рассматриваемой предметной области организации.

4. Формирование экспертной группы, проводящей установление параметрических значений для каждого из полученных сценариев реализации угроз, и систематизированного множества флуктуирующих значений определенных факторов второго рода для каждого из сценариев реализации угроз.

5. Формирование и просчет доверительных интервалов получаемой экспертной оценки для каждого из экспертов, основанных на критериях оценки результатов работы экспертной группы. Определения и расчет показателя факторов третьего рода для экспертной группы.

6. Первичное определение значений факторов второго рода, получаемых в результате просчета и обоснования каждого из экспертов.

7. Формирование вторичных показателей значений факторов второго рода с учетом полученных значений факторов третьего рода для каждого из экспертов.

8. Усреднение результатов полученных расчетов факторов второго рода на основе сформированных критериев применения регрессионного анализа с использованием формулы. Формирование итогового показателя усредненной экспертной оценки.

9. Получившиеся результаты применяются в соответствии с требованиями выбранного метода и/или методики построения модели угроз.

В результате выполнения данных шагов для каждого из сценарных значений получается усредненная экспертная оценка, учитывающая мнение каждого из экспертов, после чего формируется итоговая модель угроз по выбранному методу.

Заключение

При разработке метода усредненного расчета модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки был проведен анализ российской нормативно-правовой документации. Определены критерии применимости математического аппарата регрессионного анализа при обработке экспертных мнений, выявлены ключевые факторы, влияющие на построение модели угроз, формализованы параметры оценки экспертных мнений в виде доверительных интервалов, а также предложен новый подход к построению и расчету модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертных мнений. Совокупность полученных результатов получила свое конечное выражение в виде нового метода усредненного расчета модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки, апробированного на действующей системе защиты информации КАИС КРО. В результате была получена новая, более точная версия модели угроз и подготовлены предложения по внесению изменений в существующие механизмы защиты информации.

Публикации

1. Хлюпина Е.А. Применение метода наименьших квадратов при регрессионном анализе экспертной оценки в сфере информационной безопасности // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствования образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов

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

V Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2015. С. 365–369.

2. Киклевич А.О., Хлюпина Е.А., Жигулин Г.П. Определение ключевых параметров при построении апостериорной модели угроз информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 2. С. 134–136.

3. Исаев А.С., Хлюпина Е.А. Применение экспертной оценки при построении модели угроз безопасности персональных данных // Проблема комплексного обеспечения информационной безопасности и совершенствования образовательных технологий подготовки специалистов силовых структур: межвузовский сборник трудов V Всероссийской научно-технической конференции ИКВО НИУ ИТМО. СПб., 2015. С. 234–237.

4. Исаев А.С., Хлюпина Е.А. Принятие управленческих решений в условиях неопределенности возникновения угроз информационной безопасности // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. № 3. С. 145–147.

5. Хлюпина Е.А. Определение эффективности работы персонала на основе замкнутого цикла управления аудитом [Электронный ресурс] // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. СПб., 2015. URL: www.openbooks.ifmo.ru/ru/file/1058/1058.pdf (дата обращения: 15.09.2015).

Литература

1. ISO/IEC 27001:2005 Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements.

2. Базовая модель угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных (выписка) [Электронный ресурс] // ФСТЭК России [Официальный сайт], 2008. URL: www.fstec.ru/component/attachments/download/289 (дата обращения: 15.09.2015).

3. Методика определения актуальности угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных [Электронный ресурс] // ФСТЭК России [Официальный сайт], 2008. URL: www.fstec.ru/component/attachments/download/290 (дата обращения: 15.09.2015).



Чекина Мария Сергеевна

Факультет пищевых биотехнологий и инженерии

Кафедра пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья

E-mail: msch18_25@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОЛОДORAЩЕНИЯ ЗЕРНА ОВСА И ЕГО ДАЛЬНЕЙШАЯ ПЕРЕРАБОТКА В ЗЕРНОВОЙ СИРОП ДЛЯ КАТЕГОРИИ ЛЮДЕЙ, СТРАДАЮЩИХ ЦЕЛИАКИЕЙ

М.С. Чекина

Научный руководитель – профессор Т.В. Меледина

Цели работы – обоснование возможности получения «чистого» овса; разработка энергоэффективной технологии солодоращения голозерного зерна овса и технологии производства суслу и сиропа из овсяного солода.

В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- исследование зависимости накопления ферментативной активности солода из овса (цитолитической, протеолитической и амилалитической) при различных режимах солодоращения;
- исследование зависимости влияния гранулометрического состава помола солода из овса на физико-химические показатели сусла;
- исследование влияния режима затирания и ферментных препаратов на выход и вязкость сусла, полученного из овсяного солода;
- исследование углеводного и витаминного составов сиропа из овса.

