

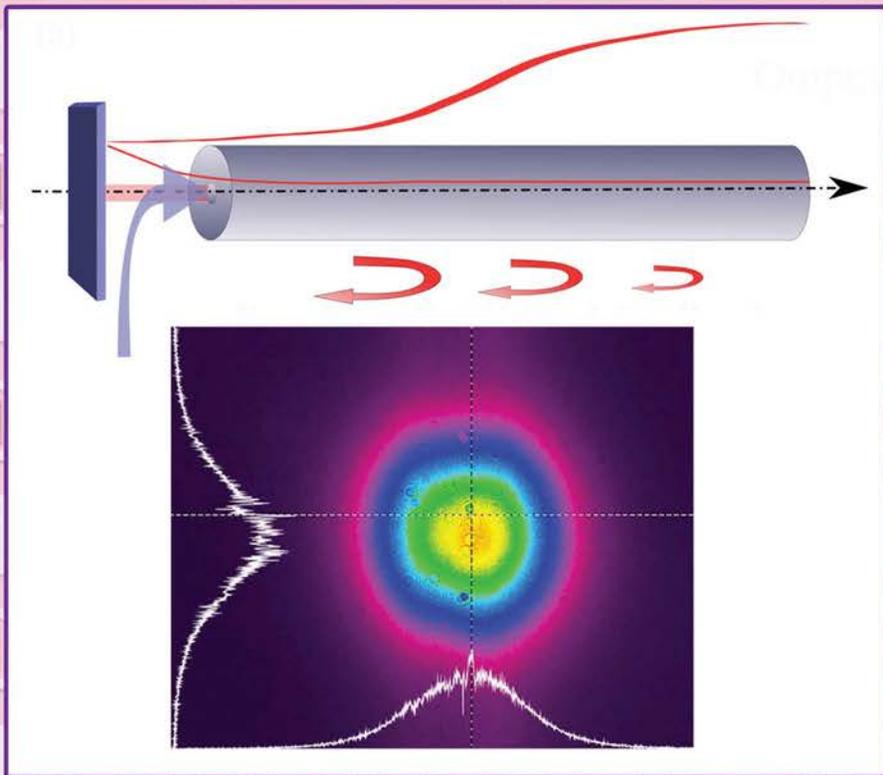
ФАНО России

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Сибирское отделение Российской академии наук



**Институт автоматизации  
и электрометрии**

**в 2014 году**



**Отчет о деятельности**

Новосибирск

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ  
в 2014 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК  
2015

УДК 535 + 538,9 + 539,1 + 621,391 + 681,3 + 681,5 + 681,7

Печатается по решению Ученого совета  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки  
Института автоматики и электрометрии  
Сибирского отделения Российской Академии наук

Ответственный за выпуск  
доктор технических наук Михляев С.В.

© Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки  
Институт автоматики и электрометрии  
Сибирского отделения Российской Академии наук

Новосибирск

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2014 ГОДУ</b> .....	7
<b>2 ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	18
<b>3 ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ. ДРУГИЕ ПРОГРАММЫ СО РАН</b> ....	109
<b>4 ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕЗИДИУМА И ОТДЕЛЕНИЙ РАН</b> .....	112
<b>5 РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ</b> .....	115
<b>6 РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ</b> .....	117
<b>7 НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ</b> .....	125
7.1 ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИИЭ СО РАН в 2014 году.....	125
7.2 СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ.....	125
7.3 РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА.....	128
7.4 РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	130
7.5 МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ.....	132
7.6 ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	135
7.7 ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	139
7.8 УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	140
7.9 НАГРАДЫ.....	149
<b>8 ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИИЭ СО РАН В 2014 г.</b> .....	151

## **ВВЕДЕНИЕ**

Научные исследования в 2014 году выполнялись в соответствии с уставными направлениями Института (актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе физические процессы в газах и конденсированных средах, индуцированные излучением, нелинейные явления при взаимодействии излучения со структурированными материалами, новые спектральные диапазоны и режимы генерации излучения; фундаментальные основы лазерных и оптических технологий, включая обработку и модификацию материалов, информатику, формирование микро- и наноструктур, диагностику, прецизионные измерения; архитектура, системные решения, математические модели и программно-алгоритмическое обеспечение информационно-вычислительных комплексов восприятия, анализа, отображения информации и систем управления сложными динамическими процессами) по темам и проектам госзадания ИАиЭ СО РАН на 2014 год в соответствии с Планом НИР Института и разделами «Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»:

- Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости;
- Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.
- Когнитивные системы и технологии, нейроинформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.
- Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов.

Всего по этим направлениям выполнялось 10 базовых тем госзадания.

Значительная часть исследований велась по программам Президиума и ОФН РАН (15 и 4 проекта соответственно).

Отчетный 2014 год был завершающим в трехлетнем цикле работ по интеграционным программам СО РАН: в Институте выполнено 12 междисциплинарных и 4 партнерских проекта.

Ученые Института в 2014 г. выполнили проект РНФ и 23 проекта по грантам РФФИ, а также большое количество договоров с российскими и зарубежными организациями.

В 2014 г. получены гранты Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-4447.2014.2) и молодых российских ученых (МК-228.2014.2), а также 4 стипендии Президента РФ (две –

для ученых-исполнителей оборонного заказа, две – для проведения научных исследований).

Ученым советом Института признаны наиболее важными следующие результаты, полученные в 2014 г.:

- Генерация многоцветных солитонных комплексов в волоконном лазере (*Лаборатория волоконной оптики*);
- Высокоэффективный волоконный лазер со случайной распределённой обратной связью (*Лаборатория волоконной оптики*);
- Многоэлементный генератор терагерцового излучения (*Лаборатория информационной оптики и Лаборатория дифракционной оптики*);
- Экспериментальное обнаружение нового физического явления – фотоэкстракции молекулярных газов из объёма пористых стеклообразных полимерных плёнок (*Лаборатория физики лазеров*);
- Ультратонкий лазер на красителе для задач терагерцовой спектроскопии (*Лаборатория спектроскопии конденсированных сред*);
- Система спектрального контроля нанесения многослойных диэлектрических покрытий (*Лаборатория оптических информационных систем*);
- Электростатический МЭМС генератор с высокой удельной мощностью (*Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур*);
- Анизотропия терагерцовых оптических свойств и особенности структуры кристаллов КТР (*Лаборатория информационной оптики*).

Результаты, полученные учеными Института с их зарубежными коллегами из Китая при исследовании новой схемы волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью за счёт обратного рэлеевского рассеяния в коротком световоде, вошли в список основных достижений по оптике в 2014 году по версии OSA.

По полученному в 2014 году заключению канадского физического журнала (*Canadian Journal of Physics*) статья сотрудника ИАиЭ СО РАН Шапиро Д.А. (в соавторстве) признана лучшей статьей 2013 года. (May A.D., Liu W.-K., McCourt F.R.W., Ciuryło R., Stoker J. Sanchez-Fortún, Shapiro D., Wehr R. The impact theory of spectral line shapes: a paradigm shift // *Canadian Journal of Physics*, 2013, vol. 91, № 11. P. 879–895.).

В 2014 году авторскому коллективу ИАиЭ СО РАН (Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Филиппов М.Н., Ян А.П.) и МУП «Новосибирский метрополитен» (Марков С.Ф., Михеев Ю.И., Окадьев А.Б., Плотников В.М., Шестаков Ю.М.) присуждена Государственная премия Новосибирской области за разработку и внедрение в эксплуатацию автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена.

Также в прошедшем году Институт стал Лауреатом городского Дня науки в номинации «Лидер инноваций в академической науке» в области физических наук.

По итогам участия в конкурсах инновационных проектов в рамках международных форумов в 2014 году Институт награжден:

- **Золотыми медалями и Дипломами I степени XX Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (Санкт-Петербург)** за проекты «Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей» и «Электростатические микрогенераторы энергии с высокой удельной мощностью», а также **Дипломом** за проект «Многофункциональная интерактивная система для обучения и презентаций на базе технологии интегрированной виртуальной реальности»;
- **Дипломом I степени** и званием «Лауреат конкурса Лазерной Ассоциации 2014 года» (Москва) за разработку «Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей».

Отчет подготовлен на основе материалов, представленных научными лабораториями, планово-финансовыми и другими подразделениями и службами Института. В нем изложены наиболее важные научные и научно-технические результаты, полученные при выполнении исследований в 2014 г. Кратко изложены основные направления проводившейся в Институте научно-организационной деятельности, приведены общие показатели и список публикаций сотрудников Института.

# **1 НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2014 ГОДУ**

В 2014 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 8 результатов.

## **1.1 Генерация многоцветных солитонных комплексов в волоконном лазере**

### **Generation of multicolor soliton complexes in a fiber laser**

*Авторы: Бабин С.А.<sup>1,2</sup>, Подвилов Е.В.<sup>1,2</sup>, Харенко Д.С.<sup>1,2</sup>; Беднякова А.Е.<sup>2,3</sup>; Штырина О.В.<sup>2,3</sup>, Федорук М.П.<sup>2,3</sup>; Калашников В.Л.<sup>4</sup>; Аполлонский А.А.<sup>1,5</sup>*

*Authors: Babin S.A.<sup>1,2</sup>, Podivilov E.V.<sup>1,2</sup>, Kharenko D.S.<sup>1,2</sup>; Bednyakova A.E.<sup>2,3</sup>, Shtyrina O.V.<sup>2,3</sup>, Fedoruk M.P.<sup>2,3</sup>; Kalashnikov V.L.<sup>4</sup>, Apolonski A.A.<sup>1,5</sup>*

*1 – ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск (IA&E SB RAS, Novosibirsk);*

*2 – НГУ, г. Новосибирск (NSU, Novosibirsk);*

*3 – ИВТ СО РАН, г. Новосибирск (ICT SB RAS, Novosibirsk)*

*4 – Institut fuer Photonik, TU Wien, Vienna, Austria*

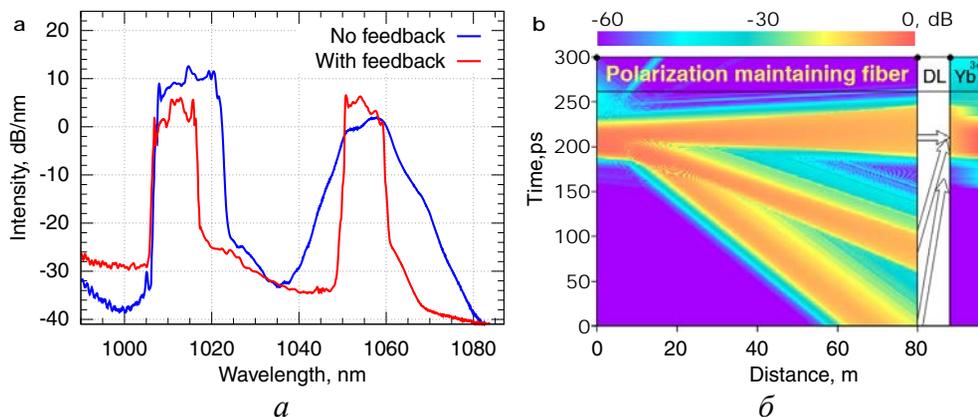
*5 – Ludwig-Maximilians-Universitaet Muenchen and Max-Planck-Institut fuer Quantenoptik, Garching, Germany*

Предложена, рассчитана и реализована экспериментальная схема волоконного лазера, которая демонстрирует существование солитонов нового типа – рамановских диссипативных солитонов, генерируемых за счёт вынужденного комбинационного рассеяния диссипативных солитонов в волоконном резонаторе и преобразования шумового рамановского импульса в когерентный импульс на смещённой (стоксовой) частоте за счёт слабой обратной связи. Показано, что предложенная схема позволяет генерировать рамановские солитоны следующих порядков, тем самым формируя многоцветные солитонные комплексы, имеющие большие перспективы применений в когерентной оптической связи и биомедицинской диагностике (рис. 1.1) [1–3].

A fiber laser scheme has been proposed, simulated, and realized to demonstrate solitons of a new type: Raman dissipative solitons generated via stimulated Raman scattering of dissipative solitons inside a fiber laser cavity. A noisy Raman pulse becomes coherent due to the weak cavity feedback at the shifted (Stokes) frequency. It has been shown that the proposed scheme also offers generation of higher-order Raman dissipative solitons, thus, forming multicolor soliton complexes that offer significant prospects for applications in coherent optical communications and biomedical diagnostics (Fig. 1.1) [1–3].

1. Bednyakova A. E., Babin, S. A., Kharenko D. S., Podivilov E. V., Fedoruk M. P., Kalashnikov V. L., Apolonski A. Evolution of dissipative solitons in a fiber laser oscillator in the presence of strong Raman scattering // Optics express. – 2013. – V. 21. – Iss. 18. P. 20556 – 20564.

- Babin S. A., Podivilov E. V., Kharenko D. S., Bednyakova A. E., Fedoruk M. P., Kalashnikov V. L., Apolonski A. Multicolour nonlinearly bound chirped dissipative solitons // Nature Communications. – 2014. – № 5. – P. 4653 (6 p.).
- Babin S. A., Podivilov E. V., Kharenko D. S., Bednyakova A. E., Fedoruk M. P., Shtyrina O. V., Kalashnikov V. L., Apolonski A. SRS-driven evolution of dissipative solitons in fiber lasers // Chapter in book “Nonlinear optical cavity dynamics”. – Ed. by P.Grelu, Wiley-VCH Verlag. – 2014 (in press).



**Рис. 1.1.** *a* – экспериментальные спектры в схеме без обратной связи (синий) и с обратной связью (красный) для рамановского импульса (1055 нм), формируемого за счёт ВКР диссипативного солитона (1015 нм); *б* – моделирование эволюции диссипативного солитона (ДС) и рамановских ДС первого и второго порядка в резонаторе, состоящем из РМ-световода, линии задержки DL и активного Yb<sup>3+</sup> волокна

**Fig. 1.1.** *a* – comparison of the experimental output spectra: DS and Raman pulse in the scheme without feedback (blue) and DS-RDS complex with feedback (red); *b* – calculated DS, RDS, and second-order RDS evolution in a PM-fiber cavity with a delay line DL, and a Yb<sup>3+</sup>-doped active fiber.

## 1.2 Высокоэффективный волоконный лазер со случайной распределённой обратной связью

### High-efficiency fiber laser with random distributed feedback

*Авторы: Ватник И.Д., Подивилов Е.В., Чуркин Д.В., Бабин С.А. (ИАиЭ СО РАН).*

*Authors: Vatnik I.D., Podivilov E.V., Churkin D.V., Babin S.A. (IA&E SB RAS)*

Предложена и реализована новая схема волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью за счёт обратного рэлеевского рассеяния в коротком световоде [1, 2]. Получена рекордная абсолютная эффективность (около 70 %) генерации стоксовой волны (1.3 мкм) при мощности оптической накачки ~10 Вт на 1.1 мкм. Генерируемое излучение не содержит модовой структуры в спектре, что имеет большие перспективы при создании мощных лазерных источников для применений в низкокогерентной томографии и лазерных дисплеях.

Данные результаты вошли в обзор Physics Reports [3] и список основных достижений по оптике в 2014 году по версии OSA [4].

A new scheme of the Raman fiber laser has been proposed and realized: it operates via random feedback induced by Rayleigh backscattering in a short fiber [1, 2]. A record-beating absolute optical efficiency (about 70 %) has been obtained for generation of the Stokes wave (1.3  $\mu\text{m}$ ) at  $\sim 10$  W power of optical pumping at 1.1  $\mu\text{m}$ . The spectrum of generated radiation is modeless, which offers great advantages in the development of high-power laser sources for applications in low-coherence tomography and laser displays. These results are included in the review in Physics Reports [3] and in the OSA nomination for main achievements in 2014 in optics [4].

1. Vatik I. D., Churkin D. V., Babin S. A. Power optimization of random distributed feedback fiber lasers // Opt. Express. – 2012. – V. 20 (27). – P. 28033 – 28038.
2. Vatik I. D., Churkin D. V., Podivilov E. V., Babin S. A. High-efficiency generation in a short random fiber laser // Laser Phys. Lett. – 2014. – V. 11. – № 7. – P. 075101 (5 p.).
3. Turitsyn S. K., Churkin D. V., Babin S. A., Podivilov E. V., Vatik I. D., Nikulin M. Random distributed feedback fibre lasers // Phys. Reports. – 2014. – V. 542. – Iss. 2. – P. 133 – 194.
4. Wang Z., Wu H., Fan M., Rao Y., Vatik I., Churkin D., Podivilov E., Babin S., Zhang H., Zhou P., Xiao H., Wang X. Random fiber laser: simpler and brighter // Optics and Photonics News. –, 2014. – № 12 (OSA Special Issue: Optics in 2014) (in print).

### **1.3 Многоэлементный генератор терагерцового излучения**

#### **Multielement generator of terahertz radiation**

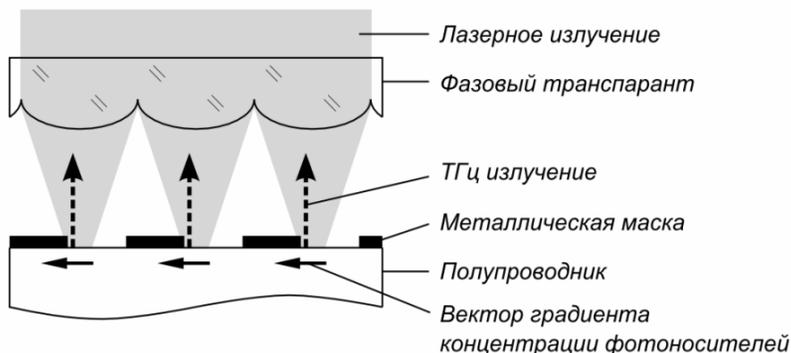
*Авторы: Анцыгин В.Д., Конченко А.С., Корольков В.П., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. (ИАиЭ СО РАН).*

*Authors: Antsygin V.D., Konchenko A.S., Korolkov V.P., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. (IA&E SB RAS)*

Предложен и экспериментально апробирован новый метод генерации терагерцового (ТГц) излучения, основанный на когерентном сложении излучения множества элементарных эмиттеров на поверхности узкозонного полупроводника, освещаемых фемтосекундным лазерным излучением с периодическим пространственным распределением интенсивности [1, 2]. Основным механизмом генерации ТГц излучения является сонаправленное движение фотоносителей вдоль поверхности полупроводника (поперечный эффект Дембера). Периодическая освещенность создается при помощи цилиндрического микролинзового раstra с использованием эффекта Тальбота и затенения части полупроводника металлической маской (рис. 1.2). Многоэлементный ТГц эмиттер экспериментально реализован на полупроводнике p-InSb с нанесенными на его поверхность золотыми полосами, измерена временная форма генерируемого терагерцового импульса (рис. 1.3).

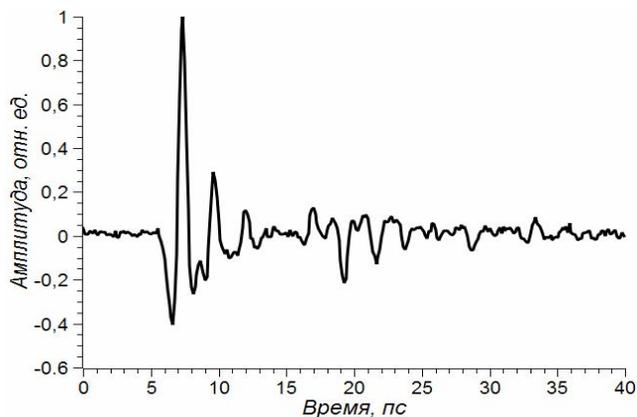
A new method for generation of terahertz radiation was suggested and experimentally tested. It is based on coherent composition of radiation of multiple elementary emitters on the surface of a narrowband semiconductor illuminated by femtosecond laser radiation with a periodical spatial intensity distribution [1, 2]. The main mechanism of terahertz radiation generation is codirec-

tional movement of photocarriers along the semiconductor surface (lateral photo-Dember effect). Periodical illumination is created with the help of a cylindrical microlens array by using the Talbot effect and partial shading of the semiconductor with a metal mask (Fig. 1.2). The multielement terahertz emitter was experimentally implemented on a p-InSb semiconductor with gold stripes deposited on its surface, and the time shape of the generated terahertz pulse was measured (Fig. 1.3).



**Рис. 1.2.** Схема многоэлементного генератора терагерцового излучения

**Fig. 1.2.** Schematic of the multielement generator of terahertz radiation



**Рис. 1.3.** Временная форма импульса генератора

**Fig. 1.3.** Time shape of the generated pulse

1. Анцыгин В. Д., Конченко А.С., Корольков В. П. и др. Терагерцовый микрорастровый эмиттер на основе поперечного эффекта Дембера // Автометрия. – 2013 – Т. 49. – № 2. С. 92 – 97.
2. Пат. РФ на изобретение № 2523746. Многоэлементный генератор терагерцового излучения / О. И. Потатуркин, Н. А. Николаев, А. А. Мамрашев, В. Д. Анцыгин, В. П. Корольков, А. С. Конченко; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 28.05.2014; опубл. 20.07.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 20.

## 1.4 Экспериментальное обнаружение нового физического явления – фотоэкстракции молекулярных газов из объёма пористых стеклообразных полимерных плёнок

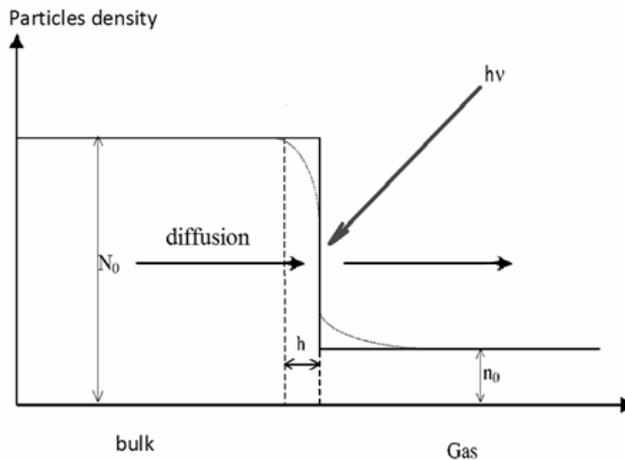
### Experimental observation of a new physical phenomenon - photo extraction of molecular gases from the volume of porous glassy polymer films

Авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И. (ИАиЭ СО РАН)

Authors: Atutov S.N., Plekhanov A.I. (IA&E SB RAS)

Экспериментально обнаружено новое физическое явление – фотоэкстракция молекулярных газов из объёма полимерной плёнки (рис. 1.4). Суть явления заключается в отделении молекул под действием света от поверхности полимерного слоя при условии сильного влияния подповерхностной диффузии молекул на процесс десорбирования этих частиц.

A new physical phenomenon – photo extraction of a molecular gas from the volume of a polymer film is experimentally discovered (Fig. 1.4). The essence of the phenomenon lies in the separation of molecules from the surface of the polymer layer under the action of light, provided a strong influence of the subsurface diffusion of molecules on the process of particle desorption.



**Рис. 1.4.** Зависимость плотности молекул в полимерном слое и вблизи его при воздействии света на поверхность:  $N_0$  – плотность молекул в полимерной плёнке,  $n_0$  – плотность молекул в газовой фазе,  $h$  – толщина поверхностного слоя, облучаемого светом, стрелки обозначают потоки фотоэкстрагируемых молекул в плёнке и в газовой фазе,  $h\nu$  – поток фотонов

**Fig. 1.4.**  $N_0$  is the density of molecules in the polymer film,  $n_0$  is the density of molecules in the gas phase,  $h$  is the thickness of the surface layer of the irradiated light, the arrows indicate the photo-extracted molecules in the film and in the gas phase, and  $h\nu$  is the photon flux

1. Atutov S. N., Danilina N. A., Mikerin S. L., Plekhanov A. I. Pulsed light desorption of molecular nitrogen from a glass surface // Optics Communications. – 2014. – V. 315. – P. 362 – 366.

- Атутов С. Н., Данилина Н. А., Плеханов А. И., Потешкина К. Д. Фотоэкстракция молекулярных газов из полимерной органической пленки // Письма в ЖЭТФ. – 2014. Т. 99. – № 11. – С. 766 – 770.
- Atutov S. N., Calabrese R., Plekhanov A. I., Tomassetti L. Diffusion and photodesorption of molecular gases in a polymer organic film // The European Physical Journal D. – 2014. – V. 68. – Iss. 1. – Article 6 (7 p.).
- Пат. на изобретение № 2505807. Способ увеличения концентрации примесей, выделяемых из газовой смеси / С. Н. Атутов, А. И. Плеханов; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН, Атутов С. Н., Плеханов А. И.; заявл. 25.01.2012; опубл. 27.01.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 3.

### 1.5 Ультратонкий лазер на красителе для задач терагерцовой спектроскопии

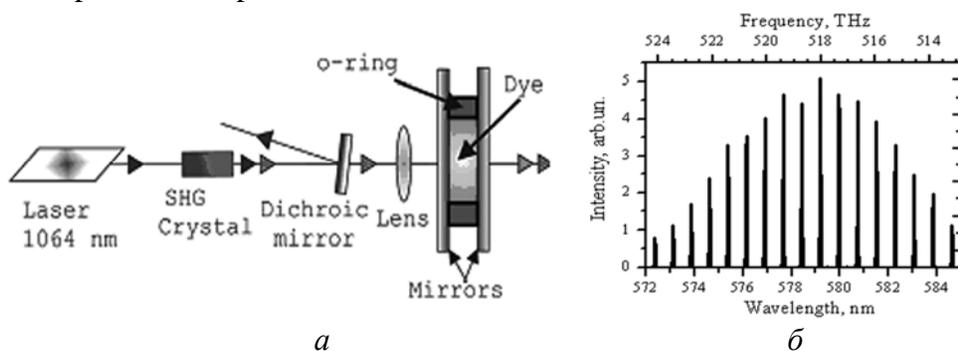
#### Superthin resonator dye laser for THz spectroscopy

Авторы: Рудыч П.Д., Суворцев Н.В. (ИАиЭ СО РАН)

Authors: Rudych P.D., Surovtsev N.V. (IA&E SB RAS)

Предложен и реализован ультратонкий лазер на красителе с переменной длиной резонатора, генерирующий многомодовое лазерное излучение с регулируемым межмодовым расстоянием в терагерцовом (ТГц) диапазоне (рис. 1.5). Лазер может быть применен для генерации ТГц фотонов и фононов.

A superthin resonator dye laser with THz intermode frequency separation was suggested and realized (Fig. 1.5). This laser can be used for generation of THz photons and phonons.



**Рис. 1.5.** Схема ультратонкого лазера на красителе (а) и спектр его генерации при длине резонатора 130 мкм и красителе родамин 6G (б)

**Fig. 1.5.** Experimental setup of a superthin resonator dye laser (top panel). Laser emission spectrum with a thickness of 130  $\mu\text{m}$  and rhodamine 6G as a dye (bottom panel)

- Rudych P. D., Surovtsev N. V. Superthin resonator dye laser with THz intermode frequency separation // Laser Physics Letters. – 2014. – V. 11. – P. 105805 (4 p.).

## 1.6 Система спектрального контроля нанесения многослойных диэлектрических покрытий

### System for spectral monitoring of deposition of multilayer dielectric coatings

Авторы: Лабусов В.А., Семёнов З.В., Зарубин И.А. (ИАиЭ СО РАН);  
Эрг Г.В. (ИЛФ СО РАН) (совместно с «ВМК-Оптоэлектроника», Новосибирск)

Authors: Labusov V.A., Semenov Z.V., Zarubin I.A. (IA&E SB RAS), Erg G.V. (Institute of Laser Physics SB RAS) (together with VMK-Optoelektronika, Novosibirsk)

Разработана новая система прецизионного спектрального контроля толщин слоёв многослойных диэлектрических покрытий (рис. 1.6, а).

Принцип её работы основан на измерении зависимости коэффициента отражения слоя от длины волны в диапазоне 500–1000 нм и отличается от известных систем тем, что толщина наносимого слоя определяется путём решения в процессе напыления обратной задачи с повторяемостью (случайной погрешностью) результатов измерения 0.02 нм, получаемой за счёт регистрации 2600 точек спектра с динамическим диапазоном  $10^4$ . Система экспериментально апробирована на вакуумной установке Института лазерной физики СО РАН. Изготовлены различные высококачественные многослойные покрытия, в том числе просветляющие с максимальным коэффициентом отражения 0.15 % в диапазоне длин волн 400–660 нм (рис. 1.6, б).

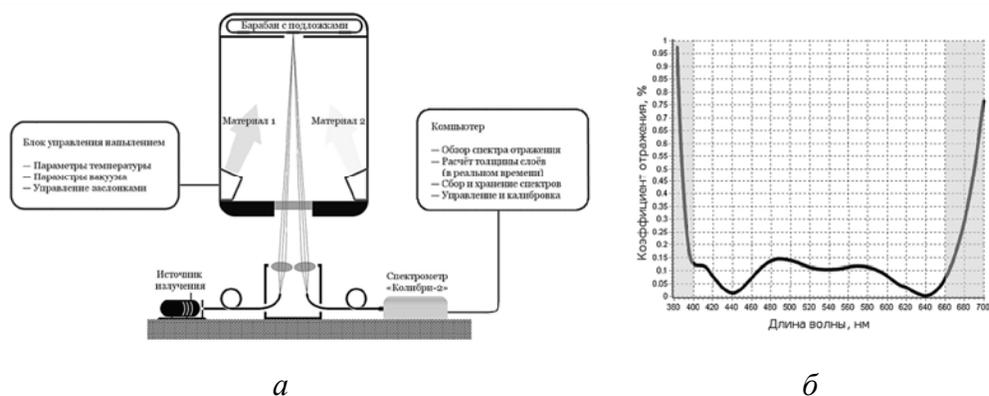


Рис. 1.6. Схема системы контроля в составе вакуумной установки (а); спектр отражения (б) полученного просветляющего покрытия для видимого диапазона (9 слоёв, материалы:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgF}_2$ )

Fig. 1.6. Scheme of the monitoring system as part of a vacuum deposition unit (a); reflectance spectrum (b) of an anti-reflection coating for the visible range (nine layers, materials:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ , and  $\text{MgF}_2$ )

A new system for precision spectral monitoring of the thickness of multilayer dielectric coatings (Fig. 1.6, a) has been developed. Its operating principle is based on measuring the reflection coefficient of the coating layer as a

function of the wavelength in the range of 500–1000 nm. It differs from existing systems in that the layer thickness is determined by solving an inverse problem during deposition with repeatability (random error) of measurement results of 0.02 nm, ensured by recording 2600 spectral points with a dynamic range of  $10^4$ . The system has been tested experimentally in a vacuum system of the Institute of Laser Physics SB RAS. Various high-quality multilayer coatings were produced, including an anti-reflection filter with the maximum reflection coefficient of 0.15% in the wavelength range of 400–660 nm (Fig. 1.6, b).

1. Лабусов В. А., Семёнов З. В., Зарубин И. А., Саушкин М. С., Эрг Г. В., Ковалев С. И. Система спектрального контроля нанесения многослойных диэлектрических покрытий // Измерительная техника. – 2013. – № 12. – С. 11 – 14.

### **1.7 Электростатический МЭМС генератор с высокой удельной мощностью High power electrostatic MEMS generator**

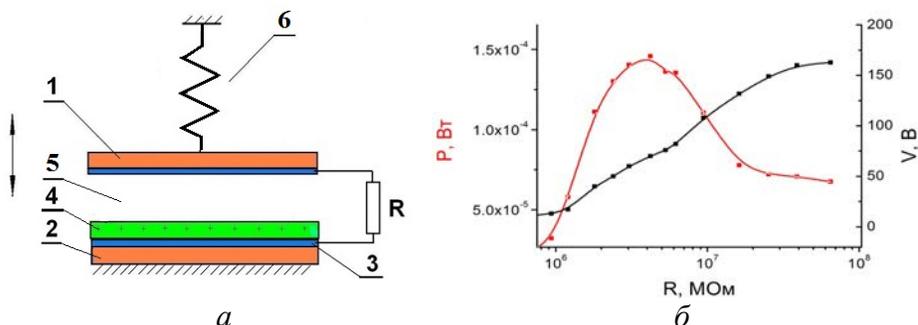
*Авторы: Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. (ИАиЭ СО РАН).  
Authors: Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A. (IA&E SB RAS)*

Разработаны электростатические микрогенераторы, основанные на модуляции микро- и нанометровых зазоров в структурах *металл – диэлектрик (сегнетоэлектрик, электрет) – воздушный зазор – подвижный электрод* (ПЭ) за счет энергии вибраций в окружающей среде. Показано, что за счет высокой плотности электрической энергии в зазоре (до 0.1–0.4 мДж/см<sup>2</sup>) мощность генераторов при низкочастотных колебаниях в области 10–200 Гц может достигать 10 мВт/см<sup>2</sup>. Установлено, что в механических системах с указанной конструкцией и подвижным электродом, закрепленным через пружину на корпусе (рис. 1.7, а), достижима электрическая мощность до 1 мВт/см<sup>2</sup>. При реальных экспериментальных исследованиях она составляла 150 мкВт/см<sup>2</sup> (рис. 1.7, б), что значительно, до 10 раз, превышает мощность известных микрогенераторов.

Electrostatic microgenerators based on modulation of micro- and nanogaps in metal-dielectric (ferroelectric, electret) – air gap – moving electrode (ME) structures by means of environmental vibration energy were developed. The output power of the generators was shown to reach 10 mW/cm<sup>2</sup> at frequencies of 10–200 Hz owing to high density of electric energy in the gap (up to 0.1–0.4 mJ/cm<sup>2</sup>). The electric power up to 1 mW/cm<sup>2</sup> was found to be reached in these systems with the ME fixed on the framework by a spring (Fig. 1.7, a). Under real experiment conditions, this power was about 150  $\mu$ W/cm<sup>2</sup> (Fig. 1.7, b), exceeding considerably (up to 10 times) the power of known microgenerators.

1. Baginsky I. L., Kostsov E. G. Modelling and simulation of MEMS electret vibration-driven energy harvester // Int. Rev. Modelling Simulations (IREMOS). – 2013. – V. 6. – № 1. – P. 203 – 213.

2. Baginsky I. L., Kostsov E. G., Kamishlov V. F. Two-capacitor electrostatic microgenerators // Engineering. – 2013. – V. 5. – P. 9 – 18.
3. Baginsky I. L., Kostsov E. G. High energy density capacitance microgenerators // Chapter 4 in book “Small-scale Energy Harvesting”. – InTech, France – Ed. M. Lallart. – 2012 – P. 35 – 59.



**Рис. 1.7.** Электростатический МЭМС-генератор: *a* – схема (1 – подвижный электрод, 2 – подложка с электродом (3) и электретом (4), 5 – зазор, 6 – пружина); *б* – его экспериментальные нагрузочные характеристики (площадь подвижного электрода  $S = 1 \text{ см}^2$ , поверхностный потенциал электрета  $V_p = 180 \text{ В}$ ,  $f = 150 \text{ Гц}$ , минимальный зазор  $d_{\min} = 4\text{--}6 \text{ мкм}$ )

**Fig.1.7.** Scheme of the electrostatic MEMS generator (*a*): 1 – moving electrode, 2 – substrate with electrode (3) and electret (4), 5 – gap, 6 – spring; and loading characteristics of this device (experiment) (*b*): The moving electrode area is  $S = 1 \text{ cm}^2$ , the surface potential of the electret is  $V_p = 180 \text{ V}$ ,  $f = 150 \text{ Hz}$ , and the minimum gap is  $d_{\min} = 4\text{--}6 \text{ }\mu\text{m}$

## 1.8 Анизотропия терагерцовых оптических свойств и особенности структуры кристаллов КТР

### Anisotropy of terahertz optical properties and structural peculiarities of KTP crystals

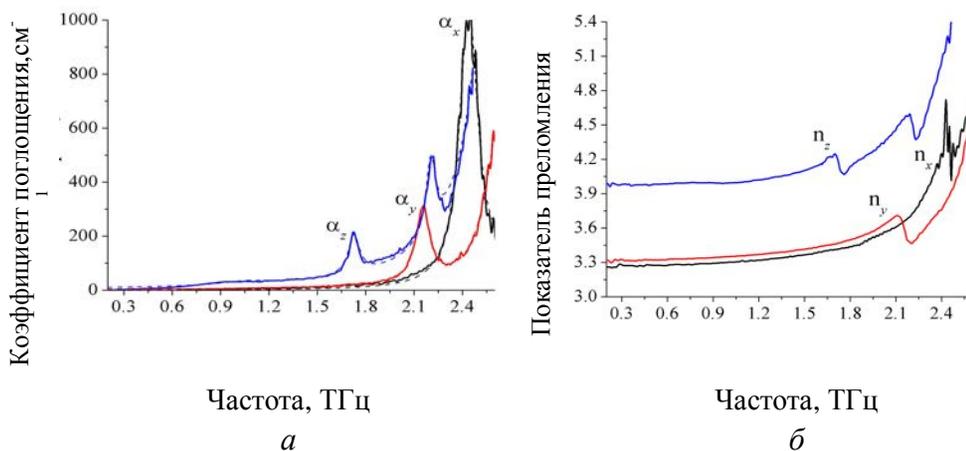
Авторы: Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. (ИАиЭ СО РАН)

Authors: Antsygin V.D., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A., Potaturkin O.I. (IA&E SB RAS)

Впервые экспериментально исследованы оптические свойства нелинейно-оптических кристаллов титанил-фосфата калия (КТР) в частотном диапазоне от 0.2 до 2.6 ТГц [1, 2] методом широкополосной импульсной терагерцовой спектроскопии [3]. Исследования проведены вдоль основных кристаллографических осей на образцах с различной проводимостью ( $\sigma_1 < 10^{-12} \text{ Ом см}$ ,  $\sigma_2 \approx 10^{-11} \text{ Ом см}$  и  $\sigma_3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ом см}$ ). Обнаружены линии поглощения, обусловленные внешними колебаниями ионов калия относительно кристаллического каркаса, образованного  $\text{TiO}_6$  и  $\text{PO}_4$  (рис. 1.8). Установлено, что особенности линий поглощения в кристаллах с различной проводимостью связаны со степенью неупорядоченности ка-

лиевой подрешетки, т. е. с наличием дополнительных позиций и степенью их заполнения ионами калия. Показано, что для генерации широкополосного терагерцового излучения в диапазоне 0.2–1 ТГц кристаллы КТР могут быть более эффективны по сравнению с традиционно применяемыми для этих целей кристаллами ниобата лития.

For the first time, the optical properties of nonlinear potassium titanyl phosphate crystals (KTP) were measured in a frequency range of 0.2 to 2.6 THz [1, 2] by the method of wideband terahertz time-domain spectroscopy [3]. The studies were conducted along the main crystallographic axes of the samples with different conductivity ( $\sigma_1 < 10^{-12} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ,  $\sigma_2 \approx 10^{-11} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  and  $\sigma_3 = 2 \cdot 10^{-6} \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). The observed absorption lines were attributed to external vibrations of potassium ions relative to the basis of the crystalline structure composed of  $\text{TiO}_6$  and  $\text{PO}_4$  (Fig. 1.8). It was found that the specific features of the absorption lines were connected with the degree of potassium sublattice disorder, i.e., with the presence of additional states and their occupation by potassium ions. It was shown that KTP crystals could be more efficient compared to conventional lithium niobate crystals for generation of wideband terahertz radiation in the range of 0.2–1 THz.



**Рис. 1.8.** Спектральная зависимость коэффициентов поглощения (а) и показателей преломления (б) высокоомного ( $\sigma_2$ ) кристалла КТР вдоль кристаллографических осей

**Fig. 1.8.** Spectral dependence of absorption coefficients (a) and refractive indices (b) of a high-resistivity KTP crystal along the crystallographic axes

1. Antsygin V. D., Kaplun A. B., Mamrashev A. A., Nikolaev N. A., Potaturkin O. I. Terahertz optical properties of potassium titanyl phosphate crystals // *Optics Express*. – 2014. – V. 22. – № 21. – P. 25436 – 25443.
2. Мамрашев А. А., Николаев Н. А. Стационарная терагерцовая спектроскопия нелинейно-оптических кристаллов // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014): Тез. докл. – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 119 – 120.
3. Анцыгин В. Д., Потатуркин О. И. Стационарная и нестационарная импульсная терагерцовая спектроскопия // III Всероссийская конференция по фотонике и информа-

ционной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014): Тез. докл. – М.: НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 15 – 16.

**1.9** В 2014 году получено заключение канадского физического журнала (Canadian Journal of Physics) о признании статьи, соавтором которой является сотрудник ИАиЭ СО РАН Шапиро Д.А., лучшей статьей 2013 года (рис. 1.9).

1. May A. D., Liu W.-K., McCourt F. R. W., Ciurylo R., Stoker J. Sanchez-Fortún, Shapiro D., Wehr R. The impact theory of spectral line shapes: a paradigm shift // Canadian Journal of Physics. – 2013. – V. 91. – № 11. – P. 879 – 895.



## **2 ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ II.8.** Актуальные проблемы физики конденсированных сред, в том числе квантовой макрофизики, мезоскопии, физики наноструктур, спинтроники, сверхпроводимости.  
**ПРОГРАММА II.8.3.** Характеризация и свойства твердотельных наноструктур. Координатор чл.-корр. РАН А.В. Латышев.

**Проект II.8.3.4.** Оптические методы исследования и формирования твердотельных наноструктур с целью создания компонентов оптоэлектронных систем. № гос. рег. 01201366866.

Исполнители проекта:

**Лаборатория информационной оптики** (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Анцыгин В.Д.).

**Лаборатория дифракционной оптики** (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Ленкова Г.А., к.т.н. Седухин А.Г., к.т.н. Насыров Р.К.).

**Лаборатория лазерной графики** (ответственный исполнитель к.т.н. Бесмельцев В.П.).

**Тематическая группа аналого-цифровых систем** (ответственный исполнитель к.т.н. Вьюхин В.Н.).

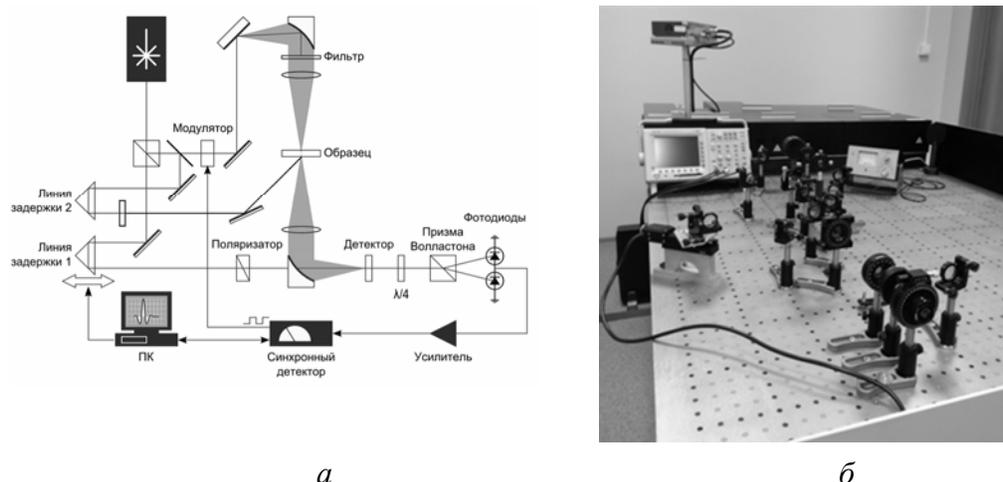
**Тематическая группа лазерной гравиметрии** (ответственные исполнители: к.т.н. Стусь Ю.Ф., к.т.н. Арнаутов Г.П.).

Научный руководитель д.т.н. Потатуркин О.И.

*Разработка и создание системы нестационарной терагерцовой спектроскопии на основе высокоэффективного преобразования фемтосекундных импульсов волоконных лазеров (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Анцыгин В.Д.).*

Разработана и создана экспериментальная установка, реализующая методы нестационарной терагерцовой спектроскопии (рис. 2.1, а). Установка собрана на основе титан-сапфирового лазера, обеспечивающего на длине волны 800 нм генерацию 35 фс импульсов с энергией  $>1$  мДж и частотой следования 1 кГц. Предварительное возбуждение исследуемого объекта может осуществляться  $\sim 35$  фс импульсами на основной ( $\lambda = 800$  нм) и второй гармонике ( $\lambda = 400$  нм) лазерного излучения, а также  $\sim 1$  пс импульсами широкополосного терагерцового излучения (канал предварительного возбуждения – линия задержки 2 на рис. 2.1, а). Регистрация трансформации ТГц отклика объекта во времени после возбуждения осуществляется поляризационно-оптическим методом (канал регистрации – линия задержки 1 на рис. 2.1, а) [1]. Фотография экспериментальной установки представлена на рис. 2.1, б. Созданная установка предназначена для исследования динамики процессов релаксации импульса и энергии носителей заряда с

субпикосекундным разрешением при предварительном оптическом или ТГц возбуждении полупроводниковых материалов и структур, в т.ч. систем пониженной размерности, без нарушения их функционирования.



**Рис. 2.1.** Блок-схема (а) и фото (б) экспериментальной установки нестационарной терагерцовой спектроскопии

(Лаборатория информационной оптики)

1. Анцыгин В.Д., Потатуркин О.И. Стационарная и нестационарная импульсная терагерцовая спектроскопия // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014). М.: НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 15 – 16.

*Разработка технологии формирования глубокого микрорельефа дифракционных оптических элементов для фокусировки излучения мощных лазеров дальнего ИК-диапазона. Исследование влияния сбоев в дифракционной структуре (ошибок высоты профиля и радиусов зон) на распределение интенсивности в фокальной области фокусирующих элементов в зависимости от окружающей среды. Синтез пространственно-инвариантных световых полей с низким уровнем дифракционного рассеяния за пределами заданной области (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Ленкова Г.А., к.т.н. Седухин А.Г.).*

Проведено теоретическое сравнительное исследование способов синтеза растриваемых фотошаблонов для фотолитографии с зазором.

Предложен и исследован метод растриваемой фотолитографии с зазором, предназначенный для формирования кусочно-непрерывных дифракционных оптических элементов (ДОЭ) в фоторезисте с периодом от 100 мкм и более, оптимизированных на длину волны 10.6 мкм. Данный метод ориентирован на формирование оригиналов инфракрасных ДОЭ на фоторезисте, на поверхности которых затем предполагается выращивать тонкую медную реплику для последующей фиксации на поверхности медной подложки фокусирующей отражающей линзы для мощных обрабатывающих лазерных систем [1].

Определены режимы формирования глубокого кусочно-непрерывного микрорельефа методом экспонирования фоторезиста AZ4562 через растриванный фотошаблон с зазором до нескольких десятков микрометров, обеспечивающим минимизацию глубины модуляции рельефа на несущей раstra, вызванную эффектом Тальбота, и ширины обратного ската дифракционных зон с «блеском». В рамках точной теории дифракции исследованы зависимости дифракционной эффективности субволновых синусоидальных решеток в нулевом порядке дифракции для определения допустимой глубины паразитной модуляции рельефа. Показано, что потеря эффективности при периоде решеток 7 мкм и глубине до 1.7 мкм не превышает 1.5 %. Основными варьируемыми технологическими параметрами являются ширина зон раstra фотошаблона и величина зазора между ним и пленкой фоторезиста.

Проведено теоретическое сравнение двух концепций расчета растриванных фотошаблонов – с постоянной шириной зон (7 мкм) и со случайным ее изменением в диапазоне 6–8 мкм. Моделирование не выявило существенных преимуществ случайного изменения периода. Изготовлен растровый фотошаблон ДОЭ с постоянным периодом растривания, и сформирован кусочно-непрерывный рельеф с глубиной 7 мкм.

Проведены исследования влияния ошибок радиусов зон и высоты профиля дифракционного элемента на распределение интенсивности в фокальной области бифокальных дифракционно-рефракционных интраокулярных линз [2, 3]. Определено, что уменьшение центральной зоны приводит к изменению оптической силы дифракционного элемента. Показано, что при измерении рефракции линз в воздухе возникают сферические aberrации из-за несоответствия радиусов зон фазовой линзе Френеля, поскольку структура дифракционного элемента рассчитывается с учётом компенсации сферических и хроматических aberrаций глаза для внутренней среды. Отклонения радиусов зон в структуре относительно структуры без компенсации, но с уменьшенной центральной зоной, составляют от – 0.021 до – 0.151 мм на диаметре 3 мм, что при длине волны 0.532 мкм соответствует изменению оптической силы дифракционного элемента в пределах 0.1÷2.5 дптр (в среднем на 1 дптр). Последнее должно быть учтено при измерении фокусных расстояний линз в +1-м и +2-м порядках. Показано, что при измерении в воздухе заметнее, чем в среде, проявляются ошибки в высоте профиля. В воздухе при отклонении высоты на +0.1 мкм интенсивность в +1-м порядке становится меньше в ~ 2 раза, чем в +2-м, а при отклонении на – 0.1 мкм, наоборот, больше в ~ 2 раза (в среде в 1.3 раза). При превышении высоты профиля можно ошибочно принять второй фокус за первый. Это особенно заметно при исследовании бифокальных линз с высокой рефракцией, когда фокусные расстояния в +1-м и +2-м порядках близки по значению друг к другу, а фокальные области частично перекрываются из-за сферических aberrаций. Определено, что расчёт рефракции по измерениям фокусного расстояния в +1-м порядке с учётом номинальной оптической силы дифрак-

ционного элемента и поправок точнее, чем на основе измерений фокусных расстояний в +1-м и +2-м порядках.

Предложена и исследована новая двухкомпонентная аналитическая модель, описывающая одномерные, параксиальные, прямоугольно-симметричные лазерные пучки произвольной ширины (произвольных дробных порядков). Данные пучки можно отнести к классу так называемых *меса* пучков [4]. Они имеют плоский волновой фронт и равномерное распределение интенсивности света в заданной центральной области их перетяжки, а также быстрое падение интенсивности и низкое дифракционное рассеяние света за пределами центральной области. Математические формы таких пучков являются собственными решениями параболического волнового уравнения и выражаются через интегральные функции ошибок с комплексными аргументами, представляемыми в виде комбинации координат трехмерного пространства и длины световой волны. Показано, что для относительно широких пучков (с большими порядками) предложенная модель достаточно хорошо согласуется с ранее введенными более сложными родственными моделями пучков (с прямоугольной симметрией), относящихся к классам так называемых уплощенно гауссовых и обобщенных мульти-гауссовых пучков и описываемых в виде конечных суперпозиций фундаментальной гауссовой моды, замешиваемой, соответственно, либо с комплексно-аргументными модами Эрмита – Гаусса («элегантными» модами) высших порядков, либо с внеосевыми фундаментальными гауссовыми модами. Подробно рассмотрена процедура точной оптимизационной подгонки указанных пучков различных моделей, а также модовый состав и характеристики их пространственного распространения (включая фактор распространения  $M^2$ ). В сравнении с ранее предложенными моделями, новая модель имеет наиболее компактное и математически удобное представление для описания пучков и их характеристик. Она может быть использована в различных оптических лазерных системах, включающих установки с когерентным объединением мощных лазерных пучков, интерференционные, голографические и изображающие системы, установки лазерной обработки материалов и тому подобные системы. Можно также отметить, что применительно к широкоапертурным мощным лазерным системам с круговой симметрией аналоги предложенных пучков уже апробированы в мировой практике и замещают классические гауссовы пучки фундаментальной моды (в качестве «устаревшей» модели здесь можно упомянуть также так называемые супергауссовы пучки).

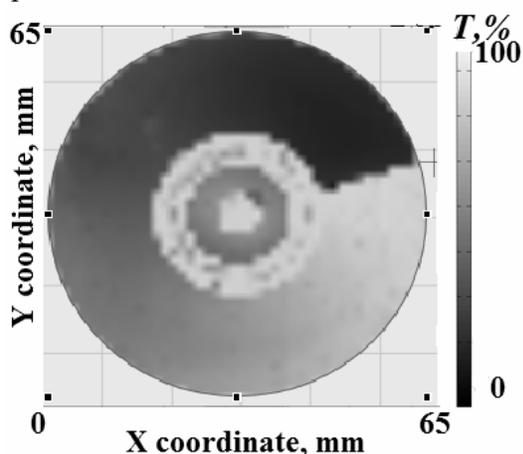
*(Лаборатория дифракционной оптики)*

1. Ленкова Г.А. Высокоэффективный дифракционный поворотный фокусирующий элемент // Тр. XI Международной конференции «Голография ЭКСПО–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). – М.: Изд-во ООО «Голография-Сервис». – 2014. – С. 67 – 69.
2. Ленкова Г. А. Особенности коррекции зрения внутриглазными линзами // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 95 – 109.

3. Ленкова Г. А. О возможности применения киноформных и гармонических дифракционных структур в конструкциях факичных внутриглазных линз // Оптика и спектроскопия (принята в печать).
4. Sedukhin A. Rectangular symmetrical mesa beams and their comparison with flattened Gaussian and multi-Gaussian beams // Optics Communications. – V. 335 (в печати).

*Разработка методов локальной и интегральной характеристики компонентов дифракционной оптики для преобразования волновых фронтов и формирования изображений (ответственный исполнитель к.т.н. Насыров Р.К.).*

Разработана и создана рефлектометрическая система, адаптированная для измерения пропускания дифракционных элементов. Система позволяет измерять спектр пропускания компонентов дифракционной оптики, таких как attenuаторы, в диапазоне длин волн 250–1100 нм. Таким образом, можно определить пропускание дифракционной структуры на заданной длине волны, используя некогерентный источник света. Также установка позволяет сканировать пропускание по площади элемента (рис. 2.2), выявить ошибки изготовления и оптимальную длину волны для работы attenuатора.



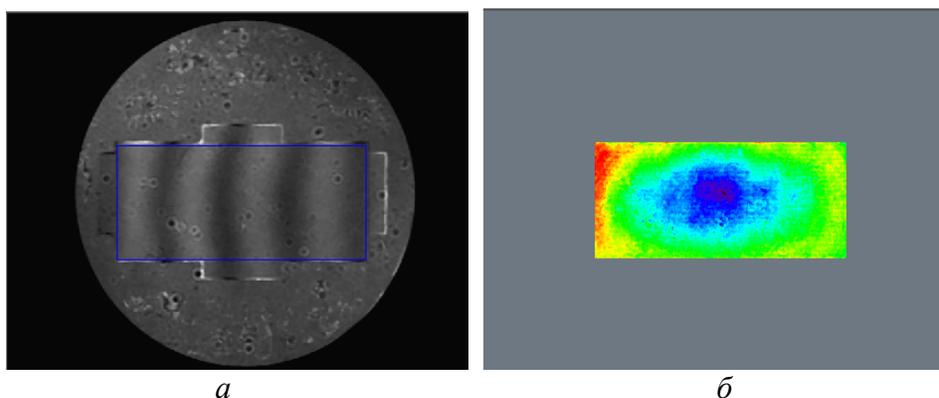
**Рис. 2.2.** Карта пропускания дифракционного attenuатора

Проведены эксперименты по измерению фазового сдвига при отражении от напыленной пленки хрома. Результаты показали, что длительность ионного травления элемента не имеет значительного влияния на величину сдвига при отражении света от пленки хрома. Таким образом, рефлектометрическая сканирующая система может быть использована для оперативного контроля амплитудно-фазовых дифракционных структур в перерывах процесса травления.

Неоднородность травления приводит к появлению ошибки волнового фронта и, соответственно, к ошибке измерений. Такая ошибка, как правило, очень мала. Тем не менее для высокоточных измерений ее необходимо учитывать. Для этих целей требуется использовать интегральный метод характеристики, который позволяет построить карту ошибок волнового фронта. Полученная карта может быть вычтена из результатов измерений и, тем самым, увеличить их точность.

На промежуточном этапе проводится травление бинарной амплитудной структуры на заданную глубину, но при этом не убирается хромовое покрытие. В результате при контроле ДОЭ в режиме пропускания в нулевом порядке свет проходит только через протравленные участки. Таким образом, при интерферометрическом контроле измеренная фазовая карта будет отображать неоднородность травления дифракционной структуры.

Результаты применения этого метода приведены на рис. 2.3. Из фазовой карты видно, что имеется уменьшение глубины фазового профиля к краю элемента. Это является типичным для процесса реактивного ионного травления.



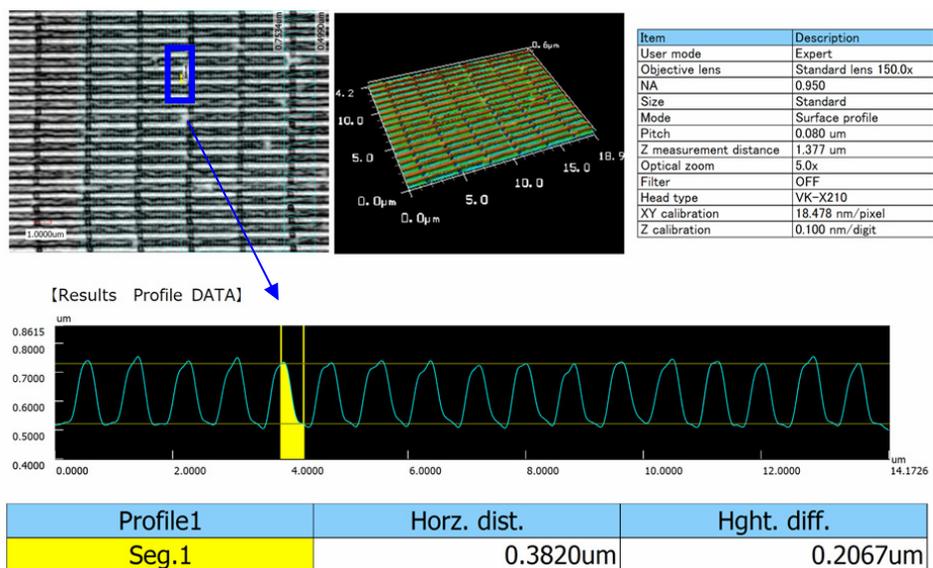
**Рис. 2.3.** Результаты измерений фазовой дифракционной структуры на промежуточном этапе после травления: интерферограмма и фазовая карта ( $PV = 0.16\lambda$ ,  $RMS = 0.0278\lambda$ )

(Лаборатория дифракционной оптики)

*Разработка и исследование методов быстрого 3D-измерения микропрофиля больших поверхностей изделий микроэлектроники и оптики с нанометровым разрешением по глубине в различных спектральных диапазонах методами параллельной многоканальной мультиспектральной конфокальной микроскопии (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).*

Исследована возможность применения одноканальной, многоканальной и хроматической конфокальной микроскопии для получения профиля изделий микроэлектроники и защитных голограмм с разрешением в десятки нанометров.

Приведены расчетные оценки предельного разрешения сканирующих лазерных микроскопов и особенности получения сигнала при размерах сканирующего пятна, сравнимых с шагом голографической решетки. С помощью серийных и опытных одно- и многоканальных конфокальных микроскопов на тестовых голографических элементах с шагом решетки 200–800 нм с треугольным и плоским профилем проведена серия экспериментов по измерению профиля. Исследованы точность измерения нанопрофилей на таком оборудовании и ограничения метода (рис. 2.4) [1].



**Рис. 2.4.** Результаты измерения профиля тестовых структур с шагом 0.6 мкм

Разработаны оригинальные оптические системы сканирования для быстрой 3D-нанопрофилометрии (многоканальный конфокальный микроскоп (МКМ)), основанные на том, что многоканальное освещение объекта в предлагаемых вариантах обеспечивается разделением лазерного излучения на квадратную матрицу световых лучей с помощью ДОЭ. Достоинством специально разработанного ДОЭ является то, что он может формировать большое количество лучей (более  $100 \times 100$  и выше) с энергетической эффективностью свыше 90 % с гауссовской аподизацией каждого луча. В предлагаемых вариантах МКМ сканирование матрицы лучей по исследуемому объекту осуществляется с помощью дефлекторов (сканера), выполненных на основе поворотных плоскопараллельных прозрачных пластин в тандеме с формирующей линзой. Пластины установлены на оси ротора гальваносканера и работают в малых углах (примерно 0.1 рад), что позволяет сканировать на частотах до нескольких кГц [2].

*(Лаборатория лазерной графики)*

1. Бессмельцев В. П. Контроль качества отражающих голограмм методами конфокальной микроскопии // Голография. Наука и практика Сборник трудов 11-й Международной конференции «ГолоЭкспо-2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). – 2014. – С. 143 – 145.

*Исследование методов, компьютерное моделирование и разработка алгоритмов уменьшения погрешности измерения параметров полупроводниковых структур. Разработка прибора для измерения токов утечки фемтоамперного диапазона при малом тестовом напряжении (ответственный исполнитель к.т.н. Вьюхин В.Н.).*

Предложено новое устройство для измерения емкости полупроводниковых структур [1, 2]. Устройство выполнено на основе гиратора импеданса и позволяет измерять емкость полупроводников на фоне

большого тока смещения, превышающего измерительный ток в  $10^3$ – $10^5$  раз. В результате резко снижается динамический диапазон сигнала на выходе измерительной головки, что позволяет выполнить дальнейшую обработку и измерение типовой аппаратурой.

