

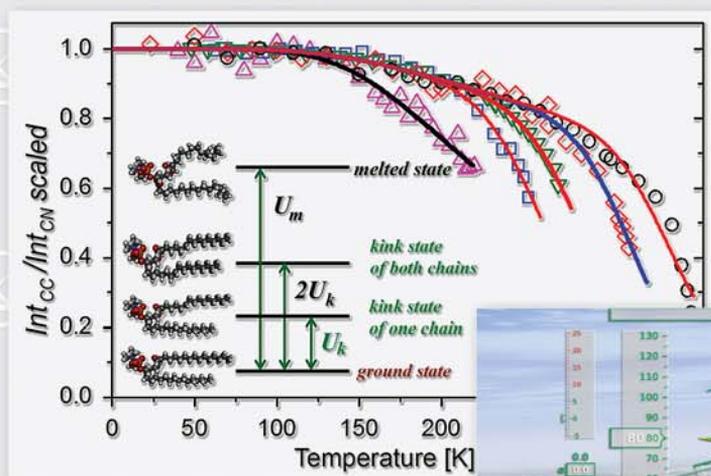
ФАНО России

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Сибирское отделение Российской академии наук



Институт автоматизации
и электрометрии

в 2016 году



Отчет о деятельности

Новосибирск

ФАНО РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ЭЛЕКТРОМЕТРИИ
в 2016 году

Отчет о деятельности

НОВОСИБИРСК

2017

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 Корольков В.П.

ISBN 978-5-7692-1543-8

© ИАиЭ СО РАН, 2017

Новосибирск

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В 2016 ГОДУ	7
2. НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ АКАДЕМИЙ НАУК НА 2013–2020 ГОДЫ	18
3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ	129
4. РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ	131
5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ	137
5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН.....	137
5.2. СТРУКТУРА НАУЧНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ.....	137
5.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА.....	140
5.4. РОСТ И ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ. НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ.....	141
5.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ.....	144
5.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ.....	147
5.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	150
5.8. УЧАСТИЕ В ВЫСТАВКАХ. ИЗДАТЕЛЬСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ.....	151
5.9. НАГРАДЫ.....	160
6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН В 2016 г	163

ВВЕДЕНИЕ

Научные исследования в 2016 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 2016 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.

Ученые Института в 2016 г. выполнили 2 проекта РНФ и 24 проекта по грантам РФФИ, а также большое количество договоров с российскими и зарубежными организациями.

В 2016 г. выполнялись работы в рамках грантов Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ (НШ-6898.2016.2, НШ-9697.2016.2) и молодых российских ученых (МК-6657.2016.2). Сотрудниками Института получены 4 стипендии Президента РФ (2 – для молодых специалистов-исполнителей оборонного заказа, 2 – для проведения научных исследований), а также 2 стипендии Правительства РФ.

Ученым советом Института признаны наиболее важными следующие результаты, полученные в 2016 г.:

- Одномодовый ВКР-лазер на основе многомодового градиентного световода с прямой диодной накачкой (*Лаборатория волоконной оптики и Тематическая группа волоконных лазеров*);
- Создание волоконных брэгговских решеток фемтосекундным лазерным излучением для лазерных и сенсорных применений (*Лаборатория волоконной оптики и Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления*);
- Электретный МЭМС генератор ударного типа (*Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур*);
- Полимерные материалы для генерации терагерцового импульсного излучения (*Лаборатория физики лазеров*);
- Универсальный комплекс управления беспилотными летательными аппаратами (*Лаборатория нечетких технологий*);
- Оптическое поле у входа в субволновую щель (*Лаборатория фотоники и Тематическая группа нелинейной оптики*).

Получено свидетельство (№ 04-04977 от 31.08.2016 г.) Министерства образования и науки РФ и ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ о регистрации директора Института академика Шалагина А.М. в федеральном реестре экспертов научно-технической сферы (действительно до 31.08.2019 г.). Продолжает свою работу в этом качестве гл. н. с. Чаповский Павел Львович (свидетельство № 04-05528 от 27.02.2014 г., действительно до 27.02.2017 г.)

Продолжают свою деятельность в качестве членов Коллегии национальных экспертов стран СНГ по лазерам и лазерным технологиям от Российской Федерации на 2014–2017 гг. по специальности «Лазерное научное приборостроение» сотрудники Института: *д.т.н. Кирьянов В.П., д.т.н. Корольков В.П., д.ф.-м.н. Плеханов А.И., д.т.н. Полещук А.Г.*; по специальности «Лазерные технологии обработки промышленных материалов и изделий» - *к.т.н. Бессмельцев В.П.*

По итогам участия в конкурсах инновационных проектов в рамках международных форумов в 2016 году Институт награжден:

- **Золотыми медалями и Дипломами I степени XXI Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)»** (Санкт-Петербург) за проекты: «Прецизионный технологический комплекс для оптического производства на основе лазерной фемтосекундной трехмерной микрообработки и точного профилометрического контроля» и «Двухканальная круговая лазерная записывающая система для синтеза микроструктурированных компонентов новой элементной базы для оптоэлектронного приборостроения, фотоники и микромеханики», **Серебряными медалями и Дипломами II степени** за проекты: «Системы управления и навигации автономных мобильных роботов» и «Малобюджетная мультимедийная система

обучения компьютерным телевизионным технологиям для образовательных учреждений»;

- **Дипломом II степени** и званием «Лауреат конкурса Лазерной ассоциации 2016 года» (Москва, конкурс приурочен к XI Международной специализированной выставке лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2016») за разработку «Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства оптических шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трёхмерной микро- и нанообработки» (*совместно с КТИ НП СО РАН*).

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 2016 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 2016 ГОДУ

В 2016 г. Ученым Советом ИАиЭ СО РАН признаны важнейшими 7 результатов.