По результатам иммуноферментативного анализа, тринадцать сортов овса голозерного («Вятский», «Першерон», «Пушкинский (1h07)», 857h05, 766h05, 9h09, 12h12o, 9h12o, 12h09, 8h12o, 29h09, 629h09, 21h12o), созданных в Зональном научно-исследовательском институте сельского хозяйства Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого (НИИСХ Северо-Востока, г. Киров), имеют содержание глютена менее 0,2 мг/100 г, что позволяет отнести их к безглютеновому сырью. Продукты, для производства которых используют зерна данных сортов, могут иметь маркировку gluten free [1].

Разработка технологии солодоращения зерна овса

Для дальнейшей работы по изучению влияния процесса проращивания солода был выбран широко возделываемый сорт овса «Вятский», содержащий глютен 0,16 мг/100 г. Свойства солода, полученного из зерна этого овса, сравнивали со свойствами промышленного глютенсодержащего (20 мг/100 г) овсяного солода CHÂTEAU OAT (ШАТО ОУТ) производства фирмы Castle Malting (Бельгия). Режим его проращивания составляет 5-6 суток при температуре 14-15 °С.

Солодоращение включало четыре этапа: дезинфекцию, замачивание, проращивание и сушку зерна. Для уменьшения затрат и интенсификации производства процесс проращивания не превышал четырех суток. Полученный продукт отнесен к группе солодов короткого ращения [2].

В связи с тем, что скорость ферментативных реакций зависит в первую очередь от температуры, изучали влияние этого параметра на все показатели, характеризующие качество солода, которые обычно используют при оценке солода из ячменя. Опыт включал несколько вариантов режима проращивания зерна при различных условиях:

- трое суток при 7 °С;
- трое суток при 10-11 °С;
- трое суток при 16-17 °С;
- трое суток при 18-19 °С;
- четверо суток при 18-19 °С.

В результате проведенных экспериментов установлено, что органолептические показатели – внешний вид, запах и вкус солода из овса «Вятский» – соответствуют общепринятым нормам. Массовая доля влаги образцов составила $6 \pm 0,5$ %. При оценке цитолитического растворения солода из овса установлено, что содержание β -глюкана с увеличением температуры проращивания с 7 до 19 °С снижается с 1020 до 757 мг/л (Табл. 1). Эта зависимость носит линейный характер (рис. 1) и описывается в интервале изменения температур уравнением:

$$y = -90,2x + 1120,$$

где y – содержание β -глюкана, мг/л; x – температура проращивания, °С.

При анализе экстрактивности солода установлено, что при тонком помоле его экстрактивность (E_t) меньше, чем при грубом (E_r). По мере проращивания солода разность между E_t и E_r уменьшается и зависит от температуры процесса.

Таблица 1

Показатели, характеризующие цитолитическое растворение солода ($p \leq 0,10$)

Показатели	Солод из зерна овса «Вятский»					Промышленный солод фирмы Castle Malting
	Режим проращивания зерна					
	1	2	3	4	5	
Разница массовых долей экстракта солода тонкого и грубого помола, ΔE ,	-19,8*	-	-	- 10,1*	-9,2*	-11,5*
Содержание β -глюкана, мг/л	1020	957	844	757	732	535
рН сусла	6,07	6,02	5,85	5,78	5,72	5,39
Прозрачность сусла (визуально)	опалесцирующее					
Скорость фильтрования затора, мин	более 60					
Длина листка от длины зерна	-	наклю- нулся	1/2	3/4	3/4	-

*массовая доля экстракта тонкого помола меньше массовой доли экстракта грубого помола
«-» – данных нет

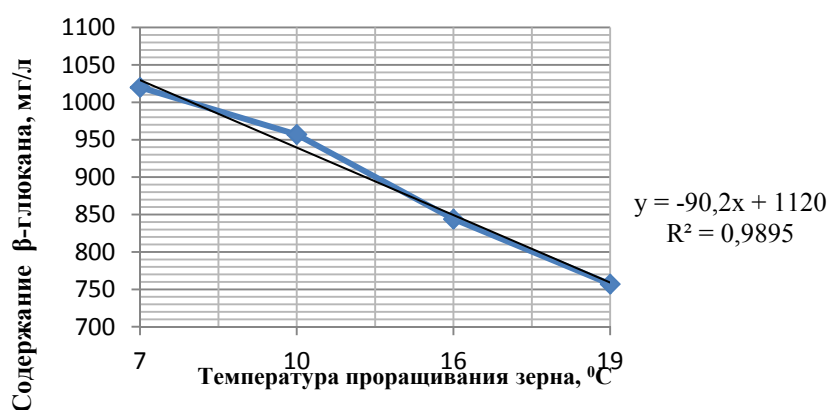


Рис. 1. Влияние температуры проращивания зерна на содержание β -глюкана в солоде из овса «Вятский» (трое суток проращивания)

Протеолитические показатели солодов представлены в Табл. 2. По показателям (растворимый азот, свободный аминный азот, Число Кольбаха) полученный солод превосходит значения, определенные в промышленном образце.

Об увеличении амилалитической активности солода при повышении температуры проращивания зерна свидетельствует возрастание показателя экстрактивности сусла грубого помола в конгрессном заторе с 57,1 до 74,5 % (Табл. 3). О высокой метаболической активности ферментов при температуре проращивания зерна в диапазоне 16–19 °C свидетельствует также высокий показатель цвета сусла до кипячения (ЕВС – шкала цветности солода).