Выполнены анализ и моделирование погрешностей измерения параметров полупроводниковых структур, и получены аналитические соотношения для расчета погрешностей в конкретных реализациях.

Выполнен поиск возможных методов построения прибора для измерения токов утечки полупроводниковых структур при малом тестовом напряжении, и проведены экспериментальные исследования наиболее ответственных блоков прибора. Испытан лабораторный макет устройства для измерения токов утечки фемтоамперного диапазона, подтверждающий, что может быть создан измерительный прибор приемлемых габаритов и стоимости. Прибор должен обеспечивать чувствительность по току порядка 1 фА при значениях тестового сигнала 1–10 В. Особенности: измерительная часть выполнена на основе трансимпедансного усилителя с последующей аналоговой фильтрацией. Аналоги по совокупности технических характеристик неизвестны.

*(Тематическая группа аналого-цифровых систем)*

1. Пат. на изобретение № 2498325. Устройство для измерения ёмкости полупроводникового прибора / Вьюхин В. Н.; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 21.03.2012; опубл. 10.11.2013. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2013, № 31.
2. Пат. на полезную модель № 134664. Устройство для измерения импеданса и тока полупроводникового прибора на инфранизких частотах / Вьюхин В.Н.; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 07.06.2013; опубл. 20.11.2013. Там же, № 32.

*Разработка интерферометра с системой виброзащиты для эталонного гравиметра. Мониторинг гравитационного поля в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент-океан» (ответственные исполнители: к.т.н. Стусь Ю.Ф., к.т.н. Арнаутов Г.П.).*

Разработан интерферометр с активной системой виброзащиты для эталонного гравиметра. Для компенсации вертикальной составляющей вибросейсмических помех предложено использовать сейсмограф с электромеханической обратной связью. Конструкция интерферометра с линейным расположением лучей относительно измерительного и референтного плеч позволила существенно снизить погрешности, обусловленные горизонтальной составляющей вибросейсмических помех.

Комплексной экспедицией наблюдений современных движений земной коры проведены повторные измерения баллистическим гравиметром абсолютного значения ускорения силы тяжести и его вариаций в сейсмоактивных зонах – на пунктах Горного Алтая «Усть-Кан» и «Кайтанак» и в Байкальской рифтовой зоне (на сеймостанции «Талая») [1]. Среднеквадратическая погрешность измерения вариаций  $\Delta g$  не превышала  $2 \text{ мкГал} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$ .

Полученные результаты мониторинга гравитационного поля в сейсмоактивных районах Горного Алтая (проведённого сотрудниками ИАиЭ СО РАН) и деформаций земной поверхности (измеренных сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН) позволили уточнить их взаимосвязь, которая может быть обусловлена развитием тектонических и постсейсмических процессов [2]. Эти данные имеют принципиальное значение для разработки физических основ и новых технологий прогноза землетрясений.

*(Тематическая группа лазерной гравиметрии)*

1. Timofeev V., Ducarme B., Ardyukov D., Stus Y., Timofeev A., Kalish E., Sizikov I., Nosov D. Gravity and GPS measurements at South-West part of Baikal Rift // Journal of Earth Science and Engineering (USA). 2014. – № 4. – P. 400 – 409.
2. Тимофеев В. Ю., Ардюков Д. Г., Тимофеев А. В., Горнов П. Ю., Стусь Ю. Ф., Калиш Е. Н., Валитов М. Г., Кулинич Р. Г., Носов Д. А., Сизиков И. С. Косейсмические эффекты различного типа по данным космической геодезии и гравиметрии // Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (г. Владивосток, 17–20 сентября 2014). ДВГИ ДВО РАН, ДВФУ. – 2014. – С. 125 – 127.

**НАПРАВЛЕНИЕ II.10. Актуальные проблемы оптики и лазерной физики, в том числе достижение предельных концентраций мощности и энергии во времени, пространстве и спектральном диапазоне, освоение новых диапазонов спектра, спектроскопия сверхвысокого разрешения и стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики, взаимодействие излучения с веществом.**

**ПРОГРАММА II.10.1 Современные проблемы физики сверхсильных световых полей, спектроскопии сверхвысокого разрешения. Стандарты частоты, прецизионные оптические измерения, проблемы квантовой и атомной оптики. Координатор акад. РАН С.Н. Багаев.**

***Проект II.10.1.2.* Новые оптические методы исследования внутренних свойств, пространственной структуры и элементного состава синтезированных и природных материалов. Лазерная интерферометрия с оптической обратной связью.**

**№ гос. рег. 01201365441.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория оптических информационных систем** (ответственные исполнители: к.т.н. Щепеткин Ю.А., к.т.н. Штейнберг И.Ш., к.т.н. Пен Е.Ф., к.т.н. Родионов М.Ю., к.ф.-м.н. Наливайко В.И., д.т.н. Лабусов В.А.).

**Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем** (ответственный исполнитель д.т.н. Соболев В.С.).

**Тематическая группа мощных ионных лазеров** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Донин В.И.).

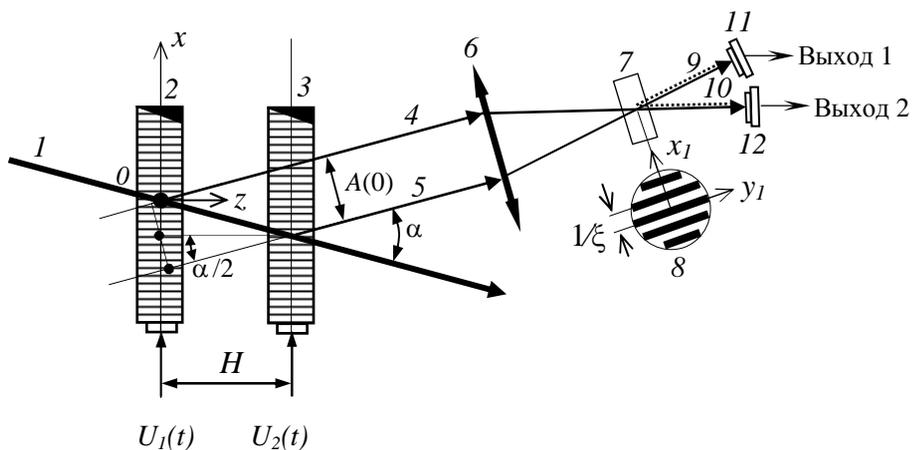
Научный руководитель д.т.н. Твердохлеб П.Е.

*Разработка метода коллинеарного гетеродинамирования для измерения амплитуды и фазы малоуглового рассеяния света (ответственный исполнитель к.т.н. Щепеткин Ю.А.).*

Необходимость измерения малоуглового рассеяния света оптическими материалами обусловлена рядом причин. В области углов рассеяния, меньших нескольких градусов, наблюдается значительное увеличение спектральной плотности мощности шума по сравнению с рассеянием (дифракцией) в области высоких пространственных гармоник дисперсной структуры. Измерение малоуглового рассеяния представляет интерес для оценки оптического качества активных элементов твердотельных лазеров (например, лазерной керамики) и изучения влияния рассеянного света вблизи угловой области генерации лазерного пучка. По характеру зависимости спектральной плотности рассеянного света от угла рассеяния можно приближенно оценить характерные размеры рассеивающей структуры [1]. И несмотря на относительно низкую точность такой оценки, измерения с помощью одной и той же установки позволяют довольно просто провести сравнительный анализ размеров структуры различных образцов и оценить влияние технологического цикла на эту структуру.

Важнейшими преимуществами гетеродинамирования являются: увеличение чувствительности метода из-за наличия эффекта усиления при фотосмещении слабого измеряемого света с мощным опорным пучком; возможность измерения амплитуды и фазы рассеянного света; подраздельное измерение амплитудной и фазовой составляющих рассеивающей структуры.

Предложенная оптико-электронная схема коллинеарного гетеродинамирования малоуглового рассеяния света приведена на рис. 2.5. Лазерный пучок света  $I$  поступает на оптические входы двух одинаковых акустооптических дефлекторов (АОД) 2 и 3. На электрические входы АОД подаются высокочастотные напряжения  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ . Разность частот этих напряжений  $\Delta f = f_1 - f_2$  выбирается из условия  $\Delta f \ll f_1$ , а также  $\Delta f \ll f_2$ . Дифрагированные пучки 4 и 5 с помощью линзы 6 совмещаются в объеме исследуемого образца 7. Возникающая при этом интерференционная бегущая решетка интенсивности света показана на выноске 8. Пунктиром обозначены те части рассеянных пучков 9 и 10, которые коллинеарны прошедшим опорным пучкам 4 и 5. При фотосмещении опорных и рассеянных пучков на выходах фотоприемников 11 и 12 возникают сигналы на частоте  $\Delta f$ . По амплитудно-фазовым соотношениям между этими сигналами можно определить перечисленные выше параметры рассеянного света.



**Рис. 2.5.** Оптико-электронная схема коллинеарного гетеродинного детектирования малоуглового рассеяния света

Исходными данными при определении параметров оптико-электронной схемы являются минимальный уровень обнаруживаемого рассеяния при заданном наименьшем угле дифракции. Например, спектральная плотность дифракционной эффективности шумовых решеток  $\Phi$  на пространственной частоте  $\xi = 5 \text{ мм}^{-1}$  у лучших зарубежных образцов лазерной керамики составляет величину порядка  $\Phi = 5 \cdot 10^{-7} \text{ мм}^2$ . Примерно такой же уровень шумов рассеяния имеет высококачественное стекло. Поэтому нами принято, что  $\Phi = 10^{-7} \text{ мм}^2$  и  $\xi = 5 \text{ мм}^{-1}$ .

Рассеяние на оптических компонентах схемы, показанной на рис. 2.5, не может быть меньше значения  $\Phi$ . Существенно уменьшить влияние этого рассеяния можно, если обеспечить такой режим, при котором на оптических элементах интенсивность бегущей интерференционной решетки будет значительно меньше, чем в зоне считывания 7. Поскольку пучки света 4 и 5 имеют конечные размеры, избавиться от перекрытия их пространственных спектральных компонент полностью невозможно. Так расчет для гауссовых пучков показывает, что отношение мощности помехи к мощности сигнала при полном перекрытии пучков определяется выражением

$$\eta_{\text{ш}} = \exp(-m^2 \cdot \pi^2 / 8), \quad (2.1)$$

где  $m$  – количество периодов интерференционной решетки, укладываемых на диаметре  $D$  пучка 8, определенного по уровню  $1/e^2$  максимальной мощности.

Вначале, исходя из заданного значения разрешающей способности  $\Phi = 10^{-7} \text{ мм}^2$ , было найдено минимальное значение  $m$ . Тогда дифракционную эффективность шумовых решеток можно оценить по формуле

$$\eta_{\text{шр}} = \Phi \cdot \Omega / \lambda^2 = \Phi \cdot 2\pi [1 - \cos(\theta/2)] / \lambda^2 \approx \Phi \cdot \pi / 4D^2 = \Phi \cdot \pi \xi^2 / 4m^2, \quad (2.2)$$

где  $\Omega$  – телесный угол распространения пучков 4 или 5,  $\lambda$  – длина волны света,  $\theta$  – плоский угол при вершине конуса телесного угла.

Из совместного решения уравнений (2.1) и (2.2)  $\eta_{ш} = \eta_{шр}$  находим минимальное значение  $m = 3.57$ .

Определим далее значение  $m$  через параметры схемы. Из построения на рис. 2.5 следует, что  $A(0)/2H = \sin(\alpha/2)$ . Здесь  $H$  – длина светового пути между модуляторами:

$$H = H_1 + H_2/n,$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – длина пути в воздухе и размер светозвукопровода АОД в направлении оси  $Z$  соответственно,  $n$  – показатель преломления материала светозвукопровода.

Отсюда при малых значениях  $\alpha \approx \lambda / \Lambda$  получим:  $A(0) \approx \alpha H$ . С другой стороны, если  $D_0$  – диаметр перетяжки входного пучка, то количество периодов интерференционной структуры в фокальной плоскости линзы

$$S = 4\lambda H / \pi D_0 \Lambda, \quad (2.3)$$

где  $\Lambda = V/f_1 \approx V/f_2$  – длина волны ультразвука. Если задано значение минимальной частоты  $f_{\min}$  управляющего напряжения АОД, то при выбранном  $S \geq m$  получим

$$H = S\pi D_0 V / 4\lambda f_{\min}. \quad (2.4)$$

Фокусное расстояние линзы  $b$ , согласующей перетяжки  $D_0$  и  $D$  гауссова пучка, должно удовлетворить условию

$$F_{л} > F_0 = \pi \cdot D_0 \cdot D / 4\lambda. \quad (2.5)$$

При экспериментальной проверке метода использовались два дефлектора типа МЛ-201. При этом  $n = 1.728$ ,  $V = 3.63$  км/с,  $H_2 = 15$  мм,  $f_{\min} \approx 50$  МГц. Использован He-Ne-лазер GLG 5730, диаметр перетяжки пучка которого по уровню  $1/e^2$  максимальной интенсивности равен 1.2 мм. Пучок уменьшался до размера  $D_0 = 200$  мкм с помощью объектива с фокусным расстоянием 300 мм.

Пусть  $m = S = 4$ . Тогда из (2.1) и (2.2) получим, что расчетное значение разрешающей способности  $\Phi$ , ограниченной перекрытием пучков в области 7 (см. рис. 2.5), будет равно  $\Phi = 1.6 \cdot 10^{-9}$  мм<sup>2</sup>. При этом из (2.4) и (2.5) следует, что  $H = 7.2$  см и  $F_0 = 20$  см.

Таким образом, в результате выполнения работы была предложена структура оптико-электронного канала коллинеарного гетеродинного детектирования малоуглового рассеянного света и разработан новый метод улучшения его разрешающей способности, который основан на снижении уровня перекрытия зондирующих пучков и интенсивности бегущей считывающей решетки в зоне рассеяния.

Область применения результатов: физическое материаловедение, анализ структуры оптических материалов, дефектоскопия.

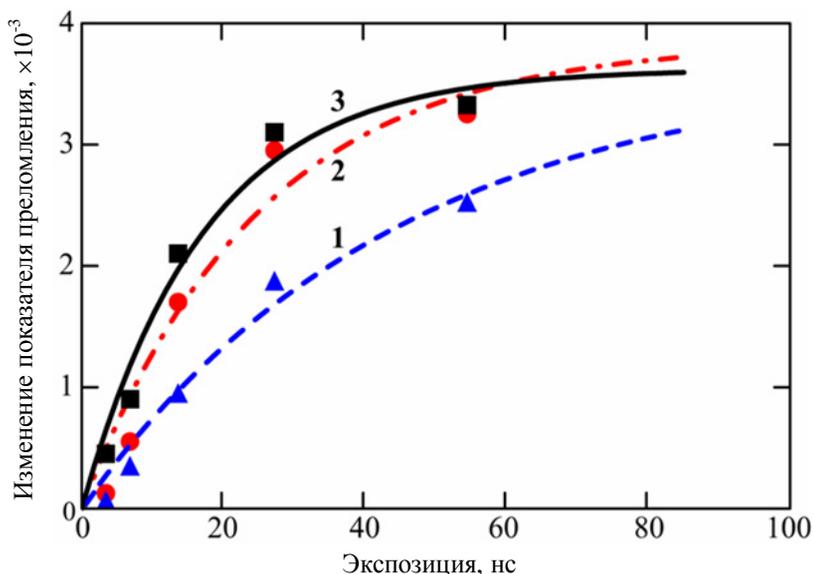
*(Лаборатория оптических информационных систем)*

*Исследование экспозиционных характеристик фотополимерных материалов с катионным механизмом полимеризации в режиме двухфотонного возбуждения (ответственный исполнитель к.т.н. Штейнберг И.Ш.).*

Исследование фотополимерных материалов (ФПМ) с катионным раскрытием цикла полимеризации начато в 2013 году. Показано, что в таких ФПМ при двухфотонном возбуждении зависимость амплитуды модуляции показателя преломления от интенсивности имеет квадратичный характер. Это приводит к улучшению степени локализации записываемых в них микрорешеток в сравнении с ФПМ со свободно-радикальной полимеризацией. Однако оказалось, что с увеличением экспозиции размер регистрируемой микрорешетки увеличивается. Это, с одной стороны, приводит к росту амплитуды модуляции показателя преломления и к увеличению дифракционной эффективности (ДЭ) микрорешетки, с другой стороны, увеличение размеров микрорешеток ведет к снижению плотности их записи в объеме ФПМ. Необходимо было провести более детальное исследование экспозиционных характеристик таких ФПМ с целью поиска оптимальных (компромиссных) режимов записи микрорешеток. Такая работа была проведена в отчетном году. Двухфотонная запись тестовых микрорешеток проводилась на новых (по составу композиции) образцах ФПМ, созданных в НИОХ СО РАН. Экспериментальным путем определялась их ДЭ, а затем по известной формуле Когельника для фазовых пропускающих голограмм вычислялась амплитуда модуляции показателя преломления.

На рис. 2.6 приведены графики зависимости амплитуды модуляции показателя преломления ФПМ от времени экспонирования для трех значений интенсивности записывающих пучков: 4.9, 5.6 и 7 ГВт/см<sup>2</sup>. Временная шкала  $t$  соответствует времени экспозиции, т. е. после  $k$  импульсов время экспозиции  $t = k\tau_p$ . Кривые на графике хорошо описываются моноэкспоненциальной функцией  $\Delta n = \Delta n_s [1 - \exp(-t/\tau)]$ , где  $\Delta n_s$  – насыщенное значение амплитуды модуляции показателя преломления, а  $\tau$  – характерное время записи. Максимальная величина амплитуды модуляции показателя преломления  $\Delta n = 3.3 \times 10^{-3}$  достигнута при интенсивности светового пучка  $I = 7$  ГВт/см<sup>2</sup>. ДЭ микрорешеток в этом случае была равна 1.2 %.

Минимальное значение характерного времени записи составляло 17.3 нс, что в 2.4 раза меньше величины этого параметра, достигнутого при двухфотонной записи в материале со свободно-радикальным механизмом полимеризации [1]. Таким образом, оказалось, что для достижения уровня  $\Delta n_s(1 - 1/e) \approx 0.63\Delta n_s$  необходима экспозиция 8–10 импульсами. Учитывая, что увеличения скорости записи можно достичь только при экспонировании ФПМ одним импульсом, необходимо в дальнейшем повысить фоточувствительность материала еще на порядок.



**Рис. 2.6.** Динамика изменения амплитуды модуляции показателя преломления в процессе записи микрорешеток при трех значениях интенсивности света: 4.9 ГВт/см<sup>2</sup> (кривая 1), 5.6 ГВт/см<sup>2</sup> (кривая 2), 7 ГВт/см<sup>2</sup> (кривая 3)

Принимая во внимание двухфотонный механизм записи микрорешеток, энергию поглощенного света (эффективную фоточувствительность) можно оценить по формуле

$$\Delta E \approx I^2 \Delta z \tau_p \delta N / \hbar \omega, \quad (2.6)$$

где  $I$  – интенсивность света,  $\Delta z$  – размер микрорешетки по глубине,  $\delta$  – сечение двухфотонного поглощения хромофора,  $N$  – концентрация хромофора,  $\hbar \omega$  – энергия фотона. Из формулы (2.6) следует, что повышение чувствительности может быть достигнуто при использовании новых хромофоров с большими сечениями двухфотонного поглощения хромофора и с хорошей растворимостью, а также при увеличении интенсивности света до величин, при которых наблюдается насыщение амплитуды модуляции показателя преломления.

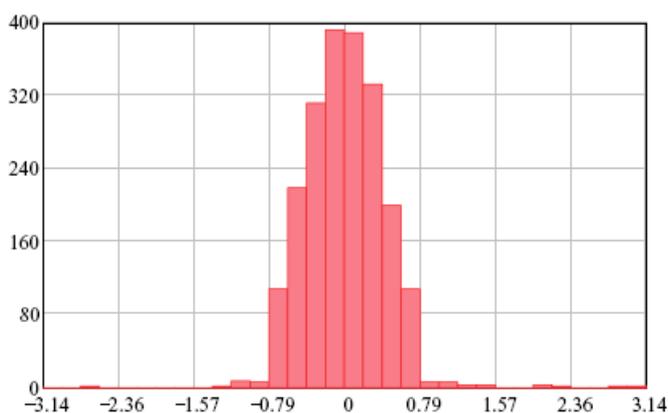
Исходя из графиков, приведенных на рис. 2.6, можно найти значения голографической чувствительности ФПМ при двухфотонной записи, которая определялась по известной формуле

$$S = \frac{1}{I \Delta z} \left. \frac{d\sqrt{\eta}}{dt} \right|_{t=0}, \quad (2.7)$$

где  $\eta$  – ДЭ микрорешетки. Для  $I = 7$  ГВт/см<sup>2</sup> (кривая 3 на рис. 2.6) и  $\Delta z = 5.4$  мкм получим, что  $S = 1.4$  см/Дж. Эта величина равна наилучшей чувствительности, полученной в экспериментах с ФПМ, использующем механизм свободно-радикальной полимеризации.

Для нахождения значения практически достижимой плотности записи в ФПМ, учитывающей межсимвольную и межстрочную интерфе-

ренцию, была проведена запись микрорешеток в 10 слоях. В каждом слое записывалась матрица, состоящая из 6 строк по 36 микроголограмм. Количество слоев записи было ограничено толщиной ФПМ, равной 120 мкм. Расстояния между микрорешетками составляли 1.5, 1.9 и 10 мкм соответственно по осям X, Y и Z. При записи микрорешеток в строке использовалось четырехуровневое фазовое кодирование. Величина защитного интервала в этом случае составляет  $\pm \pi/4$ . Результат считывания считался достоверным, если разница между заданным значением разности фаз двух соседних микрорешеток и значением, полученным в процессе считывания, лежит внутри этого защитного интервала. Характер распределения отклонений экспериментально полученной разности фаз соседних микрорешеток от заданной разницы для всего массива из 2160 микрорешеток показан в виде гистограммы на рис. 2.7. Без применения дополнительных методов кодирования общее число ошибок составляло 41, а вероятность их появления –  $1.95 \times 10^{-2}$ .



**Рис. 2.7.** Гистограмма распределения отклонения разности фаз от заданной. Количество микрорешеток в массиве – 2160

Плотность записи информации, достигнутая в этих экспериментах, равнялась  $3.5 \times 10^{10}$  бит/см<sup>3</sup>, а при применении четырехуровневого относительного фазового кодирования –  $7 \times 10^{10}$  бит/см<sup>3</sup>.

Таким образом, была определена экспозиционная характеристика катионно-иницируемого фотополимерного материала в режиме двухфотонной записи микрорешеток. Насыщенное значение амплитуды модуляции показателя преломления  $\Delta n = 3.3 \times 10^{-3}$  достигнуто при интенсивности света  $I = 7$  ГВт/см<sup>2</sup>. Минимальное значение характерного времени записи микрорешеток составляет 17.3 нс, что в 2.3 раза меньше, чем в случае применения ФПМ со свободно-радикальным механизмом фотополимеризации (при том же значении голографической чувствительности). Впервые обеспечена запись трехмерного массива из 2160 микрорешеток в 10 слоях с использованием четырехуровневого фазового кодирования. Достигнутая при этом плотность записи –  $7 \times 10^{10}$  бит/см<sup>3</sup>. ФПМ с катионным раскрытием цикла перспективны для создания многослойных систем оп-

тической памяти [2]. Однако требуется проведение дальнейших работ по увеличению его фоточувствительности на порядок.

*(Лаборатория оптических информационных систем)*

1. Steinberg I. Sh., Loskutov V. A., Shelkovnikov V. V., Shepetkin Yu. A. Two-photon recording of microholograms in photopolymer materials with new cationic thioxanthone photoinitiators // Optics Communications. – 2008. – V. 281. – P. 4297 – 4301.
2. Steinberg I., Vasilyev E., and Shelkovnikov V. Use of forbidden singlet-triplet electron transitions in photopolymer material for microholograms recording // Third European Symposium of Photopolimer Science (Vienna, Austria, September 9–12, 2014). – 2014. – P. OP-56.

*Исследование особенностей голографической записи изображений в цветных слоистых фотополимерных материалах (ответственный исполнитель к.т.н. Пен Е.Ф.).*

Обычно голографические фотополимерные материалы (ФПМ) – это плёночные системы, состоящие из подложки, одного светочувствительного фотополимерного слоя (монохромного или многоцветного) и защитной пленки. Известно, что дифракционная эффективность (ДЭ) монохромных голограмм на таких материалах достигает 90%, в то же время в однослойном трехцветном материале ДЭ голограммы каждого цвета значительно ниже, чем для монохромной голограммы, поскольку диапазон изменения коэффициента модуляции показателя преломления должен быть подразделен на три части. Это является основным недостатком однослойных материалов. Кроме того, условия для последовательной наложенной записи голограмм в этом случае оказываются неравными, так как каждая предыдущая экспозиция влияет на последующую. С химической точки зрения дизайн однослойных многоцветных ФПМ очень сложен, так как в этом случае должна быть гарантирована совместимость всех химических компонентов, и особенно важно избежать фотохимического взаимодействия между различными красителями и сенсibilizаторами.

Высокая ДЭ для каждого цвета в многоцветной голограмме может быть получена с помощью нескольких наложенных светочувствительных слоев, в этом случае диапазоны модуляции показателя преломления в каждом слое являются независимыми. Слоистые системы могут быть использованы в так называемых head-up дисплеях [1], защитных голограммах и 3D голографической памяти. Причем в соседних слоях могут быть сформированы как отражательные, так и пропускающие голограммы, обладающие индивидуальными спектральными свойствами и угловой селективностью.

Слоистые фотополимерные материалы являются известными. Так, например, в [2] изученный ФПМ содержал два слоя, один из которых был чувствителен к излучению в сине-зеленой области спектра, а второй – к зеленому и красному излучению. Для каждого из основных цветов экспериментально была получена ДЭ около 60%. Эти работы были продолжены другими исследователями, однако уровень ДЭ повысить не удалось.

Одна из возможных причин – недостаточно полное изучение эффектов кросс-обесцвечивания используемых красителей.

Цель работы, выполненной совместно с НИОХ СО РАН, состояла в дальнейшем изучении свойств слоистых фотополимерных материалов, включая разработку монохромных и двухцветных композиций, исследование эффектов кросс-обесцвечивания используемых красителей, тестирование этих материалов в режимах последовательной и одновременной засветки, верификацию ожидаемых высоких значений ДЭ для каждой из цветовых компонент многослойных отражательных голограмм.

При создании экспериментальных образцов слоистых материалов использованы фотополимерные композиции, содержащие новые патентоспособные мономеры и красители [3]. Верификация ожидаемых значений ДЭ этих материалов проведена на специально разработанном стенде с использованием лазеров с излучением в зелено-синей области спектра:  $Ag^+$  (514 или 488 нм) и DPSS (532 или 473 нм), а также в красной области: He-Ne (633 нм) и красный диодный лазер (655 нм).

Сводные экспериментальные данные представлены в таблице 2.1, из которой видно, что ДЭ монохромных голограмм в однослойных ГФПМ и голограмм каждого цвета в слоистых ГФПМ примерно одинаковы и составляют ~ 70–80 %, что в полной мере соответствует практическим требованиям, например при создании head-up дисплеев.

Кроме того, за отчетный период вне запланированных исследований разработана методика определения параметров эффективной усадки ФПМ [4], а также получены предварительные данные о голографических характеристиках новых модификаций «тонких» фоторефрактивных органических материалов на основе высокорастворимых производных фенантренхинонов [5].

**Табл. 2.1.** Характеристики монохромных и цветных голограмм в слоистых ГФПМ

Тип системы ГФПМ	Тип голограммы	Цвет	Длина волны излучения, нм	Энергия экспозиции, мДж/см <sup>2</sup>	ДЭ, %
Однослойная	Монохромная	R	655	60	70
			633	35	85
		G	532	40	85
			514	35	85
		B	488	40	80
			473	25	90
Двухслойная RG	Монохромная	R	655	90	70
			633	60	85
		G	532	40	85
			514	40	85
	Двухцветная	R/G	655/532	90/40	70/75
			633/514	40/40	80/75

Основной результат: совместно с НИОХ СО РАН исследованы свойства слоистых голографических фотополимерных материалов, созданных на основе новых патентоспособных мономеров и красителей. Экспериментально установлено, что дифракционные эффективности монохромных голограмм в однослойных ФПМ и голограмм каждого из трех цветов в слоистых ФПМ примерно одинаковы и составляют 70–80 %. Слоистые ФПМ могут найти применение в изобразительной и защитной голографии, а также при создании нового поколения дисплеев и систем голографической памяти.

*(Лаборатория оптических информационных систем)*

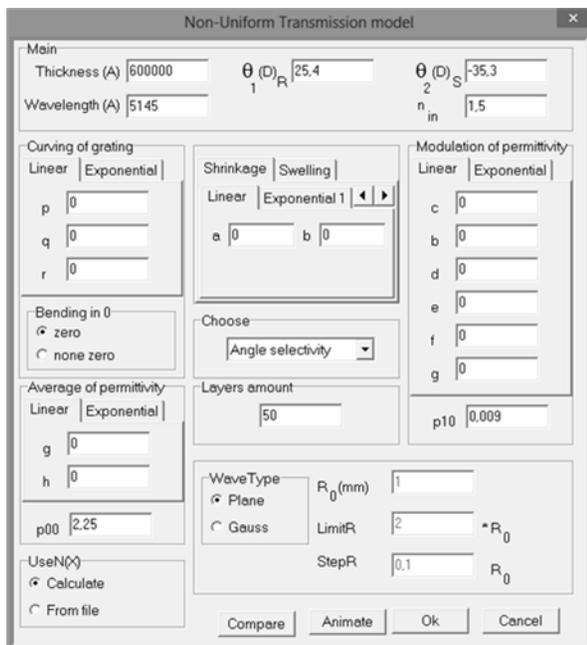
1. Hiroshi Mukawa et al. A full-color eyewear display using planar waveguides with reflection volume holograms // Journal of the Society for Information Display. – 2009. V. 17. – Iss. 3. – P. 185 – 193.
2. Kawabata M., Sato A., Sumiyoshi I. and Kubota T. Photopolymer system and its application to a color hologram // Applied Optics. – 1994. V. 33. – Iss. 11. – P. 2152 – 2156.
3. Заявка на патент РФ № RU(11) 2012147529(13)A(51). Фотополимерные композиции для записи отражательных голограмм в широком спектральном диапазоне / Шелковников В. В., Пен Е. Ф., Васильев Е. В., Русских В. В., Эктова Л. В. (получено положительное решение).
4. Пен Е.Ф., Зарубин И.А., Шелковников В.В., Васильев Е.В., Chil-Sung Choi. Методика определения параметров эффективной усадки голографических фотополимерных материалов // Тр. XI Международной конференции «Голография Экспо–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). ООО «Голография-сервис». – 2014. – С. 205 – 213.
5. Васильев Е.В., Шелковников В.В., Русских В.В., Пен Е.Ф. Высокорастворимые производные фенантренинов в «тонких» голографических фотополимерных слоях // Там же. – С. 49 – 55.

*Исследование искажений фотополимерных объемных голографических решеток по их глубине (толщине) (ответственный исполнитель к.т.н. Родионов М.Ю.).*

Разработан пакет программ для нахождения распределения дифракционной эффективности пропускающих и отражательных голографических решеток, а также многослойных структур. При разработке программного обеспечения были использованы результаты работ по патенту [1] и более ранние работы. Созданное программное обеспечение позволяет проводить расчет селективных характеристик неоднородных пропускающих и отражательных решеток, многослойных голографических структур, моделирование искажений регистрируемых страниц данных в системах 3D голографической памяти, а также учитывать пространственное расположение пучков при записи и использовать для расчета ранее полученные зависимости показателя преломления по глубине голограммы.

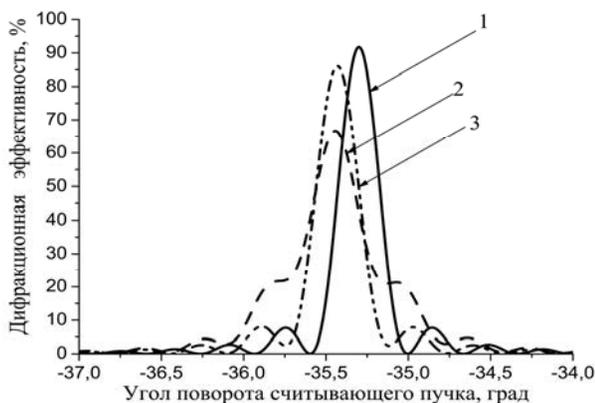
На рис. 2.8 в качестве примера показана форма для установки параметров в моделях неоднородных пропускающих голограмм. Программное обеспечение позволяет учитывать пространственную геометрию пучков при записи (плоские волны, гауссов пучок), неоднородности (усадка голограммы поперечная и продольная, искривление интерференционных

полос, изменения среднего значения и модуляции показателя преломления), менять точность расчета путем изменения количества слоев неоднородной голограммы. Разработанная программа позволяет производить автоматический подбор параметров до наилучшего совпадения экспериментальных данных с модельными кривыми и для модели многослойных неоднородных структур. Разработан алгоритм одновременного учета изменения нескольких параметров записи.



**Рис. 2.8.** Форма задания параметров записи/считывания голограммы в модели неоднородных пропускающих голограмм

На рис. 2.9 представлено сравнение моделирования неоднородных пропускающих голограмм без усадки (кривая 1), с поперечной усадкой 5% (кривая 2), с поперечной усадкой в 5% и продольной усадкой (кривая 3). Видно, как и было отмечено в более ранних работах автора, что обновленные алгоритмы вычисления селективных характеристик приводят к ожидаемым результатам, а именно, что искривление интерференционных полос, вызванное продольной усадкой в совокупности с поперечной усадкой, приводит к увеличению вторичных максимумов и исчезновению боковых минимумов.



**Рис. 2.9.** Сравнение модельных кривых угловой селективности неоднородных пропускающих голограмм в зависимости от величины усадки

Сравнение с новыми экспериментальными данными планируется провести после реализации алгоритма одновременного учета изменения нескольких параметров записи при автоматическом подборе параметров.

Таким образом, в текущем году создан пакет программ, включающий модели пропускающих и отражательных объемных неоднородных голограмм с учетом их продольной и поперечной усадки и позволяющий находить распределения дифракционной эффективности, показателя преломления и усадки по глубинным слоям таких голограмм. Разработан алгоритм автоматического подбора параметров голограмм по экспериментальным данным. Область применения результатов: физическое моделирование, научные исследования.

*(Лаборатория оптических информационных систем)*

1. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012619902. Программный пакет для расчёта селективных свойств составной многослойной объемной голограммы / Родионов М. Ю. // заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 07.06.2012; зарег. 31.10.2012 г.

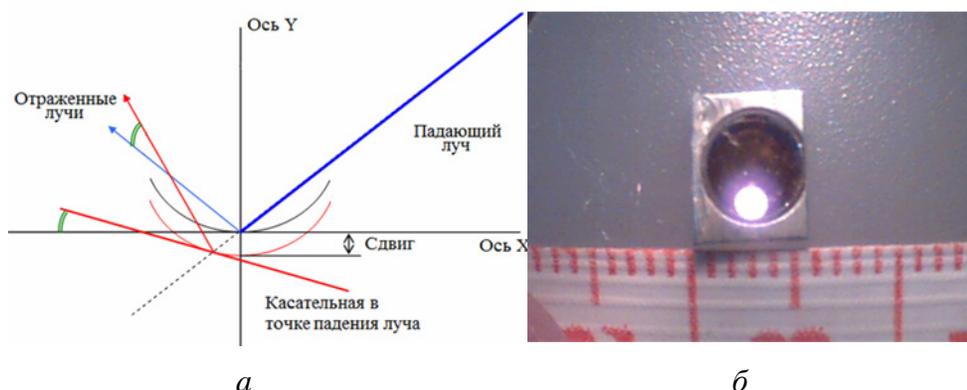
*Получение халькогенидных слоев сложного состава с высоким пространственным разрешением для записи внеосевых фокусирующих голографических зеркал (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Наливайко В.И.).*

Чувствительность фоторезистивных халькогенидных слоев и глубина записи фазового рельефа на заданной длине волны записи определяется положением края собственного поглощения слоя, который зависит от его состава. В частности, слои  $As_2S_3$  не чувствительны к излучению с  $\lambda = 532$  нм по причине их высокой прозрачности. Слои  $As_2Se_3$ , в отличие от первых, имеют высокий коэффициент поглощения, что делает невозможной в них запись объемных голограмм. Известно, что более сложные по составу стекла с требуемым коэффициентом поглощения получают путем изменения атомного соотношения элементов As, S и Se. Недостатком существующей технологии является необходимость проведения предварительного синтеза материала для каждой новой длины волны излучения.

Предложена новая технология синтеза халькогенидных материалов, чувствительных к лазерному излучению с  $\lambda = 532$  нм. Здесь предусмотрено, что синтез сложного по элементному составу халькогенидного стекла и напыление слоев будут проводиться в одном технологическом цикле. При этом смешивание стекол  $As_2S_3$  и  $As_2Se_3$  проводится в термостатированном испарителе. Путем выбора пропорции стекол 1:1 в мол. % были получены слои трехэлементного состава  $As_2S_3 \times As_2Se_3$  толщиной 5 мкм с поглощением на  $\lambda = 532$  нм, близким к равномерному по толщине. В результате глубина получаемого рельефа на поверхности слоя, определяющая эффективность голограмм при восстановлении, в процессе селективного травления была пропорциональна времени травления. Пространственное разрешение полученных слоев оставалось на уровне выше, чем  $10^4$  мм<sup>-1</sup>. Перспективной областью применения предложенной техно-

логии является получение активных оптических слоев халькогенидных материалов путем легирования органическими красителями, редкоземельными соединениями или висмутом.

Полученные халькогенидные слои сложного состава использованы при записи плоских внеосевых голографических фокусирующих зеркал для малогабаритного пьезоэлектрического сканера [1, 2]. Исходили из того, что схемы сканирования лазерным лучом, основанные на принципе отражения луча от нелинейной отражающей поверхности, сдвиг которой осуществляется пьезоэлементом, могут обеспечить высокие скорости сканирования при относительно низких затратах на их изготовление. Принцип работы (а) и изображение (б) сканирующего вогнутого отражающего сферического зеркала представлены на рис. 2.10. Падающий луч отражается от нелинейной поверхности зеркала под разными углами при его сдвиге по оси Y. Касательная в точке падения луча определяет угол сканирования. Однако сравнительно большая масса вогнутого зеркала ограничивает скорость развертки светового луча.



**Рис. 2.10.** Принцип работы (а) и изображение (б) сканирующего вогнутого отражающего сферического зеркала с радиусом кривизны 5 мм

Предложена эффективная альтернатива – изготовление голографическим методом плоских внеосевых фокусирующих зеркал в тонких халькогенидных слоях непосредственно на поверхности пьезоэлемента.

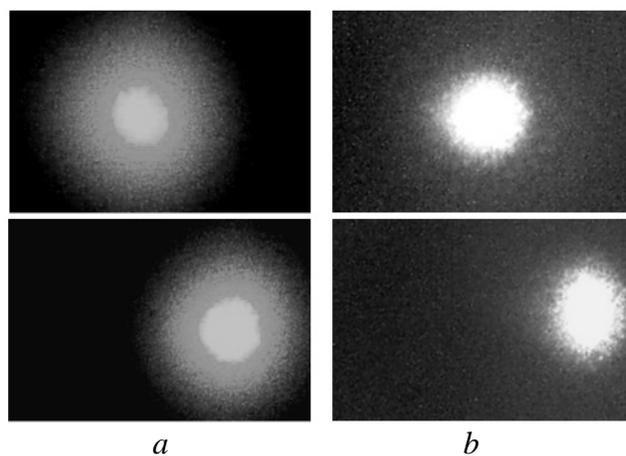
Внеосевое фокусирующее зеркало записывалось с помощью волоконного интерферометра (рис. 2.11) с целью получения согласованного волнового фронта для ввода излучения в одномодовое волокно с помощью сканера. Элементами интерферометра были одномодовые волоконные коллиматоры типа FC532-50B-FC с диаметром моды 3.5 мкм и волоконный ответвитель пучков типа CFS18-532-FC фирмы ThorLabs (США).

Записаны внеосевые дифракционные зеркала с эффективностью 50 %, диаметром 5 мм и относительным отверстием 1/6. Величина относительного отверстия определялась выходной апертурой волокна. После процедур записи и селективного травления голограмма в халькогенидном слое покрывалась отражающим слоем Al.



**Рис. 2.11.** Волоконный интерферометр для записи плоских внеосевых голографических зеркал

Было проведено сравнение поведения сфокусированных лучей при перемещении зеркал по оси  $Y$ . Изображения сфокусированных лучей ( $\lambda = 532$  нм) регистрировались с помощью видеокамеры, после этого зеркала подвергались сдвигу. Сканирование сфокусированных лучей осуществлялось с помощью микровинтовой подвижки. Изображения сфокусированных лучей при сдвиге голографического зеркала на расстояние 2 мм представлены на рис. 2.12, *а*. В изображении пятна не наблюдалось астигматических aberrаций, в отличие от сферического зеркала с близкими параметрами (рис. 2.12, *б*).



**Рис. 2.12.** Изображения сфокусированных сканирующих лучей, полученные с помощью плоского голографического (*а*) и вогнутого сферического (*б*) зеркал

Применение волоконного интерферометра позволило записать голографические зеркала, которые формируют идеально согласованные сфокусированные пучки для ввода в одномодовое волокно. Создание сканера на основе таких зеркал, нанесенных непосредственно на поверхность пьезоэлемента, позволит эффективно переключать волоконные каналы, поскольку малая масса тонкого слоя фоторезиста практически не изменит резонансную частоту устройства.

Таким образом, подтверждена возможность синтеза из смеси составов  $As_2S_3$  и  $As_2Se_3$  в одном технологическом цикле халькогенидных слоев сложного состава  $As_2S_3 \times As_2Se_3$  для записи объемных голограмм излучением с  $\lambda = 532$  нм. На их основе изготовлены плоские

голографические фокусирующие зеркала с параметрами: диаметр – 5 мм, фокусное расстояние 30 мм, угол между падающим плоским и дифрагированным лучами ~ 90°, ДЭ на  $\lambda = 532$  нм – 50 %. Экспериментально реализованы возможности: а) сканирования светового пучка с помощью плоского дифракционного внеосевого зеркала; б) изготовления на основе такого зеркала малогабаритного скоростного сканера. Область применения: фотоника, волоконные системы связи, медицина.

*(Лаборатория оптических информационных систем)*

1. Наливайко В. И., Покровский А. Н., Пономарева М. А., Абель О. Я., Соснов А. Н. Использование халькогенидных материалов для решения задач современных оптических технологий // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – Т. 1. – № 5. – С. 123 – 127.
2. Наливайко В.И., Абель О.Я. Сканер на основе плоской отражательной внеосевой параболы в халькогенидном слое // Там же. – 2013. – Т. 5. – № 1. – С. 99 – 103.

*Разработка и исследование характеристик проблемно-ориентированной быстродействующей линейки фотодиодов (ответственный исполнитель д.т.н. Лабусов В.А.).*

Разработка кремниевой КМОП линейки фотодиодов проводилась совместно с компанией «ВМК-Оптоэлектроника» в 2012–2013 гг. и включала в себя составление технического задания, создание электронной схемы и топологии линейки, а также моделирование её основных узлов [1–3]. Назначение линейки – приложения оптической спектрометрии в диапазоне длин волн от 190 до 1000 нм. Проектируемая линейка в сравнении с существующей отечественной линейкой фотодиодов БЛПП-369 имеет более высокие характеристики по пространственной разрешающей способности, фоточувствительности и линейности фотоотклика. Основные фотоэлектрические параметры линейки, содержащей 4320 фотодиодов (размеры 7.6 мкм × 1 мм):

- максимальная зарядовая емкость фотоячейки, не менее, пКл/е	0.2 / 1.25 млн.
- диапазон выходного напряжения, не менее, В	2.0
- динамический диапазон, не менее	10 000
- шум считывания, е (на частоте 5 МГц, 27 С)	≤ 85
- коэффициент преобразования заряд/напряжение, В/пКл	10
- остаточный сигнал (память), %	< 0,5
- нелинейность фотоотклика, %, не более	1
- максимальная частота вывода выходного сигнала, МГц	10

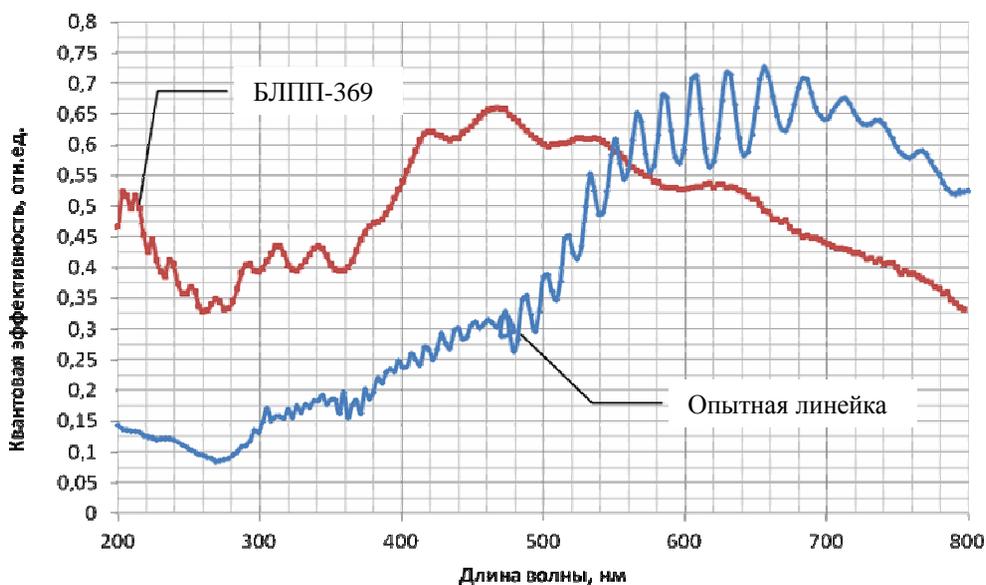
Цель выполненной работы – исследование фотоэлектрических характеристик первых экспериментальных образцов разрабатываемой фотодиодной линейки, изготовленной по технологии КМОП, и оценка их соответствия требованиям технического задания.

Показано, что нарастание выходного сигнала фотоячейки линейки фотодиодов до стационарного уровня с точностью 0.1 % происходит за время 960 нс. Из-за этого частота вывода выходного сигнала оказалась в 10 раз ниже требуемой и составляет 1 МГц. Медленное нарастание вы-

ходного сигнала фотоячейки объясняется перезарядкой ёмкости общей шины перед выходным усилителем через сопротивление ключа фотоячейки [4].

Разброс темнового сигнала (ТС) линейки фотодиодов составляет 15 %. ТС – выходной сигнал в отсутствии света с малым временем экспозиции. Значения темнового тока (ТТ) линейки фотодиодов, измеренного как  $TТ (базовая\ экспозиция\ 2\ с) = ТС (2\ с) - ТС (5\ мс)$ , совпадает с ожидаемым и не содержит «пичков» [5]. Зависимость ТТ от температуры ожидаемая – при уменьшении температуры на  $20^{\circ}C$  она снижается на порядок.

Измеренная квантовая эффективность (КЭ) линейки фотодиодов в сравнении с существующей линейкой БЛПП-369 показана на рис. 2.13 [6]. КЭ экспериментальной линейки в наиболее важной для атомно-эмиссионного спектрального анализа области 200–350 нм в 2–4 раза ниже КЭ существующей линейки фотодиодов БЛПП-369. Значения КЭ имеют осцилляции, связанные с интерференцией на слоях покрытия линейки. Расчётная толщина этих слоев около 5 мкм. Вопрос увеличения КЭ в области 190–500 нм является ключевым.



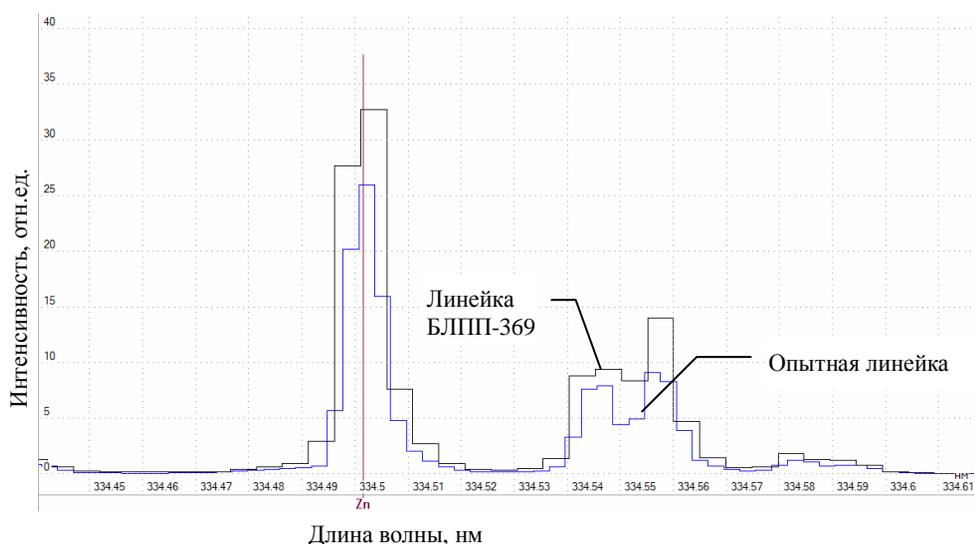
**Рис. 2.13.** Зависимость квантовой эффективности экспериментальных образцов линеек фотодиодов от длины волны

Шум считывания. Минимальное значение среднего квадратичного отклонения (СКО) выходного сигнала при времени экспозиции 5 мс составляет 0,02 %, что соответствует 374 электронам [7]. Это превышает допустимый уровень шума считывания в 4 раза. Кроме того, в зависимости СКО от номера фотодиода наблюдаются «пички», амплитуда которых более чем в 3 раза выше среднего уровня. Пространственное расположение «пичков» стабильно в конкретной линейке, но отличается от линейки

к линейке. Вопросы снижения как среднего СКО в 3–4 раза, так и исключения «пиков» в СКО является ключевым.

Нелинейность фотоотклика, максимальная зарядовая емкость и остаточный сигнал опытной линейки фотодиодов соответствуют требуемым [8].

На рис. 2.14 показан один и тот же участок спектра, зарегистрированный экспериментальной линейкой фотодиодов и существующей линейкой БЛПП-369 [9]. Видно, что разрешение дуплета спектральных линий новой линейкой лучше, чем существующей линейкой БЛПП-369, благодаря меньшему шагу её фотодиодов 7.6 мкм (шаг фотодиодов в линейке БЛПП-369 – 12.5 мкм).



**Рис. 2.14.** Участок спектра с дуплетом линий, зарегистрированный экспериментальной линейкой фотодиодов (нижний график) и существующей линейкой БЛПП-369 (верхний график)

Апертурные характеристики – зависимость фотоотклика фотодиодов линейки от координаты светового пятна (лазерное излучение  $D = 1$  мкм,  $\lambda = 405$  нм) имеют ряд особенностей. В области центра фотодиода они напоминают функцию Гаусса. На границе между фотодиодами присутствуют всплески фотоотклика, первый из которых сравним с фотооткликом по центру фотодиода [10]. Это может негативно повлиять на измерение интенсивности спектральной линии и её длины волны. Вопрос улучшения апертурных характеристик является ключевым.

Одна из самых важных характеристик целевого назначения – отношение сигнал-шум (ОСШ) зарегистрированной спектральной линии, влияющий на пределы обнаружения химических элементов. Измерения показали, что ОСШ экспериментальной линейки фотодиодов уступает ОСШ БЛПП-369 в 3–5 раз [11]. Это связано с их высоким шумом считывания и низкой квантовой эффективностью.

Таким образом, из результатов проведённых исследований новой фотодиодной линейки (4320 фотодиодов размером 7.6 мкм × 1 мм) следует, что: а) максимальная зарядовая емкость фотоячейки, диапазон выходного напряжения, коэффициент преобразования заряд/напряжение, остаточный сигнал (память), нелинейность фотоотклика и пространственная разрешающая способность соответствуют предъявляемым требованиям; б) максимальная частота выходного сигнала на порядок ниже требуемой, но является приемлемой на начальном этапе применения линеек; в) шум считывания выходного сигнала фотоячеек, их квантовая эффективность в диапазоне 190–500 нм и апертурные характеристики не соответствуют требуемым. Линейка требует дальнейшей доработки: корректировки схемы и топологии. Область применения: оптическая спектроскопия в металлургии, геологии, экологии и криминалистике.

*(Лаборатория оптических информационных систем)*

1. Дмитриева В. Д., Дубов Д. Ю., Казырицкая О. Н., Курилко С. С., Мешков О. И., Спицын Р. И. Спектроскопическое измерение спина протона // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2014. – Т. 9. – № 1. С. 95 – 104.
2. Labusov V. A., Semenov Z. V., Zarubin I. A., Saushkin M. S., Erg G. V., Kovalev S. I. A system for the spectral monitoring of the deposition of multilayer dielectric coatings // Measurement Techniques. – 2014. – V. 56. – Iss. 12. – P. 1327 – 1332.
3. Путьмаков А. Н., Зарубин И. А., Бурумов И. Д. «Павлин» для пламенного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Материалы XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (Новосибирск, Россия 19–21 августа 2014 г.). – 2014. – Новосибирск. – С. 147 – 149.
4. Болдова С. С., Путьмаков А. Н., Лабусов В. А., Боровиков В. М., Селюнин Д. О. Атомно-абсорбционный спектрометр с непрерывным источником спектра. Текущее положение и перспективы // Там же. – С. 150 – 158.
5. Пелипасов О. В., Путьмаков А. Н., Чернов К. Н. Использование СВЧ плазмотрона для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов // Там же. – С. 160 – 162.
6. Панкратов С. В., Лабусов В. А., Неклюдов О. А. Автоматическое профилирование многоканальных спектрометров с использованием оценки качества калибровочных точек // Там же. – С. 165.
7. Ващенко П. В., Болдова С. С., Лабусов В. А. Алгоритм обработки последовательностей атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // Там же. – С. 178 – 181.
8. Семёнов З. В., Неклюдов О. А., Гаранин В. Г., Огурцов А. Б., Селюнин Д. О., Петроченко Д. В. Программный модуль управления установкой искрового пробоотбора // Там же. – С. 182 – 184.
9. Путьмаков А. Н. Атомно-эмиссионный спектральный анализ. Состояние и перспективы развития // Там же. – С. 185 – 188.
10. Лабусов В. А. Оптические спектрометры для прямого анализа природных объектов // Тезисы докладов IX Всероссийской конференции по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика – 2014» (г. Калининград, Россия, 22–28 июня 2014). – 2014. – С. 121.
11. Pelipasov O.V., Labusov V.A. Measurement of microwave plasma parameters // 9th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT-9) (Saint-Peterburg, Russia, 23–26 June 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 20 – 22.

*Разработка высокоразрешающего ветрового доплеровского лидара на основе амплитудно-модулированного излучения лазера (ответственный исполнитель д.т.н. Соболев В.С.).*

Ветровые доплеровские лидары являются важнейшими устройствами при исследовании динамики земной атмосферы. Они позволяют решать задачи прогноза погоды и предупреждения торнадо, применяются для обеспечения безопасности работы аэропортов, когда вихри в следе больших взлетающих самолетов могут привести к катастрофе малых летательных аппаратов, а также могут служить средством предупреждения радиоактивных или химических атак. Однако существующие лидары являются довольно сложными и дорогими, что сдерживает их широкое применение. Поэтому задача упрощения конструкции таких устройств, снижения их стоимости и повышения эксплуатационных характеристик является актуальной.

При проведении настоящей работы предложена новая концепция построения ветрового доплеровского лидара, основанная на гармонической амплитудной модуляции излучения лазера [1, 2].

Разработаны теоретические основы функционирования предложенного лидара [3–6] и показано, что при модуляции мощности излучения лазера выходной сигнал фотодетектора пропорционален интенсивности света, рассеянного движущимся объектом, и имеет вид функции

$$I_D(t) = I \{1 + \cos[\Omega(1 + K)t]\}, \quad (2.8)$$

а при модуляции поля излучения лазера – функции

$$I_D(t) = I \{1.5 + 2 \cos[\Omega(1 + K)t] + 0.5 \cos[2\Omega(1 + K)t]\}, \quad (2.9)$$

где  $I$  – значение фототока, пропорциональное средней интенсивности рассеянного поля,  $\Omega$  – круговая частота модулирующей функции,  $K = 2V/c$ ,  $V$  – скорость движения объекта, а  $c$  – скорость света.

Из выражений (2.8) и (2.9) следует, что частоты получаемых выходных сигналов лидаров содержат информацию о скорости исследуемых объектов в виде доплеровского смещения

$$\Omega_D = \Omega K = 2\Omega V/c, \quad (2.10)$$

а его циклическая доплеровская частота

$$f_d = 2V/\Lambda. \quad (2.11)$$

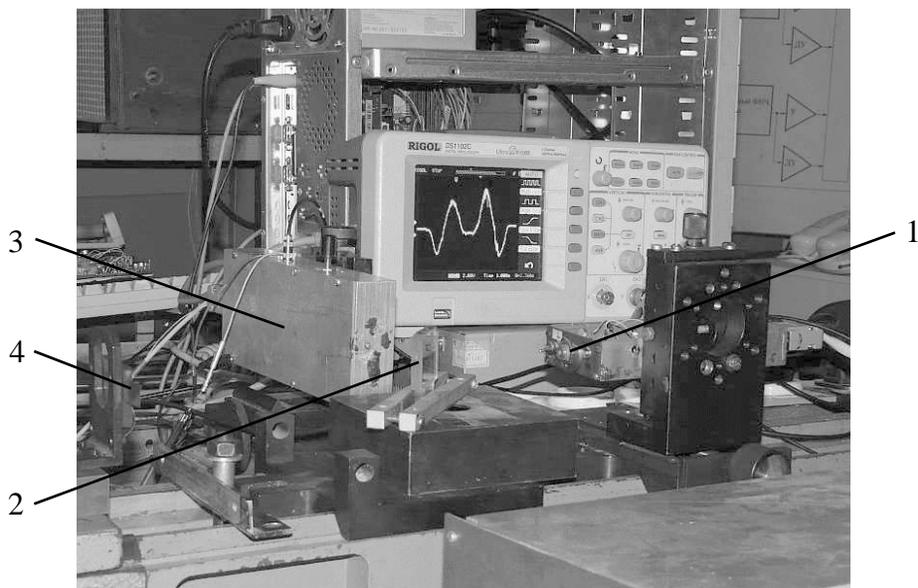
Таким образом, найдена связь между доплеровской частотой и измеряемой скоростью исследуемого объекта. Важно отметить, что эта связь подчиняется тому же закону, что и у стандартного лидара, но в отличие от него  $\Lambda$  является длиной волны модулирующей функции, а не лазера.

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы о следующих преимуществах предложенного метода измерения скорости объекта:

- а) из конструкции ветрового лидара исключен такой сложный и дорогой узел, как интерферометр;
- б) отсутствует необходимость в формировании опорного лазерного пучка;

- в) значительно уменьшаются (при тех же значениях измеряемых скоростей, что и у стандартного лидара) значения доплеровских частот, что снижает требования к быстродействию приемной электроники и позволяет заимствовать технические решения доплеровской радиолокации;
- г) существенно (в сравнении с радиолокацией) повышается пространственное разрешение по азимуту и углу места за счет малой расходимости зондирующего луча;
- д) резко снижаются требования к высокой когерентности зондирующего излучения, так как в качестве несущей используется частота модулирующей функции, а не частота излучения лазера.

На рис. 2.15 представлена фотография стенда, созданного для экспериментальной проверки положений теории. На экране осциллографа отображен сигнал доплеровской частоты, полученный при движении объекта к лазеру и обратно на расстояние в половину длины волны модулирующей функции с  $\Lambda = 3.75$  м. Его форма, как следует из теории, соответствует синусоидальному закону сигнала модуляции, частота которого составила 80 МГц.



**Рис. 2.15.** Общий вид стенда: 1 – лазер с модулятором, 2 – светоделитель, 3 – фотодетектор, 4 – движущийся объект

Планируется проведение дальнейших работ по оценке погрешностей измерения скорости лидара, а также и экспериментов по технической реализации его элементов и систем.