1.1. Создание волоконных брэгговских решеток фемтосекундным лазерным излучением для лазерных и сенсорных применений

Fiber Bragg gratings writing by a femtosecond laser radiation for laser and sensors applications

Авторы: Достовалов А.В., Вольф А.А., Парыгин А.В., Симонов В.А., Терентьев В.С., Харенко Д.С., Зюбин В.Е., Бабин С.А.

Authors: Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V., Simonov V.A., Terentiev V.S., Kharenko D.S., Zyubin V.E., Babin S.A.

Разработан метод прямой поточечной записи волоконных брэгговских решеток (ВБР) с помощью излучения фемтосекундного ИК-лазера, который позволяет записывать решетки через защитное пластиковое покрытие как в фоточувствительных, так и нефоточувствительных световодах. Созданные ВБР обладают высокой температурной стойкостью наведенного показателя преломления и механической прочностью. Экспериментальные спектры согласуются с расчетными (рис. 1.1, *a*), что свидетельствует о высокой точности предложенного метода записи ВБР. Длина ВБР варьируется от 0,1 до 10 см. Получены узкополосные ВБР с шириной спектра 16,5 пм (рис. 1.1, *b*). Записанные ВБР успешно применены в волоконных лазерных и сенсорных системах, в частности как датчики температуры и деформаций в «умных» композитных материалах.

The technology of direct point-by-point fiber Bragg gratings (FBG) writing by a femtosecond laser IR radiation has been developed, which offers an opportunity to inscribe FBGs through a plastic protective coating of photosensitive and non-photosensitive fibers. The inscribed FBGs are characterized by a high mechanical strength and temperature resistance of the induced refractive index modulation. The experimental spectra agree well with the calculated ones (fig. 1.1, *a*) thus confirming a high accuracy of the proposed writing technology. The FBG length is varied from 0.1 to 10 cm. The narrowband FBG of 16.5 pm width have been demonstrated (fig. 1.1, *b*). The inscribed FBGs are successfully used in fiber laser and sensor systems, particularly, as temperature and strain sensors in smart composite materials.

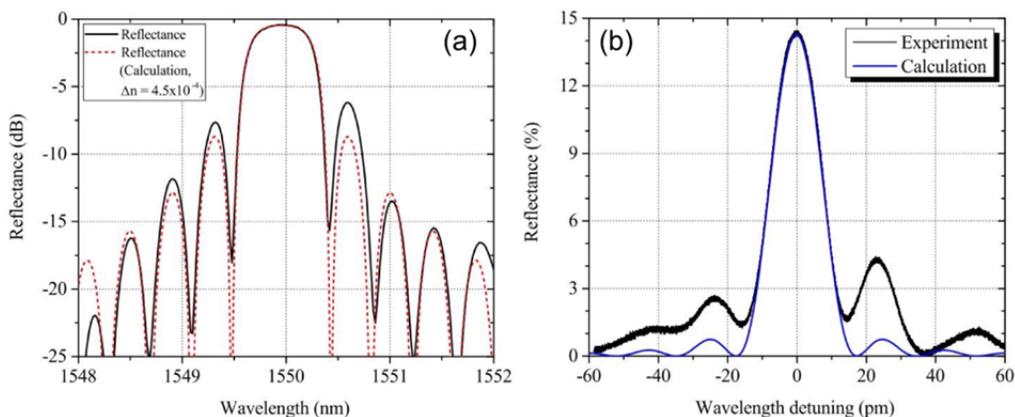


Рис. 1.1. Спектр ВБР длиной 2 мм – эксперимент и расчет (а); спектр узкополосной ВБР длиной 50 мм – эксперимент и расчет (b)

Fig. 1.1. FBG spectrum with length of 2 mm – experiment and calculation (a); spectrum of narrow-bandwidth FBG with length of 50 mm – experiment and calculation (b)

Публикации:

1. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V., Zyubin V.E., Babin S.A. Femtosecond point-by-point inscription of Bragg gratings by drawing a coated fiber through ferrule // Opt. Express, 2016, v. 24, № 15. P. 16232–16237.
2. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Mezentsev V.K., Okhrimchuk A.G., and Babin S.A. Quantitative characterization of energy absorption in femtosecond laser micro-modification of fused silica // Там же, 2015, v. 23, № 25. P. 32541-7.
3. Shishkin V.V., Terentyev V.S., Kharenko D.S., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Simonov V.A., Fedotov M.Yu., Shienok A.M., Shelemba I.S., Babin S.A. Experimental method of temperature and strain discrimination in polymer composite material by embedded fiber-optic sensors based on femtosecond-inscribed FBGs // Journal of Sensors, 2016. P. 3230968 (6 p.).
4. Заявка на патент «Способ изготовления волоконных брэгговских решеток в нефоточувствительных волоконных световодах», регистрационный номер № 2016100632, 11.01.2016.

1.2. Универсальный комплекс управления беспилотными летательными аппаратами

Universal complex for unmanned aerial vehicles control

Авторы: Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А., Филиппов М.Н., Ян А.П.

Authors: Belokon' S.A., Zolotukhin Yu.N., Nesterov A.A., Filippov M.N., Yan A.P.

Разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматического управления летательными аппаратами и исследования их динамических характеристик. Комплекс позволяет не только снизить расходы при создании новой авиационной техники, но и проводить летные испытания, не подвергая опасности жизнь пилота.

Реализованы функции построения математической модели объекта, создания алгоритмов и программного обеспечения наземного пункта управления и бортового радиоэлектронного оборудования, а также визуализации трехмерной модели аппарата и закабинной обстановки в режиме тренажера.

Созданный комплекс использован в работах по исследованию динамически подобных моделей при наземных и летных испытаниях образцов перспективных летательных аппаратов.

A hardware and software complex for automatic control of aerial vehicles and studying their dynamic characteristics is designed. The complex allows not only cost reduction in creating new in creating new aviation technology, but also performing flight tests without jeopardizing pilot's life.