Увеличение длительности проращивания до четырех суток при температуре 18–19 °C приводит к дальнейшему накоплению ферментативной активности солода из овса, но является нецелесообразным с точки зрения интенсификации производства. Итак, установлено, что для получения солода из голозерного овса сорта «Вятский» достаточно трех суток проращивания зерна при температуре 18–19 °C.

Таблица 2

Показатели, характеризующие протеолитическое растворение солода ($|p| \leq 0,10$)

Показатели	Солод из зерна овса «Вятский»					Промышленный солод фирмы Castle Malting
	Режим проращивания зерна					
	1	2	3	4	5	
Массовая доля белковых веществ солода, %	13,09	13,08	13,10	13,10	13,30	15,60
Растворимый азот, мг/л	155	250	363	532	555	505
Число Кольбаха, %	14,1	16,5	21,7	28,0	30,5	21,5
Свободный аминный азот (FAN), мг/л	34	55	80	117	122	111
Число Хартонга, %	-	19,9	21,7	26,1	27,6	33,2
Цвет сусла до кипячения, EBC	1,9	1,9	1,9	3,9	4,0	5,2

«-» – данных нет

Таблица 3

Показатели, характеризующие амилолитическую активность солода ($|p| \leq 0,10$)

Показатели	Солод из зерна овса «Вятский»					Промышленный солод фирмы Castle Malting
	1	2	3	4	5	
Массовая доля экстрактивных веществ, %*	57,1	60,4	71,7	74,5	76,5	79,4
Продолжительность осахаривания, мин	не осахаривается					

* – за массовую долю экстрактивных веществ принят экстракт грубого помола

Разработка технологии затиранья солода из овса

В результате экспериментов установлено, что при температуре затиранья зернопродукта ниже 65 °С происходит многократное увеличение вязкости затора. Это связано с низкой температурой клейстеризации крахмала овса (55–60 °С), а также с недостаточной активностью эндо-β-глюканазы и экзо-β-глюканазы солода. Рекомендуемый режим затиранья приведен на рис. 2. В связи с высокой вязкостью затора предложен гидромодуль 1:4.

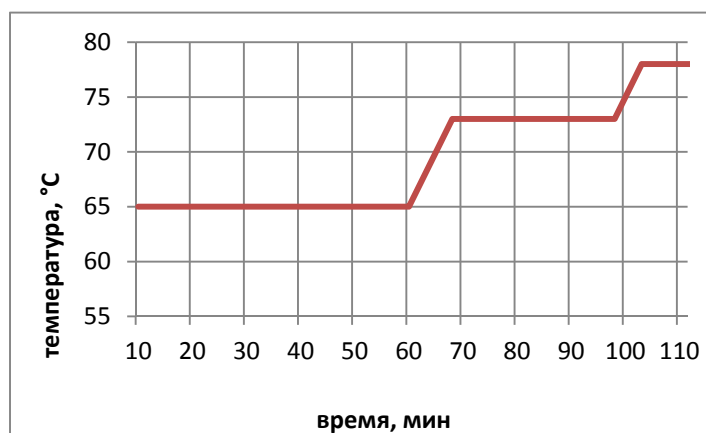


Рис. 2. Режим затиранья солода из овса

В связи с тем, что затор, приготовленный из овсяного солода не осахаривался, возникла необходимость внесения экзогенных ферментов. Обоснование выбора этих препаратов для

получения суслу из овсяного солода осуществляли путем затирания солода «Шато Оут», фирмы Castle Malting. Сусло готовили из солода грубого помола со средним размером частиц в пробе 118,8 мкм. Физико-химические показатели суслу при использовании различных ферментных препаратов представлены в Табл. 4. Применение препаратов «Ультрафло Коре» и «Шеарзим 500 Л» было направлено на снижение содержания в сусле некрахмалистых полисахаридов, а значит – на уменьшение вязкости затора. Ферментные препараты «Ондея Про», «Церемикс Флекс», «Термамил СЦДС» были применены в качестве дополнительного источника α -амилазы из-за недостаточного количества собственных амилолитических ферментов в солоде из овса. Ферментный препарат «Нейтраз 0,8 Л БрюКью» был использован в качестве дополнительного источника протеазы для расщепления белка.