Основной результат: предложена новая концепция построения ветрового доплеровского лидара, основанная на гармонической амплитудной модуляции излучения лазера [7]. Разработаны теоретические основы функционирования предложенного лидара: найдена связь между доплеровской частотой и измеряемой скоростью  $V$  исследуемого объекта. Показано, что циклическая доплеровская частота  $f_d = 2V/\Lambda$  подчиняется

тому же закону, что и у существующих лидаров, однако, в отличие от них,  $\Lambda$  является длиной волны модулирующей функции, а не лазера, что дает ряд принципиальных преимуществ.

*(Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем)*

1. Заявка на патент РФ № 2013149843/28(077486) от 07.11.2013 г. Способ определения скорости и направления ветра и некогерентный доплеровский лидар / Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н. – Заявитель ИАиЭ СО РАН (получено положительное решение).
2. Заявка на патент РФ на полезную модель № 2014124425/28 от 16.06.2014 Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений / Щербаченко А.М., Соболев В.С. – Заявитель ИАиЭ СО РАН. Решение о выдаче патента на полезную модель от 22.12.2014 РАН (получено положительное решение).
3. Соболев В. С., Журавель Ф. А. Максимально правдоподобные оценки частоты сигналов лазерных доплеровских анемометров // Радиотехника и электроника. – 2014. – № 4. – С. 322 – 330.
4. Соболев В. С., Тимохин С. А. Максимально правдоподобные оценки параметров лазерных доплеровских систем (обзор) // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 42 – 54.
5. Соболев В. С., Уткин Е. Н., Щербаченко А. М. Бесконтактная методика измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов на основе модуляции зондирующего лазерного излучения // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 177 – 181.
6. Соболев В. С., Кашеева Г. А., Журавель Ф. А. Максимально правдоподобные оценки параметров оптических сигналов с учетом квантовой природы света и аддитивного шума на примере лазерных доплеровских систем // Там же. – С. 171 – 177.

*Исследование мощного  $Ti:Al_2O_3$  лазера с увеличенной энергией импульса и частотой повторения 5–50 кГц (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Донин В.И.).*

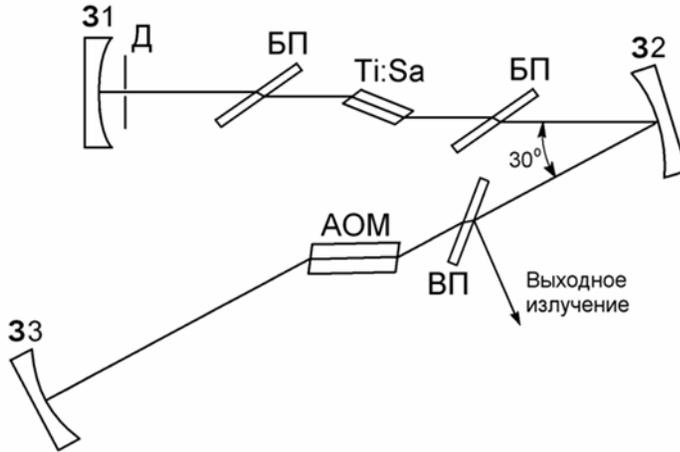
Лазеры с активной средой  $Ti:Al_2O_3$  являются источниками наиболее коротких импульсов излучения ( $\sim 10$  фс). Для получения мощных импульсов (с энергией  $\sim 1$  мДж) в настоящее время используются схемы «задающий генератор – усилитель», что реально ограничивает частоту следования импульсов на уровне  $\leq 1$  кГц. Целью выполненных исследований является получение мощных импульсов излучения с частотой следования  $\sim 100$  кГц на основе ранее разработанных нами мощного непрерывного  $Ti:Al_2O_3$ -лазера [1] и нового метода реализации модуляции добротности резонатора с синхронизацией мод [2].

Резонатор лазера (рис. 2.16) рассчитывался матричным методом в тангенциальной и сагиттальной плоскостях.

При расчете учитывались керровская и тепловая линзы, возникающие в активном элементе. Для сокращения длительности импульса при синхронизации мод лазера керровской линзой необходимо, чтобы в плоскости, где установлена диафрагма, размер пучка уменьшался при увеличении его интенсивности. Количественно этот эффект характеризуется параметром

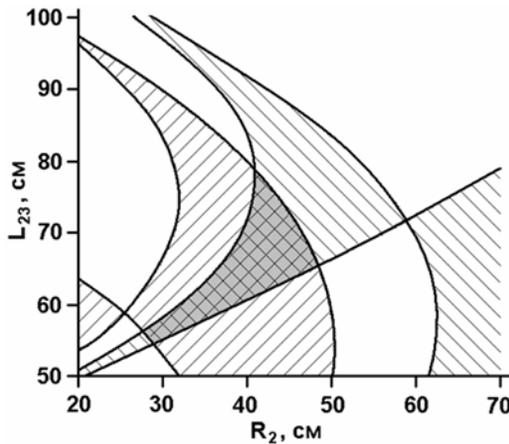
$$\delta = \frac{1}{\omega} \frac{d\omega}{dp} \Big|_{p=0}, \quad (2.12)$$

где  $\omega$  – радиус гауссова пучка в конкретной плоскости резонатора,  $p = P/P_c$ , а  $P_c = c\epsilon_0\lambda^2/2\pi n_2$  – критическая мощность самофокусировки.

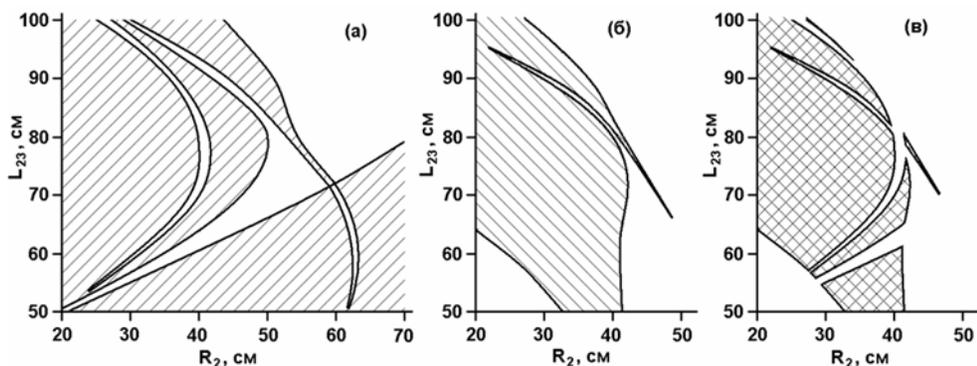


**Рис. 2.16.** Схема резонатора: 31–33 – зеркала резонатора, Ti:Sa – активный элемент, АОМ – акустооптический модулятор, БП – брюстеровские пластинки, ВП – пластинка для вывода излучения из резонатора, Д – диафрагма

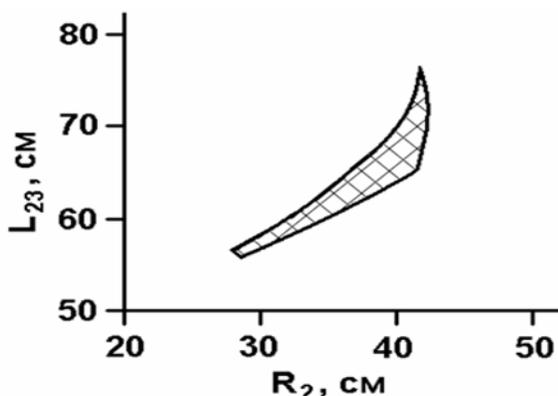
Величина  $\delta$  должна быть отрицательной и как можно большей по модулю. Варьируемыми параметрами при расчетах были расстояние между зеркалами 32 и 33 и радиус кривизны зеркала 32. На рисунках они обозначены соответственно  $L_{23}$  и  $R_2$ . На рис. 2.17 и 2.18 показаны области устойчивости резонатора по этим параметрам и область отрицательных значений параметра  $\delta$ , а на рис. 2.19 – пересечение области устойчивости и области отрицательных значений параметра  $\delta$ .



**Рис. 2.17.** Области устойчивости резонатора в тангенциальной и сагиттальной плоскостях (показаны разной штриховкой, их пересечение показано серым)



**Рис. 2.18.** Область отрицательных значений параметра  $\delta$  (показана штриховкой): *a* – в тангенциальной плоскости; *б* – в сагиттальной плоскости; *в* – пересечение областей *a* и *б*



**Рис. 2.19.** Область рабочих значений расстояния между зеркалами 32 – 33 и радиуса кривизны зеркала 32

При прохождении через прозрачные элементы резонатора длительность импульса излучения увеличивается за счет дисперсии  $D_{\text{рез}} = 6000 \text{ фс}^2$ . Расчет показал, что при данном значении дисперсии и при отсутствии элементов компенсации дисперсии в резонаторе минимально возможная длительность импульсов выходного излучения составит  $\approx 150 \text{ фс}$ . Для дальнейшего сокращения выходных импульсов был проведен расчет призмленного компенсатора дисперсии. Полученные результаты приведены на рис. 2.20.

В качестве материала призм выбрано стекло ТФ10, поскольку из доступных материалов оно обладает наибольшей дисперсией. Для компенсации дисперсии резонатора расстояние между призмами из стекла ТФ10 должно быть равно 28 см.

На основе представленных расчетов в настоящее время проводится работа по созданию элементов лазера и получению мощных импульсов с частотой следования  $\sim 100 \text{ кГц}$ . В частности, совместно с сотрудниками Лаборатории оптических информационных систем ИАиЭ СО РАН предложен и разработан улучшенный вариант акустооптического модулятора (АОМ) бегущей волны для модуляции добротности резонатора и синхро-

низации мод лазера, который имеет две рабочие частоты. При этом на одной из частот ведется синхронизация мод лазера, а на другой – модуляция добротности. Такое решение позволяет увеличить глубину модуляции добротности, что является важным для лазеров с высоким усилением активной среды. Образец созданного АОМ испытан в Nd:YAG-лазере с диодной накачкой. Подтверждена перспективность применения АОМ с двумя рабочими частотами. В настоящее время оформляется заявка на патент РФ.



**Рис. 2.20.** Дисперсия призмного компенсатора дисперсии для разного материала призм: 1 – ТФ10, 2 – ТФ5, 3 – сапфир, 4 – плавленый кварц. Горизонтальной штриховой линией показана дисперсия резонатора

Основной результат: проведены расчеты резонатора мощного Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-лазера с учетом керровской и тепловой линз, а также ожидаемой минимально возможной длительности импульса без внешнего компенсатора дисперсии и с ним. На основе представленных расчетов в настоящее время проводится экспериментальная работа по получению мощных импульсов с частотой следования ~ 100кГц, в том числе разработка и испытание основных узлов лазера (системы мощной накачки, двухчастотного АОМ, компенсатора дисперсии и др.).

*(Тематическая группа мощных ионных лазеров)*

1. Donin V.I., Ivanov V.A., Kovalevskii V.I., Yakovin D.V. CW generation from Ti:sapphire pumped with a high-power Ar<sup>+</sup>-laser // Optics Communications. – 1995. – V. 122. – Iss. 1–3. – P. 40.
2. Пат. на изобретение № 2478242. Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод / Донин В. И., Яковин Д. В., Грибанов А. В.; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 07.06.2011; опубл. 27.03.2013. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2013, № 9.

**ПРОГРАММА II.10.2. Фундаментальные проблемы взаимодействия лазерного излучения с однородными и структурированными средами. Координатор акад. РАН А.М. Шалагин.**

**Проект II.10.2.2 Нелинейные и когерентные оптические явления при взаимодействии атомов и молекул с внешними полями и собственным излучением, с атомами другого сорта, наночастицами и поверхностью. № гос. рег. 01201372518.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория нелинейной спектроскопии газов** (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Ильичев Л.В., д.ф.-м.н. Пархоменко А.И., д.ф.-м.н. Насыров К.А., д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.).

**Лаборатория физики лазеров** (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Сапрыкин Э.Г.).

Научный руководитель **акад. РАН Шалагин А.М.**

*Исследование нелинейных резонансов в V- и Λ-схемах с двумя полями, одно из которых является многофотонным состоянием типа «кошки Шредингера», восстанавливаемой с помощью системы обратной связи (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Ильичёв Л.В.).*

Исследовано стационарное состояние квантованной монохроматической электромагнитной моды в резонаторе, возбуждаемой монохроматической когерентной накачкой и помещенной в цепь обратной связи, меняющей фазу моды на  $\pi$  после каждой регистрации фотона, покинувшего резонатор. На таком типе обратной связи основан метод предотвращения разрушения когерентности в состояниях типа «кошки Шредингера». Приведены результаты численного определения R-функции Глаубера при разных значениях отстройки частоты моды от частоты накачки. Дано качественное объяснение некоторых особенностей структуры R-функции. В случае, когда собственная частота резонатора и частота внешней когерентной накачки сильно различаются, предложена упрощённая модель, позволяющая с достаточной степенью точности описывать поведение системы [1].

Реализован новый подход к проблеме описания резонансной флуоресценции мультиатомных ансамблей, локализованных на масштабе, малом в сравнении с длиной волны. Как известно, коллективные явления затрудняют теоретический анализ. Применено представление Холстейна – Примакова для операторов энергетического спина атомов. При достаточно малой дисперсии числа возбуждённых атомов в ансамбле соответствующее кинетическое уравнение сводится к уравнению для эффективной бозонной моды. Новое уравнение оказывается нелинейным. Тем не менее, его стационарное решение удаётся найти. Также рассмотрено движение двух флуоресцирующих ансамблей. Оказалось, что их взаимодействие имеет геометрическую природу [2].

Рассчитана статистика событий фотоиспусканий в компоненты триплета резонансной флуоресценции двухуровневого атома в классическом световом поле, фаза которого с помощью системы обратной связи меняется на  $\pm 2\pi/3$ , 0 в зависимости от компоненты триплета, к которой принадлежит очередной зарегистрированный спонтанный фотон. Отличие от случая отсутствия обратной связи, равно как и от случая частотно-неселективной обратной связи, оказалось очень значительным – предсказана группировка фотоиспусканий в каждый из боковых компонент триплета, а последовательные фотоиспускания в различные боковые компо-

ненты демонстрируют антигруппировку. Тип статистики можно менять, перестраивая частоту накачивающей волны относительно резонанса [3].

*(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)*

1. Томилин В. А., Ильичёв Л. В. Квантованная оптическая мода в цепи обратной связи с переключением фазы // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 100. – вып. 11–12. – С. 858 – 862.
2. P'ichov L. V., Taychenachev A. V. Resonance fluorescence of localized multiatomic ensembles // Там же. – Вып. 7. – С. 480 – 483.
3. Tomilin V. A. and P'ichov L. V. Peculiarities of resonance fluorescence statistics for a two-level atom in frequency selective feedback loop // Annalen der Physik. – 2014, DOI 10.1002/andp.201400104.

*Исследование спектральных аномалий в эффекте светоиндуцированного втягивания (выталкивания) частиц в световой пучок (СДВ) для общего случая произвольного соотношения масс поглощающих и буферных частиц (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Пархоменко А.И.).*

Рассчитана форма линии для эффекта светоиндуцированного диффузионного втягивания (выталкивания) частиц в световой пучок (СДВ) с учетом зависимости транспортных частот столкновений от скорости. Показано, что спектральная зависимость сигнала СДВ совпадает с формой линии поглощения, а величина эффекта СДВ пропорциональна разности коэффициентов диффузии частиц в возбужденном и основном состояниях. Выяснено, что для общего случая произвольного соотношения масс поглощающих и буферных частиц спектральные аномалии в эффекте СДВ не возникают [1].

Сверх плана: Количественно исследована точность одномерного приближения для решения задач светоиндуцированной газовой кинетики. На примере эффекта светоиндуцированного дрейфа (СИД) атомов цезия в атмосфере инертных буферных газов показано, что в случае так называемого нормального СИД всегда можно использовать одномерные кинетические уравнения вместо трехмерных без риска потерять какие-либо важные тонкие детали в зависимости скорости дрейфа от частоты излучения. В случае аномального СИД погрешность одномерного приближения незначительна и ею можно пренебречь только в случае легких буферных частиц. Выяснено, что погрешность, вносимая при использовании одномерного приближения, для многоуровневых частиц оказывается более существенной, чем для простейших моделей частиц [2].

*(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)*

1. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. Спектральная форма сигнала в эффекте диффузионного втягивания (выталкивания) частиц в световой пучок // Квантовая электроника (принята в печать).
2. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. О точности одномерного подхода к решению кинетических уравнений с зависящими от скорости частотами столкновений // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 5. – С. 957 – 967.

*Выявление роли нелинейных и когерентных явлений в спектроскопии однонаправленных волн. Анализ изотопических оптикомагнитных резонан-*

*сов, зарегистрированных на изолированных линиях неона (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Сапрыкин Э.Г.).*

Методом численного моделирования исследованы физические процессы, формирующие резонансы насыщенного поглощения и магнитного сканирования в поле встречных волн произвольной интенсивности при изменении их поляризаций. На примере атомного перехода с моментом уровней  $J = 1$  показано, что наблюдаемые на опыте аномалии спектров насыщенного поглощения определяются степенью открытости атомного перехода, в случае же магнитного сканирования они обусловлены магнитной когерентностью, наводимой полями непосредственно на уровнях нижнего состояния, а не переносом ее с возбужденных состояний, как представлялось ранее [1].

При регистрации свечения отдельных спектральных линий тлеющего разряда в смеси изотопов  $^{20}\text{Ne}$  и  $^{22}\text{Ne}$  в зависимости от напряженности продольного магнитного поля наблюдаются сильно смещенные узкие резонансы. Обнаружено, что контраст резонансов выше для высоковозбужденных переходов, а сами резонансы формируются в зоне продольной пространственной неоднородности магнитного поля [2].

*(Лаборатория физики лазеров)*

1. Сапрыкин Э. Г., Черненко А. А., Шалагин А. М. // Поляризационные явления в эффектах прозрачности и адсорбции, индуцированных полем встречных волн // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 2. – С. 229 – 239.
2. Сапрыкин Э. Г., Сорокин В. А., Шалагин А. М. Наблюдение узких изотопических оптикомагнитных резонансов в излучении отдельных спектральных линий неона // Квантовая электроника (в печати).

*Расчет магнитооптических резонансов в ячейках с антирелаксирующим покрытием для щелочных атомов с неразрешенной сверхтонкой структурой основного состояния (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Насыров К.А.).*

Развит метод для расчета магнитооптических резонансов в парах щелочных металлов в оптических ячейках с антирелаксирующим покрытием высокого качества. Разработан метод определения качества покрытия, суть которого состоит в том, чтобы детектировать временное изменение интенсивности флуоресценции при импульсном облучении ячейки резонансным лазерным излучением. Метод был успешно апробирован экспериментально в вакуумных ячейках с парафиновым покрытием, содержащих пары рубидия [1–3].

*(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)*

1. Насыров К.А. Метод расчета резонансов в ячейках с высоким качеством антирелаксирующего покрытия // Автометрия (принята в печать).
2. Насыров К.А. Метод определения качества антирелаксирующего покрытия в оптических ячейках // Автометрия (принята в печать).
3. Nasyrov K. Simulation of light interaction with alkali atoms in coated optical cells // Book of abstract 18<sup>th</sup> international school of quantum electronics “Laser physics and applications” (Sozopol, Bulgaria, 29 September – 3 October 2014). – 2014. – P. 24.

*Исследование многофотонного возбуждения ультрахолодных атомов рубидия непрерывным лазерным излучением (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.).*

Двухфотонное возбуждение атомов рубидия в ридберговские состояния будет осуществляться излучениями 780 нм + 480 нм. Излучение 780 нм нужного качества и мощности уже имеется в нашей установке для получения бозе-эйнштейновского конденсата атомов рубидия. В 2014 году создана лазерная система для генерации непрерывного излучения 480 нм. Создан полупроводниковый усилитель лазерного излучения на длине волны 960 нм на основе ленточного усилителя фирмы m2k-laser GmbH (Германия). Реализована система «задающий генератор – полупроводниковый усилитель» с мощностью непрерывного излучения на выходе усилителя более 0.5 Вт. Мощное излучение на 960 нм использовано для получения второй гармоники (480 нм) в однопроходном генераторе второй гармоники на основе периодически поляризованного кристалла КТР фирмы AdvR (США). Создана установка для альтернативного способа генерации второй гармоники (большей мощности и лучшего качества) с использованием резонансного удвоителя частоты излучения FD-SF-07, фирмы Tekhnoscan, Новосибирск.

*(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)*

1. Chapovsky P.L., Wilson-Gordon A.D. Coherent control of enrichment and conversion of molecular spin isomers // Abstract of the Invited talk at the 23<sup>rd</sup> Int. Laser Physics Conference (Bulgaria, Sofia, July 14–18, 2014). – 2014. – P. 1.4.4.
2. Медведев С. Б., Лиханова Ю. В., Федорук М. Ф., Чаповский П. Л. Эволюция стационарного состояния в двумерном уравнении Гросса-Питаевского // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 100. – № 12. – С. 935 – 940.

**Проект П.10.2.3. Разработка методов лазерной модификации и синтеза объектов с неоднородной структурой, в том числе многослойной, для создания элементов дифракционной оптики, микроэлектроники, микромеханики и биохимических анализаторов. № гос. рег. 01201373321.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория дифракционной оптики** (ответственный исполнитель д.т.н. Полещук А.Г.).

**Лаборатория лазерной графики** (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

Научные руководители: д.т.н. Полещук А.Г., к.т.н. Бессмельцев В.П.

*Разработка экспериментального стенда для синтеза дифракционных микро- и наноструктур в многослойных тонкопленочных средах. Исследование дифракционных структур и дифракционных оптических элементов в многослойных средах (ответственный исполнитель д.т.н. Полещук А.Г.).*

Разработан метод изготовления многослойных тонкопленочных ДООЭ (МДООЭ) с бинарной рельефно-фазовой структурой поверхности [1–5]. ДООЭ выполнены в виде оптической подложки, на одну из сторон которой нанесена многослойная структура (МС), например, состоящая из тонких чередующихся слоев  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $HfO_2$ ,  $ZrO_2$  и т. д. Запись дифракционной структуры производится сфокусированным лазерным пучком (экспериментальная установка CLWS-300IAE [6–8]) по тонкой пленке хрома, нанесенной на поверхность многослойной структуры. После селективного травления экспонированной пленки хрома производится ее селективное жидкостное травление, а затем реактивно-ионное травление многослойной структуры. На последнем этапе удаляются остатки дифракционной структуры в пленке хрома.

Исследованы особенности записи дифракционных микроструктур сфокусированным лазерным пучком [9, 10]. Определены параметры экспонирования, при которых не нарушается целостность многослойной структуры. Проведены исследования дифракционных структур и дифракционных оптических элементов, выполненных в многослойных средах.

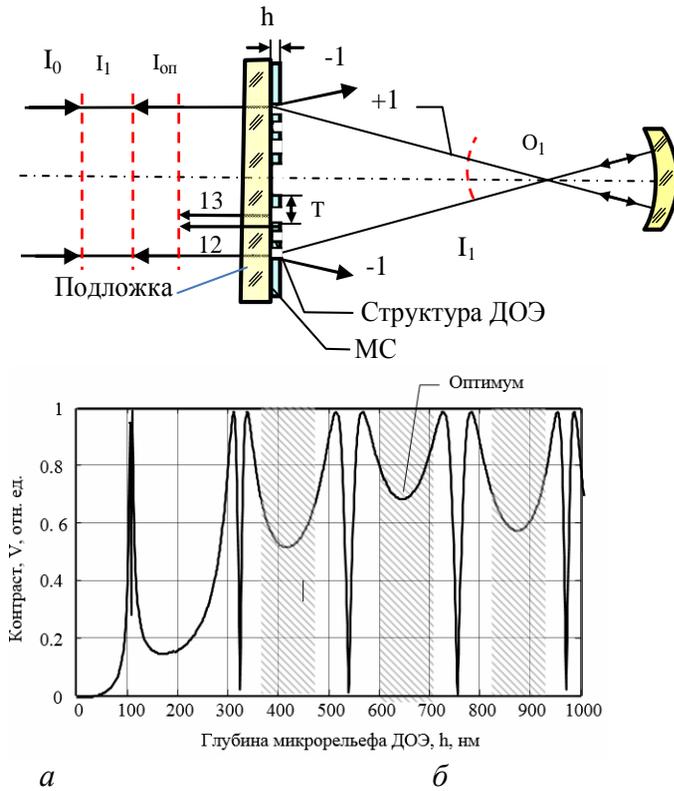
На основе МДООЭ разработан новый тип интерферометра Физо [11, 12] со сферическим (или асферическим) ходом лучей (рис. 2.21, *a*). МДООЭ выполняет функцию светоделиителя. МС рассчитана и изготовлена таким образом, что отражает строго назад опорный световой пучок ( $I_{оп}$ ) и фокусирует (в точке  $O$ ) в +1 порядке дифракции измерительный световой пучок ( $I_1$ ). На рис. 2.21, *б* приведен пример функции контраста  $V$  интерференционной картины, образованной световыми потоками опорного и измерительного пучков в зависимости от глубины микрорельефа ДООЭ с бинарным профилем. Показано, что оптимальная глубина микрорельефа ДООЭ, выполненная в тонкой пленке  $SiO_2$ , равна  $\sim 650$  нм.

Предложена, исследована и реализована на практике технология просветления ДООЭ с бинарным профилем на основе использования МС, расположенной между структурой ДООЭ и подложкой. Экспериментально получен коэффициент отражения от структуры ДООЭ менее 0.1 % (рис. 2.22).

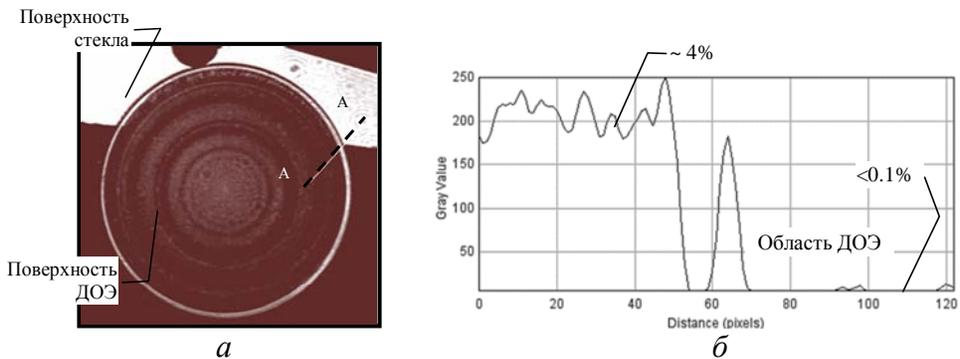
На основе предложенной технологии разработаны опытные образцы ДООЭ для формирования сферических и асферических волновых фронтов [13–15]. На рис. 2.23. показан внешний вид (*a*) эталонного ДООЭ диаметром 60 мм, фокусным расстоянием 100 мм и абберациями волнового фронта (*б, в*)  $0.06\lambda$  (PV) и  $0.012\lambda$  (rms).

*(Лаборатория дифракционной оптики)*

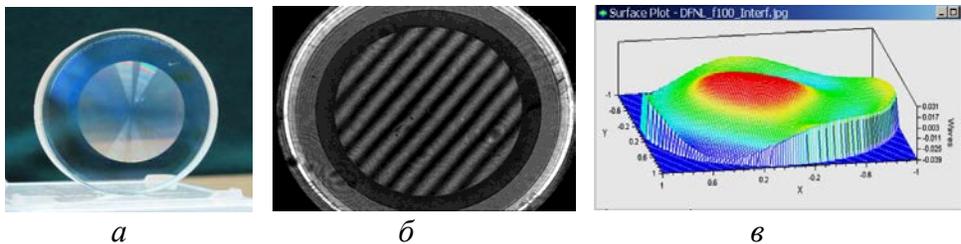
1. Пат. РФ на изобретение № 2534435. Эталонный дифракционный оптический элемент (варианты) / А. Г. Полещук; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 18.07.2014; опубл. 27.11.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 33.
2. Полещук А. Г., Корольков В. П., Насыров Р. К. Дифракционные оптические элементы: изготовление и применение // XI Международная конференция «Голография ЭКСПО–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). М.: Изд-во ООО «Голография-Сервис». – 2014. – С. 55 – 64.



**Рис. 2.21.** Схема нового типа интерферометра Физо (а) и распределение интенсивностей (б) интерферирующих пучков



**Рис. 2.22.** Фотография отраженного света (633 нм) от поверхностей ДОЭ и стекла (а) и график сечения А-А коэффициента отражения (б)



**Рис. 2.23.** Эталонный МДОЭ (а) и результаты интерферометрического контроля точности его изготовления (б, в)

3. Полещук А. Г., Насыров Р. К. Дифракционные оптические элементы: методы изготовления и применение // Тезисы докладов Научно-практической конференции «Оптика в науке и технике» (Москва, Россия, 10–13 ноября 2014), ВДНХ. – 2014. – С. 110.
4. Полещук А. Г., Насыров Р. К. Прецизионный контроль формы асферических и нетипичных оптических поверхностей с помощью синтезированных голограмм // Труды научно-технической конференции «Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Московская обл., Россия, 25–26 сентября 2014), ЛЗОС. – 2014. – С. 183 – 184.
5. Poleshchuk A. G., Korolov V. P., Nasyrov R. K. Diffractive optical elements: fabrication and application // Proc. SPIE. 7th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Design, Manufacturing, and Testing of Micro- and Nano-Optical Devices and Systems / Editor(s) Tianchun Ye; A. G. Poleshchuk; Song Hu, – 2014. – V. 9283. – P. 928302 (11 p.).
6. Veiko V. P., Poleshchuk A. G. Laser-Induced Local Oxidation of Thin Metal Films: Physical Fundamentals and Applications. P. 149–172 // In the book “Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies” edited by V. P. Veiko, V. I. Konov. Springer Series in Materials Science. – 2014. – V. 195, 322 p.
7. Верхогляд А. Г., Завьялова М. А., Корольков В. П. Датчик автоматической фокусировки для круговых лазерных записывающих систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 117 – 122.
8. Свидетельство РФ о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014615895. Программа управления круговым лазерным записывающим устройством / Р. В. Шиманский, В. В. Черкашин; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 10.04.2014; зарег. 05.06.2014.
9. Достовалов А. В., Корольков В. П., Голубцов С. К., Кондратьев В. И. Особенности формирования самоиндуцированных решеток на металлических фольгах при сканировании остросфокусированным фемтосекундным лазерным пучком // Квант. электроника. – 2014. – Т. 44. – № 4. – С. 330 – 334.
10. Достовалов А. В., Корольков В. П., Бабин С. А., Голубцов С., Кондратьев В. И. Формирование наклонных и двумерных решеток при сканирующей фемтосекундной лазерной записи на металлах // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014), НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 213 – 214.
11. Poleshchuk A.G., Sedukhin A.G., Cherkashin V.V., Trunov V.I., Maksimov V.G., Tartakovskiy V.A. High-resolution Shack-Hartmann sensor for measuring variations of high-power laser beams // Proceedings of 16th International Conference "Laser Optics'2014" (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). – 2014. – P. R4-p06.
12. Пат. РФ на полезную модель №147271. Интерферометр для контроля формы и углового положения оптических поверхностей / А. Г. Полещук, В. Н. Хомутов; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 26.06.2014; опубл. 27.10.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 30.
13. Sedukhin A. G. Rectangular symmetrical mesa beams and their comparison with flattened Gaussian and multi-Gaussian beams // Optics Communications. – 2015. – V. 335. – № 1. – P. 284 – 292 (принята в печать).
14. Белоусов Д. А. Оптико-электронный дефектоскоп дифракционных оптических элементов // Сборник докладов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (г. Томск, Россия, 14–18 апреля 2014), т. 1. Изд-во ТПУ. – 2014. – С. 69 – 70.
15. Белоусов Д. Прибор для измерения дифракционной эффективности в широком динамическом диапазоне // Материалы всероссийской научной конференции молодых учёных «Наука технологии инновации » (г. Новосибирск, Россия, 2–6 декабря 2014г). – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2014г. – Ч. 1. С. 15 – 19.

*Исследование и разработка методов получения и обработки данных о временных, температурных и спектральных характеристиках процесса формообразования при использовании лазеров с короткими и сверхкороткими импульсами с высокой частотой повторения (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).*

Проведено моделирование взаимодействия лазерных импульсов с металлами и вычислению поверхности, полученной в результате лазерной микрообработки. Для моделирования взаимодействия лазерного излучения с веществом реализованы два подхода. Первый подход основан на предположении, что вся энергия лазерного импульса, поглощенная веществом, расходуется только на его нагрев, плавление и испарение (фемто- и пикосекундная обработка). При известных свойствах материала и размере пятна фокусировки производится расчет объема удаленного материала и формы кратера. Во втором – учитываются процессы распространения тепла в зоне, превышающей размер лазерного пятна, для чего производится решение классического уравнения теплопроводности методом конечных разностей. Вычисляется пространственно-временное распределение температуры в материале с учетом фазовых переходов и начальных условий.

Разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитать и визуализировать 3D-геометрию поверхности (рис. 2.24) при заданной траектории перемещения лазерного пучка и наборе параметров (размер пятна фокусировки, энергия и длительность импульса, перекрытие между пучками, коэффициент поглощения, показатель поглощения, теплопроводность, удельная теплоемкость, удельная теплота плавления и парообразования, плотность, температура плавления и испарения) [1–3].



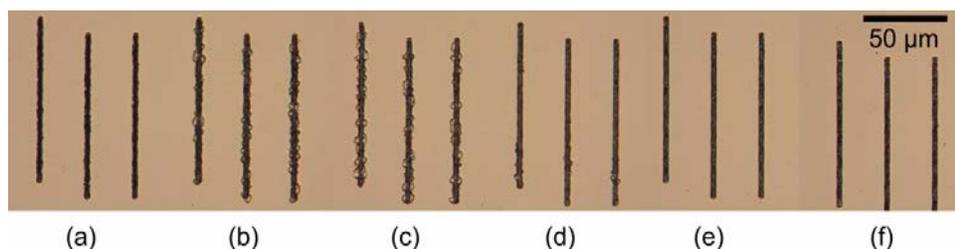
**Рис. 2.24.** *a* – трехмерная модель тест объекта в среде AutoCAD; *б* – результат компьютерного моделирования лазерной обработки стального образца импульсным ИАГ лазером  $\lambda = 1.06$  мкм средняя мощность 100 Вт, длительность импульсов 200 нс по данной модели. Красным выделен фрагмент траектории лазерного луча

Особый интерес при формообразовании в микромасштабах при использовании лазеров с короткими и сверхкороткими импульсами с высокой частотой повторения имеет обработка таких материалов, как стекло и керамика, т.к. многие стекла прозрачны от УФ- до ИК-диапазона длин волн. Процесс обработки стекол ранее исследовался с использованием

СО<sub>2</sub>-лазера с длиной волны 10.6 мкм. Кроме того, некоторые стекла имеют нижнюю границу прозрачности выше 300 нм (например, стекло ВК7), что показывало возможность применения УФ-лазеров с длительностью импульсов ~ 1 нс. Однако тепловые процессы, неизбежно возникающие при наносекундной лазерной обработке, не позволяют получить качественные элементы без микротрещин и микросколов.

С развитием фемтосекундных технологий стало возможным использовать лазеры, работающие на длине волны видимого или ближнего ИК-диапазона, для поверхностной микрообработки стекол, прозрачных на данных длинах волн. При этом качество микромодификаций, по сравнению с результатами воздействия более длительных импульсов, гораздо выше.

Проведены исследования возможности создания микроканалов с высокими показателями качества на поверхности ВК-7 боросиликатного стекла фемтосекундным лазером по заданной САД-модели, при этом внимание уделено определению оптимальных параметров, т. е. таких режимов, при которых количество сколов и микротрещин минимально. Для записи использован лазер Pharos 6W ( $\lambda = 1026$  нм, длительность импульса от 232 фс, размер пятна 3.7 мкм). При частоте импульсов 1 кГц, перекрытии в диапазоне 19–97% и энергии импульсов 500–1400 нДж с шагом 300 нДж лазерным пучком сформированы 50 тестовых объектов в один проход (часть приведена на рис. 2.25, размеры заготовки 32×32×8 мм<sup>3</sup>). Измерение тестовых объектов проведено на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе Carl Zeiss LSM 700. Для анализа полученных карт высот объектов разработан алгоритм обработки изображений, который использует адаптивный пороговый критерий для выделения границ микроканалов. Для каждого микроканала автоматически вычисляются средняя ширина, максимальная глубина, прямолинейность границ, объем удаленного материала, производительность обработки [4, 5].

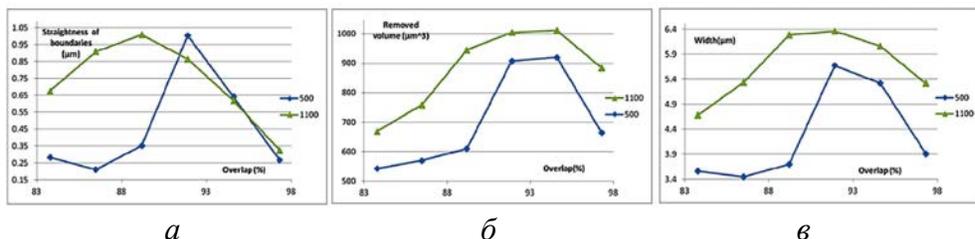


**Рис. 2.25.** Изображения тестовых объектов, полученные на Leica DMIRB 40x. Условия записи: энергия импульса 500 нДж, перекрытие импульсов *a–f* 97–83%

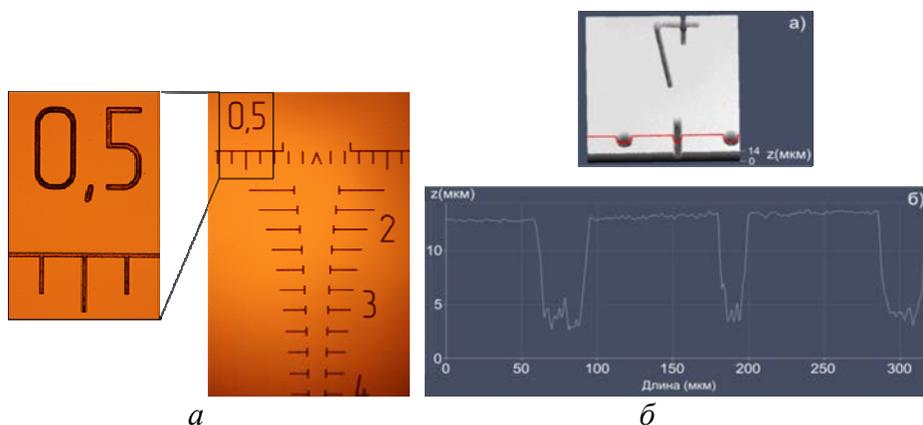
В результате получены статистические зависимости показателей качества микроканалов от энергии и перекрытия импульсов, часть которых приведена на рис. 2.26. По этим зависимостям возможно определение режима лазерной микрообработки для получения микроканалов с заданной шириной в диапазоне 2–7 мкм и глубиной 0.5–3 мкм. При неоптимальном режиме обработки отклонение от прямолинейности границ дос-

тигает 1 мкм, что хорошо соответствует размерам образующихся сколов. Установлено, что сколы образуются при среднем перекрытии импульсов, например для энергии импульсов 500 нДж при 89–95% (рис. 2.26, а, б). Обработка стекла без образования сколов возможна при низких скоростях перемещения лазерного пучка (0.1 мм/с для 500 нДж, рис. 2.26, в), однако при этом производительность также низкая (~1000 мкм<sup>3</sup>/с) [6–9].

Изготовлены опытные партии образцов специальных сеток на различных стеклах, полностью соответствующих техническим условиям и чертежам, предоставленным Заказчиком и принятым ОТК Заказчика (рис. 2.27) [10–13].



**Рис. 2.26.** Зависимости показателей качества обработки от перекрытия и энергии импульсов: ▲ – 1100 нДж, ◆ – 500 нДж, а–в – ширина, прямолинейность границ и объем удаленного материала для микроканалов от перекрытия импульсов соответственно



**Рис. 2.27.** а – увеличенное изображение лазерной обработки поверхности образца; б – результат измерения глубины модификации: б<sub>в</sub> – область измерения профиля модификации (вдоль красной линии), б<sub>н</sub> – профиль модификации по высоте

(Лаборатория лазерной графики)

1. Шоев С. А. Программные средства подготовки и моделирования послойной лазерной 3D микрообработки // Материалы Международной научной студенческой конференции МНСК (Новосибирск, Россия, 11 - 18 апреля 2014). – 2014. – С. 59.
2. Шоев С. А., Булушев Е. Д. Разработка программно-алгоритмических средств для технологической подготовки лазерной микрообработки ультракороткими импульсами // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии»: сб. науч. тр., Новосибирск– 2014. – С. 44 – 45.

3. Шоев С. А., Булушев Е. Д. Разработка программных средств для моделирования процесса лазерной 3D микрообработки // Тезисы докладов XV Всероссийской конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия 29–31 октября 2014). – 2014. – С. 56.
4. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Быстрый алгоритм совмещения изображений для контроля качества лазерной микрообработки // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 2. – С. 343 – 350.
5. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Оптимизация режимов лазерной микрообработки (обзор) // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 3 – 21.
6. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Метод измерения микроканалов, сформированных фемтосекундным лазером на оптически прозрачных материалах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 135 – 139.
7. Bessmeltsev V.P., Bulushev E.D., Dostovalov A.V. Optical inspection of microchannels formed by femtosecond laser on glass // Optics, 2014 International Conference (Saint Petersburg, June 30 2014 – July 4, 2014). Book of abstracts. – 2014. – С. 1.
8. Bessmeltsev V., Bulushev E., Dostovalov A. Crack-free fabrication of microchannels by femtosecond laser on a glass surface // International Conference “Advanced Laser Technologies 2014” (Cassis, France, October 6–10, 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 18.
9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2014611773. Программа для контроля качества лазерной микрообработки MarkInspector / Е. Д. Булушев; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 04.03.2014; зарег. 14.10.2014.
10. Пат. РФ на полезную модель № 135116. Оптическая угловая шкала и система контроля погрешности её изготовления / А.Г. Полещук, В.Н. Хомутов; заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН; заявл. 07.05.2013; Опубл. 27.11.2013г. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2013, № 33.
11. Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Лазерные технологии формирования сеток // Тезисы докладов Научно-практической конференции «Оптико-электронные комплексы наземного космического базирования» (г. Лыткарино, Россия, 25–26 сентября 2014). – С. 181 – 183.
12. Дьякова И. И., Лелянов А. Б., Бабин С. А., Бессмельцев В. П., Достовалов А. В. Технология нанесения сеток методом прожигания лазером, заполнения запуском, нанесения рисунка на металлическом покрытии и исследование повреждений стеклянной подложки // Межотраслевой институт «Наука и образование». – 2014. – № 4. – С. 41 – 43.
13. Пат. № 149457 на полезную модель «Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки» / Бессмельцев В.П., Лоншаков Е.А.(в печати).

**Проект П.10.2.4. Генерация и нелинейное преобразование лазерного излучения в структурированных волоконных и планарных световодах. № гос. рег. 01201364502.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория волоконной оптики** (ответственные исполнители: чл.-корр. РАН Бабин С.А., к.ф.-м.н. Каблуков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А.).

**Тематическая группа нелинейной оптики** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Подивиллов Е.В.).

**Лаборатория фотоники** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Шапиро Д.А.).

Научный руководитель чл.-корр. РАН Бабин С.А.

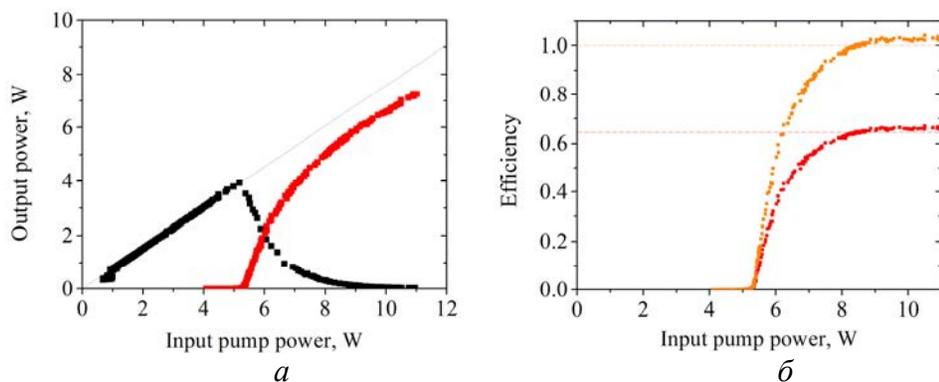
*Построение кинетической модели волоконного лазера со случайной распределённой обратной связью (СРОС) на рэлеевском рассеянии. Оптимизация энергетических и спектральных характеристик волоконных СРОС-лазеров экспериментом (ответственные исполнители: чл.-корр. РАН Бабин С.А., д.ф.-м.н. Подивилов Е.В.).*

Кинетическая теория обычно описывает статистические свойства консервативных систем со многими степенями свободы, в частности, медленную эволюцию системы к равновесию через многочисленные процессы слабонелинейного взаимодействия. В рамках проекта кинетическая теория была модифицирована таким образом, чтобы описать диссипативные оптические системы с периодическими потерями и усилением, одним из примеров такой системы является лазер. Данные системы характеризуются неоднородной во времени двухмасштабной динамикой с сильными вариациями оптического спектра внутри периода и медленной эволюцией от цикла к циклу. Развитая нелинейная кинетическая теория позволяет рассчитать спектр генерации волоконного лазера со случайной распределённой обратной связью (СРОС) на рэлеевском рассеянии, обобщая линейную кинетическую модель Шавлова – Таунса. В специально поставленном эксперименте (в области применимости теории) показано, что выходной спектр СРОС-лазера резко сужается вблизи порога генерации, а затем уширяется с ростом мощности по закону, близкому к линейному, в соответствии с теорией [1, 2, 6, 7].

Проведена оптимизация энергетических и спектральных характеристик в различных вариантах схем волоконных СРОС-лазеров. В коротком (850 м) световоде получена рекордная абсолютная эффективность (около 70 %) генерации стоксовой волны (1.3 мкм) при мощности оптической накачки ~10 Вт на 1.1 мкм (рис. 2.28, а). При этом относительная квантовая эффективность достигает и даже превышает предел 100 % вследствие уменьшения интегральных потерь для стоксовой волны (рис. 2.28, б). Кроме того, развита модель влияния конечной полосы измерительной системы на измеряемые статистические свойства лазерного излучения, в этих условиях измерены и проанализированы статистические свойства излучения и модовые корреляции в коротком волоконном лазере, получена узкополосная многоволновая генерация в схеме волоконного СРОС-лазера [2–4, 7, 8].

*(Лаборатория волоконной оптики, Тематическая группа нелинейной оптики)*

1. Kolokolov I. V., Lebedev V. V., Podivilov E. V., Vergeles S. S.. Theory of a random fiber laser // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – Вып. 6. С. 1295 – 1300.
2. Turitsyn S. K., Churkin D. V., Babin S. A., Podivilov E. V., Vatik I. D., Nikulin M. Random distributed feedback fibre lasers // Phys. Reports. – 2014. – V. 542. – Iss. 2. – P. 133 – 194.
3. Vatik I. D., Gorbunov O. A. and Churkin D. V. Narrow-band generation and mode correlations in a short Raman fibre laser // Laser Physics. – 2014. – V. 24. – № 2. – P. 025103 (6 p.).



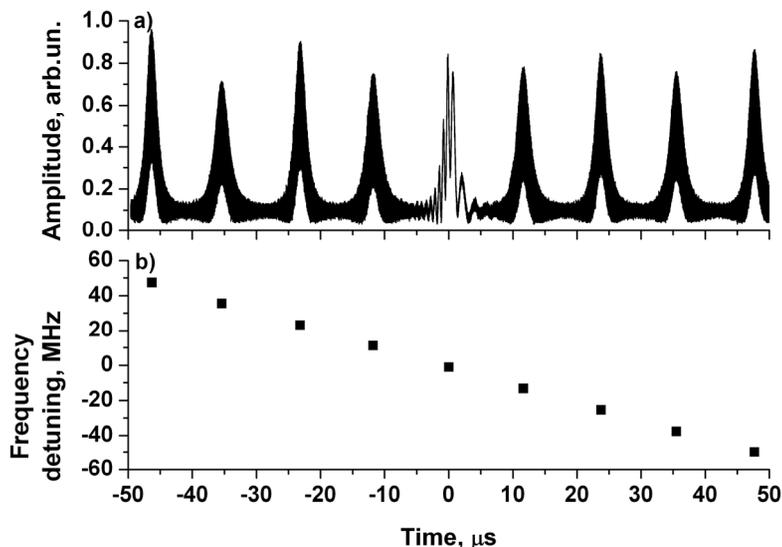
**Рис. 2.28.** *a* – мощность генерации на 1.3 мкм (красные точки) и проходящая мощность накачки на 1.11 мкм (черные точки) на выходе световода, пунктир – линейная экстраполяция мощности накачки в отсутствие генерации; *б* – абсолютная эффективность генерации в сравнении с теоретическим пределом  $\eta_{max} = \exp(-\alpha_p L) v_s / v_p = 64\%$  (красный) и относительная квантовая эффективность (отношение числа генерируемых квантов к числу квантов накачки на выходе световода в линейном режиме) в сравнении с пределом 100 % (жёлтый) без учета разницы коэффициентов поглощения  $\alpha_{p,s}$  для волн накачки и генерации с частотами  $\nu_{p,s}$

4. Gorbunov O. A., Sugavanam S., Churkin D. V. Revealing statistical properties of quasi-CW fibre lasers in bandwidth-limited measurements // *Opt. Express.* – 2014. – V. 22. – Iss. 23. – P. 28071 – 28076.
5. Sugavanam S., Yan Z., Kamynin V., Kurkov A.S., Zhang L., and Churkin D. V. Multi-wavelength generation in a random distributed feedback fiber laser using an all fiber Lyot filter // Там же. – Iss. 3. – P. 2839 – 2844.
6. Babin S.A. New schemes of Raman fiber lasers // 16th International Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, 30 June – 4 July 2014). – 2014. – Paper ThSy1-06.
7. Vatik I. D., Churkin D. V. Modeling of the spectrum in a random distributed feedback fiber laser within the power balance model // *Proc. SPIE.* – 2014. – V. 9135: Laser Sources and Applications II / ed. by I. Mackenzie, H. Jelinková, T. Taira, M. A. Ahmed. Article 91351Z.
8. Churkin D. V., Turitsyna E., Sugavanam S., Tarasov N. S., Shu X., Babin S. A., Podivilov E. V., Falkovich G., Turitsyn S. K. The laminar-turbulent transition in a fibre laser // *SPIE Photonics Europe – Nonlinear Optics and its Applications* (Brussels, Belgium, April 14–17, 2014). – 2014. – Paper 9136-33.
9. Sugavanam S., Yan Z., Kamynin V., Kurkov A.S., Zhang L., and Churkin D. Lyot-filter based multiwavelength random distributed feedback fiber laser // Там же. – V. 9135: Laser Sources and Applications II / ed. by J. I. Mackenzie, H. Jelinková, T. Taira, M. A. Ahmed. – Article 91351C (7 p.).

*Получение и исследование новых режимов нелинейного преобразования частоты излучения волоконных лазеров (самосканирование частоты, генерация гармоник в полностью волоконной схеме) (ответственные исполнители: к.ф.-м.н. Каблуков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А.).*

Исследована динамика генерации в итербиевом лазере с самосканированием частоты, собранного из компонент с сохранением поляризации. Показано, что на динамику генерации существенное влияние оказывает решётка показателя преломления, записываемая в активной среде. Благодаря соотношению Крамерса – Кронига, наличие данной решётки

связано с выжиганием пространственных дыр в инверсии в активной среде при малой ширине спектра генерируемых волн. Показано, что для получения режима генерации регулярных одночастотных импульсов требуется подбирать длину пассивных световодов с обеих сторон от активной среды. При этом частота генерации меняется от импульса к импульсу на межмодовый интервал, что подтверждается измерениями методом гетеродина (рис. 2.29) [1, 2].



**Рис. 2.29.** Сигнал гетеродина (a) и частота модуляции отдельных импульсов (b)

С использованием одночастотного лазера с самосканированием частоты генерации изучены узкие резонансы при генерации второй гармоники излучения в полингованных волоконных световодах, и исследовано влияния двулучепреломления на условия фазового квазисинхронизма: измерена форма резонансов, соответствующих различным видам синхронизма, зависящим от поляризации излучения. Продемонстрирована возможность применения самосканирующего лазера в качестве источника накачки при параметрическом преобразовании в двулучепреломляющих фотонно-кристаллических световодах [3, 4].

Исследована точность определения длины кольцевого резонатора бриллюэновского волоконного лазера. Метод основан на измерениях резонансных свойств кольцевого резонатора при использовании перестраиваемого лазера накачки и позволяет вычислить необходимую величину укорочения длины резонатора для одновременного обеспечения резонансных условий на длинах волн накачки и генерации вблизи заданной длины волны. Найденная оптимальная длина существенно уменьшает порог генерации бриллюэновского лазера.

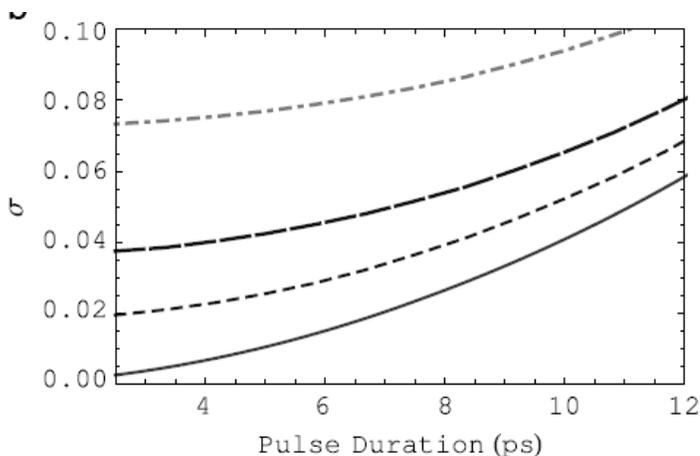
*(Лаборатория волоконной оптики)*

1. Lobach I. A., Kablukov S. I., Podivilov E. V., Babin S. A. Self-scanned single-frequency operation of a fiber laser driven by a self-induced phase grating // *Laser Phys. Lett.* – 2014. – V. 11. – № 4. – P. 045103 (6 p.).

2. Лобач И.А., Каблуков С.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Волоконный лазер с самосканированием частоты: физические принципы и применения // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014). Матер. семин. – 2014. – С. 49 – 50.
3. Злобина Е.А., Лобач И.А., Каблуков С.И. Параметрическое преобразование частоты при накачке узкополосным волоконным самосканирующим лазером. // Там же. – С. 88 – 89.
4. Донцова Е.И., Каблуков С.И., Лобач И.А., Бабин С.А., Corbari С., Казанский П.Г., Гладышев А.В., Дианов Е.М. Непрерывная генерация второй гармоники в области 515 нм в волоконных световодах // Там же. – С. 132 – 133.

*Исследование новых форматов передачи данных с фазовой модуляцией (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Шапиро Д.А.).*

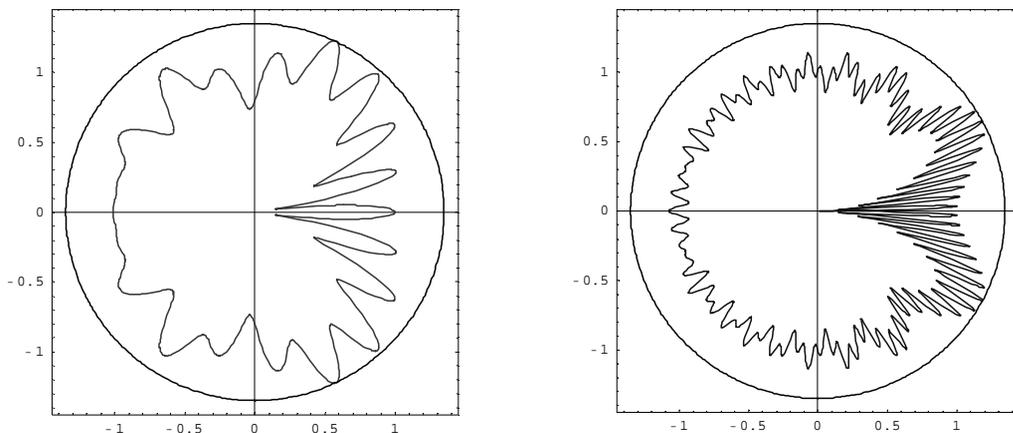
Современные линии связи используют когерентное детектирование совместно с найквистовским профилем сигнала. Такое сочетание обеспечивает пропускную способность линии, близкую к пределу Шеннона. Обычно считается, что источником ошибок служит гауссов шум. В настоящей работе проанализированы другие источники искажения сигнала: неидеальный прямоугольный оптический фильтр на приемной стороне, ненайквистовская форма сигнала и сдвиг точки детектирования от центра частотной полосы. Найдены дисперсия и диаметр облака на констелляционной диаграмме (рис. 2.30). Показано, что при отношении сигнал / шум выше 11 дБ рассмотренные источники становятся главными. Результаты можно применить не только к линиям формата QPSK, но и 8-PSK, 16-PSK и т. п. [1]



**Рис. 2.30.** Среднеквадратичное отклонение сигнала для фильтра шириной  $b = 40$  (сплошная линия), 39.5 (пунктир), 39 (длинные штрихи), 38 ГГц (штрих-пунктир)

Найдена аналитическая формула для вычисления фазовых сдвигов гармоник с эквидистантными пространственными частотами относительно друг друга с целью уменьшения пикового значения. Сумма этих гармоник в случае волоконной брэгговской решетки описывает отклонение показателя преломления сердцевины волокна от среднего значения, и при достаточно большом количестве гармоник (каналов фильтрации) требуе-

мое максимальное отклонение показателя преломления может превысить технически достижимое, отсюда возникает задача оптимизации многоканального фильтра. На рис. 2.31 в полярных координатах приведен модуль суммы гармоник (комплексных экспонент), нормированный на квадратный корень из числа этих гармоник, для различного числа каналов. Показано, что максимальное пиковое значение пропорционально квадратному корню из числа гармоник. Полученный метод позволил выполнить оптимизацию фильтра с числом каналов более 100, что труднодостижимо при выполнении существующими численными методами из-за большого числа необходимых итераций [2].



**Рис. 2.31.** Модуль суммы гармоник в экспоненциальной форме, нормированный на корень из их количества, для 25 каналов (слева) и 100 каналов (справа) в полярных координатах

*(Лаборатория фотоники)*

1. Shapiro E.G., Shapiro D.A. Imperfect narrow filtering in optical links with phase modulation // Optics Communications – 2014 – V. 320. – P. 27 – 32.
2. Nemykin A.V., Shapiro D.A., Perminov S.V. Analytic Solution for Multichannel Fiber BraggGrating // 16th Int. Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). Technical Program. – 2014. – ThR1-31.

**Проект П.10.2.5. Исследование организации и функциональных свойств наноструктурированных сред оптическими методами. № гос. рег. 01201365448.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория спектроскопии конденсированных сред** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.).

**Лаборатория физики лазеров** (ответственные исполнители д.ф.-м.н. Плеханов А.И., к.ф.-м.н. Атутов С.Н.).

**Тематическая группа нелинейной оптики**(ответственный исполнитель д.ф.-м.н.Заболотский А.А.).

**Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Косцов Э.Г.).

Научный руководитель **д.ф.-м.н. Малиновский В.К.**

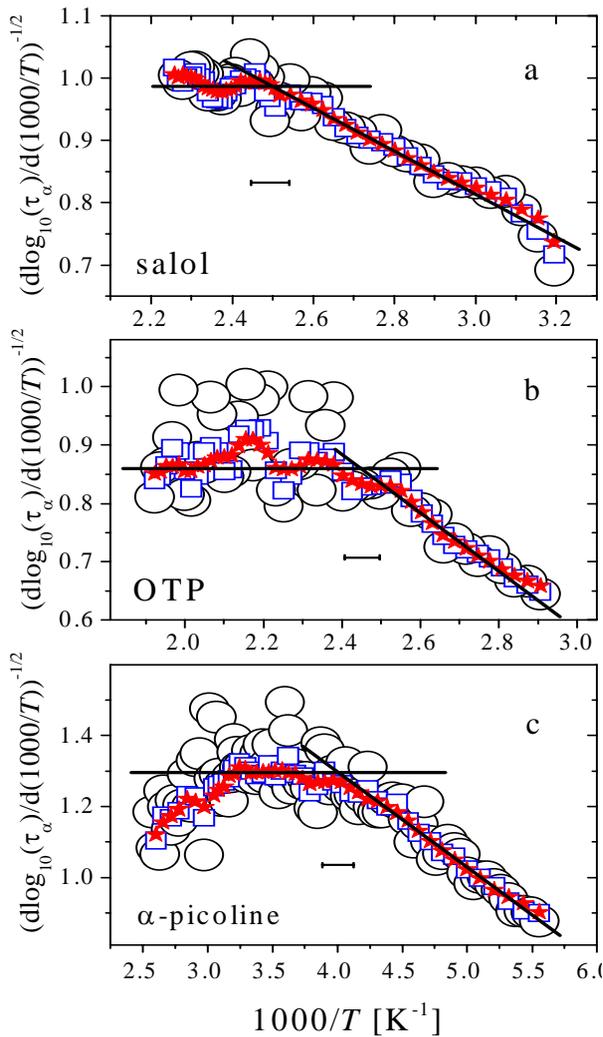
*Исследование спектров деполяризованного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в стеклующихся жидкостях вблизи  $T_A$  (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.).*

Закончено детальное исследование поведения альфа-релаксации в трех органических молекулярных стеклующихся веществах: салоле, орто-терфениле и альфа-пиколине. Традиционные методики (дифракция рентгеновских лучей, дифракция нейтронов) не обнаруживают каких-либо изменений в структурных особенностях стеклующегося материала в жидкой фазе. Для их обнаружения в наших экспериментах были использованы методы релеевского рассеяния света.