Functions for developing of the mathematical model of the object and for creating algorithms and software for the ground control station and avionics are implemented, as well as visualization of the three-dimensional model of the aircraft and cockpit external environment in the flight simulation mode.

The created complex is used for studying dynamically similar models for on-ground and flight tests of advanced aircraft samples.

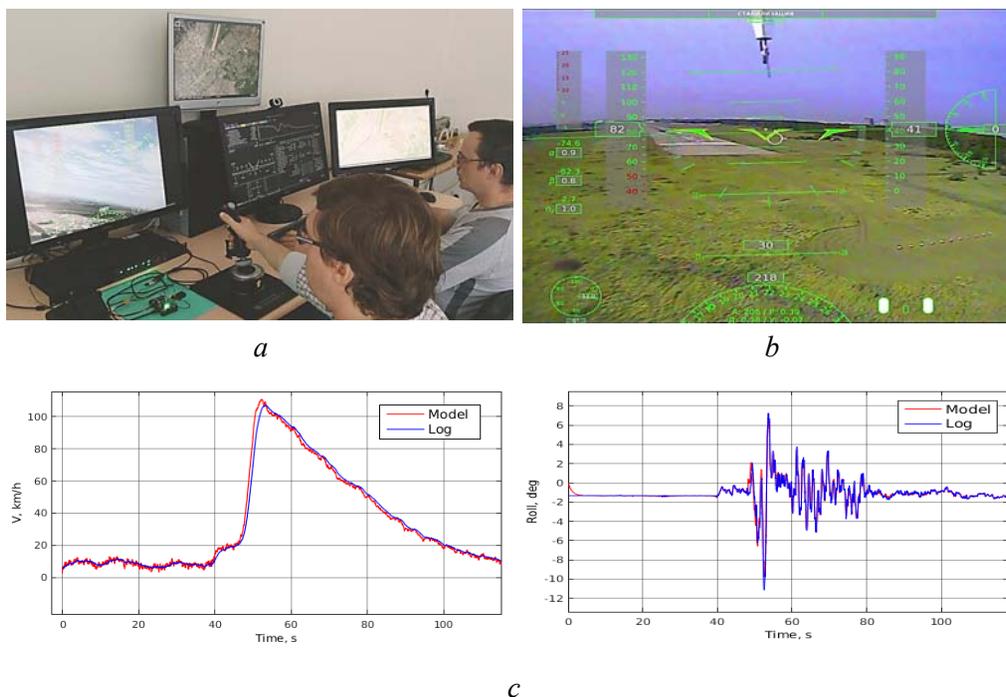


Рис. 1.2. Рабочие места пилота и инженера (фрагмент комплекса) (a); видеокادر пилота при заходе на посадку (изображение с носовой камеры) (b); сравнение модельных и экспериментальных данных (приборная скорость и угол крена) (c)

Fig. 1.2. Workspace of pilot and engineer (fragment of the complex) (a); pilot screen during the landing approach (screenshot from the nose-mounted camera) (b); comparison of the model and the experimental data (airspeed and bank angle) (c)

Публикации:

1. Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Управление угловым положением летательного аппарата // Автометрия, 2015, т. 51, № 5. С. 35–41.
2. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Золотухина М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Комплекс полунатурного моделирования систем управления летательным аппаратом // XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия, 20–25 сентября 2016). Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 374–379.
3. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата (кинематика) // Там же. С. 380–388.
4. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Метод управления угловым положением летательного аппарата // Там же. С. 389–395.

1.3. Оптическое поле у входа в субволновую щель

Optical field at the subwavelength slit

*Авторы: Фрумин Л.Л., Белай О.В., Подивилов Е.В., Шапиро Д.А.
(совместно с Физико-техническим институтом, Брауншвейг,
Германия)*

*Authors: Frumin L.L., Belai O.V., Podivilov E.V., Shapiro D.A.
(in collaboration with PTB, Braunschweig, Germany)*

Предсказана новая светоиндуцированная сила между двумя параллельными металлическими плоскостями, разделенными субволновой щелью. Сила меняет знак при смене поляризации излучения, направленного в щель, и обусловлена взаимодействием поверхностных плазмонов. Для количественного расчета получено аналитическое решение уравнений Максвелла у входа в щель со стенками из идеального проводника. Найдена переходная кривая между хорошо известными предельными случаями широкой и узкой щели по сравнению с длиной волны. Показано, что кривая содержит осцилляции, вызванные рождением в щели новых волноводных мод. Исследование светоиндуцированной силы открывает возможность практических приложений, в частности в манипуляции микронными металлическими частицами и в технике микропереключателей.

A new light-induced force has been predicted between two parallel metal planes separated by a subwavelength slit. The force changes its sign at polarization switch and arises from the surface plasmon attraction. For quantitative calculations, an analytical solution to Maxwell equations at the entrance of the slit with perfectly conducting walls is derived. The transition curve between the known limiting cases of narrow and wide slits as compared to the wavelength is found. The curve is shown to include oscillations caused by the emergence of new waveguide modes in the slit. The study of the light-induced force offers possible applications in metal particle manipulations and laser microswitches.