Таблица 4

Физико-химические показатели суслу из овса ($|p| \leq 0,10$)

Образец №	Применяемый ферментный препарат	Дозировка, г/т	Время осахаривания, мин	Выход экстрактивных веществ, % от экстрактивности солода	рН	¹ Вязкость, мПа·с
1	«Ультрафло Коре»	250	50	87,99	5,13	1,47
	«Шеарзим 500 Л»	250				
	«Ондея Про»	2000				
2	«Ультрафло Коре»	250	30	79,2	5,07	1,67
	«Церемикс Флекс»	2000				
3	«Шеарзим 500 Л»	250	30	77,8	5,06	1,62
	«Церемикс Флекс»	2000				
4	«Церемикс Флекс»	2000	30	66,1	5,57	1,77
	«Нейтраз 0,8 Л БрюКью»	400				
5	«Церемикс Флекс»	2000	30	86,8	5,06	1,75
6	«Термамил СЦДС»	200	60	71,5	4,96	1,73

Основными показателями для выбора варианта использования ферментных препаратов являлись выход экстракта, вязкость суслу и его сенсорные характеристики. Для дальнейших исследований был выбран режим затирания, в котором использовали ферментный комплекс «Церемикс Флекс». Внесение данного препарата способствовало сокращению длительности осахаривания затора по сравнению с первым вариантом с 50 до 30 мин. Кроме того образец № 5 имел высокий выход экстрактивных веществ и хорошие органолептические характеристики, а низкое значение величины рН будет способствовать снижению активности липоксигеназы при затирании, а следовательно – повышению сенсорной стабильности продукта.

Так как некоторые виды солода из овса имеют отрицательные значения разности массовых долей экстракта солода тонкого (средний размер частиц 37,3 мкм) и грубого (средний размер частиц 118,8 мкм) помолов, было изучено влияние гранулометрического состава засыпи на выход экстракта. Результаты экспериментов представлены в Табл. 5.

Установлено, что с повышением доли тонкого помола в засыпи в диапазоне частиц от 0 до 20 % вязкость затора повышается с 1,75 мПа·с до 1,87 мПа·с, а выход экстрактивных веществ уменьшается с 86,3 % до 77,6 %.

Образцы суслу, полученные из промышленного солода и солода короткого ращения, были проанализированы по углеводному составу. Результаты представлены в Табл. 6.

Таблица 5

Физико-химические показатели сусла при различных соотношениях тонкого и грубого помолов ($|p| \leq 0,10$)

Доля частиц тонкого помола в засыпи, %	Время осахаривания, мин	Выход экстрактивных веществ, %	pH	Вязкость, мПа·с
0	30	86,3	5,06	1,75
5	30	84,7	4,80	1,79
10	30	82,3	4,68	1,82
15	30	80,1	4,65	1,84
20	30	77,6	4,80	1,87

Таблица 6

Углеводный состав сусла из овса ($|p| \leq 0,10$)

Образец сусла	Концентрация углеводов в сусле, г/дм ³				
	Декстрины	Мальтотриоза	Мальтоза	Глюкоза	Фруктоза
№ 1 Сусло из солода короткого ращения «Вятский»	30,8	10,6	92,7	16,6	1,5
№ 2 Сусло из солода производства фирмы CastleMalting	28,0	13,1	93,3	19,5	1,5

Научно обоснован и практически подтвержден режим затирания солода из овса. Установлено, что целесообразно начинать этот процесс с температуры 65 °С. Для увеличения показателя выхода экстрактивных веществ, а также уменьшения вязкости овсяных заторов, предпочтительно использование солода грубого помола из овса со средним размером частиц 118,8 мкм. Применение ферментного препарата «Церемикс Флекс» компании «Новозаймс» позволяет получить сусло не только с хорошими органолептическими свойствами, но и с высоким выходом экстракта.

Разработка технологии получения сиропа из овсяного сусла

Разработан режим сгущения сусла из солода короткого ращения овса голозерного сорта «Вятский» и солода сорта «Шато Оут» (Бельгия) в сироп. Сгущение производили на вакуум-выпарной установке «УВВ-50». Установлено, что оптимальными параметрами сгущения сусла для достижения содержания в нем 66 % сухих веществ (ГОСТ 28499-90), является температура в 55 °С, а длительность ведения процесса составляет 4-5 ч. Полученный сироп микробиологически устойчив и имеет длительный срок хранения. Содержание витаминов группы В для обоих сиропов представлено в Табл. 7, а их углеводный состав – в Табл. 8.

Таблица 7

Содержание витаминов B_1, B_2, B_3 (PP) в сиропах из солода ($|p| \leq 0,10$)

	Витамины, мг/кг		
	B_1	B_2	B_3 (PP)
Сироп из сорта овса «Вятский»	5,0	2,2	0,1
Сироп из сорта овса «Шато Оут»	2,8	1,3	0,26

Сиропа имеют высокое содержание мальтозы и низкое глюкозы, а следовательно, они менее сладкие и могут быть рекомендованы для производства продуктов лечебно-профилактического назначения.

Таблица 8

Углеводный состав сиропов из солода, % ($|p| \leq 0,10$)

	DP4+ (декстрины)	DP3 (мальтотриоза)	DP2 (мальтоза)	Глюкоза	Фруктоза
Сироп из сорта овса «Вятский»	19,963	7,330	61,165	10,929	0,613
Сироп из сорта овса «Шато Оут»	16,476	7,367	62,127	13,086	0,944

Заключение

Возможность получения овса, свободного от аллергенной фракции пшеницы-глюадина, существует. Овес голозерный сорта «Вятский» отнесен к такой категории злаков. Продукты его переработки могут иметь маркировку *gluten free*, а значит, использоваться для категории людей, страдающих целиакией. Разработана энергоэффективная технология солодоращения овса голозерного сорта «Вятский». Он отнесен к солодам короткого ращения. Разработана технология затирания солода из овса, которая дает наибольший выход сусла и снижает вязкость затора. Предложена технология производства безглютенового концентрата, позволяющая получить углеводный состав сиропа, пригодного для его применения в хлебопекарной и кондитерской промышленности с целью изготовления продуктов специального назначения.