Спектральная форма восприимчивости и значение времени альфа-релаксации  $\tau_\alpha(T)$  были получены из измеренных спектров деполяризованного рассеяния света как функции температуры. Статистическая погрешность определения времени релаксации не превышала 1 % и была в 10–20 раз меньше, чем в предыдущих измерениях этих стеклующихся жидкостей. Высокая точность определения  $\tau_\alpha(T)$  позволила детально изучить переход от термоактивационного (аррениусовского) к нетермоактивационному (неаррениусовскому) поведению  $\tau_\alpha(T)$ . При описании неаррениусовского поведения законом Фогеля – Фулчера – Таммана этот переход происходит в интервале 15 К для всех исследованных жидкостей. Рис. 2.32 иллюстрирует температурную зависимость эффективного энергетического барьера для исследованных жидкостей. Температурно-независимое поведение соответствует аррениусовскому поведению, а ли-

нейная зависимость  $\left(\frac{\partial \log_{10} \tau_\alpha}{\partial 1000/T}\right)^{-1/2}$  относительно  $1/T$  – зависимости Фогеля – Фулчера – Таммана. Из рисунка можно сделать вывод, что термоактивационное (аррениусовское) поведение для температурной зависимости альфа-релаксации сменяется ФФТ-подобным поведением. В представлении, показанном на рисунке, этим поведением соответствуют постоянная и наклонная прямые линии. Точка пересечения этих линий определяет температуру перехода  $T_A$ .

Теоретический анализ показал, что большинство известных модельных описаний  $\tau_\alpha(T)$  не способны описать такой переход. Нами показано, что из непрерывных (аналитических) функций, предсказываемых известными моделями, лишь феноменологическое выражение, предложенное в работе [Schmidtke et al, Phys. Rev. E, 2012, v. 86, 041507], согласуется с нашими экспериментальными результатами для  $\tau_\alpha(T)$ . Хорошо описывает экспериментальные результаты модель фрустрационно-ограниченных доменов [Kivelson et al, Phys. Rev. E, 1996, v. 53, 751], которая включает в себя разрывный переход (разрыв для производной по температуре) от аррениусовского поведения к неаррениусовскому.



**Рис. 2.32.** Температурная зависимость

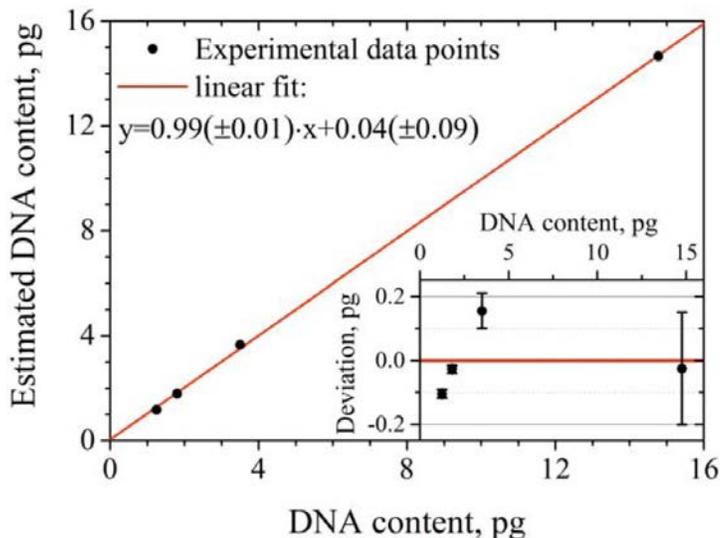
$$\left( \frac{\partial \log_{10} \tau_{\alpha}}{\partial 1000/T} \right)^{-1/2} \text{ относи-}$$

тельно 1000/T для салола (a), орто-терфенила (b) и альфа-пиколина (c). Кружки, квадраты и звездочки соответствуют разным температурным интервалам усреднения при дифференцировании (2, 4, 8 К соответственно). Линии соответствуют аррениусовскому поведению (горизонтальные линии) и поведению Фогеля – Фулчера – Таммана

Формально такой переход является фазовым переходом второго рода. Наши данные по  $\tau_{\alpha}(T)$ , представленные на рис. 2.32, свидетельствуют, что вблизи температуры перехода от аррениусовского к неаррениусовскому поведению характер температурной зависимости  $\tau_{\alpha}(T)$  близок к фазовому переходу второго рода. Предложено связать это явление с возникновением локальных динамических кластеров при охлаждении стеклующегося материала ниже температуры перехода от аррениусовского к неаррениусовскому поведению  $\tau_{\alpha}(T)$ . Результаты исследования температурной зависимости альфа-релаксации в салоле, орто-терфениле и альфа-пиколине изложены в работе [1].

Разработана и реализована методика определения массы ДНК клеток крови. Эта методика основана на измерении и анализе спектров комбинационного рассеяния света (КРС) ядер клеток и позволяет избежать проблем, связанных с неоднородностью специфического связывания меток в распространенных традиционных методиках. Количественный анализ вклада ядерного ДНК был проведен по интенсивности фосфатной мо-

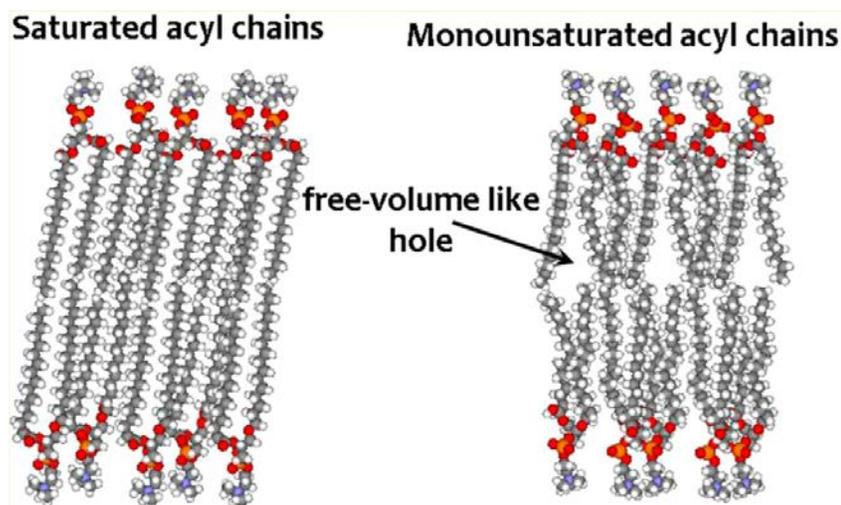
ды около  $1096 \text{ см}^{-1}$ . При сравнении с известными стандартами массы ДНК животных показано, что предлагаемый метод имеет погрешность не выше 10 % и может быть улучшен при соответствующей модернизации установки. На рис. 2.33 представлено сравнение измеренных масс ДНК по спектрам КРС относительно стандартов для курицы, тритона, человека и данио. Линия соответствует подгонке линейной функцией. На вставке показано отклонение экспериментальных данных от линейной подгонки. В соответствии с рисунком можно сделать вывод о хорошем согласии измеренных и истинных величин. Результаты исследования спектров ДНК опубликованы в работе [2].



**Рис. 2.33.** Корреляция между измеренными и литературными значениями для массы ДНК в клетках крови различных видов животных (кружки). Линия соответствует подгонке с параметрами, указанными в легенде. На вставке показано отклонение массы, найденной из эксперимента КРС, от истинного значения

Изучены спектры КРС синтетических клеточных мембран из насыщенного (DPPC) и ненасыщенного (POPC) липидных слоев как функция температуры (25–320 К). Получен ответ на вопрос – как влияет добавление холестерина на температурную зависимость мод, отражающих конформационное состояние ацильной цепи (С-С колебание), и на интенсивность асимметричной растягивающей  $\text{CH}_2$  моды, которая чувствительна к межцепочечному взаимодействию. Показано, что интенсивность этих мод падает с ростом температуры, отражая уменьшающуюся гибкость цепей. В случае насыщенного липида DPPC это уменьшение начинает ярко проявляться при температурах выше 200 К вне зависимости от содержания или отсутствия холестерина. Для липида POPC, содержащего одну ненасыщенную (двойную) связь, падение интенсивности С-С мод также начинается с температур порядка 200 К, в то время как уменьшение интенсивности асимметричной  $\text{CH}_2$  моды наблюдается уже со 100 К. Добавление холестерина не влияет на поведение С-С мод, но существенно изменяет температурное поведение  $\text{CH}_2$  мод. С холестерином падение ин-

тенсивности  $\text{CH}_2$  мод в случае РОРС наблюдается, начиная с 200 К. Таким образом, введение холестерина не оказывает влияния на поведение мембраны, состоящей из насыщенного липида, а в случае мембраны из ненасыщенного липида влияет на межцепочечное взаимодействие липидных цепей, делая его похожим на случай насыщенного липида. Полученный результат объясняется наличием дырок свободного объема в случае РОРС, возникающих из-за невозможности плотной упаковки ацильной цепи с изгибом, созданным наличием двойной связи. Схематическая иллюстрация этой интерпретации приведена на рис. 2.34. Холестерин заполняет дырки свободного объема и делает температурное поведение ненасыщенного липида схожим с поведением насыщенного [3].



**Рис. 2.34.** Схематическое изображение бислоидной мембраны в случае насыщенного липида (DPPC, слева) и липида с одной ненасыщенной связью (справа). Стрелкой показана область, соответствующая образованию дырки свободного объема

*(Лаборатория спектроскопии конденсированных сред)*

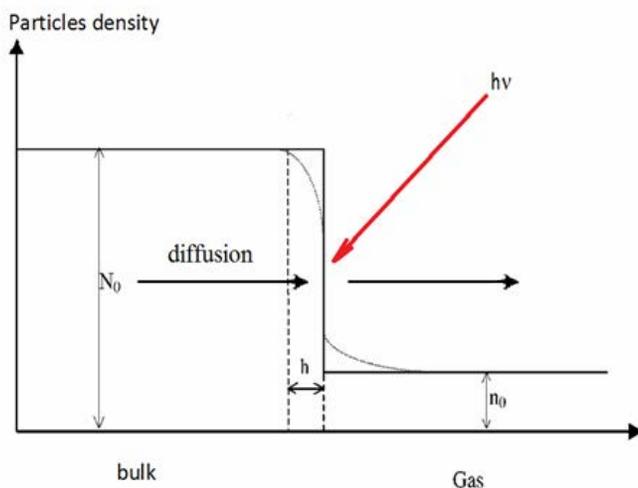
1. Popova V. A., Surovtsev N. V. Transition from Arrhenius to non-Arrhenius temperature dependence of structural relaxation time in glass-forming liquids: Continuous versus discontinuous scenario // *Physical Review E*. – 2014. – V. 90. – P. 032308 (8 p.).
2. Okotrub K. A., Surovtsev N. V., Semeshin V. F., Omelyanchuk L. V. Raman spectroscopy for DNA quantification in cell nucleus // *Cytometry A*. – 2014. – doi: 10.1002/cyto.a.22585. P. 68–73 (6 p.).
3. Surovtsev N.V., Dzuba S.A. Flexibility of phospholipids with saturated and unsaturated chains studied by Raman scattering: The effect of cholesterol on dynamical and phase transitions // *Journal of Chemical Physics*. – 2014. – V. 140. – P. 235103 (7 p.).

*Экспериментальное исследование процесса стеклования ПДМС компаунда методом фотодесорбции молекул (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Плеханов А.И., к.ф.-м.н. Атутов С.Н.).*

Экспериментально обнаружено новое физическое явление – фотоэкстракция молекулярных газов из объёма полимерной плёнки. Суть яв-

ления заключается в отделении молекул под действием света от поверхности полимерного слоя. При этом на процесс десорбирования частиц сильное влияние оказывает подповерхностная диффузия молекул.

Фотоэкстракция 23-х молекулярных газов с поверхности полидиметилсилоксановой (ПДМС) плёнки, представляющей собой в высокой степени пористую среду с криогенной температурой стеклования, была исследована в условиях ультравысокого вакуума методом масс спектроскопии [1, 2]. Как следует из рис. 2.35, приповерхностный слой используемого полимера (совместно с его поверхностью) играть роль большого контейнера, содержащего значительное количество абсорбированных и накопленных частиц  $N_0$ , которые могут быть быстро экстрагированы с помощью облучения ( $h\nu$ ) этого полимера.

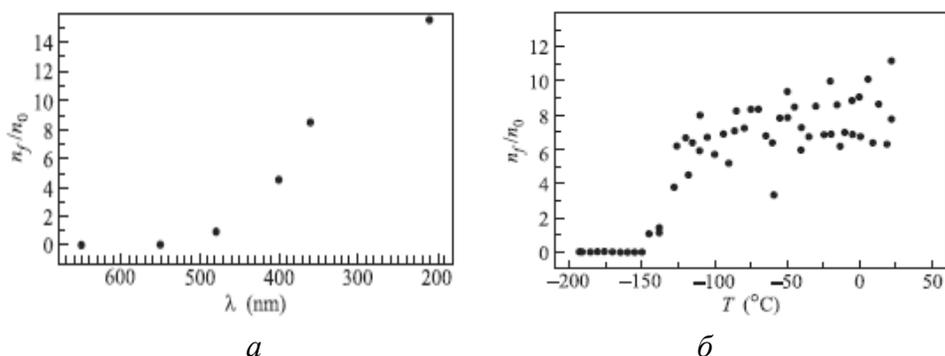


**Рис. 2.35.**  $N_0$  – плотность молекул в полимерной плёнке,  $n_0$  – плотность молекул в газовой фазе,  $h$  – толщина поверхностного слоя, стрелки обозначают потоки фотоэкстрагируемых молекул в плёнке и в газовой фазе,  $h\nu$  – поток фотонов

Обнаруженное явление не связано с тривиальным нагревом светом объёма поглотителя и имеет, по-видимому, в своей основе более сложную природу. В частности, зависимость эффекта фотоэкстракции от частоты падающего света, по аналогии с явлением фотоэффекта, имеет «красную границу» (рис. 2.36, *a*). Измеренная «красная граница» эффекта фотоэкстракции (550 нм) и зарегистрированная её линейная зависимость от интенсивности десорбирующего излучения свидетельствует о нетепловой природе эффекта. Эффект резко возрастает при увеличении температуры выше температуры стеклования используемого полимера (рис. 2.36, *б*). Сравнение температур активации фотоэкстракции для этана ( $-135^\circ\text{C}$ ), для атомов натрия ( $-10^\circ\text{C}$ ) и рубидия ( $0^\circ\text{C}$ ) дало возможность сделать заключение, что при температуре стеклования ( $T_g$ ) полидиметилсилоксановой плёнки, равной  $-125^\circ\text{C}$ , доля свободного объёма полимера достигает минимального значения, при котором прижатая со всех сторон частица не может поступательно перемещаться относительно соседних частиц к поверхности компаунда, а способна только совершать колебания

около равновесного положения в глубине плёнки. При температурах, меньших ТС, материал плёнки переходит в твердое стеклообразное состояние и поэтому процесс фотоэкстракции частиц прекращается [3].

Эффект фотоэкстракции молекул может быть использован для создания управляемых излучением мощных источников атомов и молекул, а также для радикального увеличения чувствительности существующих сенсоров [4].



**Рис. 2.36.** *a* – относительное изменение плотности газа пропена ( $C_3H_6$ ) в зависимости от длины волны света; *б* – относительное изменение плотности газа этана ( $C_2H_6$ ) в зависимости от температуры

(Лаборатория физики лазеров)

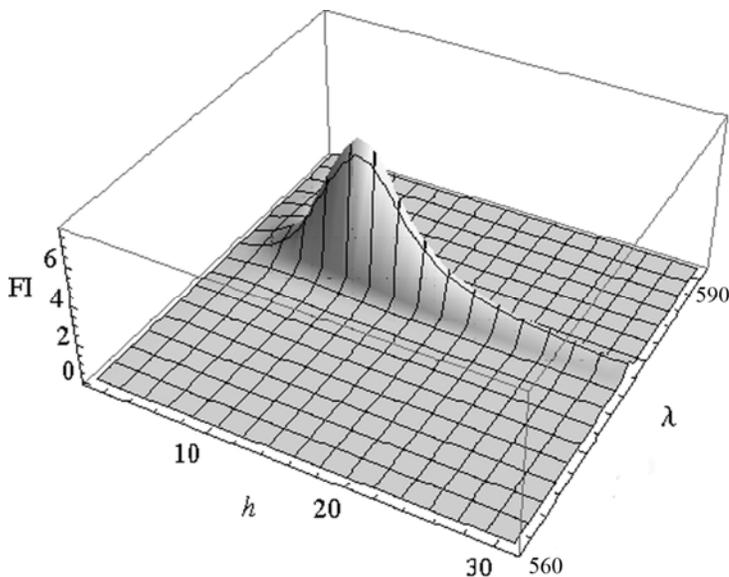
1. Atutov S. N., Danilina N. A., Mikerin S. L., Plekhanov A. I. Pulsed light desorption of molecular nitrogen from a glass surface // Optics Communications. – 2014. – V. 315. – P. 362 – 366.
2. Атутов С. Н., Данилина Н. А., Плеханов А. И., Потешкина К. Д. Фотоэкстракция молекулярных газов из полимерной органической пленки // Письма в ЖЭТФ. – 2014. Т. 99. – № 11. – С. 766 – 770.
3. Atutov S. N., Calabrese R., Plekhanov A. I., Tomassetti L. Diffusion and photodesorption of molecular gases in a polymer organic film // The European Physical Journal D. – 2014. – V. 68. – № 1. – P. 6 – 10.
4. Пат. на изобретение RU 2505807 C2. Способ увеличения концентрации примесей, выделяемых из газовой смеси / С. Н. Атутов, А. И. Плеханов; заявитель и патенто-обладатель ИАиЭ СО РАН, Атутов С. Н., Плеханов А. И.; заявл. 25.01.2012; опубл. 27.01.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 3.

*Развитие теории эволюции и преобразования электромагнитного поля в композитных средах с J-агрегатами красителей, молекул белка и наночастицами металлов разной формы (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Заболотский А.А.).*

Проведено исследование условий формирования плазмон-поляритонных импульсов и переноса энергии в системе, состоящей из наночастиц (НЧ) серебра и J-агрегатов красителя, моделируемых двухуровневой средой. Такие композитные среды, включающие НЧ и супрамолекулярные структуры, обладают особыми нелинейными характеристиками, которые можно применить при конструировании новых оптических материалов и устройств. Показано, что локальное поле индуцированного

диполя НЧ может формировать энергетическую ловушку для экситонов [1].

Изучено влияние локальных полей индуцированных диполей металлических наночастиц, расположенных вблизи длинных молекулярных цепочек J-агрегатов красителей на формирование экситонных возбуждений. Выведены уравнения динамики экситона, учитывающие изменение величин диполей мономеров под действием локального возбуждения молекулы внешним постоянным и переменным полями. Показано, что в окрестности наночастицы реализуется локальная бистабильная зависимость амплитуды возбуждения от амплитуды внешнего переменного поля. Численный анализ уравнений показал, что для некоторых направлений поля, начальных положений и скоростей экситонные возбуждения локализуются в окрестности наночастиц. Для выборочного локального взаимодействия части длинной молекулы с металлической наночастицей найдено выражение для спектральной плотности флуоресценции с учетом поляризации, расстояния до НЧ, анализ которого и сравнении с экспериментальными данными позволил выявить ряд характеристик среды, в частности, найти число мономеров, эффективно взаимодействующих с наночастицей [2]. На рис. 2.37 приведена теоретически найденная и подтвержденная экспериментально зависимость интенсивности флуоресценции FI от расстояния  $h$  (нм) пучка J-агрегатов псевдо-изоцианина до поверхности НЧ золота с радиусом 8.5 нм и длины волны (нм).



**Рис. 2.37.** Зависимость интенсивности флуоресценции композитной среды от длины волны  $\lambda$  (нм) и расстояния  $h$  (нм) между НЧ и пучком J-агрегатов (Тематическая группа нелинейной оптики)

1. Заболотский А. А. Динамика экситонов в молекулярных агрегатах красителя вблизи металлических наночастиц // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 4. – С. 700 – 710.

2. Sorokin A. V., Zabolotskii A. A., Pereverzev N. V., Yefimova S. L., Malyukin Y. V., and Plekhanov A. I. Plasmon controlled exciton fluorescence of molecular aggregates // The Journal of Physical Chemistry C. – 2014. – V. 118. – № 14. – P. 7599–7605.

*Исследование особенностей формирования управляемых электрическим полем нанометровых зазоров в тонкопленочной структуре подвижный электрод – диэлектрик – электрод (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Косцов Э.Г.).*

Разработка ВЧ-фильтров и генераторов частоты на частоты 3–10 ГГц и более является одним из основных направлений при построении современных СВЧ-устройств с использованием глобального стандарта цифровой мобильной сотовой связи, GSM, модулей высокоскоростной беспроводной связи с малой дальностью, Bluetooth, создании динамически перестраиваемых малогабаритных и многополосных антенн и т. п. Частота  $f$  функционирования указанных устройств на базе полупроводников в настоящее время составляет 2.4–4 ГГц. При дальнейшем росте  $f$  полупроводниковые элементы становятся неэффективными из-за больших потерь и нелинейности сигналов. Линейность является очень критическим фактором для всех элементов, непосредственно соединенных с антенной, поскольку невозможно компенсировать искажения переданного сигнала.

Наиболее простые, базовые, элементы СВЧ MEMS: микроконсоли, микробалки, механические микрорезонаторы. Их работа с высокой точностью описывается классическими уравнениями для механических систем с микрометровыми размерами. Такие размеры дают возможность достижения механических колебаний на резонансных частотах до 1 ГГц с высокой добротностью до  $10^5$  и более, что существенно выше добротности электромагнитных контуров. Характеристики ВЧ-MEMS-переключателей уже значительно превосходят характеристики переключателей на р-і-п-диодах или полевых транзисторах.

В последние годы сформировалось новое научное направление, связанное с разработкой наноразмерных резонаторов, НМР. На их основе экспериментально достигнута частота колебаний в 1 ГГц. Однако величина напряжённости поля в нанозазоре между двумя электродами, один из которых подвижный, ограничена электрическим пробоем. Это ограничивает силу, действующую на подвижный электрод и, таким образом, максимальные частоты его колебания, массу и размеры.

Возможны два пути дальнейшего увеличения резонансной частоты механического резонатора для гигагерцового диапазона: либо уменьшение массы микровибратора, либо увеличение жесткости,  $K$ , упругого элемента. Второй путь дает возможность увеличения размеров подвижной пластины, ПП.

Использование упругих элементов с высоким значением  $K$  делает производство микрорезонатора более технологичным, оставляя его размеры в микрометровом диапазоне.

В процессе выполнения данного этапа работы проведено исследование возможности создания на основе резонаторов с новой конструкцией и с нанометровыми зазорами СВЧ устройств гигагерцового диапазона. Эта конструкция основана на размещении ПП в сильном электрическом поле вблизи границы подраздела двух диэлектрических сред (одна из них – воздушный или вакуумный зазор) с большим соотношением диэлектрических проницаемостей (более 1000).

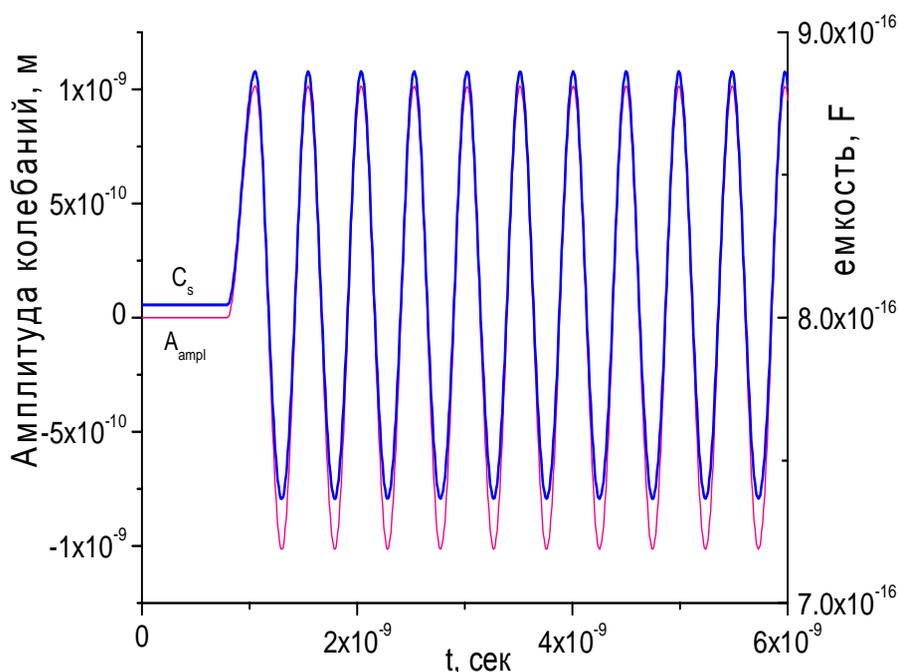
Рассматривалась следующая структура: электрод – сегнетоэлектрик с большим значением диэлектрической проницаемости – нанозазор – подвижный электрод. В такой конструкции основная часть прикладываемого к ней напряжения приходится на нанозазор. В реальных экспериментах достигнута средняя по площади подвижного электрода величина зазора 10–30 нм с учетом шероховатости поверхностей, она может изменяться под действием электрического поля. Электрического пробоя такого зазора не происходит, поскольку последовательно с ним размещается пленка диэлектрика с высокой электрической прочностью (до  $10^8$  В/м) и большим электрическим сопротивлением.

В рассматриваемой конструкции микроактюатор, задающий движение ПП, обладает высокой удельной энергоемкостью  $A_{уд}$ , до  $1–10$  Дж/м<sup>2</sup> и более, он развивает силу до  $10^6–10^7$  Н/м<sup>2</sup>, что на несколько порядков выше, чем в широко используемых MEMS-актюаторах, в которых  $A_{уд}$  не превышает значения  $0.01$  Дж/м<sup>2</sup>. С такими значениями  $A_{уд}$ , как показывают оценки, даже с нанометровыми размерами ПП трудно получить частоту его колебаний, близкую к 1 ГГц.

В исследуемых структурах для возбуждения собственных колебаний ПП возможно применение высоких напряженностей электрических полей, способных «раскачать» ее колебания при большой жёсткости упругого элемента и, следовательно, при большой массе и микрометровых размерах этой пластины.

Для описания особенностей функционирования указанных структур в гигагерцовом диапазоне частот созданы, совместно с сотрудниками ИМ СО РАН, физико-математические модели микрорезонаторов с соответствующими пакетами программ, проведено численное моделирование особенностей работы СВЧ MEMS-структур в диапазоне частот до 10 ГГц и более [1–4]. На рис. 2.38 представлен один из результатов такого моделирования с учетом реально достижимых при экспериментальных исследованиях параметров указанных структур и с учетом закрепления ПП на двух микробалках длиной 10 мкм.

Получены аналитические оценки, устанавливающие связь частоты и амплитуды колебаний ПП с величиной  $A_{уд}$ . Определено минимальное значение  $A_{уд}$ , обеспечивающее запуск собственных колебаний конкретного резонатора с заданной частотой и амплитудой колебаний ПП.



**Рис. 2.38.** Численное моделирование особенностей работы СВЧ NEMS-структур:  $f = 12.8$  ГГц, площадь подвижного элемента  $S = 1 \times 1$  мкм<sup>2</sup>, его масса  $m = 5 \times 10^{-16}$  кг, протяженность зазора 10 нм, толщина сегнетоэлектрической пленки  $d = 1$  мкм,  $\epsilon = 1000$ ,  $V_{\text{имп}} = 32$  В, коэффициент упругости  $K = 8 \times 10^{16}$  Н/м<sup>3</sup>, удельная сила запуска колебаний ПП  $6 \times 10^7$  Н/м<sup>2</sup>

Проведена оценка предельной частоты  $f_{\text{max}}$  при фиксированной массе ПП и максимально возможной  $A_{\text{уд}}$ . В частности, исходя из того, что удельная энергоёмкость в указанных структурах с зазором в 10–30 нм может достигать значений до 15 Дж/м<sup>2</sup> и более, при напряжениях 200–300 В, что установлено экспериментально, можно оценить значение  $f_{\text{max}}$ , при указанных на рис. 2.38 параметрах структуры, как 100–120 ГГц. Ограничивающим  $f_{\text{max}}$  фактором является скорость звука в материале ПП, для достижения более высокой частоты основной моды колебаний уже необходимо снижение размеров элемента.

*(Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур)*

1. Косцов Э.Г., Фадеев С.И. Микроэлектромеханические резонаторы для гигагерцовых частот // Материалы конференции «Фундаментальные основы МЭМС и нанотехнологий» (Новосибирск, Россия, 6–8 июня 2012). – 2012. – С. 220 – 225.
2. Косцов Э.Г., Фадеев С.И. Новые микроэлектромеханические резонаторы для гигагерцовых частот // Автометрия. – 2013. – Т. 49. – № 2. – С. 115 – 122.
3. Косцов Э.Г., Фадеев С.И. О функционировании СВЧ микромеханического резонатора // Сибирский журнал индустриальной математики – 2013. – Т. XVI. – № 4 (56). С. 75 – 86.
4. Косцов Э. Г., Фадеев С. И, Пиманов Д. О. Численное исследование математических моделей микроэлектромеханических резонаторов разного типа // Там же. – Т. XVII. – № 4 (60). – С. 120 – 135.

**Проект П.10.2.6. Исследование динамики формирования пространственно-временных структур при взаимодействии полей с фоторефрактивными, оптоволоконными и наноструктурированными средами. № гос. рег. 01201363760.**

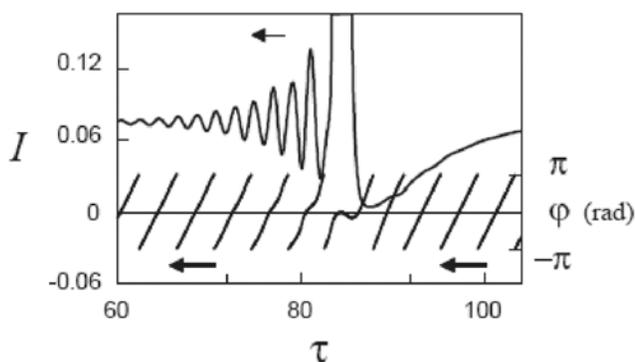
Исполнители проекта:

**Лаборатория нелинейной физики** (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Смирнов Г.И., д.ф.-м.н. Стурман Б.И.).

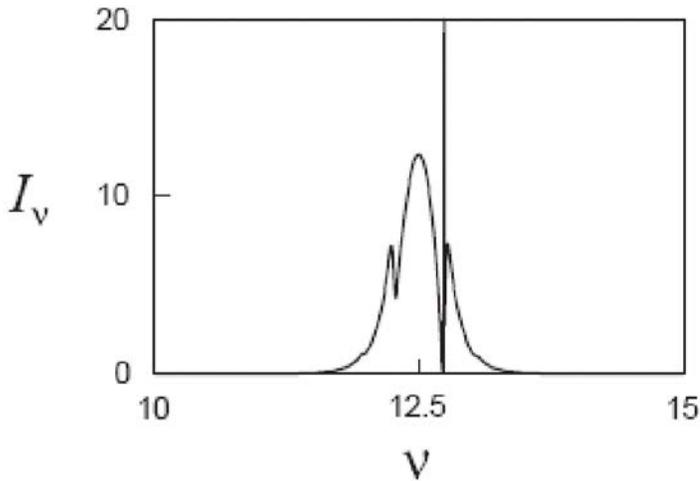
Научный руководитель **д.ф.-м.н. Комаров К.П.**

*Исследование режимов пассивной синхронизации мод волоконных лазеров, управляемой инжектируемым монохроматическим излучением (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Смирнов Г.И.).*

На основе численного моделирования показано, что нелинейное взаимодействие лазерного солитона и инжектируемой монохроматической непрерывной волны приводит к синхронизации их фаз [1]. Как следствие, скорость солитона начинает зависеть от амплитуды и частоты инжектируемого излучения (рис. 2.39). Установлено, что при совпадении частоты внешнего сигнала с частотой дисперсионных волн, излучаемых солитонами в лазерах с сосредоточенными внутрирезонаторными элементами и формирующих спектральные пики Келли (рис. 2.40), возникает механизм управления взаимодействием солитонов на больших расстояниях. Этот механизм связан с интерференцией инжектируемой волны и излучаемых солитонами дисперсионных волн, через которые реализуется взаимодействие солитонов на больших расстояниях. Продемонстрировано возникновение механизма отталкивания солитонов друг от друга, через который реализуется гармоническая пассивная синхронизация лазерных мод (многоимпульсная генерация с эквидистантным расположением идентичных импульсов в лазерном резонаторе). Полученные результаты находятся в хорошем качественном согласии с результатами экспериментальных исследований режимов пассивной синхронизации мод волоконных лазеров с инъекцией монохроматического излучения [2–4].



**Рис. 2.39.** Распределение интенсивности  $I(\tau)$  и фазы  $\phi(\tau)$  результирующего излучения в окрестности солитонного пьедестала. Стрелками показано направление движения солитона и фазовых фронтов инжектируемого излучения в условиях их резонансного взаимодействия



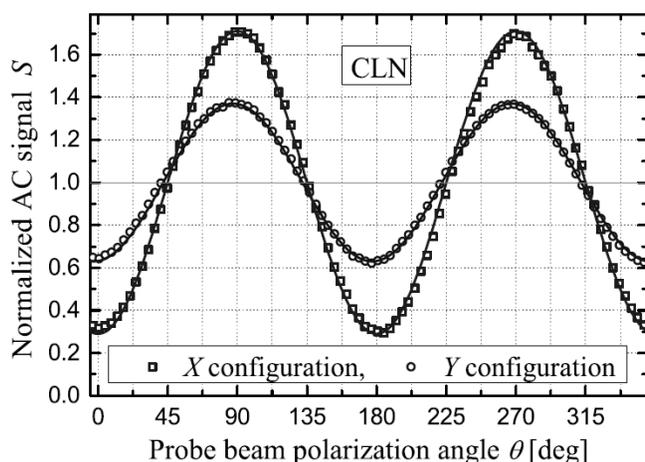
**Рис. 2.40.** Спектральное распределение излучения. Резонансное взаимодействие реализуется при совпадении частоты инжектируемого излучения с частотой одного из пиков Келли

(Лаборатория нелинейной физики)

1. Komarov A., Komarov K., Niang A., Sanchez F. Nature of soliton interaction in fiber lasers with continuous external optical injection // Phys. Rev. A. – 2014. – V. 89. – P. 013833 (6 p.).
2. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Harmonic mode-locking in a fiber laser through continuous external optical injection // Opt. Commun. – 2014. – V. 312. – №1. – P. 1 – 6.
3. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Control of soliton pattern through continuous external injection // Proceedings of SPIE Conference Photonics Europe, Nonlinear Optics and its Applications VIII (Brussels, Belgium, April 14–16, 2014). – V. 9136. – 2014. – P. 91361A.
4. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Control of harmonic mode-locking in a fiber laser by continuous external optical injection // Proceedings of 16th International Conference on Transparent Optical Networks ICTON 2014 (Graz, Austria, July 6–10, 2014). – 2014. – P. 1 – 4.

*Исследование плазмонных свойств металло-диэлектрических 3D-наноструктур, обладающих заострениями формы; расчеты частот и модовой структуры для дисковых оптических микрорезонаторов типа шепчущей галереи (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Стурман Б.И.).*

Показано экспериментально и теоретически, что нагрев оптически прозрачных изначально изотропных материалов маломощными непрерывными световыми пучками индуцирует сильную оптическую анизотропию. Эта анизотропия является результатом одноосных термооптических напряжений и эластооптического эффекта. Рассмотрены случаи стёкол и кристаллов ниобата лития (рис. 2.41). Найденный эффект важен для развития методов анализа свойств малого поглощения в оптически прозрачных материалах.



**Рис. 2.41.** Сравнение экспериментальных и теоретических результатов по угловым зависимостям АС сигнала для кристаллов ниобата лития

Дан обзор нелинейных эффектов в оптических микрорезонаторах типа шепчущей галереи, таких как генерация второй гармоники, параметрическая генерация, генерация оптических гребёнок. Данные эффекты отличает большая сила при малых мощностях оптической накачки [1].

Показано, что пересечение плазмонных ветвей наночастиц, отвечающих локализованным и суперлокализованным на остриях модам, приводит к их гибридизации, передаче энергии к остриям и гигантским эффектам локального усиления света [2–3].

*(Лаборатория нелинейной физики)*

1. Fieberg S., Sturman B., Kühnemann F., Buse K. Strong polarization effects in photothermal common-path interferometry // Opt. Lett. – 2014. – V. 39. – P. 3880.
2. Sturman B. Nonlinear phenomena with whispering gallery modes // 7th International conference «Solitons, Collapses and Turbulence» (Moscow, Russia, August 4–8, 2014). Technical Digest. – 2014. – P. 37.
3. Gorkunov M., Sturman B., Podivilov E. Field singularities and super-localized plasmons at sharp metal corners and tips // Proceedings of 8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics, 2014. – 2014. – P. 121 – 123.

**НАПРАВЛЕНИЕ IV.35. Когнитивные системы и технологии, нейроринформатика и биоинформатика, системный анализ, искусственный интеллект, системы распознавания образов, принятие решений при многих критериях.**

**ПРОГРАММА IV.35.1. Теоретические основы и технологии создания и применения интегрированных информационно-вычислительных систем для решения задач поддержки принятия решений. Координатор акад. РАН И.В. Бычков.**

**Проект IV.35.1.6 Научные основы, системные решения и программно-аппаратные средства совместной обработки многоспектральных и пространственных данных для информационной поддержки мониторинга природных и технических систем.**

№ гос. рег. 01201366865.

Исполнители проекта:

**Лаборатория информационной оптики** (ответственные исполнители: к.т.н. Борзов С.М., к.т.н. Козик В.И.).

**Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов** (ответственный исполнитель д.т.н. Гибин И.С.).

**Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессоров** (ответственный исполнитель д.т.н. Нежевенко Е.С.).

**Тематическая группа информатики и прикладной математики** (ответственный исполнитель д.т.н. Лихачёв А.В.).

**Лаборатория интегрированных информационных систем управления** (ответственные исполнители: к.т.н. Лубков А.А., к.т.н. Бевзов А.Н., к.т.н. Будников К.И., д.т.н. Кирьянов В.П.).

**Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления** (ответственный исполнитель д.т.н. Зюбин В.Е.).

Научный руководитель д.т.н. **Потатуркин О.И.**

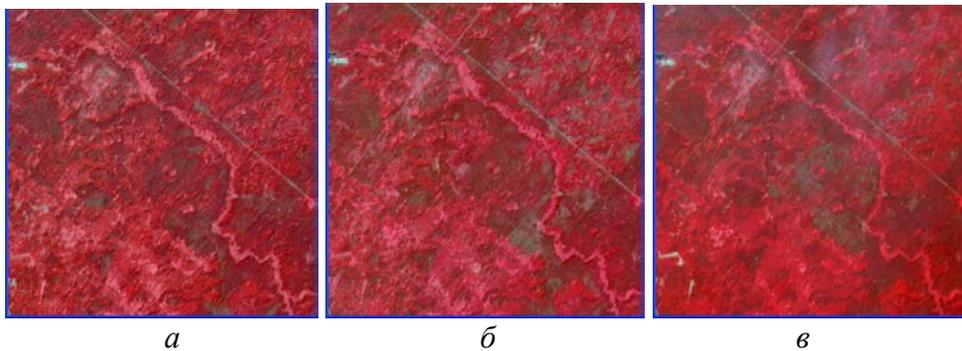
*Разработка и исследование методов обнаружения антропогенных изменений на поверхности Земли по спутниковым изображениям высокого и среднего разрешения. Исследование эффективности вейвлет-анализа в различных спектральных диапазонах при обнаружении вырубок по космическим снимкам (ответственные исполнители: к.т.н. Борзов С.М., к.т.н. Козик В.И.).*

Разработан метод и программно-алгоритмические средства для обнаружения по данным ДЗЗ среднего разрешения слабозначимых изменений на поверхности Земли, вызванных проведением выборочных рубок леса [1]. Метод основан на поблочном формировании диаграммы изменения яркости и определения карты изменений за счет выделения пикселей, отклонение которых от среднего в гистограмме прямого (вперед по времени) разброса превышает ширину гистограммы обратного (назад по времени) разброса. Эффективность метода продемонстрирована на примере обнаружения выборочных рубок Караканского бора по разновременным данным спутника SPOT 4.

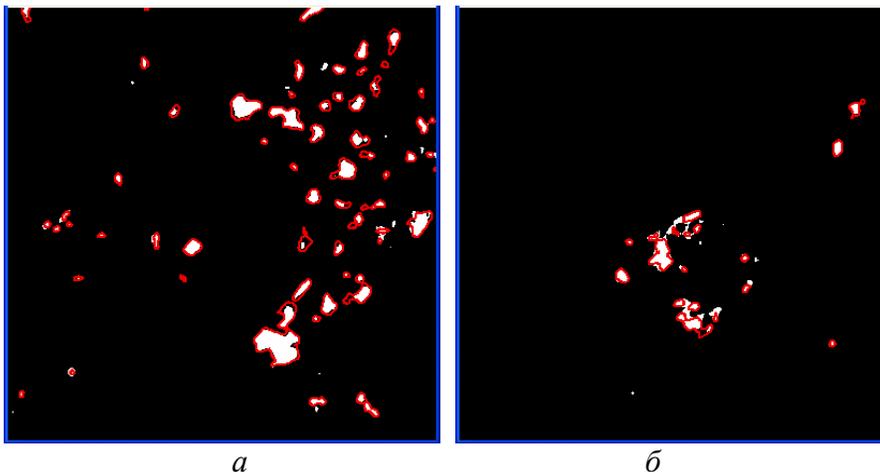
Исследование эффективности предложенного метода выполнено путем сравнения полученных карт изменений с маской, сформированной оператором в результате применения разностного алгоритма с подбором пороговых значений на основе визуального анализа качества обнаружения [2, 3]. Показано, что ошибка первого рода (пропуски) для различных изображений составляет от 10.2 до 26.4 %, ошибка второго рода (ложные обнаружения) – 0.24–0.27%.

При этом ошибки связаны в первую очередь с неточностью определения положения границ рубок. Факты же наличия рубки устанавливаются с точностью 93–95%. На рис. 2.42 приведены согласованные по яр-

кости фрагменты изображения 2008, 2011, 2012 годов. Данный участок территории содержит многочисленные слабо различимые нарушения растительного и почвенного покрова. На рис. 2.43 приведены белым цветом изменения, выделенные оператором, и в виде красных контуров изменения, выделенные предложенным автоматическим методом поиска при попарном сравнении изображений.



**Рис. 2.42.** RGB композит разновременных изображений



**Рис. 2.43.** Обнаруженные изменения: *а* – за 2008–2011 гг.; *б* – за 2011–2012 гг.

*(Лаборатория информационной оптики, Тематическая группа имитационно-моделирующих стендов)*

1. Борзов С. М., Потатуркин О. И. Обнаружение выборочных рубок леса по данным дистанционных измерений высокого пространственного разрешения // Исследование Земли из космоса. – 2014. – № 4. – С. 87 – 93.
2. Потатуркин О. И., Борзов С. М., Потатуркин А. О., Узилов С. Б. Обработка мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения при исследовании антропогенных и природных объектов // IV Всероссийская конференция «Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях» (г. Иркутск, Россия, 30 июня – 4 июля 2014). Иркутск: РИО ИДСТУ СО РАН, 2014. – 2014. – С. 58.
3. Борзов С. М., Узилов С. Б. Обнаружение слабо различимых антропогенных изменений на поверхности Земли по данным дистанционного зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 4. – № 1. – С. 125 – 130.

*Разработка методов прогнозирования динамических процессов на поверхности Земли, в том числе наводнений. Развитие методов вейвлет-преобразований в направлении методов эмпирических мод. Разработка принципов построения клеточных нейронных сетей для моделирования динамических процессов (ответственный исполнитель д.т.н. Нежевенко Е.С.).*

Разработан метод прогноза цунами (показаны способы его распространения и на другие динамические процессы на поверхности Земли) в условиях большой априорной неопределенности, когда получить достоверную информацию чрезвычайно трудно либо вследствие ее недоступности (подводный рельеф) либо изменчивости (ветер, течения). В то же время достаточно подробная информация о состоянии водной поверхности может быть получена с помощью высокочастотных HF-радаров с вертикальной поляризацией. При этом прогноз предлагается осуществлять в рамках нейросетевых технологий. Нейронная сеть – одна из наиболее удобных структур для реализации прогнозирования, поскольку ее главная особенность – способность к обучению – и обеспечивает решение этой задачи. Кроме того, нейронная сеть – достаточно универсальная структура, с помощью которой можно моделировать самые разнообразные процессы. Для ускорения процесса обучения используется Калмановская фильтрация, и окончательная структура прогноза выглядит следующим образом: дается прогноз функционирования сети на основе имеющейся информации, результат прогноза сравнивается с действительным развитием процесса, и при расхождении корректируются параметры нейронной сети так, чтобы она приближалась к правильному прогнозу.

Реальная схема прогноза цунами следующая. С помощью двух HF-радаров вычисляется поле скоростей в акватории, находящейся в некотором отдалении от защищаемого побережья. Затем с использованием нейросетевой идеологии рассчитывается поле скоростей водной среды для акватории, более близкой к защищаемому району. Далее радары измеряют поле скоростей в новой акватории, результаты измерения сравниваются с результатами расчета, и выявленная невязка используется для коррекции процедуры расчета, т. е. вносятся поправки в нейросетевую модель. Коррекция производится по алгоритму обобщенной фильтрации Калмана. Затем, с учетом произведенных поправок, рассчитывается поле скоростей для новой акватории, находящейся на направлении движения цунами к защищаемой территории и т. д. Таким образом, по мере приближения цунами его параметры все время уточняются, что позволяет более четко планировать защитные действия.

Эта идеология, основанная на принципе усвоения данных, может применяться и для прогноза других динамических процессов на поверхности Земли: пожаров, наводнений, разлива нефти [1, 2]. Различия заключаются в способе описания процесса тем или иным видом нейронной сети и в характере информации о динамическом процессе, получаемой от уст-

ройств наблюдения (для последних трех процессов – это аэро- или космические снимки).

Такой прогноз позволяет с максимальной эффективностью спланировать мероприятия, направленные на минимизацию вреда, наносимого природными или техногенными катастрофами, вызываемыми указанными процессами.

*(Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессоров)*

1. Нежевенко Е. С., Козик В. И., Феоктистов А. С. Прогнозирование развития лесных пожаров на основе аэрокосмического мониторинга // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 1 (4). – С. 377 – 384.
2. Козик В. И., Нежевенко Е. С., Феоктистов А. С. Исследование метода адаптивного прогнозирования развития лесных пожаров на основе рекуррентных нейронных сетей // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 4. – С. 88 – 95.

*Разработка методов локальной томографии в условиях нестационарного шума в проекционных данных. Теоретическое и экспериментальное исследование точности реконструкции области интереса от корреляционной функции шума. Исследование статистических свойств получаемых томограмм (ответственный исполнитель д.т.н. Лихачёв А.В.).*

Разработаны новые методы локальной томографии, в том числе для реконструкции по данным, содержащим шум с переменной дисперсией [1]. Предложен алгоритм решения задачи ROI (region of interest) томографии для очень важного с точки зрения практических приложений случая, когда известны только усечённые проекции, т. е. часть данных на каждом направлении сканирования отсутствует. Метод основан на условии Кавальери для преобразования Радона, которое связывает между собой моменты одномерных проекций, зарегистрированных под различными углами. Исходя из этой связи, строится система линейных алгебраических уравнений для оценки неизвестных значений проекционных данных. Такой подход к ROI-томографии применяется впервые.

Проведённые исследования показали, что применение предлагаемого метода позволяет значительно повысить точность реконструкции. Посредством вычислительного эксперимента получено, что при малых размерах области интереса (20–35% от размера исследуемого объекта) среднеквадратическая ошибка уменьшается в 2.0–2.9 раза. Когда радиус ROI составляет половину радиуса исследуемого объекта, то уменьшение ошибки реконструкции составляет примерно 30 %. Разработанный метод также позволяет ослабить артефакты, присутствующие в изображении, и даже получить оценку внутренней структуры вне ROI, как это видно из рис. 2.44.

Продолжена разработка статистических методов подавления артефактов в томографических изображениях [2]. Исследовано влияние корреляционной функции помех, содержащихся в проекционных данных, на точность томографической реконструкции. В качестве помех рассматривались белый шум, гауссовский шум и телеграфный сигнал. По результа-



**Рис. 2.44.** Область интереса (слева) и её томограммы: усечённые проекции (в середине), ошибка  $\Delta_{ROI} = 2.180$ ; проекции, восстановленные предлагаемым методом (справа),  $\Delta_{ROI} = 0.747$ ; 210 ракурсов наблюдения

там проведённого вычислительного эксперимента оказалось, что ошибка тем больше, чем больше дисперсия отфильтрованного шума. Последняя, в свою очередь, уменьшается с ростом ширины корреляционной функции. В частности, для телеграфного сигнала при её изменении от 5 до 100 шагов сетки ошибка упала от 1.222 до 0.335, т. е. почти в четыре раза. Этот результат не очевиден заранее, поскольку входящее в инверсию Радона интегрирование по углу, применённое к сильно коррелированному шуму, могло бы привести к возникновению регулярных структур в изображении, аналогичных по происхождению интерференционной картине, что негативно сказалось бы на качестве томограммы.

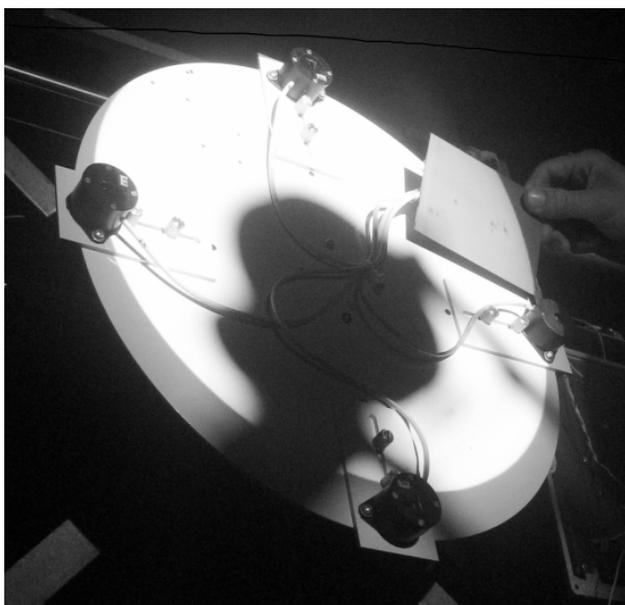
Предложены модификации алгоритма решения задачи сейсмотомографии, состоящей в определении трёхмерного распределения скорости акустических волн в среде [3, 4].

*(Тематическая группа информатики и прикладной математики)*

1. Лихачев А. В. ROI-томография по данным, содержащим шум с переменной дисперсией // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – № 2. – С. 62 – 75.
2. Лихачев А. В. Статистический метод подавления артефактов томографической реконструкции // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 57 – 66.
3. Белоусова О.Н., Зеркаль С.М. Вычислительный алгоритм фокусирования сейсмоакустических волн // Двадцатая Международная научно-практическая конференция «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (СИБ-РЕСУРС-20-2014) (г. Томск, Россия, 8–10 октября 2014). Доклады (материалы) конференции. / Отв. ред. Петрова Л. С. Томск: САН ВШ, В – Спектр. – 2014. – С. 48 – 52.
4. Белоусова О. Н., Зеркаль С. М. Численное исследование алгоритма выбора референтного скоростного распределения в задаче кинематической сейсмотомографии // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 120 – 127.

*Разработка алгоритмов и создание базового программного обеспечения автоматизации солнечного телескопа с гелиостатной питающей оптикой, экспериментальные исследования автоматического гидрирования выбранной точки Солнца и сканирование его заданной области. Создание программной модели устройства фильтрации запросов к интернет-контенту на основе анализа интернет-протоколов (ответственные исполнители: к.т.н. Лубков А.А., к.т.н. Бевзов А.Н., к.т.н. Будников К.И.).*

На основании разработанной авторами распределенной архитектуры создана и введена в работу АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа (БСВТ) с гелиостатной питающей оптикой (п. Листвянка, Байкал) [1]. Автоматизированы процессы наблюдения Солнца и работа вспомогательных подсистем: вакуумирования, термокомпенсации входного иллюминатора, разгрузки зеркала. Создана подсистема гидирования, обеспечивающая автоматическое перемещение заданной точки изображения Солнца на визуализирующую и регистрирующую аппаратуру с погрешностью (по азимуту и углу места) не более 0.5". Время от момента освещения Солнцем части датчиков модуля слежения (рис. 2.45) до перемещения проекции заданной точки Солнца в центр наблюдаемого изображения (соответствует центру щели спектрографа) не более 60 с.



**Рис. 2.45.** Датчики модуля слежения

В результате работы по автоматизации БСВТ создано программное обеспечение, которое позволяет проводить управление телескопом и исследование Солнца в ручном и автоматическом режиме как на уровне работы с отдельными подсистемами, так и на уровне решения более сложных задач, связанных с взаимодействием нескольких подсистем [2, 3].

Кроме расширения функциональных возможностей, например, автоматическое заведение изображения Солнца в трубу телескопа [4], существенно облегчена работа оператора во время проведения наблюдений, а также упрощена настройка и юстировка.

С учетом того, что телескоп является инструментом проведения научных исследований и подразумевает постоянное расширение круга решаемых им задач, разработана и экспериментально проверена архитектура программного обеспечения, которая позволяет:

- использовать отработанные на одном телескопе алгоритмы управления устройствами, подсистемами и технологическими процессами на других телескопах;

- интегрировать в уже существующее программное обеспечение АСУ функционально сопоставимые, но разные типы устройств;
- использовать разные операционные системы (Windows, Linux) в качестве базовой платформы для АСУ БСВТ;
- интегрировать в основное программное обеспечение АСУ специализированные программы, позволяющие существенно упростить и облегчить программирование прикладных задач, возникающих при проведении научных экспериментов на телескопе, характеризующихся наличием большого количества взаимозависимых процессов (заведение, сканирование, написание технологических программ);
- проводить отладку некоторых узлов программного обеспечения в условиях отсутствия реального оборудования, на основе комплексного набора средств виртуальной отладки.

Разработана и создана программная модель устройства, фильтрующего запросы от WEB-клиента к WEB-серверу по протоколу HTTP с использованием исследованных ранее алгоритмов: внепланового закрытия HTTP-сессии и маскирования ответных данных. Устройство имеет две симметричные точки подключения и устанавливается в разрыв соединения между сетью клиента и сетью сервера. Модель состоит из двух равнозначных каналов, которые обеспечивают прохождение через устройство и фильтрацию пакетного трафика. Каждый канал содержит следующие модули (рис. 2.46): чтения сетевых пакетов (МЧП), сортировки пакетов (МСП) и передачи пакетов (МПП). Центральный модуль модели – анализатор пакетов (МАП), общий для обоих каналов.

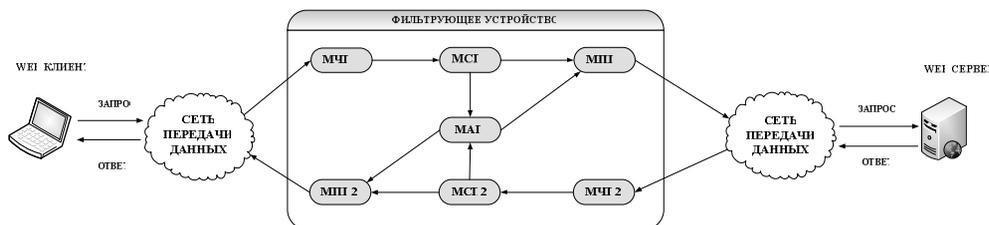


Рис. 2.46. Структурно-функциональная модель HTTP-фильтра

Если, например, клиентская подсеть подключена к входу первого канала, а серверная – к входу второго, как показано на рис. 2.46, то клиентские пакеты поступают в первый канал фильтра и считываются МЧП1. Затем они попадают в МСП1, который выделяет пакеты, относящиеся к протоколу HTTP и передает их в МАП. Остальные пакеты поступают в МПП1. МАП анализирует пакеты и выделяет запросы клиента, после чего отправляет пакеты в МПП1. Обнаруженные запросы МАП регистрирует во внутренней базе данных и проверяет разрешение на доступ к запрашиваемой информации. При отсутствии разрешения и использовании метода внепланового закрытия HTTP-сессии МАП формирует пакеты разрыва соединения для клиента и сервера, которые поступают в МПП1 и МПП2 соответственно. Модули МПП передают поступившие к ним пакеты на

выход каждого из каналов. Так МПП1 посылает пакеты в серверную подсеть, а МПП2 – в клиентскую.

Пакеты, отсылаемые сервером клиенту, проходят через второй канал: от МЧП2 через МСП2 и МАП в МПП2. Если доступ к контексту запрещен, то в соответствии с методом маскирования ответных данных МАП модифицирует пакеты, составляющие запрошенную клиентом информацию, в противном случае они передаются в МПП2 без изменений.

*(Лаборатория интегрированных информационных систем управления)*

1. Ковадло П.Г., Лубков А.А., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Котов В.Н., Перебейнос С.В., Русских И.В. Проект автоматизированной системы управления БСВТ // Тр. Всерос. Конф. по солнечно-земной физике, посвященной 100-летию со дня рождения чл.- корр. РАН В.Е. Степанова (г. Иркутск, Россия, 16–21 сентября 2013). – С. 260 – 263.
2. Бевзов А.Н., Власов С.В., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Лубков А.А., Лылов С.А., Петухов А.Д., Русских И.В., Филатов П.С. Проектирование и разработка программного обеспечения АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа // Там же. – С. 224 – 227.
3. Бевзов А. Н., Курочкин А. В., Лубков А. А., Петухов А. Д., Филатов П. С. Создание программного обеспечения АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа на основе унифицированного процесса разработки // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2014. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 87 – 94.
4. Максимов А. С. Разработка модуля сопряжения абсолютного оптического энкодера с ARM контроллером АСУ телескопа // Материалы Международной научной студенческой конференции. – Секция «Мехатроника и автоматизация» (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014). – 2014. – С. 32.

*Создание экспериментального образца системы контроля геометрии прецизионных углоизмерительных структур, определение реализуемых на практике метрологических характеристик созданной системы. Анализ полученных экспериментальных результатов (ответственный исполнитель д.т.н. Кирьянов В.П.).*

Создан экспериментальный образец углоизмерительной машины (УИМ) модели АЭ.1686 [1] (рис. 2.47), предназначенной для измерения и определения угловых параметров и других характеристик рабочих образцов и фотошаблонов оптических лимбов, круговых шкал, растров и многоразрядных кодовых дисков в автоматическом режиме:

- углового положения границ элементов топологии;
- угловой привязки положений элементов топологии, находящихся на разных радиусах;
- углового положения диаметров элементов топологии;
- углового положения осей элементов топологии;
- углового отклонения положения границ элементов топологии;
- отклонения положения осей от номинальных значений, указанных в конструкторской документации;
- ширины и разности ширины элементов топологии.



**Рис. 2.47.** Общий вид  
УИМ АЭ.1686

Проведены предварительные испытания, и получены следующие характеристики установки (табл. 2.2).