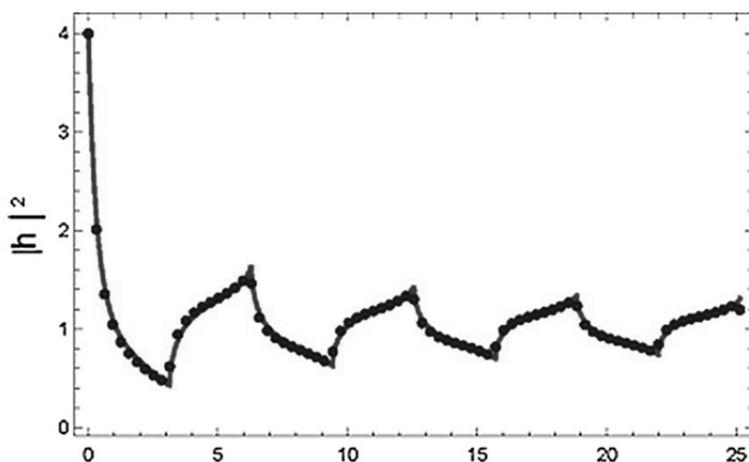


Рис. 1.3. Теоретическая переходная кривая для идеального металла с учетом 100 пространственных мод (сплошная кривая) и численный расчет программой JCMsuite для золотой пленки толщиной 100 нм на длине волны 1,55 мкм (точки). Совпадение свидетельствует о применимости модели идеального проводника

Fig. 1.3. Theoretical transition curve for a perfect metal with allowance for 100 spatial modes (solid curve) and numerical calculation with the JCMsuite code for a gold film 100 nm thick at the wavelength of 1.55 μm (symbols). The coincidence is the evidence of the perfect-metal model applicability

Публикации:

1. Nesterov V., Frumin L., Podivilov E. Negative light pressure force between two metal bodies separated by a subwavelength slit // EPL, 2011, v. 94. P. 64002.
2. Shapiro D., Nies D., Belai O., Wurm M., Nesterov V. Optical field and attractive force at the subwavelength slit // Optics Express, 2016, v. 24, № 14. P. 15977–15982.
3. Nies D., Bueteffisch S., Naparty D., Wurm M., Belai O., Shapiro D., Nesterov V. Experimental setup for the direct measurement of a light-induced attractive force between two metal bodies // Proc. SPIE 9922, Optical Trapping and Optical Micromanipulation XIII (San Diego, California, 28 August – 1 September 2016). Paper 99222L.
4. Шапиро Д.А., Нис Д., Белай О.В., Вурм М., Нестеров В.В. Оптическое поле у входа в субволновую щель // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 34–35.

1.4. Одномодовый ВКР-лазер на основе многомодового градиентного световода с прямой диодной накачкой

Singlemode Raman lasing in a multimode graded-index fiber with direct diode pumping

Авторы: Злобина Е.А., Донцова Е.И., Немов И.Н., Скворцов М.И., Власов А.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Каблукков С.И., Бабин С.А.

Authors: Zlobina E.A., Dontsova E.I., Nemov I.N., Skvortsov M.I., Vlasov A.A., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Babin S.A.

Впервые получена генерация волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой в области <1 мкм, где обычные волоконные лазеры практически не работают. Показано, что ВКР-преобразование в резонаторе на основе многомодового градиентного световода и сформированных в нём специальных волоконных брэгговских решёток (ВБР) сопровождается улучшением качества пучка с $M_p^2 \sim 20$ (многомодовая накачка на 915 нм) до $M_s^2 \sim 1,2$ (одномодовая генерация на 954 нм) (рис. 1.4). Основной вклад в эффект дает слабая ($\sim 4\%$) выходная решётка, сформированная фемтосекундным излучением селективно в центральной области градиентной сердцевинки. Дифференциальная эффективность преобразования достигает $\sim 40\%$ при уровне выходной мощности >10 Вт. Продемонстрирована возможность работы такого лазера без выходного зеркала – за счёт рэлеевской распределенной обратной связи. Полученные уровни мощности и качества пучка позволяют эффективно удваивать частоту генерации. Таким образом, предложен и реализован новый тип волоконных лазеров ближнего ИК и видимого диапазона, который может найти применение в биомедицинской диагностике, лазерных дисплеях и др.

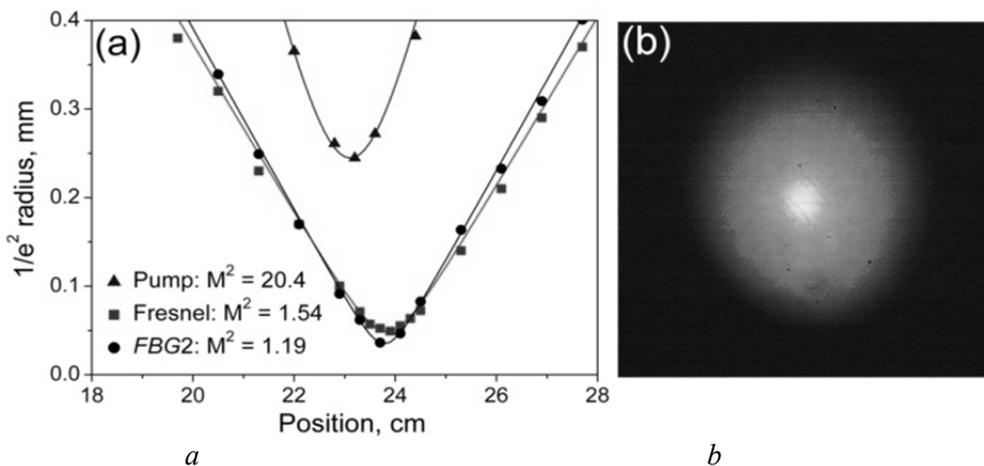


Рис. 1.4. Измерение параметра M^2 для прошедшего через градиентный световод многомодового излучения накачки (треугольники) и генерируемого стоксова излучения с френелевским отражением от торца (квадраты) и с выходной ВБР (круги) (a) и соответствующее изображение выходного пучка накачки (серый) и генерации (яркий) в дальней зоне (b)

Fig. 1.4. Measurement of the M^2 parameter for multimode pump radiation transmitted through a graded-index fiber (triangles) and generated Stokes radiation with Fresnel reflection (squares) and output fs-FBG (circles) (a) and corresponding output beam image involving pump (grey) and laser (bright) beams in the far-field zone (b)