Публикации

1. Чекина М.С., Баталова Г.А. Овёс в качестве безглютенового сырья в напитках функционального назначения // Индустрия напитков. 2014. № 7 (103). С.16–21.
2. Чекина М.С., Меледина Т.В., Сергачева Е.С. Влияние режима проращивания зерна на ферментативную активность солода из овса голозерного Вятский // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 5 (48). С.46–52.
3. Чекина М.С., Меледина Т.В., Хлыновский М.Д. Разработка технологии затирания солода из овса // Пиво и напитки. 2015. № 6. С. 44–48.

Литература

1. Чекина М.С., Баталова Г.А. Овёс в качестве безглютенового сырья в напитках функционального назначения // Индустрия напитков. 2014. № 7 (103). С.16–21.
2. Чекина М.С., Меледина Т.В., Сергачева Е.С. Влияние режима проращивания зерна на ферментативную активность солода из овса голозерного Вятский // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 5 (48). С.46–52.



Черный Евгений Викторович
Факультет компьютерных технологий и управления
Кафедра информатики и прикладной математики
E-mail: eugene.cherny@niuitmo.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПРИ ВЫБОРЕ АННОТАЦИЙ К МАТЕРИАЛАМ, ЗАГРУЖАЕМЫМ В СОЦИАЛЬНУЮ СЕТЬ FREESOUND, С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Е.В. Черный

Научный руководитель – доцент Д.И. Муромцев

Введение

Социальная сеть Freesound [1], основанная на принципах свободного доступа к авторским материалам, на сегодняшний день является единственным местом для обмена звуковыми работами. Эта платформа для звуковых инженеров, дизайнеров и продюсеров была создана в лаборатории музыкальных технологий Университета Помпеу Фабра (Барселона, Испания) и позволяет загружать аудиофайлы, созданные для профессиональных целей (кинопроизводство, звуковой дизайн, полевые записи и другие). Уникальность платформы заключается в предоставлении для каждого файла статистических дескрипторов, описывающих характер звука и полученных посредством анализа файлов при загрузке на сервер, наряду с пользовательскими аннотациями (тэгами, как правило, состоящими из одного слова). Тэги – высокоуровневое семантическое описание звука, позволяющее другому человеку понять его содержание. Дескрипторы – это метрики, которые могут характеризовать как темпоральные, так и тембральные аспекты звука. Чаще всего такие метрики вычисляются с помощью применения статистических методов к массиву чисел, полученному после проведения спектрального анализа звука. Довольно широкий набор дескрипторов стандартизирован Международной организацией по стандартизации и носит название MPEG-7 [2].

Таким образом, социальная сеть, с одной стороны, предоставляет низкоуровневые данные, характеризующие спектр звука как такового без апелляции к его содержанию, и тэги, описывающие содержание звука без характеристик спектра – с другой. Цель данного исследования – поиск связей между текстовыми аннотациями и спектральными характеристиками звука, между семантическим и техническим звуковыми составляющими.

Актуальность темы подтверждается проектами, в настоящее время ведущимися западными университетами. К таковым можно отнести проект SAFE [3] лаборатории медиатехнологий Бирмингемского Университета (Англия). В рамках SAFE создаются инструменты для звуковых инженеров, предоставляющие семантический интерфейс для управления характером звука. Кроме того, коммерческий интерес к подобным технологиям демонстрирует новый звуковой синтезатор от компании Apple [4], в котором имеется семантическое управление звуком. Однако данная функция была спроектирована вручную звуковыми дизайнерами, подбиравшими набор семантических параметров для каждого звука, созданного с помощью общего звукосинтезирующего ядра в отдельности. Стоит также отметить, что в MIR-сообществе (music information retrieval; с англ. – извлечение информации из музыки) имеются мнения о том, что задачи извлечения информации из музыки должны принимать во внимание человеческое восприятие и не основываться только на обработке аудио и вычислении дескрипторов с последующим применением методов машинного обучения [5].

Новизна темы заключается в акценте на исследование понимания того, как человек описывает звук, какие спектральные характеристики влияют на оценку звука тем или иным образом. Таким образом, исследование носит скорее теоретический, нежели прикладной характер, как в случае с приведенными выше проектами.

Методика исследований

Для задач анализа аудио Freesound использует C++ библиотеку Essentia [6], разработанную в той же лаборатории, где была создана и сама социальная сеть Freesound. Социальная сеть предоставляет большую часть из имеющихся в библиотеке дескрипторов [7] для каждого загруженного звука в виде метаданных, доступных через программный интерфейс платформы. Всего доступен 91 дескриптор, некоторые из них многомерны. Например, дескриптор bark frequency bands, характеризующий энергию спектра в критичных для человеческого уха зонах, представляет собой вектор из 27 значений. Кроме того, платформа также предоставляет информацию о среднем значении дескриптора на протяжении всего аудиофайла, его дисперсию, а также первую и вторую производную среднего значения и дисперсии.