**Табл. 2.2.** Предварительные технические характеристики УИМ АЭ.1686

№ п/п	Параметр	Значение
1	Рабочий диаметр стола, мм	210
2	Частота вращения стола, об/с	1
3	Горизонтальный ход считывающей головки, мм	125
4	Вертикальный ход считывающей головки, мм	25
5	Погрешность измерения углового положения границ элементов топологии, угл. с.	1
6	Погрешность измерения угловой привязки положений элементов топологии, находящихся на разных радиуса, угл. с	1
7	Погрешность определения ширины элементов топологии, мкм	$\pm 0.1$
8	Погрешность определения ширины и разности ширины элементов топологии, мкм	$\pm 0.1$

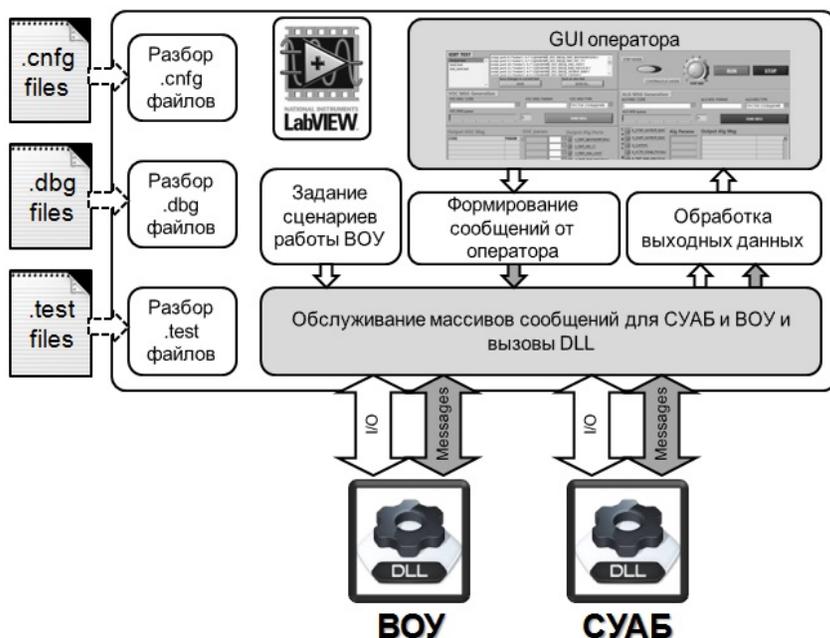
Более точные характеристики установки будут получены на следующем этапе после отладки ее программного обеспечения.

*(Лаборатория интегрированных информационных систем управления)*

1. Базин В.С., Будников К.И., Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Лубков А.А., Перебейнос С.В., Чуканов В.В. Система контроля метрологических характеристик оптоэлектронных датчиков встраиваемого типа // Научно-техническая конференция «Опτικο-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Россия 25–26 сентября 2014 г.): Тез. Докл. – 2014. – С. 98 – 99.

*Исследование и адаптация модели разработки на основе тестов (test-driven development) для проектирования событийно-управляемых блоков и их последующей бесшовной интеграции в программные комплексы, созданные средствами объектно-ориентированного программирования (на задаче создания алгоритма управления вакуумной подсистемой Большого солнечного вакуумного телескопа) (ответственный исполнитель к.т.н. Зюбин В.Е.).*

Предложен способ реализации отладки алгоритмов управления на основе механизма DLL и пакета LabVIEW [1]. Способ предполагает, что сначала виртуальный объект управления (ВОУ) и отлаживаемый событийно-управляемый алгоритмический блок (СУАБ) описываются на языке Рефлекс, затем по этим описаниям генерируются исполняемые DLL-модули и конфигурационные файлы, а при запуске на исполнение специализированной оболочки, созданной средствами LabVIEW, производится настройка внутренних межмодульных связей и интерфейса оператора (рис. 2.48). Конфигурационные файлы содержат информацию об используемых сообщениях, спецификацию пользовательского отладочного интерфейса и переменных (.cnfg-файлы, .dbg-файлы и .test-файлы соответственно). Предложенный способ обеспечивает единообразное описание алгоритмов прикладного уровня на языке Рефлекс и бесшовную интеграцию их в программный комплекс тестирования.



**Рис. 2.48.** Структурная схема программного комплекса тестирования алгоритмов управления

Подход использован при создании алгоритмов управления подсистемой вакуумирования Большого солнечного вакуумного телескопа (п. Листвянка, Иркутская обл.) [2, 3]. Созданные алгоритмы прошли тестирования разработанными средствами, а затем были внедрены в систему

управления (QT, Linux). Использованная методика итерационной разработки управляющих алгоритмов позволила выявить ряд критических ошибок в программном обеспечении и сократила трудоемкость работ за счет переноса существенной части отладочных работ на территорию разработчика.

*(Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления)*

1. Лях Т.В., Зюбин В.Е. Применение концепции виртуальных объектов управления для решения задач промышленной автоматизации // Ershov Informatics Conference: Workshop On Science Intensive Applied Software (St. Petersburg, Russia, June 24–27, 2014). Proceedings. – 2014. – P. 57 – 64.
2. Лях Т.В., Зюбин В.Е. Использование языка Рефлекс в системах управления на базе QT // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия, 29–31 октября 2014). – 2014. – С. 69 – 70.
3. Лях Т.В. Использование концепции виртуальных объектов управления на задаче управления системой большого вакуумного солнечного телескопа // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014) / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. – 2014. – С. 199.

**НАПРАВЛЕНИЕ IV.36. Системы автоматизации, CALS-технологии, математические модели и методы исследования сложных управляющих систем и процессов.**

**ПРОГРАММА IV.36. Новые решения проблем исследования и математического моделирования сложных динамических систем и процессов и их приложения в задачах проектирования, автоматизации и управления. Координатор чл.-корр. РАН В.В. Шайдуров.**

***Проект IV.36.1.6.* Построение моделей и разработка методов управления сложными динамическими объектами и процессами. Системы для автоматизированных измерений и управления исследовательскими установками, технологическими процессами.**

**№ гос. рег. 01201365440.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория нечётких технологий** (ответственные исполнители: к.т.н. Нестеров А.А., к.т.н. Филиппов М.Н., к.т.н. Ян А.П., д.т.н. Золотухин Ю.Н.).

**Тематическая группа автоматизации измерительных технологий** (ответственный исполнитель Сковородин И.Н.).

**Тематическая группа встроенных систем управления и обработки сигналов** (ответственный исполнитель Литвинцев В.И.).

Научный руководитель д.т.н. **Золотухин Ю.Н.**

*Разработка методов управления беспилотными летательными аппаратами (ответственные исполнители: к.т.н. Нестеров А.А., к.т.н. Филиппов М.Н., Ян А.П.).*

Ранее нами предложена методика нахождения управляющих параметров, гарантирующих отслеживание квадрокоптером желаемой траектории по целевому положению  $(x_0(t), y_0(t))$  в плоскости  $(x, y)$ . В данной работе показано, что предложенный ранее метод построения системы автоматического управления движением по заданной в неявном виде траектории распространяется на случай задания траектории в параметрическом виде. Для доказательства запишем уравнение движения с сохранением структуры метода, предложенного ранее, в виде

$$l(x(t) - x_0(t), y(t) - y_0(t)) = 0,$$

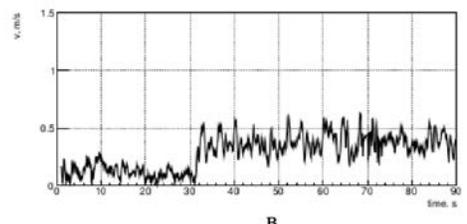
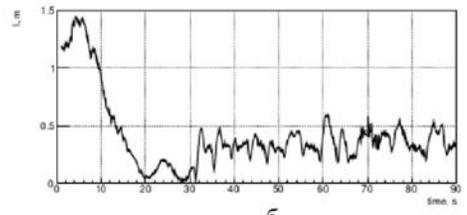
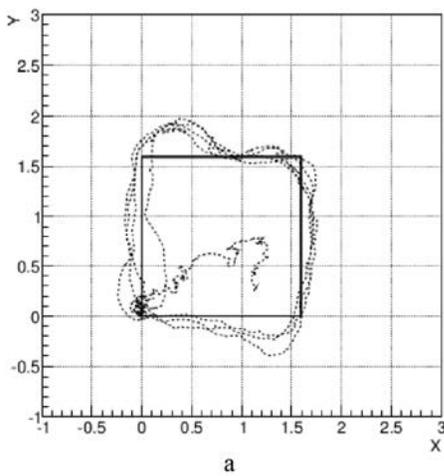
где функция  $l$  определяет величину отклонения аппарата от целевого положения  $(x_0(t), y_0(t))$ .

В данной постановке задачи необходимым является задание направления движения квадрокоптера или компонент  $(x', y')$  линейной скорости  $v$ . Для описания направления движения объекта к целевому положению использован градиент функции  $l$ . При движении аппарата в точку  $(x_0(t), y_0(t))$  необходимо ориентировать вектор скорости  $v$  параллельно вектору  $[-l_x, -l_y]$ , а при нахождении аппарата в некоторой заданной окрестности точки  $(x_0(t), y_0(t))$  – параллельно вектору  $[x_0(t), y_0(t)]$  [1].

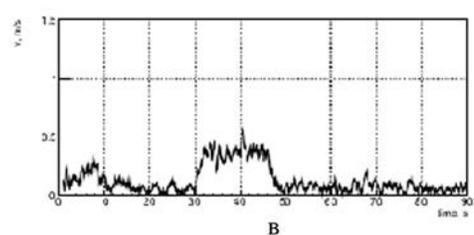
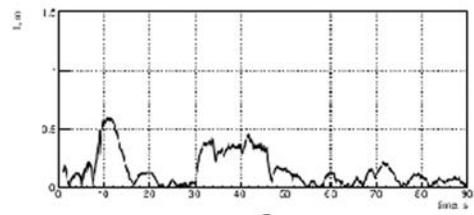
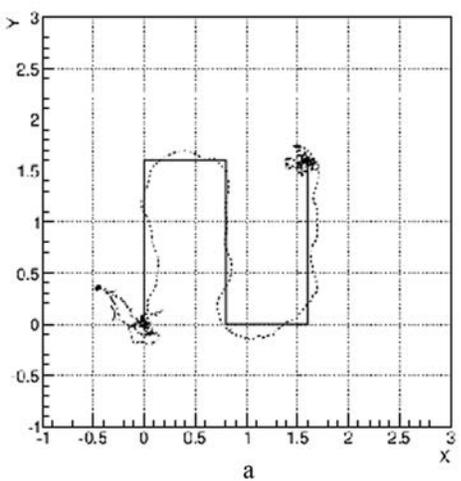
Для исследования вопросов устойчивости и качества управления в предложенной системе управления проведен ряд экспериментов по управлению полетом квадрокоптера в помещении по траекториям различного вида. Входными данными для фильтра Калмана являются получаемые от модуля РГАМ координаты  $x, y$  центра масс, а также определяемые бортовой навигационной системой компоненты линейной скорости в связанной системе координат, высота над поверхностью и углы ориентации  $\psi_k, \varphi_k, \theta_k$  аппарата.

Для проверки предложенного подхода к траекторному управлению проведены эксперименты по перемещению квадрокоптера из начального положения с выходом на замкнутую траекторию движения (рис. 2.49, *a*) и по заданной траектории в конечное положение (рис. 2.50, *a*). Перед началом движения аппарат отработывал команду на удержание неподвижного целевого положения в течение 30 с. В этом случае среднеквадратичное отклонение не превысило 0.1 м. При движении квадрокоптера вдоль заданной траектории отклонение составило около 0.2 м.

1. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Использование фильтра Калмана в системе управления траекторным движением квадрокоптера // Автометрия – 2013. – Т. 49. – № 6. – С. 14 – 24.



**Рис. 2.49.** Движение квадрокоптера вдоль замкнутой траектории: *а* – координаты центра масс  $x, y$  (сплошная кривая – желаемая траектория, пунктирная кривая – оценка фильтра Калмана); *б* – текущее отклонение  $l(x, y)$  от целевого положения; *в* – текущая линейная скорость  $v$



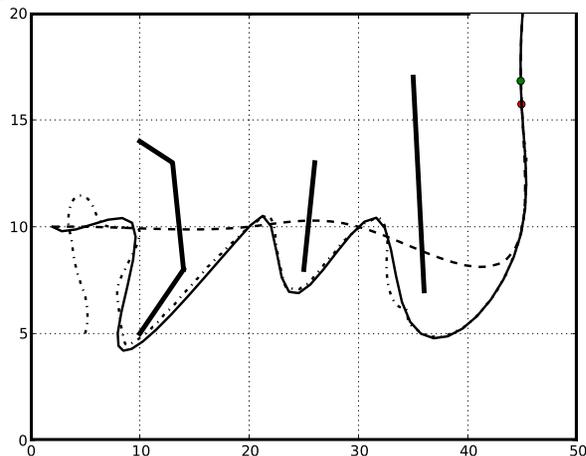
**Рис. 2.50.** Движение квадрокоптера из начального положения в конечное по желаемой траектории (пояснения к рис. 2.50, *а-в* соответствуют пояснениям к рис. 2.49)

*Управление квадрокоптером при движении по заданной траектории с обходом препятствий.*

Для параметрического и гладкого представления траектории использован алгоритм сглаживания  $N$ -мерной пространственной кривой однородными  $B$ -сплайнами. Следует отметить, что данный алгоритм позволяет использовать сплайны со степенью выше 3, что обеспечивает гладкость первой и второй производных. По причине отсутствия возможности задания извне граничных условий на значения производных, необходимо дополнительно управление скоростью объекта. Для этого в работе использована параметризация полученной траектории по времени. После

обнаружения пересечения предписанной траектории движения с препятствием, выполняется добавление новых опорных точек и осуществляется перестроение сплайна. Добавление опорной точки выполняется согласно правилу обхода видимого препятствия с одной (заданной) стороны относительно направления движения робота.

На рис. 2.51 представлены результаты моделирования. Рассматривается движение объекта – квадрокоптера вдоль спланированной траектории, построенной по фиксированному набору опорных точек. Спланированный путь (пунктирная кривая) пересекает стационарные препятствия различной формы. Обнаружение и построение формы препятствия осуществляется с использованием лазерного сканера. При приближении объекта к препятствию выполняется перепланирование ранее построенного пути (сплошная кривая) с помощью предложенного метода. Траектория пройденного пути роботом обозначена штрихпунктирной кривой. Введенное дополнительное управление скоростью объекта обеспечивает точное отслеживание желаемой траектории даже при существенной деформации ранее спланированного пути.



**Рис. 2.51.** Перепланирование маршрута движения робота при обходе препятствий

**Заключение:** в данной работе представлен метод перепланирования предписанной траектории при обходе препятствий с использованием аппарата В-сплайнов. Данный подход использован совместно с ранее предложенным методом управления квадрокоптером, предназначенным для реализации движения по заданной траектории с заданной скоростью. Результаты моделирования показывают эффективность алгоритма перестроения маршрута при наличии препятствий сложной формы.

*Разработка стенда полунатурного моделирования систем автоматического управления летательных аппаратов.*

В настоящее время в мире наблюдается интенсивный рост интереса к беспилотным летательным аппаратам (БПЛА) со стороны различных военных и гражданских ведомств. Одним из развиваемых направле-

ний использования БПЛА является создание летающих динамически подобных моделей летательных аппаратов.

Летающая динамически подобная модель самолета (ЛДПМ) представляет собой беспилотный летательный аппарат научно-исследовательского назначения, способный совершать автономный или дистанционно управляемый полет по заданной программе и обеспечивающий возможность регистрации получаемой в полете информации.

Разработана архитектура стенда полунатурного моделирования систем автоматического управления беспилотными летательными аппаратами. Создан стенд полунатурного моделирования систем автоматического управления полетом БПЛА (рис. 2.52), обеспечивающий разработку математических моделей динамики движения, аэродинамики, массово-инерционных характеристик, характеристик силовой установки, системы автоматического управления, исследование характеристик системы управления в различных условиях полета.

Проведены исследования влияния скорости полета, центровки, внешних возмущений и изменений коэффициентов регуляторов на работу продольного и бокового каналов системы обеспечения устойчивости/управляемости (рис. 2.53). Разработанный комплекс относится к классу систем для наземной проверки работоспособности программно-алгоритмических средств бортовой САУ в различных режимах функционирования на всех этапах полета беспилотного летательного аппарата.



**Рис. 2.52.** Стенд полунатурного моделирования



**Рис. 2.53.** Видеокادر 3D-модели летательного аппарата



GaAs/AlGaAs, фотодиодов на основе эпитаксиальных пленок HgCdTe, а также микроболометров (рис. 2.55).



**Рис. 2.55.** Стенд для предварительного тестирования изделий

*(Тематическая группа встроенных систем управления и обработки сигналов совместно с ИФП СО РАН)*

**Проект IV.36.1.7. Математическое моделирование интегрированных программно-аппаратных систем в задачах формирования, анализа и представления последовательности изображений и автоматизации сложных динамических процессов.**

**№ гос. рег. 01201364507.**

Исполнители проекта:

**Лаборатория цифровых методов обработки изображений** (ответственные исполнители: д.т.н. Киричук В.С., к.т.н. Косых В.П.).

**Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов** (ответственный исполнитель д.т.н. Резник А.Л.).

**Лаборатория синтезирующих систем визуализации** (ответственный исполнитель к.т.н. Долговесов Б.С.).

**Лаборатория программных систем машинной графики** (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).

**Тематическая группа магистрально-модульных систем** (ответственный исполнитель к.т.н. Сердюков О.В.).

**Научный руководитель д.т.н. Киричук В.С.**

*Разработка методов и алгоритмов совместного анализа последовательности изображений для обнаружения малоразмерных и протяжённых объектов, в том числе для определения их двумерных и трехмерных коор-*

*динат, оценки и предсказания их траекторий (ответственные исполнители: д.т.н. Киричук В.С., к.т.н. Косых В.П.).*

Разработанные ранее подходы к обнаружению малоразмерных объектов в стереопаре были основаны на выделении множества всех удовлетворяющих эпиполярным ограничениям пар локальных максимумов, удовлетворяющих условию

$$D(p_{1i}) + D(p_{2j}) > T,$$

где  $p_{1i}$  и  $p_{2j}$  – координаты максимумов, принадлежащих разным изображениям,  $D$  – значение соответствующего максимума, а  $T$  – порог, определяемый заданным уровнем ложных тревог. В предложенном алгоритме обнаружения с двойным пороговым отсечением [1] на первом этапе проводится подраздельное выделение множества максимумов в каждом изображении стереопары  $D(p_{1i}) > T'$ ,  $T' < T$ , чем существенно сокращается количество максимумов, поступающих на совместную обработку. Этап совместной обработки стереопар, как и ранее, состоит в пороговом выделении удовлетворяющих эпиполярным ограничениям пар максимумов по суммарной яркости. Двумерные координаты выделенных пар совместно с эпиполярными соотношениями определяют трехмерные координаты обнаруженных объектов.

Обработка одиночных изображений, содержащих мощную фоновую составляющую, особенно не обладающую пространственной стационарностью, с применением различных методов фильтрации не позволяет достоверно выделять максимумы сигнала, соответствующие подвижным объектам с амплитудой, сравнимой или меньшей среднеквадратичного уровня фона [2]. В условиях медленного (во времени) изменения фона кардинальным решением задачи его подавления является использование межкадровой обработки последовательности изображений. Выполнена сравнительная оценка эффективности методов подавления, основанных на формировании оценки фона текущего кадра посредством его интерполяции по соседним кадрам в последовательности. Показано, что остаточный фон содержит две составляющие: 1) обусловленную присутствием во входном сигнале шума регистрации, 2) связанную с избранной моделью интерполяции и параметрами дискретизации регистрируемого изображения. Определена зависимость дисперсии второй составляющей от пространственного спектра исходного фона и параметров системы регистрации и показано, что при условии, когда изображения формируются в соответствии с критерием Найквиста, дисперсия остаточного фона может быть снижена до величины удвоенной дисперсии шума регистрации. С другой стороны, аналитически показано и подтверждено численным экспериментом, что нарушение этого условия приводит к резкому падению эффективности межкадровой обработки. Экспериментально подтверждено предположение, что предварительное оценивание смещения фона и последующая интерполяция с помощью априори заданного интерполяционного фильтра обеспечивает почти такое же качество подавления, что и

фильтрация, основанная на оптимальном линейном прогнозе. Эта процедура обеспечивает построение устойчивой оценки фона при двух-, трехкратном по сравнению с ОЛП сокращении вычислительных затрат [3]. На основе этих результатов создано программное обеспечение, реализующее первый этап задачи обнаружения динамических объектов (выделение множества максимумов) в последовательностях изображений с пространственно-нестационарным фоном [4–7].

На рис. 2.56 показана экспериментально полученная зависимость вероятности обнаружения от уровня ложных тревог для ранее разработанного метода полной совместной обработки стереопар («стерео») и для предложенного метода двухэтапной обработки («двойной порог»). Для сравнения приведена аналогичная зависимость при обнаружении по одной последовательности («моно»). Согласно рисунку, в представляющей основной интерес области малой ( $<10^{-4}$ ) вероятности ложных тревог метод двухэтапной обработки стереопар практически не уступает методу их полной совместной обработки. При этом он значительно превосходит по эффективности обнаружение по единственной последовательности. Среднее значение количества отметок, совместно обрабатываемых первым алгоритмом, составило более 10000, тогда как вторым – всего 550 при размере кадра последовательности 65536 точек.

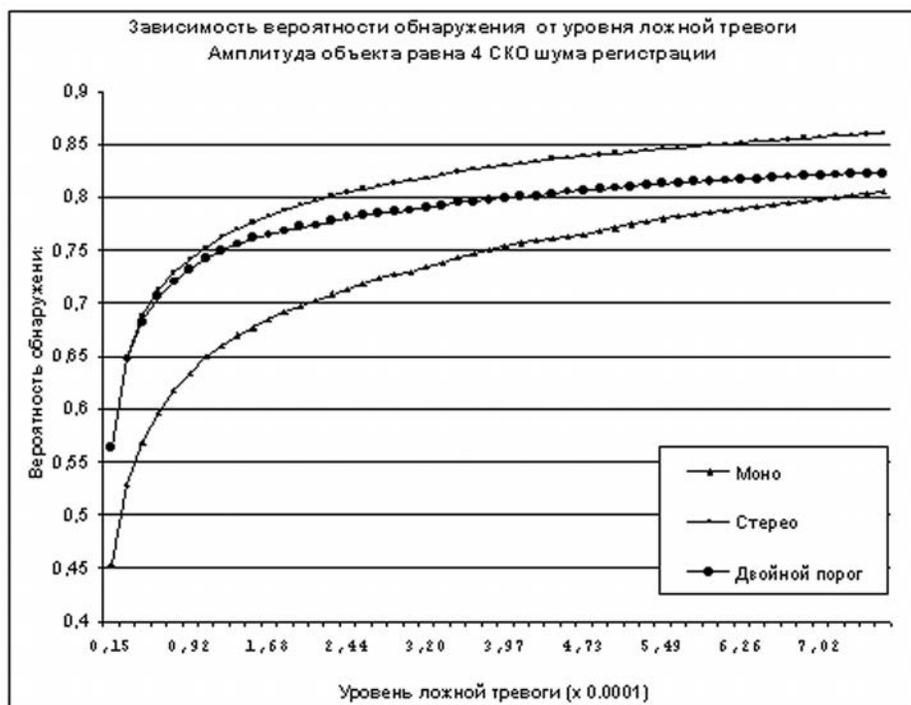


Рис. 2.56. Рабочие характеристики предложенных методов обработки стереопар

Полученные результаты показывают возможность использования стереовидения для обнаружения объектов в ситуации, когда полная совместная обработка стереопары невозможна. При уменьшении объема совместно обрабатываемых данных более чем на порядок происходит лишь

незначительное увеличение вероятности пропуска объекта (0–0.05) относительно полной совместной обработки всего массива данных. Причем наименьшее увеличение вероятности пропуска (0–0.01) наблюдается в практически важной области низкой вероятности ложных тревог. В проведенных экспериментах было достигнуто уменьшение вероятности пропуска объекта до 1.5 раз по сравнению с обнаружением по одной последовательности.

Основной результат: разработан новый алгоритм анализа последовательности синхронных стереоизображений для обнаружения малоразмерных объектов и определения их трехмерных координат, заключающийся в разбиении процесса обработки изображений на два этапа: 1) предварительное обнаружение объектов подраздельно в каждой последовательности с достаточно высоким уровнем ложных тревог; 2) селекция объектов, удовлетворяющих эпиполярным ограничениям, следующим из условий регистрации синхронной стереопары. Достоинством алгоритма является многократное (более 10 раз) сокращение объема совместно обрабатываемых данных, который является критическим параметром при бортовой обработке изображений, формируемых аппаратурой, размещенной на подвижных носителях.

*(Лаборатория цифровых методов обработки изображений)*

1. Киричук В. С., Шакенов А. К. Двухпороговый алгоритм обнаружения точечных объектов по стереоизображениям // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 55 – 60.
2. Шакенов А. К. Алгоритмы подавления фона в задаче обнаружения точечных объектов на изображениях // Там же. – № 4. – С. 81 – 87.
3. Киричук В. С., Косых И. П., Попов С. А., Синельщиков В. В. Подавление квазистационарного фона в последовательности изображений посредством межкадровой обработки // Там же. – № 2. – С. 3 – 13.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613658. Программа для получения изображений повышенного разрешения по последовательности изображений низкого разрешения с субпиксельными смещениями / Г. И. Громилин, В. А. Иванов, В. С. Киричук, В. П. Косых, В. А. Куликов, С. А. Попов; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 11.02.2014, зарег. 02.04.2014.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613405. Программа для преобразования изображений, получаемых спутниками высокоэллиптической орбиты, в изображения, характерные для геостационарного спутника / Г. И. Громилин, В. А. Иванов, В. С. Киричук, В. П. Косых, В. А. Куликов, С. А. Попов; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 20.02.2014; зарег. 26.03.2014.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618845. Программа формирования текстур с заданными пространственными характеристиками / В. А. Иванов, В. П. Косых, А. К. Шакенов; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 15.07.2014; зарег. 29.08.2014.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618632. Программная модель преобразования изображений сканирующим оптико-электронным устройством с многорядным матричным фотоприемником / С. А. Попов; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 02.07.2014; зарег. 28.08.2014.

*Исследование надежности многопорогового считывания случайных дискретных изображений с помощью средств компьютерной аналитики (ответственный исполнитель д.т.н. Резник А.Л.).*

Анализ методов отыскания точных аналитических формул, описывающих вероятность безошибочного считывания случайного  $n$ -точечного изображения, показывает следующее. В простейшем случае для интегратора с одним пороговым уровнем решение

$$P_{n,1}(\varepsilon) = (1 - (n-1)\varepsilon)^n, \quad (0 \leq \varepsilon \leq 1/(n-1)) \quad (2.13)$$

достигается либо с помощью трудоемких аналитических вычислений на компьютере, либо (если отказаться от применения компьютерных технологий) с помощью стандартных средств математического анализа, но с обязательным использованием процедур многомерного интегрирования. Например, наиболее прямой путь получения соотношения (2.13) заключается в представлении искомой вероятности  $P_{n,1}(\varepsilon)$  в виде легко вычисляемого повторного интеграла

$$P_{n,1}(\varepsilon) = n! \int_{(n-1)\varepsilon}^1 dx_n \left\{ \int_{(n-2)\varepsilon}^{x_n - \varepsilon} dx_{n-1} \cdots \left\{ \int_{2\varepsilon}^{x_4 - \varepsilon} dx_3 \left\{ \int_{\varepsilon}^{x_3 - \varepsilon} dx_2 \left\{ \int_0^{x_2 - \varepsilon} dx_1 \right\} \right\} \right\} \right\} \right\}. \quad (2.14)$$

Ближайшей задачей является построение строгого доказательства соотношения (2.13) чисто вероятностными средствами, не требующими использования ни трудоемких компьютерных расчетов, ни процедур многомерного интегрирования типа (2.14). На такую возможность наталкивает сам вид зависимости (2.13), в структуре которой явно просматривается схема независимых испытаний Бернулли.

Итак, запись (2.13) в принципе можно трактовать следующим образом: проводится серия из  $n$  независимых испытаний Бернулли с вероятностью успеха  $p = 1 - (n-1)\varepsilon$  и вероятностью неуспеха  $q = (n-1)\varepsilon$ , а стоящее в левой части выражение  $P_{n,1}(\varepsilon)$  есть вероятность того, что все  $n$  испытаний будут успешными. Другими словами, если интервал  $(0,1)$ , на котором проводится случайное независимое бросание  $n$  точек, разбить на два подынтервала:  $\Delta_1 = (0, 1 - (n-1)\varepsilon)$  и  $\Delta_2 = ((1 - (n-1)\varepsilon), 1)$ , то вероятность  $P_{n,1}(\varepsilon)$  соответствует событию, состоящему в том, что все  $n$  брошенных точек попадут в подынтервал  $\Delta_1$ . Таким образом, в окончательном виде утверждение, которое нам предстоит доказать, звучит следующим образом: вероятность того, что при случайном бросании  $n$  точек на интервал  $(0,1)$  все они разлетятся друг от друга на расстояние, превышающее  $\varepsilon$ , совпадает с вероятностью другого события, заключающегося в том, что при случайном бросании  $n$  точек на интервал  $(0,1)$  все они окажутся в подынтервале  $\Delta_1 = (0, 1 - (n-1)\varepsilon)$  длиной  $1 - (n-1)\varepsilon$ . Последняя вероятность, очевидно, равна  $(1 - (n-1)\varepsilon)^n$ .

Обозначим через  $X$  множество точек  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  в евклидовом пространстве  $R^n$  таких, что:  $0 < x_i < 1, \quad \forall i = \overline{1, n}; |x_i - x_j| > \varepsilon, \quad i \neq j$ . Соответственно через  $Y$  обозначим множество точек  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \in R^n$  таких, что  $0 < y_i < (1 - (n-1)\varepsilon), \quad \forall i = \overline{1, n}$ . Нам требуется показать, что объемы

$V(X)$  и  $V(Y)$ , которые занимают области  $X$  и  $Y$  внутри  $n$ -мерного единичного куба  $K_n = \{z = (z_1, z_2, \dots, z_n) / 0 < z_i < 1, \forall i = \overline{1, n}\}$ , равны между собой.

С учетом независимости испытаний и полной симметрии задачи по переменным  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_n$  нам достаточно показать равенство объемов  $V(X^*) = V(Y^*)$  двух подмножеств  $X^* \subset X$  и  $Y^* \subset Y$ , которые образуются теми и только теми элементами  $x^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  и  $y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*)$  множеств  $X$  и  $Y$ , координаты которых образуют монотонно возрастающие последовательности (вариационные ряды), а именно:  $0 < x_1^* < x_2^* < \dots < x_n^* < 1$  и  $0 < y_1^* < y_2^* < \dots < y_n^* < 1$ . Очевидно, что объемы введенных нами  $n$ -мерных областей связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} V(X) &= n! \times V(X^*); \\ V(Y) &= n! \times V(Y^*). \end{aligned} \tag{2.15}$$

То есть для решения задачи достаточно показать, что  $V(X^*) = V(Y^*)$ , откуда непосредственно следует равенство  $V(X) = V(Y)$ . Для этого нам удобнее будет ассоциировать точки из  $n$ -мерного пространства  $R^n$  с векторами  $n$ -мерного линейного векторного пространства  $E^n$ : каждой точке  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R^n$  будем ставить в соответствие вектор  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in E^n$ . Теперь достаточно заметить, что два векторных подпространства  $X^*$  и  $Y^*$  отличаются между собой лишь взаимным векторным сдвигом:  $X^* = Y^* + a$ , где вектор  $a = (0, \varepsilon, 2\varepsilon, \dots, (n-1)\varepsilon)^T$ . Таким образом, с точностью до смещения начала координат векторные подпространства  $X^*$  и  $Y^*$  тождественны, а соответствующие им множества  $X^*$  и  $Y^*$  представляют собой области в  $n$ -мерном евклидовом пространстве  $R^n$ , получающиеся одна из другой параллельным сдвигом. Следовательно, множества  $X^*$  и  $Y^*$  имеют эквивалентные геометрико-топологические характеристики, в том числе совпадающие  $n$ -мерные объемы. С учетом (2.15) объемы областей  $X$  и  $Y$  тоже совпадают. Доказательство завершено.

Следует заметить, что в приведенном доказательстве весьма существенным является то обстоятельство, что нами предварительно было установлено равенство объемов подмножеств  $X^*$  и  $Y^*$ , которые формируются теми точками множеств  $X \subset R^n$  и  $Y \subset R^n$ , чьи координаты образуют вариационные ряды. Дело в том, что области  $X^*$  и  $Y^*$  являются односвязными, поэтому применительно к ним оказалось возможным провести доказательство их «геометрической тождественности». А вот область  $X$ , в отличие от области  $Y$ , многосвязна, поэтому без предварительного этапа доказать напрямую равенство их объемов  $V(X)$  и  $V(Y)$  не удастся.

Основной результат: разработаны высокопроизводительные алгоритмы расчета многомерных интегральных выражений по областям, ограниченным системой ориентированных гиперплоскостей в  $n$ -мерном пространстве. Построенные на их основе программные компоненты реализованы на многоядерном вычислительном кластере и показали свою высокую эффективность. Созданный программно-алгоритмический комплекс использован для расчета новых ранее неизвестных аналитических соотношений, характеризующих надежность считывания случайных то-

чечных полей, когда регистрация координат точечных объектов, формирующих такое поле, осуществляется интеграторами с ограниченным числом пороговых уровней [1, 2].

*(Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов)*

1. Резник А. Л., Ефимов В. М., Соловьев А. А., Торгов А. В. О надежности считывания случайных точечных объектов при ограниченном числе пороговых уровней сканирующей апертуры // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 61 – 68.
2. Reznik A.L., Efimov V.M., Solov'ev A. A., and Torgov A.V. On the reliable readout of random discrete point structures // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2015. – V. 25. – № 1 (в печати).

*Оптимизация алгоритмов и параметров распределенной мультимедийной виртуальной среды для функций приема, кодирования-декодирования и параллельного отображения распределенных потоковых данных в тренажерно-обучающих системах (ответственный исполнитель к.т.н. Долговесов Б.С.).*

Исследованы способы многоэкранного синхронного отображения данных различных медиаисточников распределенной мультимедийной виртуальной среды (РМВС) [1]. Предложены два альтернативных способа формирования и синхронного многоэкранного отображения в реальном масштабе времени данных различных медиаисточников РМВС, использующие различные конфигурации вычислительных средств. В первом способе обработка мультимедийных данных от источников распределяется по нескольким ПК, каждому из которых соответствует свой экран. Во втором – для обработки входных мультимедийных данных может использоваться один ПК с графическими акселераторами для отображения на разных экранах. В этом случае существует ограничение по числу видеовыходов для отображения (максимум 8). Возможна комбинация указанных способов. Выбор способа обработки и отображения данных зависит от числа медиапотоков и требуемой производительности для их обработки. Для демонстрационной модели многоэкранного отображения разработано приложение *MSystem*, позволяющее формировать окна на графической панели управления и назначать для каждого окна мультимедийные данные (анимированные 3D-сцены, видеофайлы, сетевые видеопотоки и др.) для демонстрации на отдельных экранах (рис. 2.57). Для каждого из окон предусмотрено интерактивное построение сценария показа последовательности медиаданных.

Разработаны базовые программные модули микшера-коммутатора, являющегося основным компонентом в архитектуре РМВС: модуль ввода мультимедийных данных различных источников (видеофайлы, фотоизображения, трехмерные сцены, устройства захвата видео и др.); модуль вывода мультимедийных данных на базе специализированных устройств. Разработана система удаленного управления объектами, осуществляющая интерактивное взаимодействие с программными компонентами РМВС, работающими в различных адресных пространствах. Особенность систе-

мы – возможность инициировать определенные функции удаленного объекта и считывать значения его свойств с получением уведомления об их изменениях. Такой подход позволяет работать и с локальными объектами с минимальными ограничениями. Разработаны алгоритмы оптимизации обработки потоковых данных: динамическое устранение дефектов коммутации входных видеоданных (разрывы изображений, срыв синхронизации и т. д.), уменьшение задержки при коммутации входных данных в режиме мониторинга источников данных. На базе проведенных разработок реализована упрощенная модель распределенной системы для обработки принципов построения РМВС для различных приложений [2].



**Рис. 2.57.** Графическая панель интерактивного управления распределенными мультимедийными данными для многоэкранного отображения

В рамках разработки систем отображения мультимедийных данных проведены дополнительные исследования по формированию изображений 3D-объектов, заданных функциями базовых поверхностей и функциями возмущения [3, 4]. Предложен метод рендеринга функционально заданных объектов, адаптированный для параллельной обработки на графических акселераторах [5]. Основные достоинства функционального задания сложных 3D-объектов: компактное описание для передачи и хранения данных, простое вычисления точек поверхности объекта в процессе рендеринга.

Основной результат: исследованы вопросы организации распределенного вычислительного процесса для формирования и синхронного отображения крупномасштабных 3D-сцен на больших экранах. Разработан вариант реализации системы отображения 3D-сцен, основанный на «звездной» объектно-ориентированной архитектуре распределенных вычислений, где в качестве центрального объекта используется иерархическая база данных, связывающая динамически взаимодействующие процессорные модули системы. Модули ориентированы на параллельную

обработку фрагментов изображения, составляющих 3D-сцену. Управление модулями осуществляется через общую базу данных, которая содержит все параметры, необходимые для работы модулей и их взаимодействия. Синхронизация работы модулей осуществляется по сетевым протоколам. Такой подход позволяет легко наращивать систему новыми модулями, поскольку каждый новый модуль взаимодействует только с локальной базой данных, а межмодульное взаимодействие осуществляется на основе унифицированного протокола обмена данными. Разработано демонстрационное приложение *VideoWall* для распределенной обработки и отображения трехмерной сцены с использованием нескольких персональных компьютеров (ПК). Общее управление может осуществляться с одного из них или с выделенного внешнего управляющего компьютера. Распределение вычислений конфигурируется таким образом, что разные фрагменты одной сцены обрабатываются на разных ПК, формируя единое изображение. Это позволяет увеличить общую производительность системы и отображать более сложные сцены.

*(Лаборатория синтезирующих систем визуализации)*

1. Морозов Б. Б., Долговесов Б. С., Мазурок Б. С., Городилов М. А. Построение распределенной мультимедийной виртуальной среды с многоканальной визуализацией медиаданных на графических акселераторах // Программирование. – 2014. – № 4. – С. 55 – 63.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616783. Графический пользовательский интерфейс управления презентационным комплексом / Б. С. Мазурок, А. И. Черепанов, М. А. Городилов, Б. С. Долговесов, А. Н. Тарасовский; заявитель ИАиЭ СО РАН; заявл. 14.15.2014; зарег. 03.07.2014.
3. Вяткин С. И., Романюк С. А., Величко П. А. Метод итерационного приближения полигональных моделей неявными функциями // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2014. – № 1 (209). – С. 109 – 112.
4. Vyatkin S. I., Romanuk S. A. Function representation in geometric modeling // Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. Международный научно-технический журнал. Хмельницкий национальный университет. Хмельницкий – 2014. – № 1 (46). – С. 23 – 28.
5. Вяткин С. И. Метод бинарного поиска элементов изображения функционально заданных объектов с применением графических акселераторов // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 89 – 96.

*Исследование методов визуальной имитации технологических процессов орбитального мониторинга земной поверхности (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).*

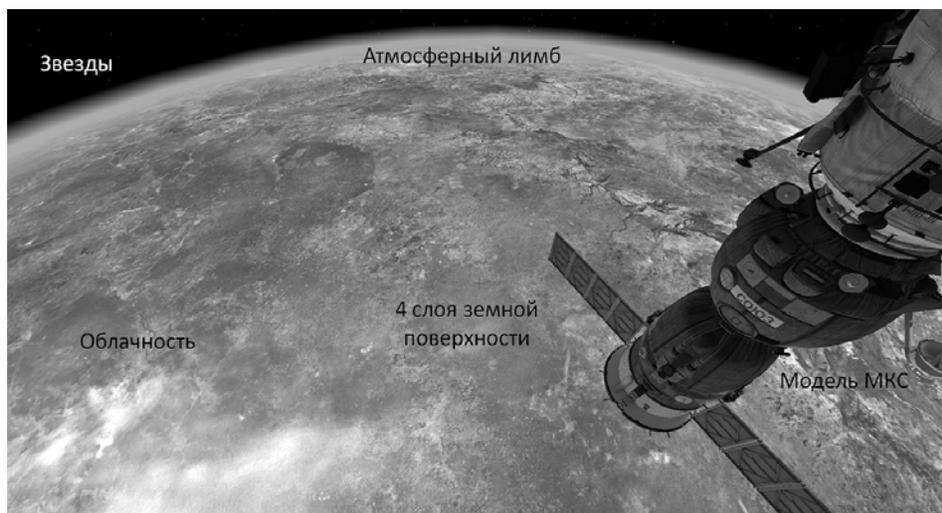
Созданы алгоритмическая и программная модели для отработки навыков визуально-инструментальных наблюдений (ВИН) и мониторинга поверхности Земли с борта космического аппарата.

Область применения: в системах компьютерной генерации изображения тренажеров для отработки навыков в области геофизических исследований и мониторинга Земли с борта космического аппарата методами ВИН.

В результате проведенных исследований установлено [1], что для обеспечения отработки космонавтом-оператором профессиональных на-

выков выполнения задач ВИН необходимо, чтобы система моделирования внешней визуальной обстановки обеспечивала формирование и отображение управляемых в реальном масштабе времени цветных динамических изображений земной поверхности (рис. 2.58), удовлетворяющих условиям наблюдения в иллюминаторах пилотируемых космических аппаратов (ПКА) как невооруженным глазом, так и через бортовые инструментальные средства визуального наблюдения, и отвечала следующим требованиям:

- возможность формирования в поле зрения бортового средства наблюдения изображения подстилающей поверхности Земли по трассе полета ПКА для любого суточного витка, соответствующего заданным баллистическим параметрам орбитального полета;
- высокий уровень географического подобия формируемого изображения земной поверхности;
- возможность проективных преобразований формируемого изображения с учетом кривизны Земли при ведении оператором наблюдений невооруженным глазом от надира к горизонту и моделировании изменений пространственного положения оптической оси бортового средства наблюдения;
- высокая точность координатной привязки объектов наблюдения, представленных в цифровой визуальной модели (ЦВМ) Земли;
- высокий уровень детализации объектов земной поверхности;
- воспроизведения объектов ВИН с учетом перекрытия элементами ПКА, времени года, уровня облачности и дымки.



**Рис. 2.58.** Результирующее изображение, полученное с использованием разработанной программной модели. Подписями обозначены соответствующие части ЦВМ

Удовлетворить выявленные требования удастся за счет создания реалистичной модели визуальной обстановки на основе реальных космических цифровых снимков земной поверхности, которые сведены по цве-

ту и очищены от облачности. Для представления текстурных данных используется проекция Меркатора. На самом низком уровне детализации (первом уровне) текстура земной поверхности имеет размер 512×512 пикселей, а на каждом последующем уровне ширина и высота увеличиваются вдвое. При использовании проекции Меркатора пространственное разрешение (расстояние на поверхности Земли, которое представлено одним пикселем на текстуре) зависит от используемого уровня текстурной детализации и широты отображаемой точки.

Таким образом, из исходных снимков с разрешением 15–30 метров на тексел формируются данные для каждого из используемых уровней детализации текстуры земной поверхности. В каждом наборе данных в растровом формате представлены фрагменты изображений земной поверхности размером 256×256 пикселей. Фрагменты хранятся таким образом, что информация о двух географически близких точках в большинстве случаев находится рядом и на жестком диске ЭВМ. Это достигается за счет использования псевдо-Гильбертовых кривых для прямоугольных областей произвольного размера, алгоритм генерации которых был создан на основе работы [Zhang J. et al.]. Такая организация данных позволяет эффективно осуществлять загрузку с диска необходимых участков текстур и визуализировать ЦВМ Земли от 85° южной широты до 85° северной широты с пространственным разрешением 15–30 метров

на тексел. При этом возможна плавная трансфокация угла обзора от 110° до 2°. На практике система позволяет имитировать десятикратную скорость пролета ПКА, характерное время прохождения одного витка которых приблизительно составляет 90 мин.

В ходе работы над проектом подготовлен ряд статей и докладов на международных конференциях [1–3]. Значимость результата исследований подтверждена патентом на полезную модель [4].

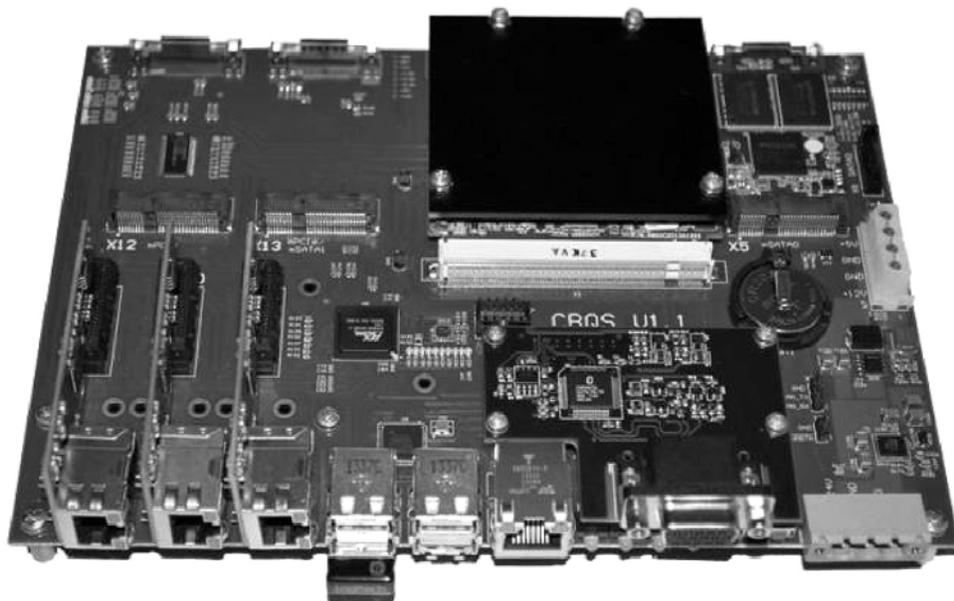
*(Лаборатория программных систем машинной графики)*

1. Бартош В. С., Дьяков М. С., Кузиковский С. А. Развитие систем моделирования условий визуально-инструментальных наблюдений земной поверхности для отработки навыков космонавтов в области геофизических исследований и мониторинга земли с борта РС МКС // Пилотируемые полеты в космос (в печати).
2. Бартош В. С., Ковалев А. М. Наголовный мультифокальный дисплей для тренажеров, использующих технологию виртуальной реальности // Материалы 10-й международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос» (Москва, 27–28 ноября 2013). – С. 104 – 106
3. Долговесов Б. С., Бартош В. С., Белого И. В., Мазурок Б. С. Подход с использованием виртуальной реальности для подготовки к внекарабельной деятельности космонавтов // Там же. – С. 199 – 201.
4. Пат. на полезную модель № 136618 G09B9/08. Система имитации внешней визуальной обстановки в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера / В. И. Брагин, А. И. Митин, К. С. Рябов, В. И. Васильев, В. С. Бартош, С.А. Кузиковский; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (RU); заявл. 28.06.2013; опубл.10.01.2014. Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 1.

*Анализ существующих технологий и алгоритмов для создания единой программной среды и унифицированной процессорной платформы с целью интеграции различных микропроцессоров, включая DSP-процессоры (ответственный исполнитель к.т.н. Сердюков О.В.).*

Разработана универсальная вычислительная платформа (рис. 2.59), на базе которой может реализовываться встраиваемый промышленный компьютер, выполняющий функции элемента верхнего уровня АСУТП.

В предлагаемое решение заложена возможность использования разных типов процессоров, которая предоставляет богатый выбор по подключению периферийных устройств и позволяет создавать сложные гибкие и масштабируемые системы автоматизации для различных областей: транспорта, промышленности, энергетики и пр.



**Рис. 2.59.** Универсальная вычислительная платформа

Архитектура платформы базируется на использовании системы на модуле (SOM), что обеспечивает универсальность технических решений с точки зрения используемых процессорных архитектур и, как следствие, универсальность с точки зрения системного программного обеспечения (операционных систем). Процессорная платформа предусматривает использование систем на модуле стандарта Qseven, который рекомендован для применения как в промышленных, так и в коммерческих системах. Стандарт Qseven обеспечен поддержкой более чем 60 производителей, реализуется для наиболее распространенных процессорных архитектур x86 и ARM, которые поддерживаются всеми современными семействами операционных систем: Windows, Linux, QNX, Android.

Платформа содержит в своем составе:

- плату-носитель, совместимую со стандартом Qseven, обеспечивающую расширение периферии процессорного модуля;

- процессорный модуль стандарта Qseven, являющийся самодостаточной системой на модуле;
- модули расширения периферийных портов.

Платформа реализована в двух базовых модификациях корпуса – для установки на панель и в стойку 19" (высота корпуса в обоих случаях 1U – 44,45 мм). Во всех вариантах для охлаждения аппаратных средств используется пассивное охлаждение за счет отвода тепла от критических по температурному режиму узлов на элементы корпуса. Для отвода тепла используются пассивные теплопроводные элементы без тепловых трубок, чем обеспечивается долговечность и надежность функционирования.

Платформа не требует обслуживания в период всего срока эксплуатации (10–15 лет) и поэтому может использоваться для ответственных промышленных применений.

Электропитание может осуществляться от источника напряжения 12–24 В постоянного тока. Предусмотрена модификация с электропитанием от сети переменного тока 220 В. Потребляемая мощность не превышает 25 Вт.

Периферийные порты предоставляют современные высокоскоростные интерфейсы для интеграции в систему и коммуникации с внешним оборудованием: GigabitEthernet, PCIe, USB, SATA, DVI, HDMI. Поддерживаются также широко востребованные в промышленных системах интерфейсы RS-232 и RS-485.

Отличительной особенностью платформы от подавляющего большинства прочих встраиваемых компьютеров является возможность гибкого конфигурирования по составу внешних интерфейсов и встроенного оборудования. С этой целью разработана линейка модулей расширения, стыкующихся с платой-носителем платформы через интерфейсы PCIe и miniPCIe:

- модуль однопортового GigabitEthernet (PCIe);
- модуль четырехпортового GigabitEthernet (PCIe);
- модуль портов RS-232 и RS-485 (miniPCIe).

Помимо перечисленных могут устанавливаться модули расширения от сторонних производителей стандартов PCIe и miniPCIe.

В максимальной базовой конфигурации платформа имеет следующий набор интерфейсов и периферии:

- 5 портов Gigabit Ethernet;
- 4 порта USB 2.0;
- 2 порта RS-232;
- 2 порта RS-485, с гальванической развязкой;
- два дисковых накопителя типа SSD формата miniSATA. Возможны комбинации с подключением HDD вместо установки одного из miniSATA SSD.
- один из видеointерфейсов (VGA, DVI, HDMI).

Устанавливаемый процессорный модуль Qseven может быть как от стороннего производителя, так и собственного производства, для которых

типовая процессорная архитектура, как правило, или IntelAtom или ARM, – это многоядерные процессоры с тактовыми частотами 1...2 ГГц и объемом оперативной памяти 1–2 Гбайт.

В итоге реализована процессорная платформа для построения встраиваемых промышленных компьютеров, которые не уступают по всем техническим характеристикам аналогам зарубежного производства в данном сегменте и превосходят большинство из них с точки зрения адаптивности аппаратных средств к решаемым задачам.

Полученные характеристики оправдывают целесообразность применения универсальной процессорной платформы в системах промышленной автоматизации.

Высокая эффективность применения ПТК на основе предложенной унифицированной процессорной платформы подтверждена рядом внедрений на крупных энергогенерирующих объектах в России и за рубежом.

Основной результат. Реализован опытный образец встраиваемого управляющего компьютера в промышленном исполнении в виде платы-носителя процессорного модуля, конструктивно обеспечивающего интеграцию устройств по современным интерфейсам PCIe и QSeven. В качестве процессорных модулей, устанавливаемых на плате-носителе по интерфейсу Qseven, могут использоваться любые процессоры: X86, ARM, PPC и др.

*(Тематическая группа магистрально-модульных систем)*

### **3 ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ. ДРУГИЕ ПРОГРАММЫ СО РАН**

Институт автоматики и электрометрии СО РАН в 2014 году проводил исследования по следующим интеграционным проектам (ИП) и другим программам СО РАН:

#### **3.1 МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИП**

3.1.1. Физико-химические основы управления процессами смешения и горения органического топлива (*ИП № 24, координатор акад. Волчков Э.П., ИТ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Потатуркин О.И.*).

3.1.2. Экспериментальное моделирование минералообразующих процессов с участием углерода в литосферной мантии (*ИП № 31, координатор д.г.-м.н. Пальянов Ю.Н., ИГМ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭСО РАН д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.*).

3.1.3. Исследование генетических и нейрофизиологических механизмов действия нейротрофического фактора мозга и его синтетических агонистов (*ИП № 54, координатор д.м.н. Попова Н.К., ИЦиГ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Киричук В.С.*).

3.1.4. Ядерные спиновые изомеры молекул для современных приложений ядерного магнитного резонанса (*ИП № 61, координатор д.х.н. Коптюг И.В., МТЦ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭСО РАН д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.*).

3.1.5. Прецизионная спектроскопия ультрахолодных атомов: теория, математическое моделирование и эксперимент (*ИП № 62, координатор д.ф.-м.н. Тайченачев А.В., ИЛФ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.*).

3.1.6. Разработка физических основ микрообработки и структурирования прозрачных материалов излучением мощного фемтосекундного лазера (*ИП № 68, координатор чл.-корр. РАН Бабин С.А., ИАиЭ СО РАН*).

3.1.7. Нетрадиционные способы введения лекарственных веществ в организм и физические методы модифицирования их свойств (*ИП № 108, координатор акад. Болдырев В.В., ИХТТМ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭСО РАН д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.*).

3.1.8. Развитие методов дифракционной и конформной оптики для контроля и управления параметрами волновых фронтов мощных лазерных систем (*ИП № 112, координатор д.т.н. Полещук А.Г., ИАиЭ СО РАН*).

3.1.9. Системы с отрицательным коэффициентом преломления и оптическим резонансным туннелированием для сверхбыстрого управления ТГц и ИК излучением (*ИП № 128, координатор д.ф.-м.н. Принц В.Я., ИФП СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.*).

3.1.10. Технологическая платформа для синтетической биологии (ИП № 138, координатор к.х.н. Сняжков А.Н., ИХБФМ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН к.т.н. Бессмельцев В.П.).

3.1.11. Дистанционное мониторингирование сердечно-сосудистой деятельности человека на основе миниатюрных беспроводных датчиков и индивидуальных средств сотовой связи со встроенными вычислительными средствами (ИП №142, координатор д.м.н. Шевела А.И., ИХБФМ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН к.т.н. Бессмельцев В.П.).

3.1.12. Инновационные направления развития интегрированных систем энергоснабжения города на интеллектуальной основе (ИП № 145, координатор чл.-корр. РАН Воронай Н.И., ИСЭМ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Золотухин Ю.Н.).

## 3.2 ПАРТНЕРСКИЕ ИП

3.2.1. Стеклообразование и кристаллизация во фторидных и оксифторидных системах, формирование функциональных свойств кристаллов и стекол на их основе (ИП № 18, координатор д.ф.-м.н. Суворцев Н.В., ИАиЭ СО РАН).

3.2.2. Синтез, исследование свойств и применений микроструктурированных компонентов для волоконно-оптических и микрооптических систем на основе модифицированных стекол и новых амплитудно-фазовых фоторегистрирующих сред с реверсивными свойствами (ИП № 43, координатор акад. Шалагин А.М., ИАиЭ СО РАН).

3.2.3. Разработка принципов и информационно-вычислительных технологий обработки и интерпретации мультиспектральных спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (для наук о Земле, экологии и природопользования) (ИП № 74, координатор д.т.н. Потатуркин О.И., ИАиЭ СО РАН).

3.2.4. Материалы и LIGA-технологии для создания микрофлюидных аналитических систем, регистрирующих флуоресценцию (ИП № 92, координатор д.ф.-м.н. Мезенцев Н.А., ИЯФ СО РАН; научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Корольков В.П.).

## 3.3 СОВМЕСТНЫЕ ПРОЕКТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН БЕЛАРУСИ И СО РАН

3.3.1. Методы, алгоритмы и программно-аппаратные системы реконструкции, улучшения качества и повышения разрешающей способности сигналов и изображений видимого и ИК-диапазонов (Проект № 16, научный руководитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Резник А.Л.).

## 3.4 СОВМЕСТНЫЕ ПРОЕКТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАН УКРАИНЫ И СО РАН

3.4.1. Разработка моделей, методов и алгоритмов для оценки состояния растительных сообществ лесостепной и степной зон с использо-

ванием данных космического мониторинга (*Проект № 19, ответственный исполнитель от ИАиЭ СО РАН д.т.н. Потатуркин О.И.*).

### 3.5 ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СО РАН

3.5.1. Комплексная экспедиция наблюдений современных движений земной коры и вариаций гравитационного поля (*Тематическая группа лазерной гравиметрии*).

## **4 ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРЕЗИДИУМА И ОТДЕЛЕНИЙ РАН**

### **4.1 ПРОГРАММЫ ПРЕЗИДИУМА РАН**

Институтом выполнено 15 проектов в 8 программах Президиума РАН.

**Программа 2. Вещество при высоких плотностях энергии (координаторы: *акад. Фортвов В.Е., акад. Стишов С.М.*).**

2.1 Влияние состава среды кристаллизации на процессы роста и свойства кристаллов алмаза (*координаторы: акад. Соболев Н.В., д.г.-м.н. Пальянов Ю.Н., ИГМ СО РАН; ответственный исполнитель от ИАиЭ СО РАН д.ф.-м.н. Малиновский В.К.*).

**Программа 4. Природная среда России: адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики (координатор *акад. Лаверов Н.П.*).**

4.1 Сейсмические активизации в индустриальных кластерах юга Сибири: особенности развития и сейсмическая опасность (*координатор акад. Эпов М.И., ИНГГ СО РАН; ответственный исполнитель от ИАиЭ СО РАН к.т.н. Арнаутов Г.П.*).

**Программа 8. Разработка методов получения химических веществ и создание новых материалов (координатор *акад. Тартаковский В.А.*).**

8.19 Исследование новых фторидных и оксифторидных кристаллов и стекол (*координатор д.ф.-м.н. Суровцев Н.В., ИАиЭ СО РАН*).

**Программа 9. Создание и совершенствование методов химического анализа и исследования структуры веществ и материалов (координатор *акад. Золотов Ю.А.*).**

9.3 Разработка, совершенствование и исследование аналитических возможностей источников возбуждения и анализаторов для атомно-эмиссионной спектроскопии (*координатор д.т.н. Лабусов В.А., ИАиЭ СО РАН*).

**Программа 13. Экстремальные световые поля и их приложения (координаторы: *акад. Багаев С.Н., акад. Гапонов-Грехов А.В.*).**

13.1 Экспериментальные методы изучения пространственной структуры и свойств оптических материалов путем трехмерного лазерного сканирования/двухфотонной модификации микрообъемов вещества (*координатор д.т.н. Твердохлеб П.Е., ИАиЭ СО РАН*).

**Программа 15. Информационные, управляющие и интеллектуальные технологии и системы (координаторы: *акад. Емельянов С.В., акад. Журавлев Ю.И.*).**

15.3 Разработка интеллектуальных вычислительных комплексов для поддержки принятия решений при конструировании и эксплуатации сложных технических систем и объектов (*координаторы: акад. Шокин Ю.И., ИВТ СО РАН; д.т.н. Ноженкова Л.Ф., ИВМ СО РАН; д.т.н. Потатуркин О.И., ИАиЭ СО РАН*).

15.11 Интеллектуальная программная поддержка в задачах оптимальной цифровой обработки случайных полей и изображений дискретной структуры (*координаторы: д.т.н. Киричук В.С., ИАиЭ СО РАН; д.т.н. Резник А.Л., ИАиЭ СО РАН*).

**Программа 19. Фундаментальные проблемы нелинейной динамики в математических и физических науках (координаторы: *акад. Фаддеев Л.Д., чл.-корр. РАН Кузнецов Е.А.*).**

19.2 Развитие теории нелинейно-волновых явлений в оптических линиях связи, лазерных системах и фоторефрактивных средах (*координатор д.ф.-м.н. Комаров К.П., ИАиЭ СО РАН*).

**Программа 24. Фундаментальные основы технологий наноструктур и наноматериалов (координатор *акад. Алферов Ж.И.*).**

24.1 Фемтосекундная запись микро- и наноструктур показателя преломления в нефоточувствительных, структурированных и вытянутых волоконных световодах (*координатор чл.-корр. РАН Бабин С.А., ИАиЭ СО РАН*).

24.6 Плазмонный нанолазер (*координатор д.ф.-м.н. Плеханов А.И., ИАиЭ СО РАН*).