Generation of a fiber Raman laser with direct diode pumping has been obtained for the first time in the spectral range of <1 micron, where conventional fiber lasers practically do not work. It has been shown that the Raman conversion in a cavity formed in a graded-index fiber by special fiber Bragg gratings (FBGs) is accompanied by the beam quality improvement from $M_p^2 \sim 20$ (multimode pump radiation at 915 nm) to $M_s^2 \sim 1.2$ (single-mode gen-

eration at 954 nm) (fig. 1.4). The main contribution to the effect is provided by the weak ($R \sim 4\%$) output FBG, which is formed by the femtosecond laser selectively in the central part of the graded-index fiber core. The slope efficiency reaches $\sim 40\%$ at the output power level of >10 W. The opportunity of operating without the output mirror (using Rayleigh scattering distributed feedback instead) has been also demonstrated. The obtained levels of power and beam quality enable efficient doubling of the generated radiation frequency. Thus, a new type of fiber lasers operating in near-IR and visible ranges has been proposed and realized, which is interesting for biomedical diagnostics, laser displays, and other applications.

Публикации:

1. Kablukov S.I, Dontsova E.I., Zlobina E.A., Nemov I.N., Vlasov A.A., Babin S.A. An LD-pumped Raman fiber laser operating below $1\ \mu\text{m}$ // *Laser Phys. Lett.*, 2013, v. 10. P. 085103.
2. Babin S.A., Dontsova E.I., Kablukov S.I. Random fiber laser directly pumped by a high-power laser diode // *Opt. Lett.*, 2013, v. 38, № 17. P. 3301–3303.
3. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Skvortsov M.I., Nemov I.N., Babin S.A. 954 nm Raman fiber laser with multimode laser diode pumping // *Las. Phys. Lett.*, 2016, v. 13, № 3. P. 035102.
4. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., and Babin S.A. Nearly single-mode Raman lasing at 954 nm in a graded-index fiber directly pumped by a multimode laser diode // *Opt. Lett.*, 2017, v. 41, issue 1 (in press).
5. Каблукков С.И., Злобина Е.А., Скворцов М.И., Немов И.Н., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Селекция мод в волоконном ВКР-лазере с прямой диодной накачкой при использовании ВБР в многомодовом градиентном световоде // *Квантовая электроника*, 2016, т. 46, № 12. С. 1106–1109.
6. Приглашенные доклады на конференциях ACP 2015, Laser Optics 2016, MPLP 2016, Photonics 2016 и устные доклады на LPHYS 2016, Frontiers in Optics 2016.

1.5. Конформационные состояния фосфолипидных молекул в бислойной мембране

Chain conformational order in phospholipid bilayer

Авторы: Дмитриев А.А., Суrowцев Н.В.

Authors: Dmitriev A.A., Surovtsev N.V.

Конформационные состояния фосфолипидных молекул в бислойных мембранах определены методом комбинационного рассеяния света (КРС). Липидные бислои являются основой биологических мембран, а также используются для средств доставки биологически активных веществ. Предложена модель для конформационных состояний фосфолипидной молекулы. Из сравнения результатов КРС с моделью определены эффективные энергетические барьеры и степень вырождения состояний, что дает описание конформационных состояний фосфолипидных молекул в бислойной мембране.

Chain conformational order in phospholipid bilayers is determined by Raman scattering techniques. Phospholipid bilayers constitute biological mem-

branes and are applied for drug delivery. A model of chain conformational order is proposed. A comparison of Raman data and the model description provides the effective barriers of conformational states and their degeneracy.

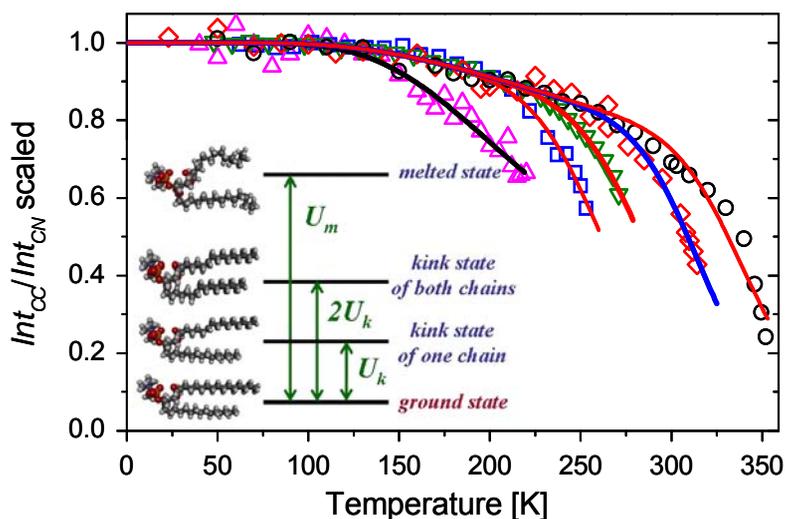


Рис. 1.5. Температурная зависимость сигнала КРС для СС-связи пяти различных фосфолипидных мембран (символы) и их описание моделью (линии). На вставке показаны конформационные состояния фосфолипидной молекулы, рассматриваемые в модели

Fig. 1.5. Temperature dependence of Raman intensities of CC stretching lines for five phospholipid bilayers (symbols) and their model descriptions (curves). The inset illustrates different conformational states of hydrocarbon chains of phospholipids

Публикации:

1. Dmitriev A.A., Surovtsev N.V. Temperature dependent hydrocarbon chain disorder in phosphatidylcholine bilayers studied by Raman spectroscopy // Journal of Physical Chemistry B, 2015, v. 119, № 51. P. 15613–15622.