Первая задача исследования заключается в выяснении того, какие из имеющихся дескрипторов имеют наиболее важное значение при использовании определенных тэгов. Предполагается, что семантически охарактеризованный звук будет в большей степени изменяться в одних осях пространства дескрипторов и в меньшей степени – в других. В таком случае можно будет определить наиболее релевантные тэгу дескрипторы, что позволит понять, в каких пределах и как изменяется звук, имеющий определенную семантическую характеристику.

Эта задача может быть рассмотрена как проблема уменьшения размерности данных, то есть определения наиболее важных переменных в их наборе. Эта проблема актуальна при анализе больших объемов данных ввиду необходимости оптимизации аналитических процессов для работы с ними, и в сообществе разработаны методики уменьшения размерности [8–10]. Одним из наиболее часто применяемых является метод главных компонент [11], в рамках которого происходит проекция точек из многомерного пространства в пространство с меньшей размерностью. Недостатком такого подхода является невозможность интерпретации значений осей нового пространства, поэтому для данного исследования использовался метод рекурсивного устранения переменных [12].

Принцип работы этого метода основан на построении предиктора с разными наборами переменных и последующей оценкой, с каким из наборов он имел большую производительность. В качестве предиктора для данного метода использовался алгоритм random forests [13], который основан на построении ансамбля решающих деревьев с разными наборами переменных и использованию их для задач регрессии, классификации и кластеризации. По сравнению со стандартными решающими деревьями данный алгоритм имеет более высокую производительность, однако результат его работы труднее интерпретировать. Использование алгоритма классификации в данном исследовании обусловлено тем фактом, что отбор переменных является одной из его операций.

Вторая задача заключается в построении классификатора, позволяющего автоматически добавлять тэги к звукам на основе дескрипторов. Для решения этой задачи использовался вышеупомянутый алгоритм random forests.

Результаты

Исходя из анализа пользовательских аннотаций, поведение пользователей при аннотировании звуковых файлов можно охарактеризовать как полисемное и склонное к созданию синонимов, что делает затруднительным выявление содержания звука по одним лишь тэгам.

Однако, несмотря на полисемию, алгоритм по удалению переменных может выявить закономерности для некоторых аннотаций. Например, в случае с тэгом metal,

характеризующим металлический звук, наиболее важны следующие дескрипторы: `spectral_contrast_var_2`, `spectral_contrast_var_6`, `spectral_spread_var`, `spectral_contrast_mean_2`, `spectral_complexity_var`. Металлический звук характеризуется заметными негармоничными пиками в спектре в районе средних и низких-средних частот, а также высокочастотной шумовой составляющими. Первые два дескриптора и дисперсия дескриптора спектральной контрастности [14] во второй и шестой областях спектра (из шести), указывают на важность отношения спектральных пиков к «пропастьям» в этих областях, иными словами, присутствию в них ярко выраженных пиков и их флуктуаций. Дескриптор спектрального размаха, являющийся вторым статистическим моментом спектра, характеризует, как сильно активны гармоники в разных частях спектра. Дескриптор спектральной сложности [15] характеризует плотность спектральных пиков – от металлического звука стоит ожидать повышенной плотности в разных областях.

Тэг `machine` вероятнее всего характеризующий звук, похожий на работу какого-то массивного механизма, имеет следующие дескрипторы в списке наиболее важных: `dissonance_var`, `dissonance_mean`, `spectral_contrast_var_5`, `spectral_contrast_mean_3`, `spectral_contrast_mean_2`. На первом месте по важности стоит дескриптор диссонанса [16], характеризующий диссонирующее свойство набора спектральных пиков.

Два примера, разобранных выше, демонстрируют работу предложенного метода для выявления наиболее важных дескрипторов, характеризующих текстовые аннотации звука.

Однако производительность его невысока – в среднем 50 % правильной классификации. Вероятно, на это повлиял тот факт, что перед проведением дескрипторного анализа в платформе `Freesound` не производится нормализация аудио: приведение к единой громкости, удаление тихих моментов и другие методы подготовки данных перед обучением.

Заключение

Было проведено исследование пользовательской активности при аннотации звуковых файлов в социальной сети `Freesound`. Установлено, что активность может быть охарактеризована как полисемная и склонная к созданию синонимов. Кроме того, значительная часть аннотаций описывает не звук напрямую, а посредством косвенных факторов, таких как оборудование, на которое производилась запись, место записи, псевдоним автора и др.

Был предложен метод по установлению связей между спектральной составляющей звука и его текстовыми аннотациями, основанный на алгоритмах, использующихся при анализе больших объемов данных.

Создан классификатор, позволяющий аннотировать звук текстовыми ярлыками.

Публикации

1. *Рогозинский Г.Г., Чесноков М.А., Щекочихин А.В., Черный Е.В., Смирнов И.Н.* Особенности представления и обработки данных в сети дополненной акустической реальности // Системы управления и информационные технологии. 2015. № 3 (61). С. 89–93.