24.7 Разработка и исследование методов генерации и детектирования широкополосного терагерцового излучения на основе преобразования фемтосекундных лазерных импульсов в растровых структурах на объемных и многослойных полупроводниках (*координатор д.т.н. Потатуркин О.И., ИАиЭ СО РАН*).

24.8 Лазерно-индуцированное размерное наноструктурирование металлических и кремнесодержащих пленок как метод создания элементов дифракционной оптики и фотоники (*координатор д.т.н. Пелещук А.Г., ИАиЭ СО РАН*).

24.9 Плазмонные резонансы для металлических наночастиц с заострениями формы (*координатор д.ф.-м.н. Стурман Б.И., ИАиЭ СО РАН*).

24.10 Рассеяние неоднородной волны на периодическом массиве наночастиц (*координатор д.ф.-м.н. Шапиро Д.А., ИАиЭ СО РАН*).

24.58 Разработка и апробация платформы для быстрого секвенирования отдельных молекул ДНК в реальном времени с использованием флуоресцентных аналогов субстратов в нанореакторах объемом 50 зептолитров (*координатор акад. Грачев М.А., ЛИИ СО РАН; ответственный исполнитель от ИАиЭ СО РАН к.т.н. Бессмельцев В.П.*).

#### 4.2 ПРОГРАММЫ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Выполнено 4 проекта в 3 программах Отделения физических наук РАН.

##### **Программа II.5. Физика новых материалов и структур (*координатор чл.-корр. РАН Кведер В.В.*).**

II.5.3 Синтез и исследование микро- и нанокристаллической сегнетоэлектрической керамики на основе титаната бария (*координатор д.ф.-м.н. Малиновский В.К., ИАиЭ СО РАН*).

##### **Программа III.8. Фундаментальные проблемы фотоники и физика новых оптических материалов (*координатор ак. РАН Щербаков И.А.*).**

III.8.1 Активные наноплазмонные структуры и нановолокна: методы создания, свойства и возможности применений в лазерных и сенсорных системах (*координаторы: чл.-корр. РАН Бабин С.А.; д.ф.-м.н. Плеханов А.И., ИАиЭ СО РАН*).

##### **Программа III.9. Фундаментальная оптическая спектроскопия и ее приложения (*координатор чл.-корр. РАН Виноградов Е.А.*).**

III.9.1 Исследование спектроскопических эффектов при взаимодействии излучения со структурированными средами и с газом высокого давления в резонансных условиях (*координатор акад. Шалагин А.М., ИАиЭ СО РАН*).

III.9.2 Взаимодействие фемтосекундных импульсов света с бозе-эйнштейновским конденсатом и ультрахолодными атомами рубидия (*координатор д.ф.-м.н. Чаповский П.Л., ИАиЭ СО РАН*).

## 5 РФФИ, РНФ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2014 году сотрудники Института выполнили 23 проекта по грантам РФФИ (табл. 5.1):

Таблица 5.1.

№ п/п	№ проекта	Руководитель/Ответственный исполнитель
1.	12-02-01118-а	Полещук А.Г.
2.	12-02-01130-а	Чаповский П.Л.
3.	13-01-00361-а	Резник А.Л.
4.	13-02-00805-а	Бабин С.А.
5.	13-02-90475Укр-ф-а	Плеханов А.И.
6.	13-03-00237-а	Суровцев Н.В.
7.	13-07-00081-а	Кирьянов А.В.
8.	13-00-14307-ир	Шалагин А.М./Вьюхина Н.В.
9.	14-02-00449-а	Каблуков С.И.
10.	14-02-31099-мол-а	Данилина Н.А.
11.	14-04-31451-мол-а	Окотруб К.А.
12.	14-02-00189-а	Малиновский В.К.
13.	14-02-00732-а	Твердохлеб П.Е.
14.	14-02-06019-г	Бабин С.А.
15.	14-00-10268-ир	Шалагин А.М./Вьюхина Н.В.
16.	14-29-07227-м	Полещук А.Г.
17.	14-29-08134офи-м	Плеханов А.И.
18.	14-42-08027-р_офи_м	Терентьев В.С.
19.	14-42-08026-р_офи_м	Лобач И.А.
20.	14-42-08023-р_офи_м	Бабин С.А.
21.	12-03-00709-а	Плеханов А.И.
22.	12-02-01141-а	Черных А.И.
23.	13-07-12202 офи-м	Борзов С.М.

По гранту РНФ выполнялся проект 14-22-00118 «Генерация и нелинейное преобразование излучения в схеме волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой большой мощности», *руководитель чл.-корр. РАН Бабин С.А.*

В 2014 г. получен грант Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-4447.2014.2 «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред» (*руководитель академик РАН Шалагин А.М.*), а также грант Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-228.2014.2 («Исследование временных и статистических свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью», *руководитель к.ф.-м.н. Чуркин Д.В.*).

Главным научным сотрудником Института *Гибиным И.С.* и зав. лабораторией *Бессмельцевым В.П.* получены стипендии Президента РФ для ученых-исполнителей оборонного заказа.

Кроме того, в 2014 году продолжали получать стипендию Президента РФ *Будушев Е.Д.* для проведения исследований по теме «Разработка программно-алгоритмических методов оптимизации параметров прецизионной лазерной микрообработки, основанных на оптических технологиях 3D-измерений и данных автоматически формируемой базы знаний по лазерной обработке материалов», а также *Мещеряков Д.В.* для проведения исследований по теме «Численное моделирование и анализ режимов связанных солитонов в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод».

Аспирантами Института *Узловым С.Б.* и *Потатуркиным А.О.* получены стипендии Правительства РФ для обучающихся по направлениям подготовки (специальностям), соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики РФ.

Магистрант НГТУ *Данилина Н.А.*, выполняющая работу под руководством сотрудника Института *Атутова С.Н.*, продолжала получать стипендию Правительства РФ.

Грант SPIE для участия в школе-конференции «Границы в оптике, лазерная наука» (США) получен *Донцовой Е.И.*

В рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки научных школ РФ сотрудниками Института выполнен проект «Исследование формирования когерентных структур в нелинейных средах», *научный руководитель д.ф.-м.н. Комаров К.П.*, грант № НШ-3753.2014.2 «Развитие теории нелинейных явлений» (школа академика *Захарова В.Е.*, чл.-корр. РАН *Кузнецова Е.А.*).

Сотрудники Института (*Белай О.В.*, *Фрумин Л.Л.*, *Шапиро Е.Г.*, *Шапиро Д.А.*, *Чуркин Д.В.*) принимали участие в исследованиях по направлению «Физическая платформа нелинейных фотонных технологий и систем», проводимых под руководством профессора *Турицына С.К.* (Университет Астон, Великобритания) в рамках гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских образовательных учреждениях высшего профессионального образования, научных учреждениях государственных академий наук и государственных научных центрах РФ.

Победителями конкурса мэрии г. Новосибирска на предоставление субсидий молодым ученым и специалистам в сфере инновационной деятельности в 2014 году стали м.н.с. *Доставалов А.В.*, аспирант *Вольф А.А.*, а также научный сотрудник к.ф.-м.н. *Акулов В.А.*

## **6 РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ**

### **6.1 Автоматизированная система диспетчерского управления**

В ИАиЭ СО РАН разработана автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ), предназначенная для управления технологическими процессами, как в обычных условиях, так и на объектах повышенной опасности.

Примером внедрения разработки служит созданная на ее основе автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена, находящаяся в постоянной эксплуатации с 2005 года, которая не только использовалась при вводе в эксплуатацию новых станций, но и позволила провести поэтапное переоборудование уже действующих, без изменения режима работы метрополитена.

В 2012 г. завершена модернизация автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов на всех станциях Новосибирского метрополитена.

В 2014 г. разработанная система дополнена контурами резервирования рабочих мест и сетевого оборудования, повышающими общую надежность, а также предоставляющими функции восстановления при типовых отказах.

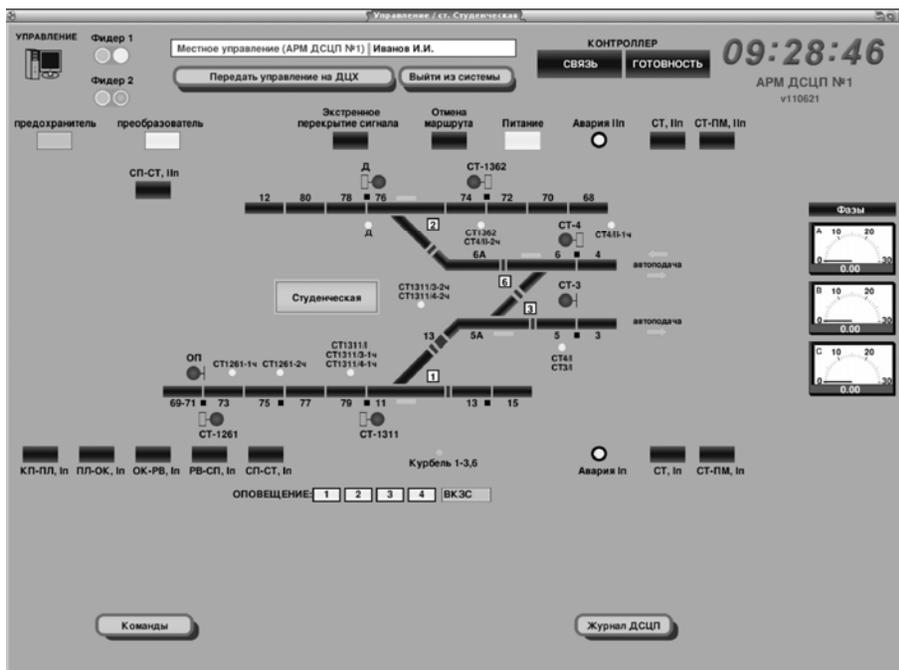
Основные функции АСДУ:

- сбор, обработка информации и представление оператору состояния технологических объектов в режиме реального времени;
- предоставление оператору средств управления технологическими объектами;
- контроль правильности действий оператора и поддержка системы статических и динамических подсказок;
- протоколирование действий оперативного персонала, внешних событий и функционирования аппаратуры;
- просмотр в динамическом режиме состояния устройств автоматики за любой период времени, в том числе и в режиме реального времени.

В рамках данной работы:

- предложены принципы построения интеллектуальных автоматизированных систем управления технологическими процессами для объектов повышенной опасности;
- созданы средства проектирования систем управления, обладающих прозрачностью программного обеспечения, высокой надёжностью и живучестью, поддерживающих контроль и архивирование действий персонала, функции ассистента оператора, непрерывный мониторинг и диагностирование состояния объекта;
- разработана открытая модульная многоплатформенная SCADA-система, поддерживающая распределенное резервирование и

предназначенная для создания многоуровневых программных комплексов повышенной надежности и безопасности.



**Рис. 6.1.** Видеокادر пользовательского интерфейса АСДУ (рабочее место дежурного по станции «Студенческая» Новосибирского метрополитена)

*Технико-экономические преимущества:*

Помимо высокой надежности, основными достоинствами предложенной архитектуры является обеспечение многоуровневого анализа безопасности действий оператора, повышенной живучести системы и восстановления рабочего состояния в случае выхода из строя ее составляющих. Дополнительное преимущество предложенной схемы состоит в возможности изменения конфигурации без перезапуска остальной части системы, например подключение дополнительных резервирующих узлов и линий связи, выключение части оборудования на профилактическое обслуживание, а также замена программного и аппаратного обеспечения с предварительным тестированием в параллельном режиме, что позволяет в случае необходимости организовать поэтапную модернизацию.

Основные отличительные особенности:

- многоплатформенность (GNU/Linux, Windows, QNX);
- масштабируемость;
- модульность;
- резервируемость;
- использование открытых стандартов;
- многоуровневый контроль действий оператора.

*Области применения:* Автоматизированная система предназначена для диспетчерского управления технологическими процессами и может использоваться на промышленных объектах повышенной опасности.

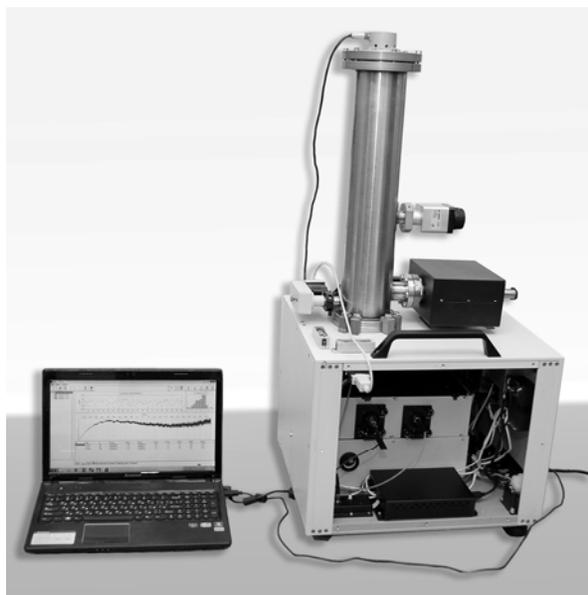
*Уровень практической реализации:* разработанная на основе данной АСДУ система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена эксплуатируется с 2005 г. Система также ежегодно совершенствуется и дополняется модулями, предоставляющими новые функции персоналу и разработчикам.

*Коммерческие предложения:* договор на изготовление и поставку продукции.

*Ориентировочная стоимость:* цена договорная.

## **6.2 Баллистический абсолютный гравиметр ГАБЛ-ПМ для полевых работ**

Принцип действия баллистического гравиметра основан на измерении пути и времени свободного падения тела в вакууме. Этот принцип позволяет использовать естественные (и наиболее точно определенные) стандарты длины и времени. Перемещение падающего тела измеряется интерферометрическим методом: мерой длины служит длина волны лазера. В качестве осветительной системы интерферометра используется стандарт длины на базе твердотельного Nd:YAG-лазера, стабилизированного по йоду, с рабочей длиной волны 532 нм. Мерой интервалов времени являются сигналы прецизионного рубидиевого стандарта частоты. Приборы, основанные на абсолютном методе измерений, характеризуются отсутствием дрейфа нуля, что позволяет проводить измерения вне связи с опорной гравиметрической сетью. Приборы подобного типа в России не выпускаются.



**Рис. 6.2.** Гравиметр «ГАБЛ-ПМ»

## Технические характеристики гравиметра ГАБЛ-ПМ

1. Среднеквадратическая неопределенность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести, мкГал, не более	3
2. Неисключенная систематическая неопределенность измерения ускорения силы тяжести, мкГал, не более	5
3. Число отсчетов за одно падение пробной массы, не менее	5000
4. Время одного цикла измерений, с, не более	8.5
5. Потребляемая мощность, Вт, не более	250
6. Масса гравиметра, кг, не более	60

### *Технико-экономические преимущества:*

Стационарные баллистические гравиметры (GABL-G, FG-5, IMGС), как показали регулярные Международные сверки абсолютных гравиметров (САG), проводимые раз в 4 года в Международном бюро весов и мер (BIPM, Севр, Франция), отлично зарекомендовали себя при работе в лабораторных условиях. Однако для развития прикладных геофизических исследований остро стоит задача создания полевого прибора для работы в жестких условиях внешней среды.

Гравиметр ГАБЛ-ПМ отличается малыми габаритами, высокой надежностью, независимым энергопитанием и простотой эксплуатации при условии сохранения высоких метрологических характеристик. Новая версия оптической схемы со встроенной системой контроля и полуавтоматической подстройки вертикальности лазерного луча, а также линейным расположением измерительного и референтного плеч интерферометра позволяет существенно снизить погрешности, обусловленные ошибками выставления вертикали и горизонтальной составляющей вибросейсмических помех.

Гравиметр ГАБЛ-ПМ по сравнению с разработанными до сих пор гравиметрами имеет следующие преимущества и особенности:

1) позволяет осуществлять полевые измерения абсолютных значений и разностей ускорения силы тяжести в автономном режиме, не требуя подключения к внешним источникам питания, что существенно увеличивает круг пунктов, на которых можно будет проводить измерения;

2) обеспечивает высокую точность полевых измерений при уменьшении времени измерения на одном пункте, недостижимую существующими ныне приборами;

3) обладает малыми габаритами и весом, что существенно повышает его мобильность.

Создание высокоточного прибора ГАБЛ-ПМ с улучшенными эксплуатационными характеристиками позволит в перспективе повысить эффективность гравиметрических и геодезических работ в стране.

*Области применения:* высокоточные определения абсолютного значения ускорения силы тяжести необходимы при решении ряда задач геодезии, геофизики и космонавтики:

- создание пунктов фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС), государственной фундаментальной гравиметрической сети (ГФГС), эталонных гравиметрических и геодинамических полигонов и полевых гравиметрических пунктов 1-го класса;
- создание высокоэффективной системы геодезического обеспечения и дальнейшего развития глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС на территории Российской Федерации;
- проведение прогнозно-поисковых работ с целью выбора информативных геолого-геофизических признаков, поисков перспективных нефтегазоносных структур, в том числе в условиях вечной мерзлоты;
- изучение изменений физических условий на эксплуатируемых месторождениях нефти и газа, происходящих в ходе откачки нефти и газа;
- решение задач геодинамики, в частности, при изучении глубинного строения земной коры и поиска предвестников сильных землетрясений;
- корректировка траекторий ракет, искусственных спутников Земли и космических аппаратов.

*Уровень практической реализации:* завершена разработка и выпущена малая серия приборов ГАБЛ-ПМ. Во время испытаний гравиметров отработаны режимы удаленного управления всеми его узлами с помощью портативного компьютера по кабелю через USB-порт и с использованием дополнительного компьютера по беспроводной сети. По результатам измерений установлено, что инструментальная среднеквадратическая погрешность измерения абсолютного значения ускорения силы тяжести гравиметром не превышает  $\pm 5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$  (5 мкГал).

*Патентная защита:*

1. Патент РФ на полезную модель № 99194. Лазерный баллистический гравиметр. Опубл. 10.11.2010. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». № 31, 2010.
2. Патент РФ на изобретение № 2498356. Способ выставления вертикали лазерного луча в баллистическом гравиметре и устройство для его осуществления. Опубл. 10.11.2013. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели». № 31, 2013.

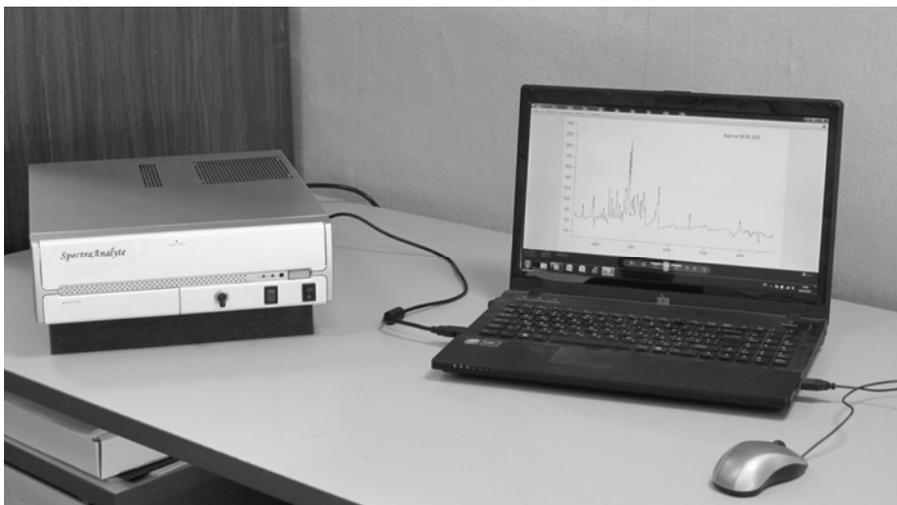
*Коммерческие предложения:* изготовление на основе контрактов, поставка и техническое сопровождение гравиметров ГАБЛ-ПМ.

*Ориентировочная стоимость:* ~ 10 млн. руб.

### **6.3 Прибор для определения сверхмалых примесей в газах и в окружающем воздухе «SpectraAnalyte»**

Назначение прибора – определения сверхмалых примесей в газах или в окружающем воздухе. Работа его основана на спектроскопическом исследовании тлеющего разряда в воздухе или в исследуемом газе. Эта

технология достаточно проста; она исключает использование дорогих несущих газов (гелий и аргон), баллонов высокого давления, криогенных температур, сверхвысоковакуумных насосов и пр. и может иметь широкую область применений.



**Рис. 6.3.** Внешний вид прибора

*Технико-экономические преимущества:* прибор позволяет детектировать сверхмалые примеси в газах и в воздухе. При этом не используются дорогие несущие газы (гелий и аргон), баллоны высокого давления, криогенные температуры, сверхвысоковакуумные насосы и пр.

*Области применения:* прибор может быть использован в медицине для детектирования биомаркеров в выдыхаемом воздухе для мониторинга социально значимых заболеваний, в том числе диабета. В экологии для детектирования следов ртути, радона, диоксина и т. д. Прибор может быть использован в промышленности, например для определения качества бензина. В пищевой промышленности – для определения качества водки. Он может быть использован для определения паров вредных веществ или следов наркотических веществ в воздухе.

*Уровень практической реализации:* имеется работающий прототип.

*Патентная защита:*

1. Патент РФ на изобретение 2505807. Способ увеличения концентрации примесей, выделяемых из газовой смеси. Опубл. № 3, 27.01.2014. Бюллетень «Изобретения. Полезные модели».
2. Подана заявка на Полезную модель № 2015106375/28/ Приоритет от 25.02.2015 г.

*Коммерческие предложения:* совместная разработка опытного образца (опытной установки).

*Ориентировочная стоимость:* ~30 тыс. руб.

#### 6.4 Измерительный блок для тестирования различных вариантов фотоприемных устройств среднего и дальнего ИК-диапазонов

На основе разработанного в 2012–2013 гг. «Субмодуля АЦП» создан совместно с ИФП СО РАН измерительный блок для тестирования различных вариантов фотоприемных устройств (ФПУ) среднего и дальнего ИК-диапазонов. Блок содержит «Субмодуль АЦП», а также аналоговое обрамление и формирователь синхроимпульсов для матрицы ФПУ. Кроме самого блока разработан оригинальный программный драйвер (DLL) для обеспечения непрерывного потока данных из устройства в память компьютера. Программа верхнего уровня производит задание управляющих параметров, статистическую обработку изображения и визуализацию результатов обработки.

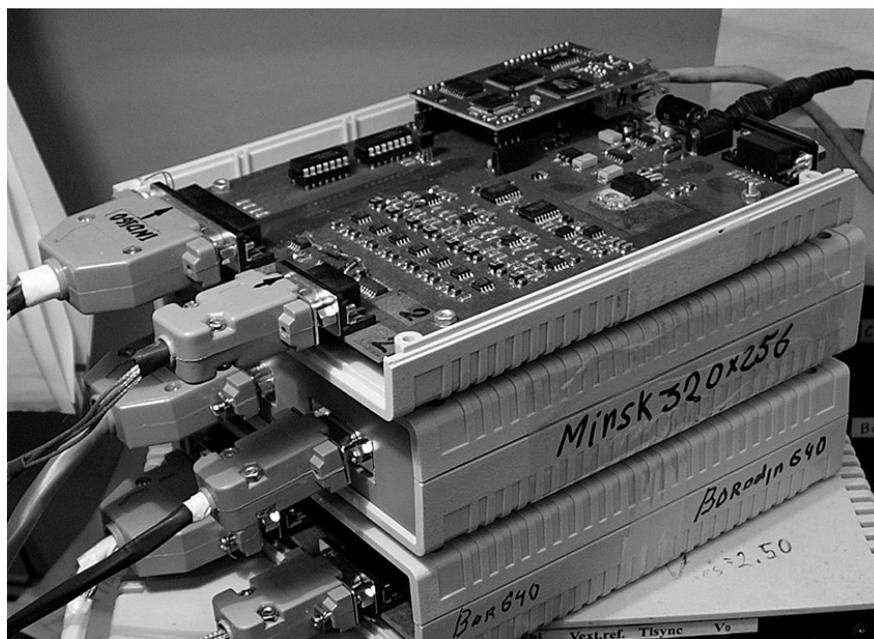
На фотографии (рис. 6.4) представлены несколько измерительных блоков для матриц ФПУ с форматом 320×256, 384×288 и 640×512.

Основные параметры измерительных блоков ФПУ, форматы фотоприемных матриц:

Спектральный диапазон ФПУ, мкм	3–14
Характеристики измерительной части (АЦП):	
разрешение, бит	14
максимальный темп преобразования, МГц	10
интегральная нелинейность, бит	±2.5
относительный шум (СКО), бит	0.45
Характеристики канала передачи данных:	
интерфейс	Fast Ethernet (100 Мбит/с)
протокол передачи потока данных	UDP
формат передаваемых данных (размер слова), бит	16
максимальный непрерывный темп передачи данных	5 Мслов/с (~80 Мбит/с)

	Размерность матрицы ФПУ, пиксель	Темп обработки кадров, кадр/с
1	160×120	до 200
2	320×240	до 55
3	384×288	до 40
4	640×512	до 15

*Технико-экономические преимущества:* отечественное ФПУ ИК-диапазона с универсальным интерфейсом Ethernet позволяет экономить на вычислительной платформе при создании прикладного программного обеспечения.



**Рис. 6.4.** Измерительные блоки для матриц ФПУ с форматом 320×256, 384×288 и 640×512 (у верхнего блока снята крышка)

*Области применения:* универсальный измерительный блок применяется в исследовательских стендах для изучения перспективных фотоприемных матриц на структурах КРТ, GaAs / AlGaAs и т. п., а также при создании прикладного программного обеспечения.

*Уровень практической реализации:* опытный образец (изготовлено 12 экземпляров).

*Коммерческие предложения:* совместная коммерциализация.

*Ориентировочная стоимость:* ~ 80 тыс. руб.

## 7 НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

### 7.1 ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2014 ГОДУ (на 31.12.2014)

#### Численный состав (чел.)

Общая численность 371

В том числе:

Научных работников 144

Академиков 1

Член-корреспондентов РАН 1

Докторов наук 31

Кандидатов наук 68

Научных работников без степени 43

Молодых (до 35 лет) специалистов 32

Аспирантов 19

#### Публикации (шт.)

Монографии, главы в монографиях 2

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных) 91

Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных) 56

Доклады в сборниках (трудах) международных конференций 49

Охранные документы 17

#### Количество проектов и договоров

По плану фундаментальных научных исследований СО РАН 10

Гранты и стипендии Президента РФ 5

РФФИ и РНФ 24

Программы РАН и СО РАН 42

Договоры и контракты

с российскими заказчиками 42

с зарубежными заказчиками 4

### 7.2 СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

#### **Научные лаборатории, тематические группы и их руководители**

(01): Физики лазеров – *А.И. Плеханов, д.ф.-м.н.*

Physics of Lasers – *A.I. Plekhanov, Dr. Sci.*

(02): Нелинейной спектроскопии газов – *А.М. Шалагин, академик РАН, проф.*

Nonlinear spectroscopy of gases – *A.M. Shalagin, Academician, Prof.*

(03): Нелинейной физики – *К.П. Комаров, д.ф.-м.н.*

Nonlinear Physics – *K.P. Komarov, Dr. Sci.*

- (04): Спектроскопии конденсированных сред – *Н.В. Суровцев, д.ф.-м.н.*  
Condensed matter spectroscopy – *N.V. Surovtsev, Dr. Sci.*
- (04-1): Мощных ионных лазеров – *В.И. Донин В.И., д.ф.-м.н.*  
High-Power Ion Lasers – *V.I. Donin, Dr. Sci.*
- (05): Оптических информационных систем – *В.А. Лабусов, д.т.н., проф.*  
Optical Information Systems – *V.A. Labusov, Dr. Sci., Prof.*
- (05-1): Многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений – *В.А. Лабусов, д.т.н., проф.*  
Multi-channel Analyzers of Optical and X-ray Radiation – *V.A. Labusov, Dr. Sci., Prof.*
- (05-2): Лазерных информационно-измерительных систем – *В.С. Соболев, д.т.н., проф.*  
Laser Informatics-Measurement Systems – *V.S. Sobolev, Dr. Sci., Prof.*
- (06): Дифракционной оптики – *А.Г. Полещук, д.т.н.*  
Diffractive Optics – *A.G. Poleschuk, Dr. Sci.*
- (06-1): Лазерной гравиметрии – *Ю.Ф. Стусь, к.т.н.*  
Laser gravimetry – *Y.F. Stus, Ph. D.*
- (07): Лазерной графики – *В.П. Бессмельцев, к.т.н.*  
Laser Graphics – *V.P. Bessmeltsev, Ph. D.*
- (08): Тонкопленочных сегнетоэлектрических структур – *Э.Г. Косцов, д.ф.-м.н.*  
Thin-Film Ferroelectric Structures – *E.G. Kostsov, Dr. Sci.*
- (09): Нечетких технологий – *М.Н. Филиппов, к.т.н.*  
Fuzzy Technologies – *M.N. Filippov, Ph. D.*
- (10): Цифровых методов обработки изображений – *В.П. Косых, к.т.н.*  
Digital Methods for Image Processing – *V.P. Kosykh, Ph. D.*
- (10-1): Аналого-цифровых систем – *В.Н. Вьюхин, к.т.н.*  
Analog-Digital Systems – *V.N. Vyukhin, Ph. D.*
- (11): Фотоники – *Д.А. Шапиро, д.ф.-м.н., проф.*  
Photonics – *D.A. Shapiro, Dr. Sci., Prof.*
- (11-3): Нелинейной оптики – *Е.В. Подивилов, д.ф.-м.н.*  
Nonlinear Optics – *E.V. Podivilov, Dr. Sci.*
- (12): Вероятностных методов исследования информационных процессов – *А.Л. Резник, д.т.н.*  
Probability Research Methods for Information Processing – *A.L. Reznik, Dr. Sci.*

- (13): Программных систем машинной графики – *М.М. Лаврентьев, д.ф.-м.н., проф.*  
 Software Systems for Computer Graphics – *M.M. Lavrentyev, Dr. Sci., Prof.*
- (13-1): Магистрально-модульных систем – *О.В. Сердюков, к.т.н.*  
 Bus modular system – *O.V. Serdyukov, Ph. D.*
- (14): Синтезирующих систем визуализации – *Б.С. Долговесов, к.т.н.*  
 Computer Visualization Systems – *B.S. Dolgovesov, Ph. D.*
- (14-1): Информатики и прикладной математики – *А.В. Лухачев, д.т.н.*  
 Informatics and Applied Mathematics – *A.V. Likhachev, Dr. Sci.*
- (15): Информационной оптики – *С.М. Борзов, к.т.н.*  
 Information Optics – *S.M. Borzov, Dr. Sci.*
- (15-1): Оптико-электронных специализированных процессоров – *Е.С. Нежевенко, д.т.н.*  
 Optoelectronic Specialized Processors – *E.S. Nezhevenko, Dr. Sci.*
- (15-2): Имитационно-моделирующих стендов – *И.С. Гибин, д.т.н.*  
 Simulation Stands – *I.S. Gibin, Dr. Sci.*
- (15-3): Автоматизации измерительных технологий – *И.Н. Сковородин.*  
 Measuring Technology Automation – *I.N. Skovorodin.*
- (16): Интегрированных информационных систем управления – *А.А. Лубков, к.т.н.*  
 Integrated Informational Control Systems – *A.A. Lubkov, Ph. D.*
- (16-1): Языковых средств проектирования информационных систем управления – *В.Е. Зюбин, д.т.н.*  
 Linguistic Means for Design of Informational Control Systems – *V.E. Zyubin, Dr. Sci.*
- (16-2): Встроенных систем управления и обработки сигналов – *В.И. Литвинцев.*  
 Embedded Systems for Controlling and Signal Processing – *V.I. Litvintsev.*
- (17): Волоконной оптики – *С.А. Бабин, член-корр. РАН.*  
 Fiber Optics – *S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS.*

### 7.3 РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА

В 2014 г. состоялось 11 протокольных заседаний Ученого совета ИАиЭ СО РАН, на которых:

- Утверждены индивидуальные планы и темы диссертационных работ аспирантов приема 2013 г.;
- Утвержден отчет ИАиЭ СО РАН о научной и научно-организационной деятельности в 2013 году;
- Утверждены рейтинговые показатели подразделений Института за 2012–2013 гг.;
- Проведены конкурсы на замещение вакантных должностей научных работников ИАиЭ СО РАН, по результатам которых выбрано: ведущих научных сотрудников – 1, научных сотрудников – 2, младших научных сотрудников – 5;
- Рассмотрены и одобрены изменения в Устав ИАиЭ СО РАН в связи с принятием федерального закона РФ от 27.09.2013 г. № 253-ФЗ «О российских академиях наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и передачей Института в ведение Федерального агентства научных организаций (ФАНО России);
- На соискание премии Правительства РФ 2014 года в области науки и техники в состав авторского коллектива работы «Разработка научных основ, создание и внедрение оптико-информационных методов, систем и технологий бесконтактной диагностики динамических процессов для повышения эффективности и безопасности в энергетике, промышленности и на транспорте», выдвигаемой ИТ СО РАН как головной выдвигающей организацией, выдвинуты сотрудники Института к.т.н. зав. лабораторией Борзов С.М. и д.т.н. профессор зам. директора Потатуркин О.И.;
- В научно-организационное управление РАН представлено предложение по кандидатуре Бессмельцева В.П. на получение стипендии Президента РФ для ученых-исполнителей оборонного заказа;
- Проведено обсуждение планов ФАНО РФ по изменению структуры сети научных организаций с образованием научных Центров;
- Поддержано выдвижение Бедняковой А.Е., Харенко Д.С. и Николаева Н.А. на соискание премии Президента РФ в области науки и инноваций для молодых ученых за 2014 год;
- Рассмотрены и поддержаны 3 заявки сотрудников Института (Достовалов А.В., Лобач И.А., Мальцев А.С.) на участие в конкурсе 2014 года на предоставление субсидий в виде муниципальных грантов мэрии города Новосибирска молодым ученым и специалистам;
- Рассмотрены и поддержаны 5 заявок сотрудников Института (Ватник И.Д., Злобина Е.А., Лобач И.А., Мещеряков Д.В., Соловьев А.А.)

на получение стипендии Президента РФ для молодых ученых и аспирантов, осуществляющих перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики;

- Рассмотрено и поддержано представление зав. кафедрой «Электроники и электротехники» НГТУ д.т.н. проф. Харитоновой С.А. к почетному званию «Заслуженный деятель науки Российской Федерации»;
- Поддержана кандидатура д.ф.-м.н., профессора, генерального директора государственного научного учреждения «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», лауреата государственной премии Беларуси Тузикова А.В. для участия в выборах в члены-корреспонденты НАН Беларуси по специальности «Информатика в медицине и биологии»;
- Рассмотрен план мероприятий Института по повышению эффективности деятельности в части оказания государственных услуг (выполнения работ) на основе целевых показателей, совершенствования системы оплаты труда, включая мероприятия по повышению оплаты труда соответствующих категорий работников, оптимизационные меры. План разработан в связи с указами Президента РФ и Планом мероприятий ФАНО России («дорожной картой»);
- Обсуждены и утверждены важнейшие результаты научных исследований за 2014 год;
- Утверждены отчеты по «базовым» темам и проектам РАН фундаментальных научных исследований, выполнявшимся в рамках госзадания ИАиЭ СО РАН на 2014 год в соответствии с Планом НИР Института и «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»;
- Утверждены годовые отчеты о результатах НИР по теме НШ-4447.2014.2 «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред», выполненной в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (руководитель академик РАН Шалагин А.М.), а также по теме «Исследование временных и статистических свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью», выполняемой в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых МК-228.2014.2. (руководитель к.ф.-м.н. Чуркин Д.В.);
- Рассмотрены и утверждены государственное задание и план НИР Института на 2015 г., а также дополнения к ним по проектам ФНИ Президиума и Отделений РАН;
- Рассмотрено и одобрено ходатайство перед Президиумом РАН о научно-методическом руководстве Институтотом Отделением физических

наук (ОФН) РАН и Отделением нанотехнологий и информационных технологий (ОНИТ) РАН.

#### 7.4 РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

В 2014 году в аспирантуру Института принято 5 человек, все – выпускники НГУ 2014 года.

Всего на 30.11.2014 обучение проходят 19 аспирантов. В 2014 году 3 выпускника закончили обучение с представлением диссертации.

В Институте работал диссертационный совет Д 003.005.01 (специальности: 01.04.04 – «Физическая электроника», физико-математические науки; 01.04.05 – «Оптика», физико-математические и технические науки; 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», технические науки).

В 2014 г. проведено 4 заседания Совета, защищено 9 диссертаций (3 докторских, 6 кандидатских).

На соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика»:

*Каблуков С.И.* «Нелинейное преобразование спектра генерации перестраиваемых волоконных лазеров».

На соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.05 «Оптика»:

*Корольков В.П.* «Лазерные литографические системы и технологии синтеза рельефно-фазовых оптических элементов».

На соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

*Ющенко В.П.* «Непроекционная реконструкция изображения объектов при монохроматическом зондировании пространства и синтезе апертуры».

На соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 «Оптика»:

*Злобина Е.А.* «Непрерывная параметрическая генерация в двулучепреломляющих волоконных световодах с накачкой иттербиевым волоконным лазером»;

*Абдуллина С.Р.* «Подавление боковых резонансов в спектре волоконных брэгговских решеток, записанных гауссовым пучком в голографических схемах»;

*Попова В.А.* «Исследование стеклующихся жидкостей методом рэлеевского рассеяния света».

На соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.05 «Оптика»:

*Николаев Н.А.* «Исследование эффективности преобразования фемтосекундных импульсов волоконного эрбиевого лазера в терагерцовое излучение для задач широкополосной спектроскопии».

На соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

*Аляжкин С.А.* «Классификация объектов в сейсмической системе обнаружения с учетом параметров их движения»;

*Савельев В.В.* «Методы формирования и оценки качества автостереоскопических изображений».

В диссертационном совете Д.219.005.02 при ФГОБУ ВПО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики» сотрудником Института *Зюбиным В.Е.* защищена диссертация «Процессориентированная технология программирования, модели, языки и инструментальные средства для спецификации алгоритмов управления сложными техническими системами» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Институт является базовым для трех специализированных кафедр Новосибирского государственного университета: «Квантовая оптика» (КО) – зав. кафедрой директор Института академик РАН А.М. Шалагин, «Автоматизация физико-технических исследований» (АФТИ) – зав. кафедрой зам. директора по научной работе д.т.н. В.С. Киричук и «Информационно-измерительные системы» (ИИС) – зав. кафедрой зам. директора по научной работе д.т.н. О.И. Потатуркин, а также кафедры Новосибирского государственного технического университета «Оптические информационные технологии» (ОИТ) – зав. кафедрой заведующий Лабораторией оптических информационных систем Института д.т.н. В.А. Лабусов. На этих кафедрах в 2014 г. обучались 65 студентов 3–4 курсов и 47 магистрантов. Под руководством научных сотрудников Института выполняли дипломные работы и магистерские диссертации 41 студент.

В работе со студентами, магистрантами и аспирантами участвовали около 50 сотрудников Института, среди которых один академик, один член-корреспондент РАН, 18 докторов и 20 кандидатов наук.

Аспиранты и магистранты ИАиЭ СО РАН получают дополнительную оплату при их участии в научно-исследовательских работах лабораторий Института.

На базе Института действует шесть научно-образовательных центров (НОЦ). Совместно с НГУ созданы НОЦ в области автоматизации и волоконной оптики НОЦ АВО (руководитель академик РАН Шалагин А.М., исполнительный директор чл.-корр. РАН Бабин С.А.), НОЦ «Опτικο-информационные технологии в приборостроении» (руководитель д.т.н. Потатуркин О.И.), НОЦ «Прикладные системы для хранения, обработки и передачи информации» (руководитель к.т.н. Романанко А.А.). В 2010 году совместно с НГТУ и КТИ НП СО РАН создан НОЦ «Оптические информационные технологии» (руководитель д.т.н. Лабусов В.А.). В 2011

году совместно с НГУ, ИФП СО РАН, КТИ НП СО РАН, ОАО «ЦКБ» Точприбор» и ОАО «ПО «НПЗ» создан НОЦ «Оптоэлектроника». Институт входит также в состав НОЦ НГТУ «Полупроводниковые нанотехнологии» (руководитель д.ф.-м.н. Гайслер В.А.).

В 2014 г. получила традиционную поддержку в виде гранта Президента РФ научная школа «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред» (руководитель акад. РАН Шалагин А.М.). Грантом Президента РФ отмечена работа молодого кандидата наук Чуркина Д.В. («Исследование временных и статистических свойств генерации волоконного лазера со случайной распределенной обратной связью»), стипендии Президента РФ получены Булушевым Е.Д. для продолжения исследований по теме «Разработка программно-алгоритмических методов оптимизации параметров прецизионной лазерной микрообработки, основанных на оптических технологиях 3D-измерений и данных автоматически формируемой базы знаний по лазерной обработке материалов», а также Мещеряковым Д.В. для продолжения исследований по теме «Численное моделирование и анализ режимов связанных солитонов в волоконных лазерах с пассивной синхронизацией мод». Аспирантами Института Узиловым С.Б. и Потатуркиным А.О. получены стипендии Правительства РФ для обучающихся по направлениям подготовки (специальностям), соответствующим приоритетным направлениям модернизации и технологического развития экономики РФ. Магистрант НГТУ Данилина Н.А., выполняющая работу под руководством сотрудника Института Атугова С.Н., продолжала получать стипендию Правительства Российской Федерации.

Грант SPIE для участия в школе-конференции «Границы в оптике, лазерная наука» (США) получен Донцовой Е.И.

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. РАН Шалагин А.М.) и «Информационные технологии и системы» (руководитель д.т.н. проф. Потатуркин О.И.), в рамках которых в 2014 году проведено 19 и 6 семинаров соответственно.

В отчетном году Институт входил в состав организаторов XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности», VI Российского семинара по волоконным лазерам (с участием иностранных ученых), российско-британского семинара «Новые виды материалов и систем для фотоники и сенсорики», молодежной конкурс-конференции «Фотоника и оптические технологии – 2014», а также Всероссийской конференции «Физика ультрахолодных атомов – 2014».

## 7.5 МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

Продолжалось сотрудничество ученых ИАиЭ СО РАН с учеными Института электроники Болгарской АН (г. София).

Совместные с коллегами из Анжуйского (Франция) и Фрайбургского (Германия) университетов, а также Института физики (Украина) про-

должались исследования формирования световых структур в нелинейных средах и системах, включая волоконные генераторы ультракоротких импульсов света и микрорезонаторы. Получены результаты, позволяющие определить характеристики этих структур через параметры исследуемых систем. Результаты проведенных совместных исследований опубликованы в ведущих научных журналах.

Совместно с украинскими коллегами (НПО «Доминанттекс» и «Индастриалтехнолоджиз групп», г. Киев) продолжаются работы, связанные с применением низкочастотной дифракционной томографии для решения обратных задач геоэлектрики.

Результаты фундаментальных исследований сотрудников Института в области колебательной спектроскопии кристаллов, стекол и стеклюющихся жидкостей отражены в совместных публикациях с зарубежными учеными из Германии (University Bremen; Institute of Energy and Climate Research, Jülich).

Поддерживается сотрудничество с Международной Ассоциацией научного и технологического развития IASTED. Заведующий лабораторией д.т.н. *Резник А.Л.* является членом Технического Комитета IASTED по обработке изображений, входит в Программные комитеты и принимает активное участие в формировании научных программ и отборе работ для Международных научных конференций “Signal and Image Processing” (SIP), “Visualization, Imaging and Image Processing” (VIIP), “Automation, Control, and Information Technology” (ACIT).

По программе совместных фундаментальных исследований СО РАН и НАН Беларуси (2012–2014 гг.) в сотрудничестве с Объединенным институтом проблем информатики (г. Минск) и Институтом технологии металлов (г. Могилев) успешно выполнен проект «Методы, алгоритмы и программно-аппаратные системы реконструкции, улучшения качества и повышения разрешающей способности сигналов и изображений видимого и ИК-диапазонов».

По программе совместных фундаментальных исследований СО РАН и НАН Украины выполнен проект «Разработка моделей, методов и алгоритмов для оценки состояния растительных сообществ лесостепной и степной зон с использованием данных космического мониторинга».

В рамках европейской программы обменов FP7-IRSES осуществлены визиты в университет Астон, Великобритания (*Ватник И.Д., Горбунов О.А.*) для выполнения совместных работ по созданию и исследованию свойств рэлеевских волоконных лазеров со случайной распределенной обратной связью. С ответными визитами в Институт приезжали Мезенцев В.К. (университет Астон, Великобритания), Саволайнен П. и Филиппов В. (университет Тампере, Финляндия). Результаты, полученные учеными Института с их зарубежными коллегами из Китая при исследовании новой схемы волоконного ВКР-лазера со случайной распределённой обратной связью за счёт обратного рэлеевского рассеяния в коротком световом диапазоне, вошли в список основных достижений по оптике в 2014 году по версии OSA.

Для студентов Российско-китайского института, созданного НГУ совместно с Хэйлунцзянским университетом г. Харбина, сотрудниками Института прочитаны циклы лекций по волоконной оптике (чл.-корр. РАН *Бабин С.А.*) и оптическим измерениям (к.ф.-м.н. *Сорокин В.А.*).

Грант SPIE для участия в школе-конференции «Границы в оптике, лазерная наука» (США) получен *Донцовой Е.И.*

В рамках контракта с Физико-техническим институтом Германии (г. Брауншвейг) сотрудники ИАиЭ СО РАН участвуют в разработке системы для измерения наносил.

В соответствии с грантом РФФИ № 13-02-90475 Укр-ф-а (совместный конкурс российско-украинских проектов 2013 г.) продолжается выполнение проекта «Фотоника нанокompозитных систем на основе органических люминофоров» совместно с Институтом сцинтилляционных материалов НАН Украины (г. Харьков).

Сотрудник Института *Носов Д.А.* принял участие в гравиметрических исследованиях на территории Вьетнама в составе международной экспедиции Московского государственного университета геодезии и картографии.

В рамках года России в Великобритании и Великобритании в России Британским Советом совместно с Новосибирским государственным университетом и Институтом автоматизации и электротехники СО РАН проведен научный семинар «Новые виды материалов и систем для фотоники и сенсорики», в работе которого приняли участие 10 зарубежных ученых.

В отчетном году Институт входил в состав организаторов XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности», VI Российского семинара по волоконным лазерам (с участием иностранных ученых).

В заграничные служебные командировки для участия в совместных исследованиях, конференциях и выставках в 2014 году выезжали 24 сотрудника ИАиЭ СО РАН. С целью ознакомления с научными достижениями ИАиЭ СО РАН и обсуждения совместных работ в 2014 году Институт посетили более 20 иностранных учёных из Великобритании, Сербии, Ирана, США, Китая, Южной Кореи, Ирландии, Финляндии, Эстонии, Белоруси, Украины, НР Бангладеш.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены более чем в 100 докладах на международных конференциях, а также на 9 международных выставках.

В текущем году продолжали действовать 6 договоров о международном научно-техническом сотрудничестве (МНТС) с организациями:

- Университет Астон, г. Бирмингем, Великобритания. Учетный номер НТИМИ 0683/02/10;
- Университет Анже, г. Анже, Франция. Учетный номер НТИМИ 0683/03/10;

- Консорциум (Университет Астон, г. Бирмингем, Великобритания; Технологический университет Тампере, Финляндия; Университет Монс, Бельгия). Учетный номер НТИМИ 0474/02/12;
- Компания «Индустриалтехнолджиз групп», г. Киев, Украина. Учетный номер НТИМИ 0487/02/13;
- НПО «Доминантекс», г. Киев, Украина. Учетный номер НТИМИ 0487/01/13;
- Институт Фотоники и Электроники Академии Наук Чешской Республики, г. Прага, Чехия. Учетный номер НТИМИ 0391/01/13.

В 2014 году зарегистрирован новый договор МНТС с организацией:

- Федеральный физико-технический центр, Брауншвайг и Берлин, Германия. Учетный номер НТИМИ0079/01/14.

## 7.6 ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2014 г. Институтом получены:

- Патент № 2505807 на изобретение «Способ увеличения концентрации примесей, выделяемых из газовой смеси» (авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И.). Официальный бюллетень РОСПАТЕНТА «Изобретения. Полезные модели» (далее – Бюллетень РОСПАТЕНТА), № 3, 27.01.2014;
- Патент № 2523746 на изобретение «Многоэлементный генератор терагерцового излучения» (авторы: Потатуркин О.И., Николаев Н.А., Мамрашев А.А., Анцыгин В.Д., Корольков В.П., Конченко А.С.). Бюллетень РОСПАТЕНТА № 20, 20.07.2014;
- Патент № 2520946 на изобретение «Активная среда лазера» (авторы: Кучьянов А.С. Мальцева Е.О. Плеханов А.И. Игуменов И.К. Кучумов Б.М.), 27.06.2014;
- Патент № 147271 на полезную модель «Интерферометр для контроля формы и углового положения оптических поверхностей» (авторы: Полещук А.Г., Хомутов В.Н.). Бюллетень РОСПАТЕНТА, № 30, 27.10.2014;
- Патент № 147599 на полезную модель «Чувствительный элемент для измерения влажности воздуха» (авторы: Чубаков В.П., Чубаков П.А.). Бюллетень РОСПАТЕНТА, № 31, 10.11.2014;
- Патент № 2534435 на изобретение «Эталонный дифракционный оптический элемент (варианты)» (автор Полещук А.Г.). Бюллетень РОСПАТЕНТА, № 33, 27.12.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014613405 «Программа для преобразования изображений, получаемых спутниками высокоэллиптической орбиты, в изображениях, характерные для геостационарного спутника» (авторы: Громилин Г.И. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Куликов В.А., Попов С.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26.03.2014;

- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014613984 «Программа для контроля качества лазерной микрообработки MarkInspector» (автор Булушев Е.Д.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 16.04.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014613658 «Программа для получения изображений, повышенного разрешения по последовательности изображений низкого разрешения с субпиксельными смещениями» (авторы: Громилин Г.И. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Куликов В.А., Попов С.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 02.04.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014615895 «Программа управления круговым лазерным записывающим устройством» (авторы: Шиманский Р.В., Черкашин В.В.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 05.06.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014616783 «Графический пользовательский интерфейс управления презентационным комплексом» (авторы: Мазурок Б.С., Черепанов А.И., Городилов М.А., Долговец Б.С., Тарасовский А.Н.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 14.05.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014618632 «Программная модель преобразования изображений сканирующим оптико-электронным устройством с многоразрядным матричным фотоприемником» (автор Попов С.А.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 28.08.2014;
- Свидетельство на программу ЭВМ № 2014618845 «Программа формирования текстур с заданными программными характеристиками» (авторы: Иванов В.А., Косых В.П., Шакенов А.К.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.08.2014;
- Введен режим конфиденциальности (ноу-хау) в отношении разработки «Программно-технический комплекс управления группой сейсмических вибраторов для активного зондирования земной коры (схемотехника, микропрограммы контроллеров и программа на РС, реализующие алгоритмы управления вибраторами и сеансами мониторинга)» (автор Литвинцев В.И.). Приказ № 35 от 08.12.2014.

В РОСПАТЕНТе находятся заявки:

- на изобретение «Способ изготовления дифракционного оптического элемента (ДОЭ)» (авторы: Полещук А.Г., Корольков В.П., Шиманский Р.В., Черкашин В.В.). Получено решение о выдаче патента;
- на изобретение «Способ измерения уровня расплава и его скорости вращения при выращивании кристаллов» (автор Михляев С.В.). Получено решение о выдаче патента;
- на изобретение «Компактное устройство записи изобразительных голограмм» (автор Пен Е.Ф.). Получено решение о выдаче патента;

- на изобретение «Способ определения скорости и направления ветра и некогерентный доплеровский лидар» (авторы: Титков В.И., Соболев В.С., Уткин Е.Н.);
- на изобретение «Способ прокачки раствора красителя для лазерных резонаторов» (авторы: Суровцев Н.В., Рудыч П.Д.);
- на полезную модель «Приставка к цифровому вольтметру для измерения токов фетоамперного диапазона» (автор Попов Ю.А.). Получено решение о выдаче патента;
- на полезную модель «Устройство для считывания линейных штриховых кодов» (авторы: Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев В.П.). Получено решение о выдаче патента;
- на изобретение «Устройство для визуализации инфракрасного излучения» (авторы: Гибин И.С., Гугучкин В.И., Котляр П.Е.);
- на полезную модель «Устройство преобразования сигналов интерферометра для высокоточных измерителей перемещений» (авторы: Щербаченко А.М., Соболев В.С.);
- на полезную модель «Устройство контроля положения плоскости изделия для систем автофокусировки» (авторы: Бессмельцев В.П., Лоншаков Е.А.). Получено решение о выдаче патента;
- на изобретение «Волоконный источник однонаправленного одночастотного поляризованного лазерного излучения с пассивным сканированием частоты (варианты)» (авторы: Бабин С.А., Каблуков С.И., Лобач И.А.);
- на изобретение «Многоканальный конфокальный микроскоп (варианты)» (авторы: Бессмельцев В.П., Терентьев В.С.);
- на программу ЭВМ «Пользовательский интерфейс многофункционального микшера-коммутатора и базовая часть его серверного ядра» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Тарасовский А.Н., Храпцов И.Д.);
- на программу ЭВМ «Модуль взаимодействия с контроллером датчиков и пользовательский интерфейс приложения для мобильного мониторинга параметров жизнедеятельности пациента» (авторы: Долговесов Б.С., Мазурок Б.С., Махеев И.В.);
- на программу ЭВМ «Программное обеспечение для управления комплексом устройств интерферометра, захвата оцифрованных интерферограмм и их математической обработки в интерактивном режиме» (авторы: Шиманский Р.В., Корольков В.П.).

Поддерживается в действии 66 патентов Института, зарегистрировано 15 программ для ЭВМ, 1 база данных, 2 товарных знака, оформлено 8 ноу-хау.

Заключено 2 договора о совместном патентовании.

В Институте работает Комиссия по охране результатов интеллектуальной деятельности.

В ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (ФГАНУ ЦИТиС) для регистрации в государственном информационном фонде неопубликованных документов направлен отчет:

Экспериментальные методы изучения пространственной структуры и свойств оптических материалов путем трехмерного лазерного сканирования/двухфотонной модификации микрообъемов вещества (№ гос. рег. 01201257315), рук. Твердохлеб П.Е. (заключительный, инв. № 215030340005).

Зарегистрированы информационные карты реферативно-библиографических сведений (ИКРБС) по отчетам:

- Проект П.10.2.4 (Фундаментальные научные исследования (ФНИ) государственных академий наук). Генерация и нелинейное преобразование лазерного излучения в структурированных волоконных и планарных световодах (№ гос. рег. 01201260299), рук. Бабин С.А.;
- Проект № 68 (Междисциплинарные Интеграционные проекты СО РАН). Разработка физических основ микрообработки и структурирования прозрачных материалов излучением мощного фемтосекундного лазера (№ гос. рег. 01201260297), рук. Бабин С.А.;
- Проект № 43 (Партнерские Интеграционные проекты СО РАН). Синтез, исследование свойств и применений микроструктурированных компонентов для волоконно-оптических и микрооптических систем на основе модифицированных стекол и новых амплитудно-фазовых фоторегистрирующих сред с реверсивными свойствами (№ гос. рег. 01201260298), рук. Шалагин А.М.;
- Проект № 24.1 (ФНИ Президиума РАН). Фемтосекундная запись микро- и наноструктур показателя преломления в нефоточувствительных, структурированных и вытянутых волоконных световодах (№ гос. рег. 01201260299), рук. Бабин С.А.;
- Проект № Ш.8.1 (ФНИ ОФН РАН). Активные наноплазмонные структуры и нановолокна: методы создания, свойства и возможности применений в лазерных и сенсорных системах (№ гос. рег. 01201260300), рук. Бабин С.А.

## 7.7 ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

В 2014 г. поданы две заявки на финансирование со стороны Фонда перспективных исследований. Заявки находятся на рассмотрении.

В связи с реформой РАН, проводимой Федеральным Агентством Научных Организаций (ФАНО), в Институте проведён краткий внутренний технологический аудит и сформирован список перспективных технологий и научно-технических разработок, которые могут быть внедрены в период до 2020 года.

Ведется работа по экспертизе публикаций и материалов, направляемых за рубеж для открытого представления, а также по экспертизе международных контрактов на предмет соответствия проводимых работ, разрабатываемых технологий и поставок оборудования и материалов перечням контрольных списков. Продолжена работа по заключённым ранее международным контрактам. Новых контрактов не заключалось.

Сотрудники Инновационного отдела повышают свою квалификацию путем участия в различных семинарах и конференциях по патентной и инновационной тематике.

На конкурсы инновационных проектов в рамках международных выставок и форумов были представлены проекты и разработки:

- Электростатические микрогенераторы энергии с высокой удельной мощностью – в номинации «Лучший инновационный проект (разработка) в области: источники электрической энергии, аккумуляторы, топливные элементы, солнечные батареи, ветрогенераторы» – награжден **Золотой медалью и Дипломом I степени XX** Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*);
- Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей – в номинации «Наносистемы, наноустройства, наноматериалы, нанотехнологии» – награжден **Золотой медалью и Дипломом I степени XX** Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*);
- Многофункциональная интерактивная система для обучения и презентаций на базе технологии интегрированной виртуальной реальности – в номинации «Информационные технологии, образовательные технологии (в т. ч. программы ЭВМ, базы знаний, базы данных)» – награжден **Дипломом XX** Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*);
- Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей (совместно с ЗАО «Дифракция») – удостоен **звания** «Лауреат конкурса Лазерной Ассоциации 2014 года» и награжден **Дипломом I степени** конкурса Выставки лазерной оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики–2014» (*Москва*).

## 7.8 УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

На **Постоянно действующей экспозиции Выставочного центра СО РАН (г. Новосибирск)** представлены следующие разработки Института:

- Оптоволоконные лазерные системы (планшет) – *лаб. 17*;
- Широкополосная терагерцовая спектроскопия (планшет) – *лаб. 15*;
- Приборы для исследования полупроводниковых структур (планшет) – *тем. группа 10-1*;
- Дифракционные оптические элементы: синтез и применение (планшет, коллекция образцов) – *лаб. 06*;
- Нанометрология асферических поверхностей (планшет) – *лаб. 06*;
- Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки (планшет, образцы) – *лаб. 07*;
- Исследовательский автоматизированный высокотемпературный пресс (планшет) – *тем. группа 15-3*;
- Автоматизированная система диспетчерского управления (на примере управления движением поездов метрополитена) (планшет) – *лаб. 09*.

На **Постоянно действующей экспозиции законченных разработок СО РАН двойного назначения** в Малом зале Выставочного центра СО РАН (г. Новосибирск) представлены:

- Мобильные устройства контроля подлинности документов, удостоверяющих личность – *лаб. 07*;
- Устройства микроэлектромеханики (MEMS) – *лаб. 08*.

В зале **хозяйственных организаций, созданных на основе разработок институтов СО РАН** от ИАиЭ СО РАН и соответствующих хоз. организаций, представлены разработки: ООО «Инверсия-Сенсор», ООО «Инверсия-Файбер», ЗАО «СофтЛаб-НСК», ООО «Корвет», ООО «Сиб-Сенсор», ООО «Торнадо МС».

На **постоянно действующей** выставке инновационных разработок СО РАН в **Китайско-российском технопарке г. Чанчуня (г. Чанчунь провинции Цилинь, КНР)** представлены: «Дифракционные оптические элементы – синтез и применение», «Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки», «Оптоволоконные лазерные системы», «Программно-алгоритмический комплекс анализа данных дистанционного зондирования земли», «Баллистический абсолютный гравиметр ГАБЛ» (совместно с ООО «ГравиКо»), «Мощные ионные лазеры».