1.6. Полимерные материалы для генерации терагерцового импульсного излучения

Polymer materials for excitation of pulsed terahertz radiation

Авторы: Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В.
(ИВС РАН, Санкт-Петербург)

Authors: Mikerin S.L., Plekhanov A.I., Simanchuk A.E., Yakimansky A.V.
(IMC RAS, St.-Petersburg)

Для генерации излучения терагерцового (ТГц) диапазона используются перспективные нелинейно-оптические полимерные материалы на основе синтезированных высокотемпературных полиимидов, квадратичная нелинейность которых на длине волны 760 нм на порядок больше,

чем у обычно используемого кристалла ZnTe. Амплитуда ТГц электрического поля, полученного оптическим выпрямлением фемтосекундных оптических импульсов в пленке толщиной всего в 1 мкм, только в 2 раза меньше, чем в кристалле ZnTe толщиной 500 мкм. Возрастание амплитуды ТГц электрического поля более чем на порядок величины может быть достигнуто при толщине поляризованной пленки, равной длине когерентности (180 мкм на частоте 2 ТГц). При этом спектр полученных импульсов ограничен шириной спектра огибающей импульса накачки.

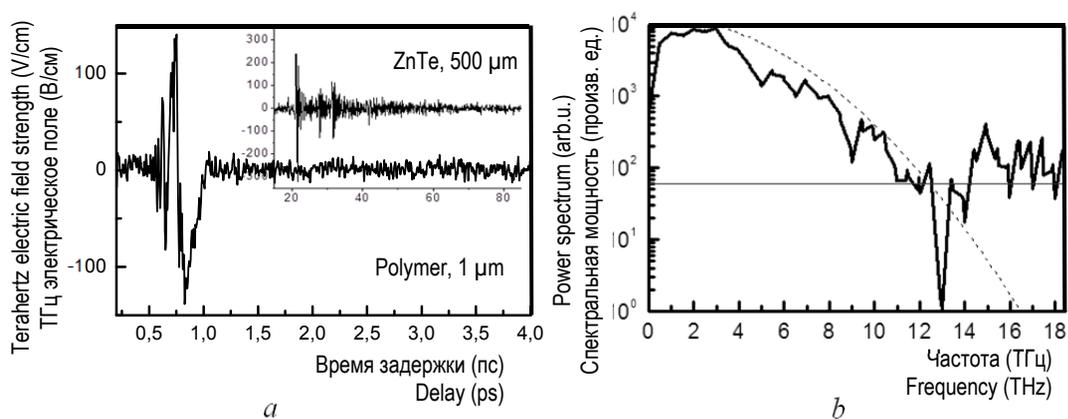


Рис. 1.6. Импульс от полимерной пленки толщиной 1 мкм, на врезке – импульс от 500 мкм кристалла ZnTe (110) (а); спектр мощности полученных импульсов: красная горизонтальная линия показывает уровень шума, пунктир – спектр огибающей импульса накачки (б)

Fig. 1.6. Pulse from a polymer film 1 micron thick, the inset shows the pulse from a 500-microns ZnTe crystal (110) (a); the power spectrum of the pulses obtained from the polymer shows the noise level (red horizontal line) and the power spectrum of the envelope of the pumping pulse (dashed curve) (b)

Original synthesized nonlinear optical polymer materials based on high-temperature polyimides are used to generate terahertz (THz) radiation. The quadratic nonlinear response of these materials at a wavelength of 760 nm is greater by an order of magnitude than that of widely used ZnTe crystals. The amplitude of the THz electric field obtained by optical rectification of femtosecond optical pulses in the film 1 μm thick is only twice smaller than that in the ZnTe crystal 500 microns thick. The increase in the electric field of THz amplitude by more than an order of magnitude can be achieved with the polarized film with thickness equal to the coherence length (180 μm at a frequency of 2 THz). The spectrum of the resultant pulses is limited by the spectral width of the pump pulse envelope.

Публикации:

1. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Новые оптические нелинейные материалы для генерации коротких импульсов терагерцевого диапазона на основе органических полимеров // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 7. С. 609–611.

2. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Возбуждение широкополосного терагерцевого излучения в полингованных нелинейно-оптических полимерах // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 124–125.
3. Mikerin S.L., Plekhanov A.I., Simanchuk A.E., Yakimansky A.V. Excitation of a broadband terahertz radiation by femtosecond laser pulses in poled nonlinear optical polymers // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 205.
4. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Генерация широкополосного терагерцевого излучения в резонансных ориентированных органических средах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь, 2015, т. 5, № 3. С. 155–163.
5. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Полингованные нелинейно-оптические полимеры для генерации широкополосного терагерцевого излучения // Российская конференция по актуальным проблемам полупроводниковой фотоэлектроники (с участием иностранных ученых) «Фотоника 2015» (г. Новосибирск, Россия, 12–16 октября 2015). Сборник тезисов докладов. С. 111.

1.7. Электретный МЭМС генератор ударного типа

Electret MEMS impact generator

Авторы: Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А.

Authors: Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A.

Разработан новый класс электростатических электретных микрогенераторов, преобразующих кинетическую энергию малоамплитудного движения подвижного электрода (ПЭ) в электрическую форму энергии. Показано, что введение в конструкцию генератора дополнительного элемента упругости, ограничивающего в момент удара минимальный зазор ПЭ–электрет (d_{\min}) дает возможность значительного, как установлено экспериментально, до 5–10 раз увеличения мощности P генератора по сравнению с классическим типом безударных МЭМС микрогенераторов. Существенным преимуществом разработанных микрогенераторов является возможность использования для генерации электрической энергии механических колебаний со значительно более широким диапазоном частот f и амплитуд микроколебаний.

A new type of electrostatic electret microgenerators for conversion of the kinetic energy of small-amplitude vibrations of a moving electrode (ME) to the electric energy is developed. Application of an additional spring element in the generator structure, which limits the minimum gap between the ME and electret (d_{\min}) at the impact instant, is shown to give rise to a considerable, up to 5–10 times, increase in the generator power P compared to the classic type of nonimpact generators. The possibility of energy generation in wide ranges of frequencies f and amplitudes of microvibrations is an essential advantage of the developed microgenerators.