Литература

1. *Akkermans V. et al.* `Freesound 2: an improved platform for sharing audio clips` // Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). 2011.
2. *Chang S. F., Sikora T., Purl A.* Overview of the MPEG-7 standard // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2001. Vol. 11. No 6. P. 688–695.
3. *Stables R. et al.* `SAFE: a system for the extraction and retrieval of semantic audio descriptors` // Proceedings of the 15th International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR). 2014.
4. New Alchemy-like GarageBand synths appear to be first fruits of Apple's Camel Audio acquisition [Electronic resource] // Apple Insider [Web portal]. URL:

- www.appleinsider.com/articles/15/06/15/new-alchemy-like-garageband-synths-appear-to-be-first-fruits-of-apples-camel-audio-acquisition (accessed: 15.06.2015).
5. *Caetano M., Wiering F.* Theoretical framework of a computational model of auditory memory for music emotion recognition // Proceedings of the 15th Conference of the International Society for Music Information Retrieval (ISMIR). 2014. P. 331–336.
 6. *Bogdanov D. et al.* Essentia: an audio analysis library for music information retrieval // Proceedings of the 14th Conference of the International Society for Music Information Retrieval (ISMIR). 2013. P. 493–498.
 7. Analysis descriptor documentation [Electronic resource] // Freesound [Web portal]. URL: www.freesound.org/docs/api/analysis_docs.html (accessed: 16.09.2015).
 8. *Tenenbaum J. B., De Silva V., Langford J.C.* A global geometric framework for nonlinear dimensionality reduction // Science. 2000. Vol. 290. No 5500. P. 2319–2323.
 9. *Belkin M., Niyogi P.* Laplacian eigenmaps for dimensionality reduction and data representation // Neural computation. 2003. Vol. 15. No 6. P. 1373–1396.
 10. *Sarwar B. et al.* Application of dimensionality reduction in recommender system-a case study // ACM WebKDD 2000 Workshop. 2000.
 11. *Дубров А.М.* Обработка статистических данных методом главных компонент. М., 1978. – 136 с.
 12. *Kuhn M., Johnson K.* Applied predictive modeling. 2013. – 600 p.
 13. *Breiman L.* Random forests // Machine learning. 2001. Vol. 45. No 1. P. 5–32.
 14. *Akkermans V., Serrà J., Herrera P.* Shape-based spectral contrast descriptor // Proceedings of the Sound and Music Computing Conference(SMC). 2009. P. 143–148.
 15. *Laurier C. et al.* Indexing music by mood: design and integration of an automatic content-based annotator // Multimedia Tools and Applications. 2010. Vol. 48. No 1. P. 161–184.
 16. Dissonance (documentation) [Electronic resource] // Essentia [Official website]. URL: www.essentia.upf.edu/documentation/reference/streaming_Dissonance.html (accessed: 16.09.2015).

СОДЕРЖАНИЕ

Разработка методики оценки степени обогатимости руд твердых полезных ископаемых оптическим методом <i>А.А. Алехин</i>	4
Социальное предпринимательство и личностные характеристики персонала <i>А.А. Антонов</i>	10
Лазерные интерференционные зеркала для задач медицинской лазерной техники в диапазоне 5,75–8 мкм <i>А.Н. Баранов</i>	13
Исследование эффективности rs-анализа в задачах обнаружения скрытых каналов передачи информации <i>Д.А. Башмаков</i>	16
Алгоритмы адаптивного управления минимально-фазовыми системами с насыщением по входу <i>А.С. Боргуль</i>	21
Система динамического позиционирования на основе адаптивной модификации последовательного компенсатора <i>О.И. Борисов</i>	27
Исследование и разработка трехзеркальных объективов для обнаружения астероидно-кометной опасности <i>К.Д. Бутылкина</i>	34
Идентификация и количественное определение наноматериалов в водных объектах окружающей среды <i>Е.А. Быковская</i>	41
Квантовые блуждания и генерация фотонных пар в закрученных массивах волноводов <i>Д.Н. Вавулин</i>	45
Картирование и локализация мобильного робота в закрытом помещении <i>С.М. Власов</i>	48
Разработка метода воссоздания трехмерной пространственной модели толстой кишки с учетом параметров ее внутреннего строения <i>В.С. Гайдуков</i> ...	51
Разработка и апробация методов и алгоритмов использования программных средств мотивации студентов в системах управления обучением <i>А.И. Говоров</i>	55
Создание чувствительного элемента волоконно-оптического распределенного датчика температуры на основе решеток Брэгга <i>А.И. Грибаев</i>	59
Система слежения за гармоническим сигналом в робототехнических системах <i>В.С. Громов</i>	64
Исследование и разработка оптико-электронной системы позиционирования с полихроматической оптической равносигнальной зоной <i>В.Ф. Гусаров</i>	69
Разработка алгоритмов количественного расчета параметров модели универсальной ЛВС в момент противодействия угрозам информационной безопасности <i>Н.А. Дородников</i>	73
Модульное проектирование оптических систем различного назначения <i>В.В. Ежова</i>	77