В 2014 г. Институт принимал участие в следующих выставках:

- XX Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» и VIII Петербургский партнериат малого и среднего бизнеса (под руководством мэрии г. Новосибирска) в рамках Петербургской технической ярмарки (*Санкт-Петербург, Россия*): «Дифракционные оптические элементы: синтез и применение», «Широкополосная терагерцовая спектроскопия», «Технологии виртуальной реальности в тренажёрных и обучающих системах», «Устройства микроэлектромеханики (MEMS)»;
- IX Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. мир лазеров и оптики – 2014» (*Москва, Россия*): «Дифракционные элементы – синтез и применение», «Интерферометр ФТИ-100РС», «Контроль асферических поверхностей», «Волоконные лазеры видимого и ИК диапазона»;
- X Международная выставка «Интерэкспо ГеоСибирь» (*г. Новосибирск, Россия*): «Дифракционные оптические элементы: синтез и применение», «Полевой абсолютный баллистический гравиметр», «Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки», «Устройства микроэлектромеханики (MEMS)», «Информационный комплекс дистанционного зондирования Земли», «Многослойная голографическая память на основе двухфотонных регистрирующих материалов»;
- VII Международный салон «Комплексная безопасность – 2014» в составе объединенного стенда МВД России (*Москва, Россия*): «Неохлаждаемый тепловизионный прицел для стрелкового оружия Путь-100», «Фемтосекундные технологии для изготовления оптических сеток», «Спектрометры нового поколения для атомно-эмиссионного анализа»;
- Специализированная выставка в рамках Международного форума технологического развития «Технопром–2014» (*г. Новосибирск, Россия*): «Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов», «Автоматизированные системы диспетчерского управления (на примере управления движением поездов метрополитена)», «Малогобаритный многоканальный спектрометр Колибри-2»;
- V Харбинская международная выставка научно-технических достижений» (*Харбин, КНР*): «Одночастотный волоконный лазер со стабилизацией частоты», «Автоматизированная система диспетчерского управления», «Лазерный интерферометр для контроля поверхностей оптических деталей», «Системы лазерной микрообработки и нанесения идентификационной маркировки», «Широкополосная терагерцовая спектроскопия»;
- Выставка "Open Innovations Expo" в рамках III Московского международного форума инновационного развития "Open Innovations-2014"

(Москва, Россия): «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Оптоволоконные лазерные системы»;

- Международная выставка оборудования и технологий для городской коммунально-инженерной инфраструктуры "IDES – SIBERIA" (г. Новосибирск, Россия): «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Специализированные ПТК АСУТП Торнадо для автоматизации объектов энергетики», «Многофункциональная интерактивная система для обучения и презентаций на базе технологии интегрированной виртуальной реальности», «Автоматизированные системы диспетчерского управления», «Приборы контроля объектов энергетики и электротехнического оборудования»;
- Выставка в рамках конференции RUS-LASA (Санкт-Петербург, Россия) совместно с компанией ООО «АИСофтПро»: работающий прототип системы автоматизации тестирования лабораторных животных EthoStudio (совместная разработка ИАиЭ СО РАН, ИЦиГ СО РАН и компании ООО «АИСофтПро»);
- Тематическая экспозиция в рамках приема представителей руководства РЖД (г. Новосибирск, Россия): «Автоматизированная микропроцессорная система диспетчерского управления (на примере управления движением поездов метрополитена)»; «Малогабаритные (в т.ч. мобильные) системы оперативного контроля подлинности документов и идентификации владельцев»;

Институтом периодически (6 раз в год) издается общероссийский научный журнал «Автометрия», который переводится и переиздается в США под названием "Optoelectronics, Instrumentation, and Data Processing".

Издан Годовой отчет о деятельности Института в 2013 г. (202 с., тираж 100 экз.).

Подготовлены и опубликованы рекламно-информационные материалы об Институте и ряде инновационных разработок:

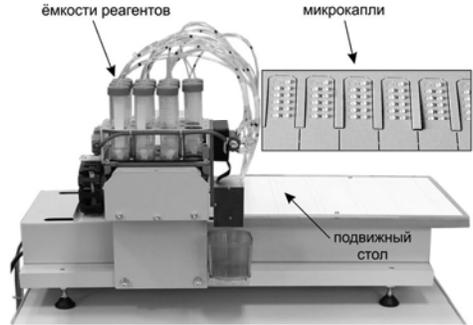
- в Каталоге научно-технических достижений «Инновации» 2014–2015, с. 14–16. Электронная версия каталога [www.innovacii.nsk.ru](http://www.innovacii.nsk.ru);
- в газете «Советская Сибирь», № 244–245 за 25 декабря 2014 г. в разделе «Наука» размещен материал «Теория и практика: взаимное проникновение», а в специальном выпуске «Территория развития», приуроченном к началу работы Международного форума технологического развития «ТЕХНОПРОМ-2014» - интервью с директором Института академиком РАН А.М. Шалагиным.

Подготовлен рекламный блок по оборудованию для бесприборных тест-систем диагностики заболеваний для журнала «Медтехника»; изготовлены 3 новых рекламных баннера и 2 проспекта по разработкам Института:

## Оборудование для нанесения иммунореагентов захвата на белковые матрицы «Диспенсер-БМ»

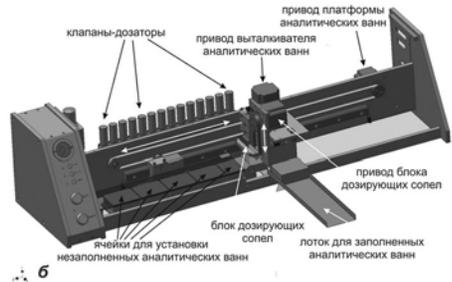
Предназначено для селективного дозированного нанесения на поверхности заготовок (аналитических матриц) из гидрофобного материала жидких иммунореагентов в виде микрокапель. Нанесение производится методом регулируемой капельной печати при помощи электромагнитных микроклапанов-диспенсеров. Высокая производительность нанесения иммунореагентов обеспечивается многоканальной системой капельной печати.

Способ сканирования	растровый
Максимальный размер зоны обработки, мм*мм	420×300
Количество различных каналов одновременной капельной печати	11
Разрешение, мкм	25
Воспроизводимость, мкм	50
Минимальный размер капли, мкл	0,05
Диапазон изменения размера, мкл	0,05-5
Скорость формирования аналитических матриц, шт/мин	более 50
Обрабатываемые материалы	бумага, пластиковые пленки
Размеры установки, мм	ширина 1000, высота 1350, глубина 800



## Устройство для автоматического заполнения аналитических ванн

Предназначено для автоматической подачи и позиционирования аналитических ванн, одновременного заполнения ячеек ванн растворами и их выгрузки в специальный лоток для последующей запайки герметизирующей пленкой. Устройство обеспечивает скорость заполнения до 60 ванн в час с количеством ячеек 5×11.



Общий вид (а) и вид без защитного кожуха (б) устройства для автоматического заполнения аналитических ванн.

Число дозаторов	14
Диапазон объемов заполнения по каждой ячейке стрипа	0,3...1,5 мл (задается программно)
Погрешность дозирования растворов в этом диапазоне не более	5 %
Внешний диаметр наконечников для подачи растворов не более	1,2 мм



Институт автоматизации и  
электротехники СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1

тел. +7(383) 330-79-69; факс (383) 330-88-78  
e-mail: iae@iae.nsk.su; http://www.iae.nsk.su



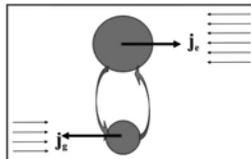
ЗАО "Объединенные Лазерные  
Технологии" (ОЛТех)

тел. +7(383) 333-24-91;  
e-mail: bessmelt@iae.nsk.su



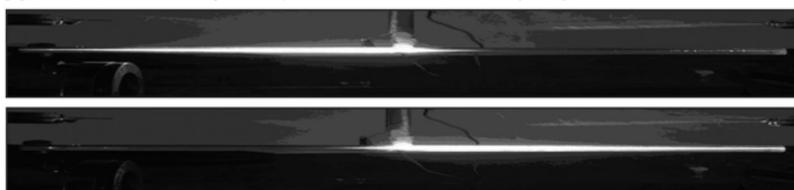
## Институт автоматики и электрометрии СО РАН СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ДРЕЙФ

Явление светоиндуцированного дрейфа было открыто теоретически – «на кончике пера» в Институте автоматики и электрометрии в 1979 [1, 2]. Суть этого явления заключается в перемещении в пространстве с помощью резонансного светового излучения поглощающих частиц, например атомов, меняя только отстройку частоты света вблизи максимума линии поглощения данных атомов. Причем, что очень интересно, этот процесс движения не требует затрат ни энергии, ни импульса со стороны светового излучения, а затраты «энтропии или информации». С этой точки зрения это явление является экспериментальной реализацией концепции Демона Максвелла.



[1] Ф.Х. Гельмуханов, А. М. Шалагин, Письма в ЖЭТФ 29, 773 (1979).

[2] В.Д. Анцыгин, С.Н. Атутов и др., Письма в ЖЭТФ 30, 262 (1979).



### Химически пекулярные звёзды



Чтобы узнать состав звезды, астрономы анализируют спектр её излучения. Именно в нём содержится информация об элементном составе вещества светила. Получаемая таким образом информация более или менее однородна: большинство звёзд имеет тот же состав атмосферы, что и Солнце. Однако некоторые из молодых звезд (примерно 15 %) выделяются: в их спектрах многие элементы, в особенности тяжёлые, представлены значительно полнее. Более того, по составу эти так называемые химически пекулярные светила сильно разнятся и между собой. Ясно, что такие звёзды в целом обладают нормальным химическим составом, а их поверхность по каким-то причинам обогащена одними элементами и обеднена другими.

В работе [3] нами был предложен механизм сепарации химических элементов в атмосферах пекулярных звёзд на основе светоиндуцированного дрейфа. Наша модель существенно дополняет общепринятую модель сепарации, которая основана на совместном действии светового давления и гравитации.

Последние численные расчёты показали, что сепарация химических элементов под действием светоиндуцированного дрейфа ионов в условиях атмосфер холодных CP-звёзд может быть на порядок более эффективна по сравнению с сепарацией, обусловленной световым давлением. В то же время в атмосферах горячих звёзд можно ожидать примерно одинаковую величину проявления эффектов светоиндуцированного дрейфа и светового давления. И лишь для очень горячих пекулярных звёзд СИД-эффект проявляется слабо: там превалирует механизм светового давления.



[3] С.Н. Атутов, А. М. Шалагин, Письма в Астрон. журн. 14, 664 (1988).

Институт автоматики и электрометрии СО РАН [www.iae.nsk.su](http://www.iae.nsk.su)

630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1

Тел.: (383) 3333-174, факс: (383) 330-88-78, [atutov@fe.infn.it](mailto:atutov@fe.infn.it)

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ИНТЕРАКТИВНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И ПРЕЗЕНТАЦИЙ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

**Многофункциональная интерактивная система обучения и презентаций** – это высокоинтегрированный мультимедийный комплекс на базе персонального компьютера (или Notebook), обеспечивающий в реальном масштабе времени формирование и визуализацию изображений тематической виртуальной среды в комбинации с видеоизображением реального персонажа (лектора), взаимодействующего с моделями объектов этой среды.

### Состав программно-аппаратного комплекса системы:

- подсистема визуализации результирующего изображения;
- интерактивные средства управления презентацией: джойстик, манипулятор «мышь», планшетный ПК;
- съемочное оборудование для записи видеоизображения докладчика и звука, специализированный одноцветный фон (синий или зеленый);
- специализированное программное обеспечение.

### Система обеспечивает:

- интерактивное «присутствие» реального персонажа (лектора, экскурсовода и др.) в предметной виртуальной среде и его взаимодействие с моделями объектов этой среды;
- отображение мультимедийных данных различных форматов (видеоданные с различных носителей, PowerPoint – презентации, текст и др.);
- создание обучающего материала в виде интерактивных лекций/уроков или презентаций как для прямого вещания, так и студийной записи на различных носителях;
- проведение презентаций (лекций) в режиме телеконференций.

**Применение:** обучение в реальном времени в системах очного и дистанционного образования, в том числе в режиме телеконференций; оперативная подготовка и переквалификация технических специалистов; презентации научно-технических разработок; создание виртуальных музеев, планетариев и др.; создание электронных учебных пособий и презентационных материалов с использованием интерактивных виртуальных сред.

### Изображения, формируемые системой, демонстрируют эффект интерактивного «присутствия» лектора в предметной виртуальной среде



Интерактивная демонстрация трехмерных моделей МКС (справа) и ее модуля "Заря" (слева)



Пример пользовательского интерфейса системы



Интерактивная демонстрация трехмерной модели ускорителя протонов



Презентация результатов научных исследований



**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН**  
630090 Новосибирск, пр. Ак. Коптюга, 1; <http://www.iae.nsk.su>

Тел. +7 (383) 330-83-00, Факс: 330-88-78  
e-mail: [innovation@iae.nsk.su](mailto:innovation@iae.nsk.su)

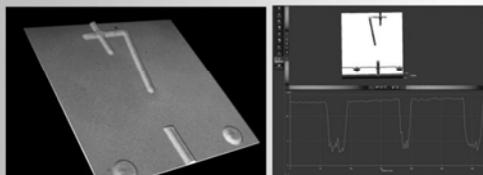
Тел. +7 (383) 330-81-82  
e-mail: [bsd@iae.nsk.su](mailto:bsd@iae.nsk.su)

## Лазерные фемтотехнологии и системы точной микрообработки прозрачных, высокотемпературных и хрупких материалов

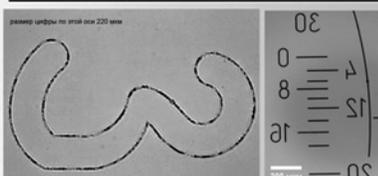
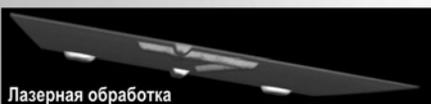
Точная лазерная микрообработка стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок изделий оптико-механической промышленности методами прямой лазерной записи

Система обеспечивает высокую точность и разрешение, возможность обработки хрупких материалов (оптические стекла и кристаллы, керамика, металлы) без микротрещин и сколов.

### Измерение профиля обработки стеклянной заготовки (конфокальная микроскопия)

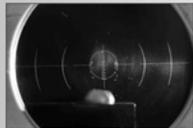


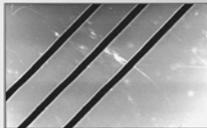
### Прецизионная гравировка стекол



### Применение лазерных гравировки и микрорезки

**Фемто**

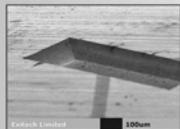


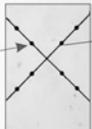


Гравировка стекла (минимальная ширина линии 5 мкм)      Хром (1–10 мкм) на кварцевой подложке

ширина линии 10 мкм

**Пико**





Циркон      Изделие из фольги толщиной 100 мкм (микрорезка)

20 мкм

максимальный формат изделий 100x100x50 мм<sup>3</sup>  
разрешение не хуже 50 нм

- Система ориентирована на использование в производственных условиях, и программное обеспечение и технологическая оснастка выполнены в соответствии с требованиями ТУ для изделий российской оптико-механической промышленности.
- Производительность системы (скорость формирования трехмерных профилей в оптически прозрачных хрупких материалах) на порядок превышает аналогичные показатели западных экспериментальных образцов.

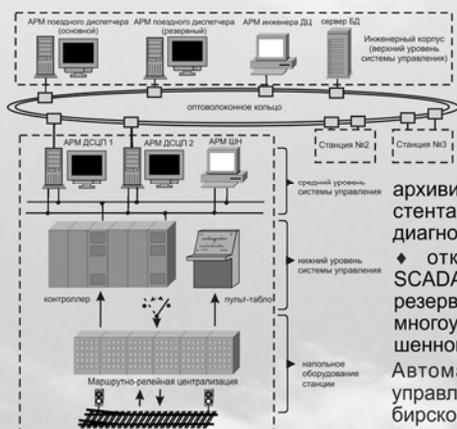


Институт автоматизации и электрометрии СО РАН [www.iae.nsk.su](http://www.iae.nsk.su), факс: (383) 330-88-78  
630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1, тел.: (383) 330-83-00, (383) 333-24-91  
E-mail: [innovation@iae.nsk.su](mailto:innovation@iae.nsk.su), [bessmelt@iae.nsk.su](mailto:bessmelt@iae.nsk.su)



# СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

## СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ



♦ интеллектуальные автоматизированные системы управления технологическими процессами для объектов повышенной опасности;

♦ проектирование систем управления, обладающих прозрачностью программного обеспечения, высокой надёжностью и живучестью, поддерживающих контроль и архивирование действий персонала, функции ассистента оператора, непрерывный мониторинг и диагностирование состояния объекта;

♦ открытая модульная многоплатформенная SCADA-система, поддерживающая распределенное резервирование и предназначенная для создания многоуровневых комплексов повышенной надежности и безопасности.

Автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов внедрена в Новосибирском метрополитене. Не имеет аналогов в РФ.

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ РОБОТАМИ

Основные решаемые задачи:

- ♦ траекторное управление;
- ♦ групповое управление;
- ♦ разработка алгоритмов определения местоположения при движении в заранее неизвестной среде;
- ♦ планирование траектории движения при обходе препятствий.

Предложены:

- ♦ оригинальные принципы формирования управляющих параметров, обеспечивающих движение по заданным траекториям, а также поддержание требуемого расположения роботов в группе;
- ♦ новые методы обхода препятствий, оценивания и компенсации погрешности алгоритмов определения местоположения при автономном движении робота в заранее неизвестной среде.



## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ (СТЕНД ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

Назначение:

Разработка и отладка систем автоматического управления (САУ) летательными аппаратами (ЛА).



Возможности:

- ♦ Комплексная отладка алгоритмов управления;
- ♦ Подготовка полетных заданий;
- ♦ Тренажер пилота и оператора БПЛА.

Решаемые задачи:

- ♦ Построение математических моделей САУ;
- ♦ Разработка алгоритмов и программ САУ;
- ♦ Моделирование поведения ЛА;
- ♦ Визуальное моделирование полета ЛА;
- ♦ Ввод полетного задания;
- ♦ Архивирование и просмотр данных телеметрии.

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1, тел.: (383) 333-26-25, (383) 330-83-00, факс: (383) 330-88-78  
www.iae.nsk.su E-mail: zol@idisys.iae.nsk.su, innovation@iae.nsk.su



ИАиЭ СО РАН, НФ ИФП СО РАН «КТИ ПМ»  
НЕОХЛАЖДАЕМЫЙ ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ ПРИЦЕЛ  
ДЛЯ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ «ПУТНИК-100»



Предназначен для установки на стрелковое оружие калибром до 12,7 мм

ПРИМЕРЫ ИЗОБРАЖЕНИЙ



Калибровка прибора происходит автоматически по наблюдаемой сцене. Ручная регулировка не требуется.

ОСОБЕННОСТИ ПРИЦЕЛА

- Высокий динамический диапазон наблюдаемых сцен.
- Высокая устойчивость к мощным источникам излучения и помехам.
- Выдерживает ударные воздействия оружия калибра 12,7 мм.
- Кучность стрельбы не уступает дневному телескопическому прицелу.

Виртуальный сферический экран окуляра прицела позволяет вести длительное наблюдение без утомления глаза оператора.

Передача изображения в реальном времени на внешние устройства при помощи HighSpeed USB 2.0 позволяет использовать прицел для дистанционного наблюдения или на дистанционно управляемом оружии.



## 7.9 НАГРАДЫ

Государственная премия Новосибирской области присуждена авторскому коллективу ИАиЭ СО РАН (Белоконь С.А., Васильев В.В., Золотухин Ю.Н., Филиппов М.Н., Ян А.П.) и МУП «Новосибирский метрополитен» (Марков С.Ф., Михеев Ю.И., Окадьев А.Б., Плотников В.М., Шестаков Ю.М.) за разработку и внедрение в эксплуатацию автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена.

В 2014 году Институтом и его сотрудниками получены следующие награды:

- **Диплом** Лауреата городского дня науки в номинации «Лидер инноваций в академической науке» в области физических наук;
- **Свидетельство Правительства Новосибирской области** «Надежный работодатель» II степени за обеспечение условий эффективного труда работников и успехи в производственной деятельности в 2013 г.;
- **Диплом мэрии г. Новосибирска** за III место в городском конкурсе на соискание звания «Предприятие высокой социальной ответственности»;
- **Золотые медали и Дипломы I степени XX** Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (Санкт-Петербург) за проекты «Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей» и «Электростатические микрогенераторы энергии с высокой удельной мощностью»;
- **Диплом I степени** и звание «Лауреат конкурса Лазерной Ассоциации 2014 года» (Москва, Россия) за разработку «Эталонные синтезированные голограммы и дифракционные элементы для нанометрического контроля сферических и асферических поверхностей»;
- **Диплом XX** Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (Санкт-Петербург) за проект «Многофункциональная интерактивная система для обучения и презентаций на базе технологии интегрированной виртуальной реальности».

Институт также отмечен:

- **Дипломом X** Юбилейной Петербургской технической ярмарки (Санкт-Петербург, Россия) за вклад в развитие научно-промышленного комплекса России;
- **Дипломом IX** Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. мир лазеров и оптики – 2014» (Москва, Россия);
- **Дипломом III** Московского международного форума инновационного развития «Open Innovations–2014» (Москва, Россия);
- **Дипломом X** международной выставки «Интерэкспо ГеоСибирь» (г. Новосибирск, Россия);

- **Сертификатом IDES – SIBERIA.** Международная выставка оборудования и технологий для городской коммунально-инженерной инфраструктуры (г. Новосибирск, Россия) за актуальность и профессионализм;
- **Благодарственным письмом** Международного форума технологического развития «Технопром–2014» за профессионализм, ответственность и готовность к сотрудничеству.

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Вьетнама наградило грамотой сотрудника Института Носова Д.А. за большой вклад в совершенствование Вьетнамской государственной гравиметрической сети (в составе экспедиции Московского государственного университета геодезии и картографии).

Результат работ по созданию высокоэффективного волоконного лазера со случайной распределённой обратной связью вошел в обзор Physics Reports и список основных достижений по оптике в 2014 году по версии OSA, отмечен в качестве одного из двух достижений по лазерам в 2014 г.: Optics and Photonics News, 2014, № 12 (Optics in 2014).

Диплом Canadian journal of Physics. Award for Best Paper. NRC Research Press and the Editorial Staff of CJP have identified the paper “The impact theory of spectral line shapes: a paradigm shift” by A.D. May, W.-K. Liu, F.R.W. McCourt, R. Ciuryło, J. Sanchez-Fortún Stoker, **D. Shapiro**, R. Wehr as the Best Paper published in 2013.

Более 10 сотрудников Института награждены медалями «За заслуги перед НГУ» и Памятными знаками в честь 55-летия со дня основания Новосибирского государственного университета.

## 8 ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2014 г.

В таблице приведены сведения о количестве статей, опубликованных сотрудниками Института в зарубежных и российских журналах и импакт-факторы этих журналов.

Научный журнал (его импакт-фактор)	Число статей	Научный журнал (его импакт-фактор)	Число статей
<u>ЗАРУБЕЖНЫЕ</u>		<u>ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ</u>	
Phys. Reports (22.910)	1	Письма в ЖЭТФ (1.169)	4
Nature Communications (10.742)	1	ЖЭТФ (0.929)	6
The Journal of Physical Chemistry C (4.835)	1	Автоматика и телемеханика (0.622)	1
Phys. Rev. B (3.664)	2	Исследование Земли из космоса (0.619)	1
Optics Express (3.525)	4	Журнал неорганической химии (0.488)	1
Opt. Lett. (3.179)	1	Автометрия (0.450)	22
Journal of Chemical Physics (3.122)	2	Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова (0.426)	1
Phys. Rev. A (2.991)	1	Радиотехника и электроника (0.421)	1
Laser Phys. Lett. (2.964)	2	Оптика и спектроскопия (0.394)	2
Pharmacology, Biochemistry and Behavior (2.820)	1	Фундаментальные исследования (0.366)	2
Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology (2.803)	1	Аналитика и контроль (0.349)	1
Physical Review E (2.326)	1	Биотехнология (0.342)	1
Journal of Applied Physics (2.185)	1	Сибирский журнал индустриальной математики (0.319)	1
Materials Research Bulletin (1.968)	1	Современные проблемы науки и образования (0.306)	1
Journal of Neuroscience Methods (1.959)	1	Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии (0.302)	1
J. Opt. Soc. Am. B (1.806)	1	Вычислительные технологии (0.296)	1

Journal of Non-Crystalline Solids (1.716)	1	Вестник компьютерных и информационных технологий (0.292)	1
Solid State Communication (1.698)	1	Компьютерная оптика (0.262)	2
Optics Communications (1.542)	4	Дистанционное и виртуальное обучение (0.259)	1
Annalen der Physik (1.483)	1	Известия высших учебных заведений. Приборостроение (0.207)	1
The European Physical Journal D (1.398)	1	Перспективы науки (0.193)	3
Opt. Fiber Technology (1.188)	2	Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика (0.187)	1
Laser Physics (1.025)	1	Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (0.186)	1
Opt. Eng. (0.958)	1	Проблемы информатики (0.176)	2
Journal of Plasma Physics (0.739)	1	Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации (0.172)	1
Journal of Earth Science and Engineering (0.546)	1	Научный вестник НГТУ (0.171)	2
Differential and Integral Equation (0.540)	1	Наука и бизнес: пути развития (0.141)	1
European Journal of Natural History (0.211)	1	Электрические станции (0.130)	1
Proc. SPIE (0.200)	10	Радиология – практика (0.115)	1
Measurement Techniques (0.191)	1	Технические науки – от теории к практике (0.013)	1
Другие зарубежные журналы	3	Другие отечественные журналы	27

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

### МОНОГРАФИИ

1. Яценко А. С. Оптические спектры Na- и Mg-подобных ионов / А. С. Яценко. – Новосибирск: Наука, 2014. – 210 с.
2. Veiko V. P., Poleshchuk A. G. Laser-Induced Local Oxidation of Thin Metal Films: Physical Fundamentals and Applications. P. 149–172 // In the book “Fundamentals of Laser-Assisted Micro- and Nanotechnologies” edited by V. P. Veiko, V. I. Konov. Springer Series in Materials Science. – 2014. – V. 195, 322 p.

### СТАТЬИ

#### Научные журналы

1. Абдуллина С. Р., Власов А. А. Методы подавления боковых резонансов в спектре отражения волоконных брэгговских решеток // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 90 – 104.
2. Алямкин С. А., Нежевенко Е. С. Восстановление траектории движущегося объекта в сейсмической системе обнаружения при ограниченном количестве датчиков // Автоматика и телемеханика. – 2014. – № 2. – С. 31 – 39.
3. Алямкин С. А., Нежевенко Е. С. Сравнительный анализ эффективностей фильтра Калмана и фильтра частиц при решении задачи сопровождения объекта в сейсмической системе обнаружения // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 66 – 73.
4. Атутов С. Н., Данилина Н. А., Плеханов А. И., Потешкина К. Д. Фотоэкстракция молекулярных газов из полимерной органической пленки // Письма в ЖЭТФ. – 2014. Т. 99. – № 11. – С. 766 – 770.
5. Атутов С. Н., Данилина Н. А., Микерин С. Л., Плеханов А. И., Андрушкевич М. М., Сурков Е. Н. Детектирование малой примеси ацетона в выдыхаемом воздухе в целях неинвазивной диагностики диабета I типа // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 4. – С. 107 – 113.
6. Бабин С. А., Лабусов В. А. Оценка оптимальных параметров многоэлементных твердотельных детекторов для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Аналитика и контроль. – 2014. – Т. 18. – № 1. – С. 40 – 49.
7. Бевзов А. Н., Курочкин А. В., Лубков А. А., Петухов А. Д., Филатов П. С. Создание программного обеспечения АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа на основе унифицированного процесса разработки // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика. – 2014. – Т. 9. – Вып. 1. – С. 87 – 94.
8. Беднаржевский С. С., Смирнов Г. И., Жосан Д. А. Перспективные технологии нелинейного резонансно-параметрического взаимодействия лазерных полей с наноструктурированными // Наука и бизнес: пути развития. – 2014. – Т. 34. – № 4. – С. 57 – 59.

9. Беднаржевский С. С., Смирнов Г. И., Жосан Д. А. Помехоустойчивость квантовых технологий лазерного облучения неоднородных наноструктурных сред // Перспективы науки. – 2014. – № 4 (55). – С. 89 – 91.
10. Белоусова О. Н., Зеркаль С. М. Численное исследование алгоритма выбора референтного скоростного распределения в задаче кинематической сейсмотомографии // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 120 – 127.
11. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Быстрый алгоритм совмещения изображений для контроля качества лазерной микрообработки // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 2. – С. 343 – 350.
12. Бессмельцев В. П., Горяев Е. П., Ралдугин А. Н., Кривенчук Н. А., Полтавченко А. Г., Ерш А. В., Филатов П. В., Снопков В. П. Многопрофильная серодиагностика инфекционных заболеваний. Устройство для автоматического заполнения аналитических ванн // Биотехнология. – 2014. – № 4. – С. 88 – 96.
13. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Оптимизация режимов лазерной микрообработки (обзор) // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 3 – 21.
14. Бессмельцев В. П., Булушев Е. Д. Метод измерения микроканалов, сформированных фемтосекундным лазером на оптически прозрачных материалах // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 135 – 139.
15. Борзов С. М., Бикинеева О. Р. Использование разновременных спутниковых данных для контроля состояния берегов искусственных водоемов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 182 – 189.
16. Борзов С. М., Потатуркин А. О. Метод обнаружения вновь появившихся объектов строительства на основе анализа спектральных и пространственных характеристик разновременных спутниковых изображений // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 4. – № 1. – С. 119 – 124.
17. Борзов С. М., Потатуркин О. И. Выделение малоразмерных объектов на основе поиска пространственных аномалий для тепловизионных систем наблюдения // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57. – № 3. – С. 63 – 68.
18. Борзов С. М., Потатуркин О. И. Классификация типов растительного покрова по гиперспектральным данным дистанционного зондирования земли // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2014. – Т. 12. – № 4. – С. 13 – 22.
19. Борзов С. М., Потатуркин О. И. Обнаружение выборочных рубок леса по данным дистанционных измерений высокого пространственного разрешения // Исследование Земли из космоса. – 2014. – № 4. – С. 87 – 93.

20. Борзов С. М., Узилов С. Б. Обнаружение слаборазличимых антропогенных изменений на поверхности Земли по данным дистанционного зондирования // Там же. – С. 125 – 130.
21. Будников К. И., Курочкин А. В., Лубков А. А., Яковлев А. В. Синтетический тест TRANSMAIL для оценки датчиков мониторинга электронной почты // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – № 5. – С. 50 – 56.
22. Верхогляд А.Г., Завьялова М.А., Корольков В.П. Датчик автоматической фокусировки для круговых лазерных записывающих систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 117 – 122.
23. Власов Е. В., Ковалев А. М. О контрасте комбинированных изображений в 3D дисплеях, стимулирующих аккомодацию глаза // Там же. – С. 45 – 48.
24. Вяткин С. И. Метод бинарного поиска элементов изображения функционально заданных объектов с применением графических акселераторов // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 89 – 96.
25. Вяткин С. И. Преобразования функционально заданных форм // Программные системы и вычислительные методы. – 2014. – № 4. – С. 484 – 499.
26. Вяткин С. И., Романюк С. А., Величко П. А. Метод итерационного приближения полигональных моделей неявными функциями // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2014. – № 1 (209). – С. 109 – 112.
27. Вяткин С. И., Романюк С. А., Дудник А. А. Геометрическое моделирование на основе скалярных функций возмущения // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – Т. 49. – № 4. – С. 45 – 50.
28. Гибин И. С., Колесников Г. В. Современные устройства измерения параметров и комплексного тестирования инфракрасных ФПУ и приборов (обзор) // Успехи прикладной физики. – 2014. – Т. 2. – № 3. – С. 293 – 302.
29. Гибин И. С., Котенко В. П. Тест-объекты для контроля фотоприемных устройств в инфракрасной области спектра // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2014. – № 2 (55). – С. 60 – 66.
30. Гибин И. С., Котенко В. П., Шурман В. Л. Твердотельный преобразователь изображений // Доклады Академии наук Высшей школы Российской Федерации. – 2014. – № 1 (22). – С. 43 – 51.
31. Гибин И. С., Попов П. Г., Савков Е. В. Инфракрасный телевизионный прибор для анализа изображений // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2014. – № 1 (54). – С. 46 – 51.
32. Горбунов А. И., Сердюков О. В. О выборе исполнительных механизмов для систем автоматического регулирования ТЭС // Электрические станции. – 2014. – № 10. – С. 23 – 26.

33. Горковенко А. И., Плеханов А. И., Симанчук А. Э., Якиманский А. В., Смирнов Н. Н., Соловская Н. А., Носова Г. И. Нелинейно-оптические свойства хромофорсодержащих полиимидов с ковалентно присоединенным красителем // *Автометрия*. – 2014. – Т. 50. – № 1. – С. 116 – 122.
34. Дмитриева В. Д., Дубов Д. Ю., Казырицкая О. Н., Курилко С. С., Мешков О. И., Спицын Р. И. Спектроскопическое измерение спина протона // *Вестник НГУ. Серия: Физика*. – 2014. – Т. 9. – № 1. С. 95 – 104.
35. Достовалов А. В., Корольков В. П., Голубцов С. К., Кондратьев В. И. Особенности формирования самоиндуцированных решеток на металлических фольгах при сканировании остросфокусированным фемтосекундным лазерным пучком // *Квант. электроника*. – 2014. – Т. 44. – № 4. – С. 330 – 334.
36. Дьякова И. И., Лелянов А. Б., Бабин С. А., Бессмельцев В. П., Достовалов А. В. Технология нанесения сеток методом прожигания лазером, заполнения запуском, нанесения рисунка на металлическом покрытии и исследование повреждений стеклянной подложки // *Межотраслевой институт «Наука и образование»*. – 2014. – № 4. – С. 41 – 43.
37. Заболотский А. А. Динамика экситонов в молекулярных агрегатах красителя вблизи металлических наночастиц // *ЖЭТФ*. – 2014. – Т. 146. – № 4. – С. 700 – 710.
38. Запивалов Н. П., Беднаржевский С. С., Смирнов Г. И., Жосан Д. А. Метод нелинейного резонансно-параметрического взаимодействия лазерных полей с наногетероструктурами для сейсморазведки нефтегазовых залежей // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8. – С. 350 – 353.
39. Запивалов Н. П., Беднаржевский С. С., Смирнов Г. И., Жосан Д. А. Перспективы применения лазерно-параметрического метода измерения сейсмоакустических колебаний для разведки нефтегазовых месторождений // *Перспективы науки*. – 2014. – Т. 57. – № 6. – С. 79 – 81.
40. Игнатьева Л. Н., Суровцев Н. В., Савченко Н. Н., Адищев С. В., Полищук С. А., Марченко Ю. В., Бузник В. М. Кристаллизация стекол в системе  $MnNbOF_5-BaF_2-BiF_3$  по данным спектроскопии КРС // *Журнал неорганической химии*. – 2014. – Т. 59. – № 8. – С. 1053 – 1059.
41. Казаков В. Г., Казаков В. В., Ковалев В. С., Федотов А. М., Яценко А. С. Информационные системы по атомной спектроскопии: от информационно-поисковых к системам поддержки принятия решений // *Вестник Новосибирского государственного университета экономики и управления*. – 2014. – № 2. – С. 268 – 279.
42. Касьянова Е.В., Касьянова С.Н. Программирование в старших классах школы и в вузе // *Проблемы информатики*. – 2014. – № 2. – С. 66 – 73.
43. Киричук В. С., Косых И. П., Попов С. А., Синельщиков В. В. Подавление квазистационарного фона в последовательности изображений

- посредством межкадровой обработки // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 3 – 13.
44. Киричук В. С., Шакенов А. К. Двухпороговый алгоритм обнаружения точечных объектов по стереоизображениям // Там же. – № 6. – С. 55 – 60.
  45. Ковалев А. М., Власов Е. В. Дифракционная глубина трехмерных изображений, стимулирующих аккомодацию глаза // Там же. – № 1. – С. 3 – 8.
  46. Ковалев А. М. О дисплеях персонального пользования для виртуальных сред с добавленной реальностью // Там же. – № 6. – С. 22 – 29.
  47. Козик В. И., Нежевенко Е. С., Феоктистов А. С. Исследование метода адаптивного прогнозирования развития лесных пожаров на основе рекуррентных нейронных сетей // Там же. – № 4. – С. 88 – 95.
  48. Король Ж.В., Беднаржевский С.С., Запивалов Н.П., Смирнов Г.И. Инновационные нанотехнологии для повышения эффективности управления нефтегазодобычей // Перспективы науки. – 2014. – Т. 58. – № 7. – С. 83 – 86.
  49. Корольков В. П. Чувствительность оптимизированного метода контурной маски к ошибкам процесса изготовления ДОО с кусочно-непрерывным рельефом // Там же. – № 1. – С. 9 – 19.
  50. Косцов Э. Г., Князев И. В. МЭМС дифракционные решетки с перестраиваемой полем длиной световой волны // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 161 – 166.
  51. Косцов Э. Г. Становление микроэлектроники в новосибирске // Проблемы информатики. – 2014. – Т. 22. – № 1. – С. 56 – 67.
  52. Косцов Э. Г., Фадеев С. И., Пиманов Д. О. Численное исследование математических моделей микроэлектромеханических резонаторов разного типа // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2014. – Т. XVII. – № 4 (60). – С. 120 – 135.
  53. Кручинина М. В., Воевода М. И., Курилович С. А., Громов А. А., Бамум В. А., Немцова Е. Г., Логвиненко Е. В., Ковалькова Н. А., Генералов В. М., Зайцев Б. Н., Кручинин В. Н., Рыхлицкий С. В., Князев Б. А., Герасимов В. В., Покровский А. Г., Пустыльняк В. О., Чересиз С. В., Сакаева Г. Р., Корбут А. И., Анцыгин В. Д. и др. Изменения оптических параметров крови у пациентов с циррозами печени различной степени тяжести // Архивъ внутренней медицины. – 2014. – № 2 (16). – С. 12 – 17.
  54. Кручинина М. В., Стариков А. В., Курилович С. А., Громов А. А., Генералов В. М., Сафатов А. С., Буряк Г. А., Кручинин В. Н., Рыхлицкий С. В., Володин В. А., Анцыгин В. Д., Пельтек С. Е., Шеховцов С. В. Особенности оптических параметров крови у пациентов с колоректальным раком // Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. Приложение. – 2014. – Т. 24. – № 5. – С. 136.
  55. Кучьянов А. С., Плеханов А. И., Spisser H., Чубаков П. А. Анизотропия деформации решетки фотонного кристалла как основа высоко-

- чувствительных селективных оптических хемосенсоров // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 77 – 83.
56. Лаврентьев М. М., Бартош В. С., Белого И. В., Васючкова Т. С., Городня Л. В., Держо М. А., Иванчева Н. А., Федотова О. А. Опыт преподавания IT-дисциплин в формате «blended learning» в Новосибирском государственном университете (НГУ) // Дистанционное и виртуальное обучение. Издательство Современного гуманитарного университета (Москва). – 2014. – № 9 (87). – С. 85 – 99.
57. Ленкова Г. А. Особенности коррекции зрения внутриглазными линзами // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 95 – 109.
58. Лихачев А. В. Статистический метод подавления артефактов томографической реконструкции // Там же. – С. 57 – 66.
59. Лихачев А. В. ROI-томография по данным, содержащим шум с переменной дисперсией // Вычислительные технологии. – 2014. – Т. 19. – № 2. – С. 62 – 75.
60. Мажирина Ю. А., Мельников Л. А., Турицын С. К., Чуркин Д. В., Тарасов Н. С. Нелинейная динамика длинного беззеркального волоконного вкр-лазера // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 73 – 82.
61. Малиновский В. К. Нанонеоднородности в стеклах и релаксорах: как, когда и почему они возникают? (Обзор) // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 30 – 41.
62. Медведев С. Б., Лиханова Ю. В., Федорук М. Ф., Чаповский П. Л. Эволюция стационарного состояния в двумерном уравнении Гросса-Питаевского // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 100. – № 12. – С. 935 – 940.
63. Микерин С. Л., Потешкина К. Д., Плеханов А. И. Терагерцовый спектрометр на основе фемтосекундного лазера для научных исследований // Вестник НГУ. Серия: Физика. – 2014. – Т. 9. – Вып. 2. – С. 6 – 12.
64. Микерин С. Л., Угожаев В. Д. Перестраиваемый голографический интерферометр со светоделительным блоком и неподвижными зеркалами // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 110 – 120.
65. Морозов Б. Б., Долговесов Б. С., Мазурок Б. С., Городилов М. А. Построение распределенной мультимедийной виртуальной среды с многоканальной визуализацией медиаданных на графических акселераторах // Программирование. – 2014. – № 4. – С. 55 – 63.
66. Морозов В. В., Серяпина Ю. В., Бессмельцев В. П., Слуев В. А., Кравченко Ю. Л. Опыт дистанционного мониторинга жизнедеятельности человека // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 1094.
67. Морозов В. В., Серяпина Ю. В., Бессмельцев В. П., Слуев В. А. Проблематика телемедицины в отечественном здравоохранении // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 10-7. – С. 1365 – 1368.
68. Наливайко В. И., Пономарева М. А. Многоэлементные интегрально-оптические устройства на основе материалов с высоким показателем

- преломления // Оптика и спектроскопия. – 2014. – Т. 117. – № 1. – С. 137 – 141.
69. Наливайко В. И., Пономарева М. А. Анализ поведения экстремальных областей при согласовании планарных многослойных волноводных // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 149 – 156.
  70. Нежевенко Е. С., Козик В. И., Феоктистов А. С. Прогнозирование развития лесных пожаров на основе аэрокосмического мониторинга // Образовательные ресурсы и технологии. – 2014. – № 1 (4). – С. 377 – 384.
  71. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. О точности одномерного подхода к решению кинетических уравнений с зависящими от скорости частотами столкновений // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 5. – С. 957 – 967.
  72. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. Спектральные аномалии эффекта светоиндуцированного дрейфа атомов рубидия, обусловленные зависимостью транспортных частот столкновений от скорости // Там же. – Т. 145. – № 2. – С. 223 – 236.
  73. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. Спектральные аномалии эффекта светоиндуцированного дрейфа атомов цезия, обусловленные зависимостью транспортных частот столкновений от скорости // Квант. электроника. – 2014. – Т. 44. – № 10. – С. 928 – 938.
  74. Пархоменко А. И., Шалагин А. М. Усилитель лазерного излучения на парах щелочных металлов // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 1. – С. 31 – 44.
  75. Пен Е. Ф., Шаталов И. Г. Спектральные характеристики моделей голографических фотонных кристаллов // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 84 – 94.
  76. Полещук А. Г., Седухин А. Г., Трунов В. И., Максимов В. Г. Датчик Гартмана на основе многоэлементных амплитудных масок с аподизированными апертурами // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 4. – С. 695 – 703.
  77. Резник А. Л., Ефимов В. М., Соловьев А. А., Торгов А. В. О надежности считывания случайных точечных объектов при ограниченном числе пороговых уровней сканирующей апертуры // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 61 – 68.
  78. Розов А. С., Сизов М. М. Многослойный синтаксис для проблемно-ориентированных языков программирования // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2014. – № 1. – С. 17 – 21.
  79. Сапрыкин Э. Г., Сорокин В. А. Идентификация аномальных оптико-магнитных резонансов в интегральном излучении смеси изотопов неона // Оптика и спектроскопия. – 2014. – Т. 117. – № 1. – С. 20 – 31.
  80. Сапрыкин Э. Г., Черненко А. А., Шалагин А. М. Поляризационные явления в эффектах прозрачности и адсорбции, индуцированных полем встречных волн // ЖЭТФ. – 2014. – Т. 146. – № 2. – С. 229 – 239.
  81. Сергеев Г. С., Курбатов В. П., Орлов К. Ю., Панарин В. А., Кальнеус Л. Е., Таранцев И. Г., Кривошапкин А. Л. Алгоритм вычисления остаточного объема артериовенозной мальформации после эндова-

- скулярной эмболизации // Радиология-практика. – 2014. – № 3. – С. 22 – 32.
82. Сизов М. М. Создание IDE процесс-ориентированного языка с использованием специализированных средств разработки // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика. – 2014. – № 1. – С. 246 – 251.
83. Соболев В. С., Журавель Ф. А. Максимально правдоподобные оценки частоты сигналов лазерных доплеровских анемометров // Радиотехника и электроника. – 2014. – № 4. – С. 322 – 330.
84. Соболев В. С., Тимохин С. А. Максимально правдоподобные оценки параметров лазерных доплеровских систем (обзор) // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 42 – 54.
85. Соболев В. С., Кашеева Г. А., Журавель Ф. А. Максимально правдоподобные оценки параметров оптических сигналов с учетом квантовой природы света и аддитивного шума на примере лазерных доплеровских систем // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 5. – № 1. – С. 171 – 177.
86. Соболев В. С., Уткин Е. Н., Щербаченко А. М. Бесконтактная методика измерения параметров движения диффузно рассеивающих объектов на основе модуляции зондирующего лазерного излучения // Там же. – С. 177 – 181.
87. Твердохлеб П. Е., Щепеткин Ю. А., Штейнберг И. Ш., Ватник С. М., Беликов А. Ю., Ведин И. А., Курбатов П. Ф. Измерение энергетических спектров малоуглового рассеяния и распределения оптических микронеоднородностей лазерной керамики // Квантовая электроника. – 2014. – Т. 44. – № 6. – С. 588 – 593.
88. Тимофеев В. Ю., Калиш Е. Н., Валитов М. Г., Стусь Ю. Ф., Кулинич Р. Г., Ардюков Д. Г., Тимофеев А. В., Носов Д. А., Сизиков И. С. Гравиметрические измерения в зоне контакта континент-океан (Приморье, полуостров Гамова, мыс Шульца) // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 2. – № 3. – С. 83 – 89.
89. Томилин В. А., Ильичёв Л. В. Квантованная оптическая мода в цепи обратной связи с переключением фазы // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 100. – Вып. 11–12. – С. 858 – 862.
90. Федоров В. И., Вайсман Н. Я., Немова Е. Ф., Николаев Н. А. Влияние терагерцового излучения на продолжительность жизни стрессированных дрозофил // Биофизика. – 2014. – Т. 59. – № 3. – С. 558 – 564.
91. Хощкин Н. В., Фурсенко Д. В., Базовкина Д. В., Куликов В. А., Куликов А. В. Автоматическое измерение характеристик пространственного обучения у мышей в тесте «водный лабиринт Морриса» с обращенным освещением // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2014. – Т. 100. – № 1. – С. 36 – 44.
92. Шакенов А. К. Алгоритмы подавления фона в задаче обнаружения точечных объектов на изображениях // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 4. – С. 81 – 87.

93. Шакинов А.К., Будеев Д.Е. Алгоритм фильтрации для обнаружения объектов по изображениям, зарегистрированным матричным фотоприемником в режиме микросканирования // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 36. – С. 61 – 72.
1. Adichtchev S. V., Malinovsky V. K., Ignatieva L. N., Merkulov E. B., Surovtsev N. V. Low-frequency inelastic light scattering in a ZBLAN (ZrF<sub>4</sub>-BaF<sub>2</sub>-LaF<sub>3</sub>-AlF<sub>3</sub>-NaF) glass // Journal of Chemical Physics. – 2014. – V. 140. – P. 184508 (10 p.).
  2. Antsygin V. D., Kaplun A. B., Mamrashev A. A., Nikolaev N. A., Potaturkin O. I. Terahertz optical properties of potassium titanyl phosphate crystals // Optics Express. – 2014. – V. 22. – № 21. – P. 25436 – 25443.
  3. Atutov S. N., Calabrese R., Plekhanov A. I., Tomassetti L. Diffusion and photodesorption of molecular gases in a polymer organic film // The European Physical Journal D. – 2014. – V. 68. – Iss. 1. – Article 6 (6 p.).
  4. Atutov S. N., Danilina N. A., Mikerin S. L., Plekhanov A. I. Pulsed light desorption of molecular nitrogen from a glass surface // Optics Communications. – 2014. – V. 315. – P. 362 – 366.
  5. Babin S. A., Podivilov E. V., Kharenko D. S., Bednyakova A. E., Fedoruk M. P., Kalashnikov V. L., Apolonski A. Multicolour nonlinearly bound chirped dissipative solitons // Nature Communications. – 2014. – № 5. – P. 4653 (6 p.).
  6. Babin S. A., Vatnik I. D., Laptev A. Yu., Bubnov M. M., Dianov E. M. High-efficiency cascaded Raman fiber laser with random distributed feedback // Opt. Express. – 2014. – V. 22. – Iss. 21. – P. 24929 – 24934.
  7. Babin S. A., Dontsova E. I., Kablukov S. I. 980-nm random fiber laser directly pumped by a high-power 938-nm laser diode // Proc. SPIE. – 2014. – V. 8961: Fiber Lasers XI: Technology, Systems, and Applications / ed. by S. Ramachandran. – Article 89612F (6 p.).
  8. Erofeev V. I. High-informative version of nonlinear transformation of langmuir waves to electromagnetic waves // Journal of Plasma Physics. – 2014. – V. 80. – № 2. – P. 289 – 318.
  9. Gorbunov O. A., Sugavanam S., Churkin D. V. Influence of the generated power, measurement bandwidth, and noise level on intensity statistics of a quasi-CW Raman fiber laser // Proc. SPIE. – 2014. – V. 9136: Nonlinear Optics and Its Applications VIII; and Quantum Optics III / ed. by B. J. Eggleton, A. L. Gaeta, N. G. R. Broderick, A. V. Sergienko, A. Rauschenbeutel, T. Durt. – Article 913613 (8 p.).
  10. Fieberg S., Sturman B., Kühnemann F., Buse K. Strong polarization effects in photothermal common-path interferometry // Opt. Lett. – 2014. – V. 39. – Iss. 13. – P. 3880 – 3883.
  11. Gorbunov O. A., Sugavanam S., Churkin D. V. Revealing statistical properties of quasi-CW fibre lasers in bandwidth-limited measurements // Opt. Express. – 2014. – V. 22. – Iss. 23. – P. 28071 – 28076.
  12. Gorkovenko A. I., Plekhanov A. I., Simanchuk A. E., Yakimanskiy A. V., Nosova G. I., Solovskaya N. A., Smirnov N. N. Temperature dependence

- and the dispersion of nonlinear optical properties of chromophore-containing polyimide thin films // *Journal of Applied Physics*. – 2014. – V. 116. – P. 223104 (7 p.).
13. Ignatieva L. N., Savchenko N. N., Surovtsev N. V., Adichtchev S. V., Marchenko Y. B., Bouzник Y. M. The study of short- and medium-range order in oxyfluoroniobate glasses // *Journal of Non-Crystalline Solids*. – 2014. – V. 401. – P. 197 – 201.
  14. Il'ichov L. V., Taychenachev A. V. Resonance fluorescence of localized multiatomic ensembles // *Письма в ЖЭТФ*. – 2014. – Т. 100. – Вып. 7. – С. 480 – 483.
  15. Kokh K. A., Atuchin V. V., Gavrilova T. A., Kuratieva N. V., Per-vukhina N. V., Surovtsev N. V. Microstructural and vibrational properties of PVT grown  $Sb_2Te_3$  // *Solid State Communication*. – 2014. – V. 177. – P. 16 – 19.
  16. Kolokolov I. V., Lebedev V. V., Podivilov E. V., Vergeles S. S. Theory of a random fiber laser // *ЖЭТФ*. – 2014. – Т. 146. – Вып. 6. – С. 1295 – 1300.
  17. Komarov A., Komarov K., Niang A., Sanchez F. Nature of soliton interaction in fiber lasers with continuous external optical injection // *Phys. Rev. A*. – 2014. – V. 89. – P. 013833 (6 p.).
  18. Korolkov V. P., NasYROV R. K., Poleshchuk A. G., Arapov Y. D., Ivanov A. F. Freeform corrector for laser with large aperture YAG:ND<sup>3+</sup> active element // *Opt. Eng.* – 2014. – V. 53. – № 7. – P. 075105 (5 p.).
  19. Kulikov A. V., Naumenko V. S., Fursenko D. V., Bazhenova E. Yu., Khot-skin N. V., Popova N. K., Bazovkina D. V., Kulikov V. A. Spatial learning in the «Morris water maze» in mice genetically different in the predisposition to catalepsy: The effect of intraventricular treatment with brain-derived neurotrophic factor // *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*. – 2014. – V. 122. – P. 266 – 272.
  20. Kulikov V. A., Khotskin N. V., Nikitin S. V., Lankin V. S., Kulikov A. V., Trapezov O. V. Application of 3-D imaging sensor for tracking minipigs in the open field test // *Journal of Neuroscience Methods*. – 2014. – V. 235. – P. 219 – 225.
  21. Labusov V. A., Semenov Z. V., Zarubin I. A., Saushkin M. S., Erg G. V., Kovalev S. I. A system for the spectral monitoring of the deposition of multilayer dielectric coatings // *Measurement Techniques*. – 2014. – V. 56. – Iss. 12. – P. 1327 – 1332.
  22. Lavrentiev M. M.-Jr., Spigler R., Tani A. Existence, uniqueness, and regularity for the Kuramoto-Sakaguchi equation with unboundedly supported frequency distribution // *Differential and Integral Equation*. – 2014. – V. 27. – № 9/10. – P. 879 – 892.
  23. Lobach I. A., Kablukov S. I., Podivilov E. V., Babin S. A. Self-scanned single-frequency operation of a fiber laser driven by a self-induced phase grating // *Laser Phys. Lett.* – 2014. – V. 11. – № 4. – P. 045103 (6 p.).
  24. Lopez-Mercado C. A., Spirin V. V., Kablukov S. I., Zlobina E. A., Zolotovskiy I. O., M egret P., Fotiadi A. A. Accuracy of single-cut adjust-

- ment technique for double resonant Brillouin fiber lasers // *Opt. Fiber Technology*. – 2014. – V. 20. – № 3. – P. 194 – 198.
25. Lopez-Mercado C. A., Spirin V. V., Kablukov S. I., Zlobina E. A., Zolotovskii I. O., Megret P., Fotiadi A. A. Adjustment of double resonance in short cavity Brillouin fiber lasers // *Proc. SPIE*. – 2014. – V. 8961: *Fiber Lasers XI: Technology, Systems, and Applications* / ed. by S. Ramachandran. – Article 89612V (6 p.).
  26. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Control of soliton pattern through continuous external injection // *Там же*. – V. 9136: *Conference Photonics Europe, Nonlinear Optics and its Applications VIII* (Brussels, Belgium, April 14–16, 2014). – Article 91361A (8 p.).
  27. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Harmonic mode-locking in a fiber laser through continuous external optical injection // *Optics Communications*. – 2014. – V. 312. – № 1. – P. 1 – 6.
  28. Okotrub K. A., Surovtsev N. V. Photobleaching of the resonance Raman lines of cytochromes in living yeast cells // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. – 2014. – 141C. – P. 269 – 274.
  29. Plyusnina, I. Z., Tarantsev, I. G., Bulushev, E. D., Konoshenko, M. Y., Kozhemyakina, R. V., Gerbek, Y. E., Os'kina I. N. Analysis of maternal behavior in tame and aggressive gray rats // *Neuroscience and Behavioral Physiology* – 2014. – 44 (8). – P. 856 – 862.
  30. Poleshchuk A. G., Korolkov V. P., Nasyrov R. K. Diffractive optical elements: fabrication and application // *Proc. SPIE*. – 2014. – V. 9283 (7th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Design, Manufacturing, and Testing of Micro- and Nano-Optical Devices and Systems), Tianchun Ye; A. G. Poleshchuk; Song Hu, Editor(s), 928302 (11 p.).
  31. Popova V. A., Surovtsev N. V. Transition from Arrhenius to non-Arrhenius temperature dependence of structural relaxation time in glass-forming liquids: Continuous versus discontinuous scenario // *Physical Review E*. – 2014. – V. 90. – P. 032308 (8 p.).
  32. Rudych P. D., Surovtsev N. V. Superthin resonator dye laser with THz intermode frequency separation // *Laser Physics Letters*. – 2014. – V. 11. – P. 105805 (4 p.).
  33. Sanchez F., Grelu Ph., Leblond H., Komarov A. Komarov K., Salhi M., Niang A., Amrani F., Lecaplain C., Chouli S. Manipulating dissipative soliton ensembles in passively mode-locked fiber lasers // *Optical Fiber Technology*. – 2014. – V. 20. – № 6. – P. 562 – 574.
  34. Shapiro E. G., Shapiro D. A. Imperfect narrow filtering in optical links with phase modulation // *Optics Communications*. – 2014. – V. 320. – P. 27 – 32.
  35. Shishkin V. V., Churin A. E., Kharenko D. S., Zheleznova M. A., Shelemba I. S. Structural health monitoring system of soccer arena based on optical sensors // *Proc. SPIE*. – 2014. – V. 9157 / ed. by J. M. López-Higuera, J. D. C. Jones, M. López-Amo, J. L. Santos. Article 9157D3 (4 p.).

36. Shikin A. M., Klimovskikh I. I., Rybkina A. A., Rusinova M. V., Rybkin A. G., Zhizhin E. V., Ereemeev S. V., Rusinov I. P., Chulkov E. V., Kokh K. A., Tereshchenko O. E., Sánchez-Barriga J., Varykhalov A., Golyashov V. A., Kamyshlov V. Electronic and spin structure of the topological insulator  $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.4}\text{Se}_{0.6}$  // *Physical review B: condensed matter and materials physics*. – 2014. – V. 89. – № 12. – P. 125416 (8 p.).
37. Smirnov S.V., Churkin D.V. NLSE-based model of a random distributed feedback fiber laser // *Proc. SPIE*. – 2014. – V. 9136. *Nonlinear Optics and Its Applications VIII; and Quantum Optics III* (Brussels, Belgium, April 14–17, 2014). – 2014. – Paper 91361P (8 p.).
38. Sorokin A. V., Zabolotskii A. A., Pereverzev N. V., Yefimova S. L., Malyukin Y. V., and Plekhanov A. I. Plasmon controlled exciton fluorescence of molecular aggregates // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2014. – V. 118. – № 14. – P. 7599 – 7605.
39. Sturman B., Podivilov E., Gorkunov M. Critical behavior of optical singularities near sharp metal corners and tips // *Phys. Rev. B*. – 2014. – V. 89. – P. 045429 (9 p.).
40. Sturman B., Podivilov E., Gorkunov M. Plasmons localized at nanoscale perturbations of flat metal surface // *J. Opt. Soc. Am. B*. – 2014. – V. 31. – P. 1607 – 1613.
41. Sugavanam S., Yan Z., Kamynin V., Kurkov A.S., Zhang L., and Churkin D. V. Multiwavelength generation in a random distributed feedback fiber laser using an all fiber Lyot filter // *Opt. Express*. – 2014. – V. 22. – Iss. 3. – P. 2839 – 2844.
42. Sugavanam S., Yan Z., Kamynin V., Kurkov A.S., Zhang L., and Churkin D. Lyot-filter based multiwavelength random distributed feedback fiber laser // *Proc. SPIE*. – 2014. – V. 9135: *Laser Sources and Applications II* (SPIE Photonics Europe, 14 – 17 April 2014, Brussels, Belgium) / ed. by J. I. Mackenzie, H. Jelínková, T. Taira, M. A. Ahmed. – Article 91351C (7 p.).
43. Surovtsev N. V., Dzuba S. A. Flexibility of phospholipids with saturated and unsaturated chains studied by Raman scattering: The effect of cholesterol on dynamical and phase transitions // *Journal of Chemical Physics*. – 2014. – V. 140. – P. 235103 (7 p.).
44. Timofeev V., Ducarme B., Ardyukov D., Stus Y., Timofeev A., Kalish E., Sizikov I., Nosov D. Gravity and GPS measurements at South-West part of Baikal Rift // *Journal of Earth Science and Engineering (USA)*. – 2014. – № 4. – P. 400 – 409.
45. Tomilin V. A. and Il'ichov L. V. Peculiarities of resonance fluorescence statistics for a two-level atom in frequency selective feedback loop // *Annalen der Physik*. – 2014. – V. 6. – Iss. 11 – 12. – P. 520 – 526.
46. Turitsyn S. K., Churkin D. V., Babin S. A., Podivilov E. V., Vatik I. D., Nikulin M. Random distributed feedback fibre lasers // *Phys. Reports*. – 2014. – V. 542. – Iss. 2. – P. 133 – 194.

47. Vatnik I. D., Churkin D. V., Podivilov E. V., Babin S. A. High-efficiency generation in a short random fiber laser // *Laser Phys. Lett.* – 2014. – V. 11. – № 7. – P. 075101 (5 p.).
48. Vatnik I. D., Gorbunov O. A. and Churkin D. V. Narrow-band generation and mode correlations in a short Raman fibre laser // *Laser Physics.* – 2014. – V. 24. – № 2. – P. 025103 (6 p.).
49. Vatnik I. D., Churkin D. V. Modeling of the spectrum in a random distributed feedback fiber laser within the power balance modes // *Proc. SPIE.* – 2014. – V. 9135: *Laser Sources and Applications II* / ed. by I. Mackenzie, H. Jelinková, T. Taira, M. A. Ahmed. Article 91351Z (7 p.).
50. Vatnik I. D., Gorbunov O. A., Churkin D. V. Nonlinear mixing and mode correlations in a short Raman fiber laser // Там же. – V. 9136: *Nonlinear Optics and Its Applications VIII; and Quantum Optics III* / ed. by B.J. Eggleton, A.L. Gaeta, N.G.R. Broderick, A.V. Sergienko, A. Rauschenbeutel, T. Durt. Article 913612 (6 p.).
51. Vyatkin S. I., Romanyuk S. A. Function representation in geometric modeling // *Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. Международный научно-технический журнал. Хмельницкий национальный университет. Хмельницкий* – 2014. – № 1 (46). – С. 23 – 28.
52. Zapivalov N. P., Bednarzhevskiy S.S., Smirnov G.I., Josan D.A. Applications of laser-parametrical technologies for seismic exploration of petroleum fields // *European journal of natural history.* – 2014. – № 2. – P. 46 – 47.
53. Zhao P., Murshed M. M., Alekseev E. V., Atuchin V. V., Pugachev A. M. Gesing T. M. Synthesis, structure and properties of Na[AsW<sub>2</sub>O<sub>9</sub>] // *Materials Research Bulletin.* – 2014. – V. 60. – P. e258 – e263.
54. Zhizhchenko A. Yu., Vitrik O. B., Kulchin Yu. N., Mirochnik A. G., Fedorenko E. V., Lv Guohui, Shalagin A. M., Korolkov V. P. Photoinduced record of waveguide structures in films of polymethylmethacrylate doped with beta-diketonatoboron difluorides // *Opt. Commun.* – 2014. – V. 311. – P. 364 – 367.

## МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ

### Труды международных и российских конференций

1. Бабин С. А., Лабусов В. А., Селюнин Д. О., Дзюба А. А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 69 – 76.
2. Белоконь С. А., Золотухин Ю. Н., Котов К. Ю., Мальцев А. С., Нестеров А. А., Соболев М. А., Филиппов М. Н., Ян А. П. Управление квадрокоптером AR.DRONE при движении по заданной траектории с об-

- ходом препятствий // Тр. XVI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия, 30 июня – 3 июля 2014), Самарский научный центр РАН. – 2014. – С. 535 – 539.
3. Белоконь С. А., Золотухин Ю. Н., Котов К. Ю., Мальцев А. С., Нестеров А. А., Соболев М. А., Филиппов М. Н., Ян А. П. Управление полетом квадрокоптера при параметрическом задании траектории движения. // Тр. XII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014 (Москва, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 16–19 июня 2014). – 2014. – С. 3384 – 3390.
  4. Белоусов Д. Прибор для измерения дифракционной эффективности в широком динамическом диапазоне // Материалы Всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (НТИ-2014) (г. Новосибирск, Россия, 2–6 декабря 2014). – 2014. – Ч. 1. – С. 15 – 19.
  5. Белоусов Д. А. Оптико-электронный дефектоскоп дифракционных оптических элементов // Сборник докладов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (г. Томск, Россия, 14–18 апреля 2014), т. 1. Изд-во ТПУ. – 2014. – С. 69 – 70.
  6. Белоусова О. Н., Зеркаль С. М. Вычислительный алгоритм фокусирования сейсмоакустических волн // Тр. XX Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири» (СИБ-РЕСУРС-20-2014) (г. Томск, Россия, 8–10 октября 2014). Доклады (материалы) конференции. / Отв. ред. Петрова Л. С., Томск: САН ВШ, В – Спектр. – 2014. – С. 48 – 52.
  7. Бессмельцев В., Булушев Е. Д. Метод измерения микроканалов, сформированных фемтосекундным лазером на оптически прозрачных материалах // Сб. науч. тр. «Сибоптика» (г. Новосибирск, Россия, 16–22 апреля 2014). – 2014. – С. 135 – 139.
  8. Бессмельцев В. П. Контроль качества отражающих голограмм методами конфокальной микроскопии // Тр. XI Международной конференции «Голография Экспо-2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). ООО «Голография-сервис». – 2014. – С. 143 – 145.
  9. Бокк Д. Н., Лабусов В. А., Зарубин И. А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ неметаллических включений в металлических сплавах // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 124 – 135.
  10. Болдова С. С., Путьмаков А. Н., Лабусов В. А., Боровиков В. М., Селюнин Д. О. Атомно-абсорбционный спектрометр с непрерывным источником спектра. Текущее положение и перспективы // Там же. – С. 150 – 158.
  11. Васильев Е. В., Шелковников В. В., Русских В. В., Пен Е. Ф. Высокорастворимые производные фенантренхинонов в «тонких» голографических фотополимерных слоях // Тр. XI Международной конференции

- «Голография Экспо–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). ООО «Голография-сервис». – 2014. – С. 49 – 55.
12. Ващенко П. В., Болдова С. С., Лабусов В. А. Алгоритм обработки последовательностей атомно-абсорбционных спектров с непрерывным источником излучения // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 178 – 181.
  13. Гаранин В. Г., Неклюдов О. А., Петроченко Д. В., Семёнов З. В., Панкратов С. В., Ващенко П. В. Современное программное обеспечение для проведения АЭС анализа. Программа «Атом» // Там же. – С. 163 – 164.
  14. Дашевский О. Ю. Применение нейронных сетей с многоуровневыми нейронами для сегментации гиперспектральных изображений // Тр. Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (г. Тамбов, Россия, 31 января 2014). Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком». Ч. 8. – 2014. – С. 34 – 37.
  15. Дзюба А. А., Лабусов В. А., Бабин С. А. Экспериментальное определение оптимального времени экспозиции при регистрации вспышек спектральных линий // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 77 – 88.
  16. Закас Н. П., Веряскин А. Ф., Хусандинова А. И. Аналитические зоны двухструйного плазматрона: достоинства и ограничения // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 55 – 59.
  17. Заякина С. Б., Аношин Г. Н., Пелипасов О. В. Параметры плазмы источников, применяемых в эмиссионном спектральном анализе // Тр. Всероссийской (с международным участием) конференции «Физика низкотемпературной плазмы» (г. Казань, Россия, 20–23 мая 2014), т. 2. – 2014. – С. 326 – 330.
  18. Касьянова Е. В., Касьянова С. Н. Программирование в старших классах школы и в вузе // Тр. X Международной Азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем» (Кыргызская Республика, Иссык-Кульская область, с. Булан-Соготту, 25 июля – 5 августа 2014). Ч. 1. – Алматы: Издательство НЦ НТИ. – 2014. – С. 391 – 397.
  19. Кирьянов А. В., Кирьянов В. П., Перебейнос С. В., Чуканов В. В. Мехатронный модуль круговых перемещений для измерительных и технологических комплексов с нанометровым разрешением [Текст] // АПЭП –2014: Материалы XII Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» (г. Новосибирск, Россия, 2–4 октября 2014). IEEE, 2014, т. 4. – 2014. – С. 248 – 252.
  20. Козик В. И., Нежевенко Е. С. Выбор эффективной системы признаков при сегментации гиперспектральных изображений // Тр. Междуна-

- родной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования» (г. Тамбов, Россия, 31 января 2014). Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2014. Ч. 7. – 2014. – С. 70 – 72.
21. Котов К. Ю., Мальцев А. С., Нестеров А. А., Соболев М. А., Филиппов М. Н., Ян А. П. Определение параметров сервопривода на основе экспериментальных данных // Тр. XVI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия 30 июня – 03 июля 2014), Самарский научный центр РАН. – 2014. – С. 592 – 596.
  22. Куликов В.А., Сапожникова Ю.П., Кирильчик С.В., Суханова Л.В., Глызина О.Ю., Яхненко В.М. Алгоритмы количественного анализа поведения байкальского омуля в условиях эксперимента // Материалы докладов V Всероссийской конференции «Поведение рыб» (Борок, Россия, 8–9 ноября 2014). – Кострома: Костромской печатный дом. – 2014. – С. 131 – 136.
  23. Лабусов В. А. Приборы и комплексы для атомно-эмиссионного спектрального анализа компании «ВМК-Оптоэлектроника». Современное состояние // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 7 – 19.
  24. Лаврентьев М. М., Бартош В. С., Белого И. В., Васючкова Т. С., Городня Л. В., Держо М. А., Иванчева Н. А., Федотова О. А. Формирование инновационной образовательной платформы в Новосибирском государственном университете (НГУ) // Сб. научных статей «Технологии информационного общества в науке, образовании и культуре». Труды XVII Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2014) (Санкт-Петербург, Россия, 19–20 ноября 2014). – СПб.: университет ИТМО. – 2014. – С. 338 – 342.
  25. Ленкова Г. А. Высокоэффективный дифракционный поворотный фокусирующий элемент // Тр. XI Международной конференции «Голография Экспо–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). ООО «Голография-сервис». – 2014. – С. 67 – 69.
  26. Лях Т. В. Использование методов процесс-ориентированного программирования для задачи управления системой большого вакуумного солнечного телескопа // Материалы Всероссийской научно-технической конференций «Современные проблемы радиоэлектроники» (г. Красноярск, Россия, 6–8 мая 2014). – 2014. – С. 294 – 298.
  27. Лях Т. В., Зюбин В. Е. Применение концепции виртуальных объектов управления для решения задач промышленной автоматизации // Ershov Informatics Conference: Workshop On Science Intensive Applied Software (St. Petersburg, Russia, June 24–27, 2014). Proceedings. – 2014. – P. 57 – 64.
  28. Нежевенко Е. С. Феоктистов А. С. Преобразование Гильберта-Хуанга двумерных изображений и использование его для выделения текстурных признаков // Тр. Международной научной конференции «Регио-

- нальные проблемы дистанционного зондирования Земли» (г. Красноярск, Россия, 23–26 сентября 2014). Красноярск: Сиб. федер. ун-т. – 2014. – С. 200 – 203.
29. Окотруб К. А., Суровцев Н. В., Пехотова К. Д., Фрай Л. В., Брусенцев Е. Ю., Амстиславский С. Я. Верификация протоколов замораживания преимплантационных эмбрионов методом комбинационного рассеяния света // Материалы Международной конференции «Криоконсервация генетических ресурсов. Современное состояние, проблемы и перспективы» (г. Пущино, Московская обл., Россия, 28–30 октября 2014). Биофизика живой клетки. – 2014. – Т. 10. – С. 140 – 142.
  30. Панкратов С. В., Лабусов В. А., Неклюдов О. А. Автоматическое профилирование многоканальных спектрометров с использованием оценки качества калибровочных точек // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 165.
  31. Пелипасов О. В., Заякина С. Б. Определение параметров СВЧ плазмы в поле TE<sub>10</sub> волны, возбуждаемой магнетроном с частотой 2,45 ГГц // Тр. VII Международного симпозиума по теоретической и прикладной плазмохимии (г. Плёс, Ивановская обл., 2–6 сентября 2014). – 2014. – С. 386 – 389.
  32. Пелипасов О. В., Путьмаков А. Н., Чернов К. Н. Использование СВЧ плазмотрона для атомно-эмиссионного спектрального анализа растворов // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 160 – 162.
  33. Пен Е. Ф., Зарубин И. А., Шелковников В. В., Васильев Е. В., Chil-Sung Choi. Методика определения параметров эффективной усадки голографических фотополимерных материалов // Тр. XI Международной конференции «Голография Экспо–2014» (г. Сочи, Россия, 16–17 сентября 2014). ООО «Голография-сервис». – 2014. – С. 205 – 213.
  34. Полещук А. Г., Корольков В. П., Насыров Р. К. Дифракционные оптические элементы: изготовление и применение // Там же. – С. 55 – 64.
  35. Потатуркин А. О., Борзов С. М. Повышение эффективности обнаружения изменений в застройке за счет использования структурных признаков спутниковых изображений // Тр. Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли» (г. Красноярск, Россия, 23–26 сентября 2014). Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 2014. – С. 154 – 158.
  36. Путьмаков А. Н. Атомно-эмиссионный спектральный анализ. Состояние и перспективы развития // Тр. XIV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 19–21 августа 2014). – 2014. – С. 185 – 188.
  37. Путьмаков А. Н., Зарубин И. А., Бурумов И. Д. Повышение эффективности работы спектрометра «Павлин» для пламенного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Там же. – С. 147 – 149.

38. Розов А. С., Сизов М. М., Зюбин В. Е. Многослойный синтаксис для проблемно-ориентированных языков программирования // Материалы V Международной конференция молодых ученых, аспирантов, студентов (г. Пермь, Россия, 1–30 ноября, 2013) «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (Innotech 2013). – 2014. – С. 17 – 21.
39. Сапожникова Ю.П., Белоус А.А., Клименков И.В., Куликов В.А., Суханова Л.В., Глызина О.Ю., Яхненко В.М. Акустическая чувствительность байкальского омуля // Материалы докладов V Всероссийской конференции «Поведение рыб» (Борок, Россия, 8–9 ноября 2014). – Кострома: Костромской печатный дом. – 2014. – С. 244 – 249.
40. Семёнов З. В., Неклюдов О. А., Ващенко П. В., Лабусов В. А. Алгоритм обработки последовательностей спектров для сцинтилляционного атомно-эмиссионного спектрального анализа // Там же. – С. 166 – 177.
41. Семёнов З. В., Неклюдов О. А., Гаранин В. Г., Огурцов А. Б., Селюнин Д. О., Петроченко Д. В. Программный модуль управления установкой искрового пробоотбора // Там же. – С. 182 – 184.
42. Сизов М. М., Зюбин В. Е. Создание IDE процесс-ориентированного языка с использованием специализированных средств разработки // Материалы V Международной конференция молодых ученых, аспирантов, студентов (г. Пермь, Россия, 1–30 ноября, 2013) «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика» (Innotech 2013). – 2014. – С. 246 – 251.
43. Тимофеев В. Ю., Ардюков Д. Г., Тимофеев А. В., Горнов П. Ю., Стусь Ю. Ф., Калиш Е. Н., Валитов М. Г., Кулинич Р. Г., Носов Д. А., Сизиков И. С. Косейсмические эффекты различного типа по данным космической геодезии и гравиметрии // Материалы II Всероссийской конференции с международным участием «Геологические процессы в обстановках субдукции, коллизии и скольжения литосферных плит» (г. Владивосток, Россия, 17 – 20 сентября 2014). ДВГИ ДВО РАН, ДВФУ. – 2014. – С. 125 – 127.
44. Шакенов А. К., Будеев Д. Е. Алгоритм фильтрации для обнаружения объектов по изображениям, зарегистрированным матричным фотоприемником в режиме микросканирования // Тр. XXXVI Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике» (г. Новосибирск, Россия, 23 июля 2014). Сборник статей, № 7 (32). – 2014. – С. 61 – 72.
45. Яценко А. С., Казаков В. В., Казаков В. Г., Ковалев В. С., Ретунский С. В., Шевцов Е. В. Информационная система «Электронная структура атомов»: современное состояние и обеспечение интероперабельности и интеграции // Тр. XVII Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2014). Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; Библиотека Российской Академии наук. Санкт-Петербург, 2014. Сб. научных статей

«Технологии информационного общества в науке, образовании и культуре». С. 43 – 47.

46. Kasyanov V. N., Kasyanova S. N. Support tools for application of graphs and graph algorithms // Zbornik radova konferencije MIT 2013 (Vranjačka Banja, Srbija, September 5–9, 2013; Budva, Crna Gora, September 9–14, 2013). Beograd. – 2014. – P. 322 – 329.
47. Lavrentiev M. M., Romanenko A. A. Tsunami wave parameters calculation before the wave approaches coastal line // International Offshore and Polar Engineering Conference (Busan, Korea, June 15–20, 2014), International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE). – 2014. – P. 96 – 102.
48. Lavrentiev M. M., Romanenko A. A., Lysakov K. F. Modern Computer Architecture to Speed-Up Calculation of Tsunami Wave Propagation // The Eleventh (2014) Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium (Shanghai, China, October 12–16, 2014). – 2014. – P. 186 – 191.
49. Niang A., Amrani F., Salhi M., Leblond H., Komarov A., Sanchez F. Control of harmonic mode-locking in a fiber laser by continuous external optical injection // 16-th International Conference on Transparent Optical Networks ICTON 2014 (Graz, Austria, July 6–10, 2014). – 2014. – P. 1 – 4.

#### **Дайджесты, тезисы, материалы семинаров и форумов**

1. Абалмасов В. А. Влияние давления на фазовый переход в кристалле KDP в рамках кластерного приближения с учетом туннелирования протонов // XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (г. Красноярск, Россия, 18–22 августа 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 71 – 72.
2. Анцыгин В. Д., Потатуркин О. И. Стационарная и нестационарная импульсная терагерцовая спектроскопия // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (г. Москва, Россия, 29–31 января 2014): Тез. докл. – М.: НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 15 – 16.
3. Бабин С. А., Ватник И. Д., Лаптев А. Ю., Бубнов М. М., Дианов Е. М. Высокоэффективная каскадная генерация волоконного лазера со случайной обратной связью // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – 2014. – С. 78 – 79.
4. Бабин С. А., Подивилов Е. В., Харенко Д. С., Бедняковой А. Е., Федорук М. П., Калашников В. Л., Аполонский А. А. Генерация многоцветных диссипативных солитонов за счет нелинейных процессов // Там же. – С. 63.
5. Базин В. С., Будников К. И., Кирьянов А. В., Кирьянов В. П., Лубков А. А., Перебейнос С. В., Чуканов В. В. Система контроля метрологических характеристик оптико-электронных датчиков встраиваемого типа // Научно-техническая конференция «Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Россия, 25–26 сентября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 98 – 99.

6. Бенимецкий Ф. А. Определение оптического коэффициента усиления коллоидного раствора гибридных наночастиц Au с оболочкой SiO<sub>2</sub>, пропитанной флуоресцеином // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК–2014: Квантовая физика, Подсекция: квантовая оптика и квантовая электроника (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – С. 60.
7. Бессмельцев В. П., Достовалов А. В. Оптико-электронные комплексы наземного космического базирования // Научно-техническая конференция «Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Россия, 25–26 сентября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 181 – 183.
8. Брагин С. С. Исследование динамики водородных связей в водных растворах глицина // 52 Международная научная студенческая конференция (МНСК) (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 47.
9. Булгаков А. А. Экспериментальное исследование индуцированного столкновениями усиления коротковолнового излучения на переходах в основное состояние атомов натрия // Там же. – С. 61.
10. Бурау В. С. Изучение люминесцентного отклика перилцианиновых красителей на бутиламин // Там же. – С. 62.
11. Гаранин В. Г., Лабусов В. А., Путьмаков А. Н. Средство измерения химического состава на основе кремниевых линеек фотодиодов // X Конференция по актуальным проблемам физики, материаловедения, технологии и диагностики кремния, нанометровых структур и приборов на его основе «Кремний-2014» (г. Иркутск, Россия, 7–12 июля 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 41.
12. Гуляева Н. Н. Широкополосный терагерцовый спектрометр с предварительным возбуждением образца на базе волоконного эрбиевого лазера // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 29 – 30.
13. Данилина Н. А., Потешкина К. Д. Фотодесорбция молекулярных газов с полимерной органической пленки // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК–2014: Квантовая физика, Подсекция: квантовая оптика и квантовая электроника (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – 2014. – С. 66.
14. Дмитриев А. А. Изучение фазового перехода в синтетических фосфолипидных мембранах методом комбинационного рассеяния света // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 8.
15. Дмитриев А. А. Исследование фазового перехода в синтетических фосфолипидных мембранах методом комбинационного рассеяния света // 52 Международная научная студенческая конференция (МНСК) (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014), секция «Физи-

- ческие методы в естественных науках и материаловедении»: Тез. докл. – Новосибирск, 2014. – С. 51.
16. Донцова Е. И., Каблуков С. И., Лобач И. А., Бабин С. А., Corbari С., Казанский П. Г., Гладышев А. В., Дианов Е. М. Непрерывная генерация второй гармоники в области 515 нм в волоконных световодах // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – 2014. – С. 132 – 133.
  17. Достовалов А. В., Вольф А. А., Дубов М. В., Бабин С. А. Фемтосекундная поточечная запись волоконных брэгговских решеток через защитное покрытие // Там же. – С. 134 – 135.
  18. Достовалов А. В., Вольф А. А., Дубов М. В., Бабин С. А. Фемтосекундная поточечная запись волоконных брэгговских решеток через полиимидное покрытие // Тр. III Всероссийской конференции по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014), НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 211 – 212.
  19. Достовалов А. В., Вольф А. А., Дубов М. В., Мезенцев В. К., Бабин С. А. Запись длиннопериодных и брэгговских волоконных решеток фемтосекундным излучением с длиной волны 1026 и 513 нм // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – 2014. – С. 117 – 118.
  20. Достовалов А. В., Вольф А. А., Дубов М. В., Мезенцев В. К., Бабин С. А. Поточечная запись волоконной брэгговской решетки фемтосекундным излучением с длиной волны 515 нм и ее характеристика // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014), НИЯУ МИФИ. – 2014. – С. 73 – 74.
  21. Достовалов А. В., Корольков В. П., Бабин С. А., Голубцов С., Кондратьев В. И. Формирование наклонных и двумерных решеток при сканирующей фемтосекундой лазерной записи на металлах // Там же. – С. 213 – 214.
  22. Злобина Е. А., Лобач И. А., Каблуков С. И. Параметрическое преобразование частоты при накачке узкополосным волоконным самосканирующим лазером. // Там же. – С. 88 – 89.
  23. Зюбин В. Е. Инженерные специальности при автоматизации научных исследований и технологических процессов // Открытая региональная научно-практическая конференция «Развитие специализированного инженерно-технического образования в современной школе» (г. Новосибирск, Россия, 27–28 ноября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 9 – 11.
  24. Картаев Е. В., Кузмин В. И., Михальченко А. А., Наливайко В. И., Сергачев Д. В., Пинаев П. А. Лазерно-оптическая диагностика параметров дисперсной фазы в аддитивных технологиях модифицирования поверхности изделий высококонцентрированными источниками энергии // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптиче-

- ские технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 21 – 22.
25. Кидяров Б. И., Ковалевский В. И., Малиновский В. К., Первухина Н. В., Пугачев А. М., Рожков А. Ф. Ацентричные кристаллы: Система нитратов бария-калия, структура-свойства // XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (г. Красноярск, Россия, 18–22 августа 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 387.
  26. Кирьянов А. В., Кирьянов В. П. Современные тенденции развития оптико-электронных датчиков угла космического назначения с повышенными выходными метрологическими и эксплуатационными характеристиками // Научно-техническая конференция «Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Россия, 25–26 сентября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 78 – 79.
  27. Ковалевский В. И., Малиновский В. К., Малицкая М. А., Пугачев А. М., Раевская С. И., Раевский И. П., Суровцев Н. В. Температурная зависимость генерации второй гармоники в магнониобате свинца // XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (г. Красноярск, Россия, 18–22 августа 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 244.
  28. Курилко С. С. Применение многоканального спектрометра высокого разрешения для одновременного многоэлементного спектрального анализа // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 31 – 32.
  29. Лабусов В. А. Оптические спектрометры для прямого анализа природных объектов // IX Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика–2014» (г. Калининград, Россия, 22–28 июня 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 121.
  30. Лаврентьев М. М., Бартош В. С., Белаго И. В., Васючкова Т. С., Городняя Л. В., Держо М. А., Иванчева Н. А., Федотова О. А. Преподавание IT-дисциплин в формате «blended learning» в ВУЗе // IX Ершовская конференция по информатике PSI'14, Секция Информатика образования. Рабочий семинар (г. Санкт-Петербург, Петергоф, Россия, 24–27 июня 2014): Доклады и тезисы. – Издательство СО РАН, Новосибирск. – 2014. – С. 39 – 40.
  31. Лобач И. А., Каблуков С. И., Подвиллов Е. В., Бабин С. А. Волоконный лазер с самосканированием частоты: физические принципы и применения // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – 2014. – С. 49 – 50.
  32. Лысаков К. Ф., Персов Е. М. Решение нейросетевой прямой задачи ВИКИЗ с помощью ПЛИС // Международная научно-техническая конференция «Инновационные наукоемкие технологии» (г. Тула, Россия): Тез. докл. – Изд-во «Инновационные технологии», 2014. – С. 27 – 28.

33. Лях Т. В. Использование виртуальных лабораторных стендов для подготовки инженерных кадров // Открытая региональная научно-практическая конференция «Развитие специализированного инженерно-технического образования в современной школе» (г. Новосибирск, Россия, 27–28 ноября 2014): Тез. докл. – С. 22.
34. Лях Т. В. Использование концепции виртуальных объектов управления на задаче управления системой большого вакуумного солнечного телескопа // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосиб. гос. ун-т, 2014. – С. 199.
35. Лях Т. В., Зюбин В. Е. Использование языка Рефлекс в системах управления на базе QT // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия, 29–31 октября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 69 – 70.
36. Лях Т. В., Сизов М. М. Распределенное тестирование алгоритмов управления с использованием концепции виртуальных объектов управления // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосиб. гос. ун-т, 2014. – С. 127.
37. Макеев И. В. Разработка мобильной системы дистанционного мониторинга деятельности сердечно-сосудистой системы человека на основе мобильных устройств на базе ОС ANDROID // Там же. – С. 221.
38. Максимов Ал. С. Разработка модуля сопряжения абсолютного оптического энкодера с ARM контроллером АСУ телескопа // Там же, секции «Мехатроника и автоматизация» (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 32.
39. Максимов Ан. С. Исследование интегрирующих свойств растрового сопряжения // Там же, секция «Инструментальные методы физики» (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 48.
40. Малов А. Н., Оришич А. М., Бабин С. А., Достовалов А. В., Кузнецов А. Г. Сравнительные характеристики применения импульсивно-периодических наносекундных СО-волоконного и фемтосекундного лазеров для изготовления микроотверстий // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – 2014. – С. 144 – 145.
41. Мамрашев А. А., Николаев Н. А. Стационарная терагерцовая спектроскопия нелинейно-оптических кристаллов // III Всероссийская конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 29–31 января 2014): Тез. докл. – М.: НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 119 – 120.
42. Настовьяк А. Е., Рудыч П. Д. Экспресс-контроль свежести сала // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические техно-

- логии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 63.
43. Немова Е. Ф., Кондратенко К. А., Бенциян О. А., Николаев Н. А. Исследование аденозин три-, ди-, монофосфорной кислот методами терагерцовой спектроскопии // Там же. – С. 65.
  44. Немова Е. Ф., Николаев Н. А. Моделирование собственных частот аденозин три-, ди-, монофосфорной кислот в терагерцовом диапазоне // XX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения «СИ–2014» (г. Новосибирск, Россия, 7–10 июля 2014): Тез. докл. – Новосибирск. – 2014. – С. 61 – 62.
  45. Немыкин А. В., Перминов С. В., Фрумин Л. Л., Шапиро Д. А. Возбуждение плазмонного резонанса в металлических цилиндрах неоднородной волной // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – Новосибирск, ИАиЭ СО РАН. – 2014. – С. 39 – 40.
  46. Николаев Н. А., Гуляева Н. Н. Влияние нестабильности генерации фемтосекундных импульсов волоконного эрбиевого лазера на эффективность их преобразования в терагерцовое излучение // Там же. – С. 86 – 87.
  47. Окотруб К. А. Измерение количества и состава ДНК в клетках крови методом комбинационного рассеяния света // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 60.
  48. Окотруб К. А. Применение микроспектроскопии резонансного комбинационного рассеяния света для характеристики зарядового состояния цитохромов в замораживаемых дрожжевых клетках // Там же. – С. 19.
  49. Пелипасов О. В. Источник СВЧ плазмы с частотой 2,45 ГГц для эмиссионного спектрального анализа растворов // Там же. – С. 20.
  50. Полещук А. Г., Насыров Р. К. Дифракционные оптические элементы: методы изготовления и применение // Научно-практическая конференция «Оптика в науке и технике» (Москва, Россия, 10–13 ноября 2014): Тез. докл. – ВДНХ, 2014. – С. 110.
  51. Полещук А. Г., Насыров Р. К. Прецизионный контроль формы асферических и нетипичных оптических поверхностей с помощью синтезированных голограмм // Научно-техническая конференция «Оптико-электронные комплексы наземного и космического базирования» (г. Лыткарино, Московская обл., Россия, 25–26 сентября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 183 – 184.
  52. Попова В. А. Детальное исследование температурной зависимости времени  $\alpha$ -релаксации стеклющихся материалов в широком температурном диапазоне // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 64.

53. Потатуркин А. О. Комбинированный метод обнаружения изменений в застройке на разновременных спутниковых изображениях // Там же. – С. 38 – 39.
54. Потатуркин О. И., Борзов С. М. Обработка гиперспектральных спутниковых изображений при исследовании антропогенных и природных объектов // XV Российская конференция с международным участием «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR-2014) (г. Новосибирск, Россия, 2–5 декабря 2014): Программа. Тезисы докладов. Алфавитный указатель участников. Новосибирск: ИВТ СО РАН, 2014. – С. 27 – 28.
55. Потатуркин О. И., Борзов С. М., Потатуркин А. О., Узилов С. Б. Обработка мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения при исследовании антропогенных и природных объектов // IV Всероссийская конференция «Математическое моделирование и вычислительно-информационные технологии в междисциплинарных научных исследованиях» (г. Иркутск, Россия, 30 июня – 4 июля 2014): Тез. докл. – Иркутск: РИО ИДСТУ СО РАН, 2014. – 2014. – С. 58.
56. Розов А. С. Многоуровневая модель разработки синтаксиса специализированных языков программирования // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосиб. гос. ун-т, 2014. – С. 133.
57. Розов А. С. Оценка степени безопасности программ в специализированных языках программирования // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия, 29–31 октября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 77 – 78.
58. Рудыч П. Д. Исследование характеристик перестраиваемого многомодового лазера на красителях с ультратонким резонатором // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 62.
59. Светличная О. В. Исследование резонансных ламп для целей атомно-абсорбционной спектроскопии // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК–2014: Квантовая физика, Подсекция: квантовая оптика и квантовая электроника (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – С. 73.
60. Сизов М. М. Анонс курса «Гибридные системы с агм-архитектурой» // Открытая региональная научно-практическая конференция «Развитие специализированного инженерно-технического образования в современной школе» (г. Новосибирск, Россия, 27–28 ноября 2014): Тез. докл. – С. 23–24.
61. Сизов М. М., Зюбин В. Е. Инструментальные средства создания гибридных систем управления на основе архитектуры Zynq // XV Все-

- российская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия, 29–31 октября 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 78 – 79.
62. Сизов М. М., Лях Т. В., Розов А. С. Разработка транслятора языка Reflex в язык описания аппаратуры VHDL // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014: Информационные технологии (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосиб. гос. ун-т, 2014. – С. 136.
  63. Сизов М. М. Разработка гибридной системы определения толщины изоляции оптоволоконного кабеля // Там же. – С. 227.
  64. Соловьев А. А. Специализированные программные системы в решении задач анализа цифровых изображений // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Тюмень, Россия, 29–31 октября 2014). – 2014. – С. 49 – 50.
  65. Суровцев Н. В. «Возможности низкочастотного комбинационного рассеяния света при исследовании сегнетоэлектрического перехода» // XX Всероссийская конференция по физике сегнетоэлектриков (г. Красноярск, Россия, 18–22 августа 2014): Тез. докл. – 2014. – С. 26.
  66. Узилов С. Б. Обнаружение нарушений лесного покрова по многоспектральным спутниковым изображениям // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 42 – 43.
  67. Фарафонтова Л. А. Высокочувствительный быстродействующий селективный хемосенсор на основе фотонного кристалла // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК–2014: Квантовая физика, Подсекция: квантовая оптика и квантовая электроника (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Изд-во НГУ. – 2014. – С. 77.
  68. Федоров В. И., Вайсман Н. Я., Николаев Н. А., Немова Е. Ф. Влияние низкоинтенсивного терагерцового излучения на продолжительность жизни и развитие потомства дрозофил // XX Национальная конференция по использованию синхротронного излучения «СИ–2014» (г. Новосибирск, Россия, 7–10 июля 2014): Тез. докл. – Новосибирск – 2014. – С. 65.
  69. Фотиади А. А., Лобач И. А., Megret P. Влияние акустического и теплового шума на динамику случайного Бриллюэновского лазера // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – Новосибирск, ИАиЭ СО РАН– 2014. – С. 76 – 77.
  70. Фрумин Л. Л., Шапиро Д. А., Белай О. В., Подивилов Е. В. Прямая и обратная задачи рассеяния: быстрый численный метод // Международная конференция АМСА–2014: Актуальные проблемы вычисли-

- тельной и прикладной математики (г. Новосибирск, Россия, 9–11 июня 2014): Тез. докл. – Новосибирск: ИВМиМГ. – 2014. – С. 54.
71. Харенко Д. С., Бабин С. А., Подивилов Е. В., Беднякова А. Е., Федорук М. П., Калашников В. Л., Аполонский А. А. Исследование свойств рамановских диссипативных солитонов в волоконном лазере // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – Новосибирск, ИАиЭ СО РАН– 2014. – С. 70 – 71.
  72. Шалагин А. М. Лазеры на парах щелочных металлов с диодной накачкой // XV Школа молодых ученых «Актуальные проблемы физики» (Москва, Россия, 16–20 ноября 2014): Сборник трудов, ФИАН, 2014. – 2014. – С. 4.
  73. Шапиро Е. Г., Шапиро Д. А., Турицын С. К. Высокоэффективный метод вычисления пропускной способности линии // VI Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 14–18 апреля 2014): Материалы семинара. – Новосибирск, ИАиЭ СО РАН– 2014. – С. 105 – 106.
  74. Шоев С. А. Программные средства подготовки и моделирования послойной лазерной 3D микрообработки // 52 Международная научная студенческая конференция МНСК-2014 (г. Новосибирск, Россия, 11–18 апреля 2014): Тез. докл. – Новосиб. гос. ун-т, 2014. – С. 59.
  75. Шоев С. А., Булушев Е. Д. Разработка программно-алгоритмических средств для технологической подготовки лазерной микрообработки ультракороткими импульсами // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии 2014» (г. Новосибирск, Россия, 14–16 апреля 2014): Тез. докл. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2014. – С. 44 – 45.
  76. Atutov S. Study of photodesorption of rubidium atoms in hollow-core photonic band-gap fibers, generation and control quantum states of light using atomic vapours // Russian-British Workshop Program. New Advanced Materials and Systems for Photonic and Sensors (Novosibirsk, Russia, March 17–20, 2014). – 2014. – P. 28.
  77. Chubakov V. P. Sensor on luminescent composites of pyrolocyanine dye for detection of amine-type reagents // Там же. – P. 14.
  78. Babin S. Novel laser sources based on Raman gain in fibers // Asia Communications and Photonics Conference – ACP 2014 (Shanghai, November 11–14, 2014): Program. – 2014. – P. XIV.
  79. Babin S. A. Light propagation, amplification and generation in fiber waveguides with micro- and nanostructures // Russian-British Workshop “New Advanced Materials and Systems for Photonics and Sensors” (Novosibirsk, Russia, March 17–20, 2014): Program. – 2014. – P. 34.
  80. Babin S. A. New schemes of Raman fiber lasers // 16th International Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, 30 June – 4 July 2014). – 2014. – Paper ThSy1-06.

81. Babin S. A., Vatnik I. D., Laptev A. Yu., Bubnov M. M., Dianov E. M. High-efficiency cascaded generation of a phosphosilicate fiber Raman laser with random distributed feedback // 23<sup>rd</sup> Int. Laser Physics Workshop – LPHYS 2014 (Sofia, Bulgaria, July 14–18, 2014). Program and Abstracts. – 2014. – Paper 8.3.2.
82. Bessmeltsev V., Bulushev E., Dostovalov A. Crack-free fabrication of microchannels by femtosecond laser on a glass surface // International Conference “Advanced Laser Technologies 2014” (Cassis, France, October 6–10, 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 18.
83. Bessmeltsev V.P., Bulushev E.D., Dostovalov A.V. Optical inspection of microchannels formed by femtosecond laser on glass // 16th International Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, 30 June – 4 July 2014). – 2014. – Art. no. 6886343.
84. Chapovsky P. L., Wilson-Gordon A. D. Coherent control of enrichment and conversion of molecular spin isomers // 23rd Int. Laser Physics Workshop – LPHYS 2014 (Sofia, Bulgaria, July 14–18, 2014). Program and Abstracts. – 2014. – Paper 1.4.4.
85. Churkin D. Laminar-turbulent transition in fibre laser // International Workshop – Rogue waves, dissipative solitons, plasmonics, supercontinuum, and special fibres (Castelldefels, Barcelona, July 25–26, 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 38.
86. Churkin D. Laminar-turbulent transition in fibre laser. EuroMech EC565 Colloquium on Subcritical transition to turbulence (Cargese, France, May 6–9, 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 19.
87. Churkin D. Real-time measurements of intensity spatio-temporal and spatio-frequency dynamics in cavity-based systems // Asia Communications and Photonics Conference – ACP 2014 (Shanghai, November 11–14, 2014). Program. – 2014. – P. XIV.
88. Churkin D. V., Turitsyna E., Sugavanam S., Tarasov N. S., Shu X., Babin S. A., Podivilov E. V., Falkovich G., Turitsyn S. K. The laminar-turbulent transition in a fibre laser // SPIE Photonics Europe – Nonlinear Optics and its Applications (Brussels, Belgium, April 14–17, 2014). – 2014. – Paper 9136-33.
89. Dostovalov A. V., Wolf A. A., Babin S. A. Femtosecond point-by-point inscription of fiber Bragg gratings through the polyimide coating // 16th International Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, 30 June – 4 July 2014). – 2014. – Paper ThR5-31.
90. Dostovalov A. V., Wolf A. A., Babin S. A. Long-period and fiber Bragg gratings fabricated by high-energy femtosecond pulses // Там же. – Paper WeSy1-30.
91. Dostovalov A. V., Wolf A. A., Dubov M. V., Mezentsev V. K., Babin S. A. Femtosecond laser writing of Bragg and long-period fiber gratings at the wavelengths of 1026 and 513 nm // 23<sup>rd</sup> Int. Laser Physics Workshop – LPHYS 2014 (Sofia, Bulgaria, July 14–18, 2014). Program and Abstracts. – 2014. – Paper 8.2.3.

92. Frumin L. L., Nemykin A. V., Shapiro D. A., Perminov S. V. Rayleigh-Wood's Resonances in the Near-Field Scattering by Periodic Array of Nanowires // 16th Int. Conference "Laser Optics 2014" (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). Technical Program. – 2014. – TuR6-16.
93. Gorkunov M., Sturman B., Podivilov E. Field singularities and super-localized plasmons at sharp metal corners and tips // Proceedings of 8th International Congress on Advanced Electromagnetic Materials in Microwaves and Optics (Copenhagen, Denmark, August 25–30, 2014). – 2014. – P. 121 – 123.
94. Kalish E. N., Nosov D. A., Sizikov I. S., Smirnov M. G., Sorokin K. E., Stus Yu. F. Setting the vertical in a ballistic gravimeter // Proceedings of IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: static and mobile measurements (TG-SMM 2013) (St. Petersburg, Russia September 17–20, 2014), abstracts of papers. The State Research Center of the Russian Federation, Concern CSRI Elektropribor, JSC. – 2014. – P 136 – 138.
95. Knyazev, I.V., Dorzhiev, V.Y., Gluhov, A.V., Panova, A.A. Development and manufacture of electrostatic capacitive energy harvesting device // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. – EDM. – Art. no. 6882475. – P. 51 – 53.
96. Konchenko A. S., Korolkov V. P., Malyshev A. I., Sametov A. R. Monitoring of reactive ion etching of computer-generated holograms by specular spectroscopic scatterometry // Proceedings of Seminar "Optoelectronic Information Systems and Laser Technologies" in 16th International Conference "Laser Optics'2014" (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). – 2014. – P. 68 – 71.
97. Korolkov V. P., Nasyrov R. K., Poleshchuk A. G., Agapov Y. D., Ivanov A. F. Metrological and technological limitations for correction of wavefront distortion in laser crystals by 3D photolithographic surface shaping // Там же. – P. 17–21.
98. Lavrentiev M., Marchuk A., Romanenko A., Vassilyev G. Fast method to calculate tsunami arrival times // Geophysical research abstracts, 2014, v. 16, EGU2013-3754 (pdf).
99. Lavrentiev M., Romanenko A. Measured data inversion for the problem of real time tsunami wave parameters determination // The 7th International Conference "Inverse Problems: Modeling and Simulation" (Fethiye, Turkey, May 26–31, 2014). – 2014. – P. 101.
100. Lavrentiev M., Titov V., Romanenko A. Approaches to real-time tsunami wave parameters evaluation // Geophysical research abstracts, 2014, v. 16, EGU2014-3742 (pdf).
101. Lavrentiev M. M., Spigler R. Existence, uniqueness and regularity for the Kyramoto-Sakaguchi equation with unboundedly supported frequency distribution // The 7th International Conference on Differential and Functional Differential Equations (Moscow, Russia, August 22–29, 2014). Abstracts. Peoples' Friendship University of Russia. – 2014. – P. 71 – 72.
102. Lavrentyev M., Marchuk A., Simonov K., Romanenko A., Kurako M. Solution to direct and inverse problems of hydrophysical tsunami monitoring

- on parallel and hybrid computational architectures // International Conference “Advanced Mathematics, Computations and Applications -2014” (Novosibirsk, Russia, June 8–11, 2014). Abstracts, ICM&MG SSB RAS. – 2014. – P. 40.
103. Lavrentyev M., Romanenko A. Adaptation of data processing algorithms for GPU architecture // Там же. – P. 48 – 49.
  104. Lavrentyev M., Romanenko A. Speeding up tsunami wave propagation modeling // Geophysical research abstracts, 2014, v. 16, EGU2013-3767 (pdf).
  105. Mezentsev V., Dubov M., Wolf A., Dostovalov A. Vortical laser bullets in femtosecond pulse propagation // VII International Conference “Solitons, Collapses and Turbulence: Achievements, Developments and Perspectives” (SCT-14) (Chernogolovka, Russia, August 4–8, 2014). Abstracts. – 2014. – P. 26.
  106. Michalchenko A. A., Nalivaiko V. I., Kartaev E. V., Kuzmin V. I., Sergachev D. V., Pinaev P. A. Laser-Optical Diagnostic of Dispersed Phase Parameters Applied to Additive Technology of Surface Modification by High-Dense Energy Source // Theses of 4th International Congress on High Current Electronics, Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows, and Radiation Physics and Chemistry of Condensed Matter (Tomsk, Russia, September 21–26, 2014). – 2014. – P. 361.
  107. Nasyrov K. Simulation of light interaction with alkali atoms in coated optical cells // Book of abstract 18<sup>th</sup> international school of quantum electronics “Laser physics and applications” (Sozopol, Bulgaria, 29 September – 3 October 2014). – 2014. – P. 24.
  108. Nemykin A. V., Shapiro D. A., Perminov S. V. Analytic Solution for Multichannel Fiber BraggGrating // 16th Int. Conference “Laser Optics 2014” (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). Technical Program. – 2014. – ThR1-31.
  109. Niang, A., Amrani, F., Salhi, M., Leblond, H., Komarov, A., Komarov, K., Sanchez, F. Manipulation of large soliton ensembles in Er-doped doubleclad fiber laser // Nonlinear Photonics Conference 2014 (Barcelona, Spain, July 27–31, 2014). Program and Abstracts. – 2014 (2 p.).
  110. Pelipasov O. V., Labusov V. A. Measurement of microwave plasma parameters // 9th International Conference on Plasma Assisted Technologies (ICPAT-9) (St. Petersburg, Russia, 23–26 June 2014). Book of abstracts. – 2014. – P. 20 – 22.
  111. Plekhanov A. I. External-cavity spasers // Proceedings of the Eight International Conference on Material Technologies and Modeling MMT-2014 (Ariel, Israel, July 28 – August 1, 2014). – 2014. – P. 2-81 – 88.
  112. Plekhanov A. I. Functional properties of photonic crystals on the basis of single-crystal opal films including optical chemical sensors, DFB spasers. // Russian-British Workshop Program. New Advanced Materials and Systems for Photonic and Sensors (Novosibirsk, Russia, March 17–20, 2014). – 2014. – P. 10.

113. Poleshchuk A. G., Sedukhin A.G., Cherkashin V.V., Trunov V.I., Maksimov V.G., Tartakovsky V.A. High-resolution Shack-Hartmann sensor for measuring variations of high-power laser beams // Proceedings of 16th International Conference "Laser Optics'2014" (St. Petersburg, Russia, June 30 – July 4, 2014). – 2014. – P. R4-p06.
114. Sharaborin D. K., Matet N., Dulin V. M., Kozik V. I. Measurement of fuel-to-air ratio from emission spectra of CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> flames in a model combustor // Abstracts of 17th International Conference on the Methods of Aerophysical Research (ICMAR`2014) (Novosibirsk, Russia, June 30 – July 6, 2014). Novosibirsk. – 2014. – P.1 – 2.
115. Steinberg I., Vasilyev E., and Shelkovnikov V. Use of forbidden singlet-triplet electron transitions in photopolymer material for microholograms recording // Third European Symposium of Photopolimer Science (Vienna, Austria, September 9–12, 2014). – 2014. – P. OP-56.
116. Sturman B. Nonlinear phenomena with whispering gallery modes // VII International Conference “Solitons, Collapses and Turbulence: Achievements, Developments and Perspectives” (SCT–14) (Chernogolovka, Russia, August 4–8, 2014). Abstracts. – 2014. – P. 37.
117. Sugavanam S., Le S.T., Fabbri S., Lobach I., Kablukov S.I., Khorev S., Churkin D. Real-time heterodyned measurements of spatio-frequency dynamics in fibre lasers // Nonlinear Photonics Conference 2014 (Barcelona, Spain, July 27–31, 2014). Program and Abstracts. – 2014. – Paper NTu4A.4.
118. Surovtsev N. V., Kupriyanov I. N. Temperature dependence of the Raman phonon linewidth of diamond revisited // 65<sup>th</sup> Diamond Conference (Warwick, July 1–5, 2014). – 2014. – P16.1-P16.3.
119. Terentiev V. S. Development of reflection interferometers for fiber optics // Russian-British Workshop “New Advanced Materials and Systems for Photonics and Sensors” (Novosibirsk, Russia, March 17–20, 2014). Program. – 2014. – P. 35.
120. Valitov M., Kulinich R., Timofeev V., Stus Y., Kalish E., Gornov P., Ardyukov D., Sizikov I., Timofeev A., Ducarme B., Kolpashikova T. and Proshkina Z. Coseismic effect by Gravity and GPS measurements at Far East Russia continental coast // JKASP 8 Sapporo 2014 8<sup>th</sup> Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Finding clues for science and disaster mitigation from international collaboration. Hokkaido University (Sapporo, Japan, 22 – 26 September 2014). – 2014. – P. 1 – 4.
121. Vatnik I. D., Churkin D. V., Podivilov E. V., Babin S. A. Random distributed feedback fiber laser of ultimate efficiency // Nonlinear Photonics Conference 2014 (Barcelona, Spain, July 27–31, 2014). Program and Abstracts. – 2014. – Paper NW4A.5.

## АВТОРЕФЕРАТЫ

1. Абдуллина С. Р. Подавление боковых резонансов в спектре волоконных брэгговских решеток, записанных гауссовым пучком в голографических схемах: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. физ.-мат. наук / С. Р. Абдуллина. – Новосибирск, 2014. – 21 с.
2. Алямкин С. А. Классификация объектов в сейсмической системе обнаружения с учетом параметров их движения: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / С. А. Алямкин. – Новосибирск, 2014. – 21 с.
3. Зюбин В. Е. Процесс-ориентированная технология программирования, модели, языки и инструментальные средства для спецификации алгоритмов управления сложными техническими системами: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / В. Е. Зюбин. – Новосибирск, 2014. – 35 с.
4. Каблуков С. И. Нелинейное преобразование спектра генерации перестраиваемых волоконных лазеров: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. д-ра физ.-мат. наук / С. И. Каблуков. – Новосибирск, 2014. – 32 с.
5. Николаев Н. А. Исследование эффективности преобразования фемтосекундных импульсов волоконного эрбиевого лазера в терагерцовое излучение для задач широкополосной спектроскопии: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Н. А. Николаев. – Новосибирск, 2014. – 18 с.
6. Попова В. А. Исследование стеклющихся жидкостей методом рэлеевского рассеяния света: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. физ.-мат. наук / В. А. Попова. – Новосибирск, 2014. – 18 с.
7. Чуркин Д. В. Стохастические режимы генерации непрерывного волоконного ВКР-лазера: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. д-ра физ.-мат. наук / Д. В. Чуркин. – Новосибирск, 2014. – 27 с.

## ПАТЕНТЫ

1. Атутов С. Н., Плеханов А. И. Способ увеличения концентрации примесей, выделяемых из газовой смеси. Пат. на изобретение № 2505807 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 3.
2. Беднаржевский С. С., Богач А. В., Богданов А. Ю., Жосан Д. А., Смирнов Г. И., Френев А. В., Шевченко Н. Г. База данных для моделирования взаимодействия частиц низкой энергии в неоднородных средах. Пат. № 2014621092 // Там же, № 9.
3. Беднаржевский С. С., Богач А. В., Богданов А. Ю., Жосан Д. А., Смирнов Г. И., Френев А. В., Шевченко Н. Г. База данных для математического моделирования эффектов взаимодействия когерентного излучения с частицами низкой энергии. Пат. № 2014621093 // Там же.

4. Брагин В. И., Митин А. И., Рябов К. С., Васильев В. И., Бартош В. С., Кузиковский С.А. Система имитации внешней визуальной обстановки в бортовых средствах наблюдения земной поверхности космического тренажера. Пат. на полезную модель № 136618 // Там же, № 1.
5. Булушев Е. Д. Программа для контроля качества лазерной микрообработки MarkInspector // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611773, зарег. 14.10.2014.
6. Громилин Г. И., Иванов В. А., Киричук В. С., Косых В. П., Куликов В. А., Попов С. А. Программа для получения изображений повышенного разрешения по последовательности изображений низкого разрешения с субпиксельными смещениями // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613658, зарег. 02.04.2014.
7. Громилин Г. И., Иванов В. А., Киричук В. С., Косых В. П., Куликов В. А., Попов С. А. Программа для преобразования изображений, получаемых спутниками высокоэллиптической орбиты, в изображения, характерные для геостационарного спутника // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014613405, зарег. 26.03.2014.
8. Иванов В. А., Косых В. П., Шакенов А. К. Программа формирования текстур с заданными пространственными характеристиками // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618845, зарег. 29.08.2014.
9. Колесников Г. В., Гибин И. С. Кодовая рейка для электронного нивелира. Пат. на изобретение № 2516031 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 14.
10. Кучьянов А. С., Мальцева Е. О., Плеханов А. И., Игуменов И. К., Кучумов Б. М. Активная среда лазера. Пат. на изобретение № 2520946 // заявитель и патентообладатель ИАиЭ СО РАН и «Самсунг Электроникс»; заявл. 10.02.2012; опубл. 27.06.2014.
11. Мазурок Б. С., Черепанов А. И., Городилов М. А., Долговесов Б. С., Тарасовский А. Н. Графический пользовательский интерфейс управления презентационным комплексом // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616783, зарег. 03.07.2014.
12. Мамрашев А. А., Анцыгин В. Д., Корольков В. П., Конченко А. С. Многоэлементный генератор терагерцового излучения. Пат. РФ на изобретение № 2523746 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 20.
13. Полещук А. Г. Эталонный дифракционный оптический элемент (варианты). Пат. РФ на изобретение № 2534435 // Там же, № 33.
14. Полещук А. Г., Хомутов В. Н. Интерферометр для контроля формы и углового положения оптических поверхностей. Пат. РФ на полезную модель №147271 // Там же, № 30.
15. Попов С. А. Программная модель преобразования изображений сканирующим оптико-электронным устройством с многорядным матрич-

ным фотоприемником // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618632, зарег. 28.08.2014.

16. Чубаков В. П., Чубаков П. А. Чувствительный элемент для измерения влажности воздуха. Пат. на полезную модель. № 147599 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 31.
17. Шиманский Р. В., Черкашин В. В. Программа управления круговым лазерным записывающим устройством // Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014615895, зарег. 05.06.2014.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

1. Современные математические методы физики: учебное пособие / НГУ, сост. Д. А. Шапиро. – Новосибирск, 2014. – 115 с.

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Лаврентьев М.М., Бартош В.С., Белого И.В., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Федотова О.А. Практика преподавания ИТ-дисциплин в формате «blended learning» в Новосибирском государственном университете (НГУ) [Электронный ресурс] // XII Всероссийская конференция «Преподавание информационных технологий в Российской Федерации» (г. Казань, Россия, 15–16 мая 2014), КФУ (АПКИТ). – Режим доступа: <http://2014.xn----8sbacgtleg3cfdxy.xn--p1ai/section/139/11327/>
2. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Обработка гиперспектральных спутниковых изображений при исследовании антропогенных и природных объектов [Электронный ресурс] // Тезисы XV Российской конференции с международным участием «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR-2014) (г. Новосибирск, Россия, 2–5 декабря 2014), 2014. – Режим доступа: <http://konf.ict.nsc.ru/files/conferences/dicr2014/abstracts/248576/248577/анотация ГС.pdf>
3. Atutov S.N., Plekhanov A.I. Measurements of the sticking time and sticking probability of Rb atoms on a polydimethylsiloxane coating [Электронный ресурс] // E-print, 2014, arXiv:1405.1159. – Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1405.1159>.
4. Lavrentiev M., Bartosh V., Belago I., Vasyuchkova T., Gorodnyaya L., Derzho M., Ivancheva N. Improving the Efficiency of Educational Process by Immersion in Virtual Reality [Электронный ресурс] // “The Future of Education, International Conference Proceedings 2014” (Florence, Italy, 12–13 June 2014). – Режим доступа: <http://conference.pixel-online.net/FOE/files/foe/ed0004/FP/0684-ENT455-FP-FOE4.pdf>

5. Okotrub K. A., Surovtsev N. V., Semeshin V. F., Omelyanchuk L. V. Raman spectroscopy for DNA quantification in cell nucleus // *Cytometry A*. – 29 OCT 2014 DOI: 10.1002/cyto.a.22585
6. Reznik Aleksander, Efimov Vitaly, Soloviev Aleksander, Torgov Andrey. The Solving of the Problems with Random Division of an Interval with Use of Computer Analytic Programs [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv: 1411.6580. Режим доступа: <http://arxiv.org/abs/1411.6580>.
7. Sedukhin A. Rectangular symmetrical mesa beams and their comparison with flattened Gaussian and multi-Gaussian beams [Электронный ресурс] // *Optics Communications*. Режим доступа: [doi:10.1016/j.optcom.2014.09.027](https://doi.org/10.1016/j.optcom.2014.09.027)
8. Sorokin A.V., Zabolotskii A.A., Pereverzev N.V., Yefimova S.L., Malyukin Y.V., Plekhanov A.I. Gold Nanoparticles Enhanced Fluorescence of Pseudoisocyanine J-aggregates Formed in Layer-by-Layer Assembled Films [Электронный ресурс] // *The Journal of Physical Chemistry C*, 2014. Режим доступа: [doi:10.1021/jp5102626](https://doi.org/10.1021/jp5102626)
9. Valitov M., Kulinich R., Timofeev V., Stus Y., Kalish E., Gornov P., Ardyukov D., Sizikov I., Timofeev A., Ducarme B., Kolpashikova T. and Proshkina Z. Coseismic effect by Gravity and GPS measurements at Far East Russia continental coast [Электронный ресурс] // *JKASP 8 Sapporo 2014 8<sup>th</sup> Biennial Workshop on Japan-Kamchatka-Alaska Subduction Processes: Finding clues for science and disaster mitigation from international collaboration*. Hokkaido University (Sapporo, Japan, 22 – 26 September 2014). Режим доступа: [http://www.imgg.ru/uploads/documents/641/JKASP\\_3rd\\_circular.pdf](http://www.imgg.ru/uploads/documents/641/JKASP_3rd_circular.pdf)

## ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2013 ГОДА

### СТАТЬИ

#### Научные журналы

1. Bednarzhevskiy S. S., Zapivalov N. P., Korol Z. N. V., Smirnov G. I. Application of innovative nanotechnologies to improve the efficiency of oil and gas production in conditions of the north // *Наука и технологии*. – 2013. – Т. 1. – С. 84 – 92.
2. Бабин С. А., Голушко С. К., Цыба А. М., Чейдо Г. П., Шелемба И. С., Шакиров С. Р. Концепция многофункциональной системы безопасности угольной шахты с использованием волоконно-оптических технологий // *Вычислительные технологии*. – 2013. – Т. 18. – Спец. выпуск. – С. 95 – 101.
3. Вяткин С. И., Романюк С. А. Создание объектов на основе функций возмущения с помощью обратного обхода восьмеричного дерева деления объектного пространства // *Измерительная и вычислительная техника в технологических процессах. Международный научно-*

- технический журнал, Хмельницкий национальный университет. – ХНУ, Хмельницкий. – 2013. – № 3 (44). – С. 108 – 112.
4. Золотухин Ю. Н., Белоконь С. А., Васильев В. В., Филиппов М. Н., Ян А. П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – Специальный выпуск. – С. 144 – 150.
  5. Потатуркин О. И., Борзов С. М., Потатуркин А. О., Узилов С. Б. Методы и технологии обработки мульти- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли высокого разрешения // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18 (специальный выпуск). – С. 60 – 67.
  6. Тимофеев В. Ю., Ардюков Д. Г., Горнов П. Ю., Тимофеев А. В., Стусь Ю. Ф., Калиш Е. Н., Кулинич Р. Г., Валитов М. Г., Сизиков И. С., Колпащикова Т. Н., Прошкина З. Н., Седусов Р. Г. Косейсмические эффекты в дальней зоне Японского землетрясения 11.03.2011 по данным космической геодезии и гравиметрии // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 93 – 98.

### **Сборники научных статей**

1. Облаухов К. К., Лысаков К. Ф. Реализация алгоритма моделирования распространения цунами most на базе fpga // многоядерные процессоры, параллельное программирование, плис, системы обработки сигналов // Сборник статей всероссийской научно-практической конференции [сост. А.В. Калачев, В.В. Белозерских]. Барнаул, 2013. Издательство: Алтайский государственный университет (Барнаул). С. 125 – 126.

### **МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, СИМПОЗИУМОВ, СЕМИНАРОВ**

#### **Труды международных и российских конференций**

1. Бевзов А. Н., Власов С. В., Колобов Д. Ю., Курочкин А. В., Лубков А. А., Лылов С. А., Петухов А. Д., Русских И. В., Филатов П. С. Проектирование и разработка программного обеспечения АСУ Большого солнечного вакуумного телескопа // Труды Всероссийской конференции по солнечно-земной физике, посвященной 100-летию со дня рождения чл.-корр. РАН В.Е. Степанова (г. Иркутск, Россия, 16–21 сентября 2013). Научный совет по физике солнечно-земных связей ОФН РАН, Научный совет по астрономии ОФН РАН, ИСЗФ СО РАН. С. 224 – 227.
2. Коваadlo П. Г., Лубков А. А., Бевзов А. Н., Будников К. И., Власов С. В., Зотов А. А., Колобов Д. Ю., Котов В. Н., Перебейнос С. В., Русских И. В. Проект автоматизированной системы управления БСВТ

// Всероссийская конференция по солнечно-земной физике, посвященной 100-летию со дня рождения чл.- корр. РАН В.Е. Степанова (г. Иркутск, Россия, 16–21 сентября 2013). Научный совет по физике солнечно-земных связей ОФН РАН, Научный совет по астрономии ОФН РАН, ИСЗФ СО РАН. С. 260 – 263.

3. Розов А. С., Сизов М. М. Многослойный синтаксис для проблемно-ориентированных языков программирования // Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (Innotech 2013). Материалы V Международной конференции молодых ученых, аспирантов, студентов (г. Пермь, Россия, 1–30 ноября, 2013) / Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2014. С. 17 – 21.
4. P'ichov L. V. Local quantum logics in the topos approach to branching space-time // Proceedings of International Scientific Meeting “Physical Interpretations of Relativity Theory” (Moscow, Russian, July 1–4, 2013). P. 112 – 120.

### **Дайджесты, тезисы, материалы семинаров и форумов**

1. Timofeev V., Ardyukov D., Stus Y., Timofeev A., Kalish E., Sizikov I., Nosov D. Gravity and GPS measurements at South-West part of Baikal rift // International Symposium Ohio State University USA, 14–17 October 2013, abstracts of papers, 2013.

### **АВТОРЕФЕРАТЫ**

1. Злобина Е. А. Непрерывная параметрическая генерация в двулучепреломляющих волоконных световодах с накачкой иттербиевым волоконным лазером: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. физ.-мат. наук / Е. А. Злобина. – Новосибирск, 2013. – 18 с.
2. Корольков В. П. Лазерные литографические системы и технологии синтеза рельефно-фазовых оптических элементов: автореферат дисс. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук / В. П. Корольков. – Новосибирск, 2013. – 44 с.

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ**

1. Колоколов И.В., Кузнецов Е.А., Мильштейн А.И., Подивилов Е.В., Черных А.И., Шапиро Д.А., Шапиро Е.Г. Задачи по математическим методам физики (Изд. стереотипное). М.: Эдиториал URSS, 2013, 288 с.



**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ  
И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ СО РАН**

Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Коптюга, 1  
тел.: (383) 330-79-69, факс: (383) 330-88-78,  
e-mail: [iae@iae.nsk.su](mailto:iae@iae.nsk.su); <http://www.iae.nsk.su>