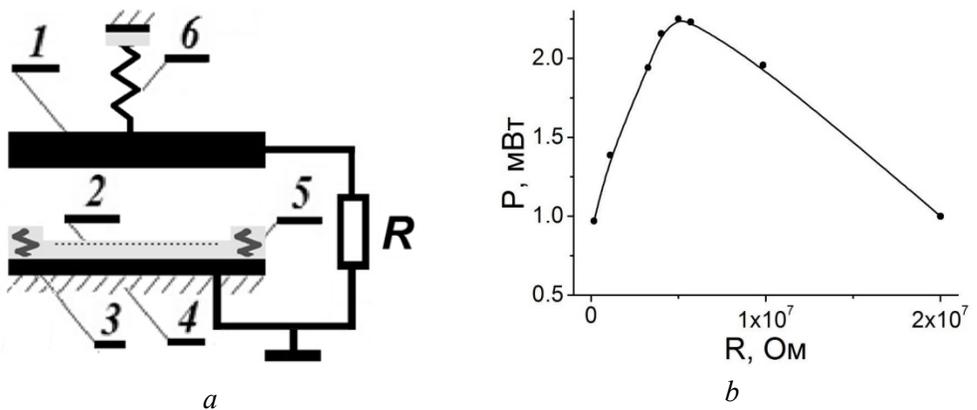


Рис. 1.7. Схема ударного микрогенератора: 1 – ПЭ, 2 – электрет, 3 – электрод, 4 – корпус, 5 – ограничители, 6 – пружина подвески (а); экспериментальная нагрузочная характеристика, площадь ПЭ 1 см^2 , его масса $4,8 \times 10^{-3} \text{ кг}$, поверхностный потенциал электрета $V_p = 450 \text{ В}$, $f = 200 \text{ Гц}$, $d_{\min} = 4\text{--}6 \text{ мкм}$ (b)

Fig. 1.7. Circuit of the impact microgenerator: 1 – ME, 2 – electret, 3 – electrode, 4 – generator body, 5 – stoppers, 6 – suspension spring (a); experimental load curve, the ME surface is 1 cm^2 , its mass is $4.8 \times 10^{-3} \text{ kg}$, the surface potential of the electrets is $V_p = 450 \text{ V}$, $f = 200 \text{ Hz}$, and $d_{\min} = 4\text{--}6 \text{ }\mu\text{m}$ (b)

Публикации:

1. Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A. Single-capacitor electret impact micro-generator // *Micromachines*, 2016, v. 7, № 1. P. 2–11.
2. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Новый подход к созданию электростатических генераторов ударного типа // *Автоматизация*, 2015, т. 51, № 3. С. 113–125.

2. НАПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ АКАДЕМИЙ НАУК НА 2013–2020 ГОДЫ

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 дифракционной оптики (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Насыров Р.К.).

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

Тематическая группа лазерной гравиметрии (ответственный исполнитель к.т.н. Стусь Ю.Ф.).

Научный руководитель д.т.н. **Корольков В.П.**

Разработка методов локальной и интегральной характеристики компонентов дифракционной оптики для преобразования волновых фронтов и формирования изображений. Разработка бесшаблонной фотолитографической технологии формирования глубокого микрорельефа дифракционных и конформальных оптических элементов для фокусировки излучения мощных лазеров ИК-диапазона. Синтез пространственно-инвариантных световых полей с низким уровнем дифракционного рассеяния за пределами заданной области. Исследование методов измерения пространственно-энергетических характеристик и рефракции интраокулярных линз различных конструкций во взаимосвязи с особенностями геометрии их поверхностей (ответственные исполнители: д.т.н. Корольков В.П., к.т.н. Насыров Р.К.).

Конформальные корректоры используются для компенсации искажений волнового фронта светового пучка, проходящего через широкоапертурные монокристаллические стержни из YAG:Nd^{3+} , которые применяются в мощных твердотельных лазерах в качестве активных элементов. Обычно рельеф конформальных корректоров формируется на первой стадии в фоторезисте с помощью полутонковой растровой фотолитографии с зазором. Затем рельеф переносится из фоторезиста на поверхность кварцевой подложки с помощью реактивного ионного травления. Полутонковая растровая маска записывается на отдельной подложке с помощью термохимической лазерной технологии на круговой лазерной записывающей системе. Маска рассчитывается с учетом нелинейности характери-

стической кривой используемого фоторезиста. Погрешности формирования рельефа в фоторезисте необходимо обнаруживать непосредственно после проявления фоторезиста, так как после измерения интерферограммы готового кварцевого корректора исправить рельеф не представляется возможным. В случае ошибки в коррекции нелинейности фоторезиста необходимо изготавливать новый полутонный шаблон и заново повторять процесс на новой кварцевой подложке. С учетом того, что каждый корректор используется только для одного индивидуального кристалла, повторение полного цикла производства существенно удорожает его стоимость. Для решения проблемы экономически эффективного изготовления корректоров была разработана установка безмасочной проекционной фотолитографии, схема которой представлена на рис. 2.1, а. В текущей конфигурации система формирует изображение размером 62×35 мм.