Разработка и исследование высокочувствительной системы мультиплексированных волоконно-оптических гидрофонов для геофизической разведки <i>М.Е. Ефимов</i>	84
Особенности осуществления онлайн-взаимодействия граждан и власти для решения проблем территорий <i>Д.В. Жук</i>	87
Специализированные нанозонды для сканирующих зондовых микроскопов: технология создания, исследование, применение <i>М.В. Жуков</i>	92
Упрочнение металлов периодическим волновым воздействием <i>Е.Е Ильина</i>	97
Разработка методики принятия управленческих решений по информационной безопасности в условиях неопределенности <i>А.С. Исаев</i>	102
Анализ и синтез оптико-электронных систем контроля смещений с ретрорефлекторами <i>М.А. Клещенко</i>	108
Организация безопасного доступа к ресурсам внешней сети <i>В.С. Коломойцев</i>	113
Методы и алгоритмы распределенной обработки гетерогенных данных сенсорной сети на основе онтологического подхода <i>М.А. Колчин</i>	119
Запись решеток Брэгга в двулучепреломляющее оптическое волокно с эллиптической напрягающей оболочкой, подвергнутое водородной обработке <i>К.А. Коннов</i>	122
Использование сенсорной сети для определения траектории движения объекта <i>В.М. Коржук</i>	128
Исследование эффекта усиления субволнового источника электромагнитного поля посредством гиперболического метаматериала на основе металлических проводов <i>С.Ю. Косильников</i>	132
Обеспечение взаимодействия пользователя с геопространственной информацией с использованием средств хранения и последующего вывода данных <i>Н.А. Котов</i>	137
Совершенствование процесса резки плодов и овощей на части при производстве безалкогольных газированных напитков <i>Е.В. Кравцова</i>	139
Разработка реабилитационного устройства для восстановления мелкой моторики рук людей, пострадавших от инсульта <i>С.В. Кривошеев</i>	144
Антропологическая проблематика субъекта информационного общества <i>А.А. Львов</i>	148
О спектре цепочки слабо связанных нанорезонаторов с однократным изломом в случае дельта-штрих соединения элементов цепочки <i>А.С. Мелихова</i>	151
Методика оценки эффективности системы защиты персональных данных информационной системы <i>А.А. Миняев</i>	156

Исследование процесса динамического измельчения плодов и овощей <i>Л.В. Минаева</i>	158
Исследование оптических свойств нового материала на основе теллуритных стекол, активированных редкоземельными ионами <i>К.С. Москалева</i>	162
Разработка методики оценки качества открытых бюджетов на примере бюджетов муниципалитетов Санкт-Петербурга <i>О.В. Пархимович</i>	167
Формальные степенные ряды для асимптотического анализа геофизических задач <i>А.И. Попов</i>	171
Модели, методы и программные средства реализации естественно-языкового интерфейса к структурированным источникам данных <i>Р.В. Посевки</i>	175
Исследование и разработка методики применения АСТПП приборостроительного предприятия <i>А.В. Потапов</i>	179
Разработка микропроекторной системы смешанной и дополненной реальности <i>М.С. Рудакова</i>	182
Разработка алгоритмов обработки видеоинформации в задаче динамической локальной ориентации подвижного объекта <i>М.А. Рыбальченко</i>	186
Разработка нового поколения САПР технологических процессов на основе многоагентных технологий <i>А.С. Сагидуллин</i>	189
Исследование и разработка йогурта с селеном для людей, страдающих сахарным диабетом <i>Е.А. Скриплева</i>	192
Разработка и исследование устройств для фиксации датчиков угловых перемещений в процессе контроля <i>Н.В. Смирнов</i>	198
Разработка алгоритмов построения помехоустойчивых кодов, обнаруживающих алгебраические манипуляции, на основе вейвлетных разложений <i>С.В. Таранов</i>	201
Метод усредненного расчета модели угроз информационной безопасности на основе регрессионного анализа экспертной оценки <i>Е.А. Хлютина</i>	205
Разработка энергоэффективной технологии солодоращения зерна овса и его дальнейшая переработка в зерновой сироп для категории людей, страдающих целиакией <i>М.С. Чекина</i>	209
Исследование пользовательских предпочтений при выборе аннотаций к материалам, загружаемым в социальную сеть Freesound, с помощью методов анализа больших данных <i>Е.В. Черный</i>	216

Сборник трудов аспирантов Университета ИТМО, победителей конкурса грантов Правительства Санкт-Петербурга / Под редакцией проф. В.О. Никифорова. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 223 с.

СБОРНИК ТРУДОВ АСПИРАНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ИТМО,
ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА ГРАНТОВ
ПРАВИТЕЛЬСТВА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Под редакцией проф. В.О. Никифрова

Дизайн обложки А.В. Чуркова

Редакторы:

А.В. Бутина, И.А. Лапшина, А.В. Рябчикова

Корректор А.В. Бутина

Верстка И.А. Лапшина

Подписано в печать 10.06.2016

Заказ № 3685 Тираж 100 экз.