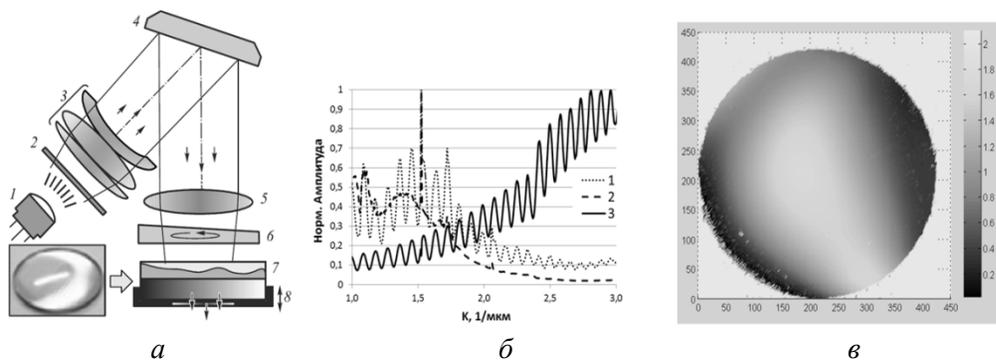


Рис. 2.1. Блок-схема установки безмасочной проекционной фотолитографии (а); обработка спектра отражения пленки фоторезиста (б); карта рельефа конформального корректора, измеренная методом ЗСР (в)

При измерении протяженного непрерывного микрорельефа без скачков, как в конформальных оптических элементах, интерференция света в слое фоторезиста при использовании метода зеркальной сканирующей рефлектометрии (ЗСР) создает однозначно интерпретируемый полезный сигнал – модуляцию спектра отраженного светового пучка. По форме модуляции можно вычислить толщину слоя фоторезиста в данной точке при условии известной зависимости коэффициента преломления фоторезиста от длины волны. Этот подход реализован в программном обеспечении большинства волоконных спектрометров. В рамках настоящего проекта решена задача повышения горизонтальной разрешающей способности метода ЗСР для измерения распределения толщины пленки фоторезиста на промежуточных этапах изготовления конформальных корректоров и дифракционных структур с большим периодом. Измерение методом ЗСР именно распределения толщины пленки фоторезиста, а не поверхностного рельефа позволяет избавиться от влияния неплоскостности поверхности подложки и направляющих сканирующей системы измерительного устройства. На рис. 2.1, б показан пример обработки спектра отражения пленки фоторезиста на кварцевой подложке. На рис. 2.1, в показан пример карты рельефа конформального корректора, измеренного

методом ЗСР. Совокупность использованных методов значительно повышает производительность изготовления корректоров в сочетании с удешевлением процесса [1].

Проведено компьютерное моделирование процесса измерения параметров распределения интенсивности, т. е. фокусных расстояний и дифракционной эффективности, в фокальных областях 0-го и 1-го порядков дифракционно-рефракционных бифокальных хрусталиков глаза (интраокулярных линз (ИОЛ)) типа МИОЛ-Аккорд (рис. 2.2). Предполагалось, что ИОЛ освещается параллельным или сходящимся (с учётом влияния роговицы глаза) пучком монохроматического света с длиной волны 0,5461 мкм. Показано, что уменьшение центральной зоны и компенсация сферических aberrаций глаза, предусмотренные в дифракционном элементе хрусталика, практически не изменяют рефракцию, но на несколько процентов снижают дифракционную эффективность. Также показано, что при измерении эффективности к абсолютной энергии одного порядка всегда добавляется частично или полностью энергия другого порядка в зависимости от расстояния между фокусами, размера функций рассеяния и диаметра диафрагмы перед фотодетектором [2]. При проведении контрольных испытаний дифракционно-рефракционных ИОЛ следует учитывать зависимость дифракционной эффективности не только от высоты структуры дифракционного компонента, но также и от взаимного влияния порядков дифракции и изменений в топологии структуры. Имеет смысл измерять не абсолютную, а относительную дифракционную эффективность.

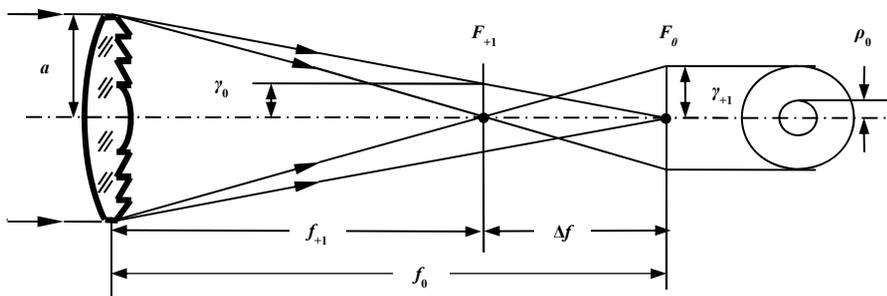


Рис. 2.2. Распределение энергии по порядкам после бифокальной интраокулярной линзы

При выполнении этапа проекта в 2016 году необходимо было выявить техническое решение по синтезу светового поля, удовлетворяющего комплексу следующих критериев:

- предельной концентрации до минимального субволнового размера d в дальней фокальной области генерирующей системы;
- сохранения поперечного размера d и интенсивности I в пределах расширенного расстояния распространения;

- в) наличия низкого уровня дифракционного рассеяния за пределами области центрального лепестка (области фокусировки, в продольном и поперечном измерениях);
- г) круглой формы центрального лепестка в его поперечном сечении;
- д) физической реализуемости с помощью простой оптической системы и типового лазерного источника освещения.

Поставленная задача решена с помощью математической модели, базирующейся на основе представления синтезируемого поля в виде суперпозиции плоских волн, соответствующей форме дифракционного интеграла Дебая. При этом, исходя из последнего критерия простой физической реализуемости, в данной модели делалась привязка к оптической системе генерации светового поля на основе высокоапертурного безаберрационного апланатического объектива с кольцевой диафрагмой и бинарно-фазовым фильтром пространственных частот во входном зрачке объектива, который освещался лазерным пучком с гауссовой формой профиля. Задача сводилась к оптимизации области кольцевой диафрагмы и вида функции пропускания фильтра пространственных частот при известных параметрах оптической системы, согласованных с остальными критериями. Для иллюстрации решения поставленной задачи на рис. 2.3 приведены графики численного моделирования для пространственных распределений нормированной интенсивности светового поля.

Использование предложенного метода фильтрации и математической модели фокусировки лазерного пучка позволили получить выигрыш на 9 % в уменьшении радиального размера и на 80 % в увеличении продольного размера пучка по отношению к известной высококачественной оптической системе с той же апертурой и оптимизированным фильтром.

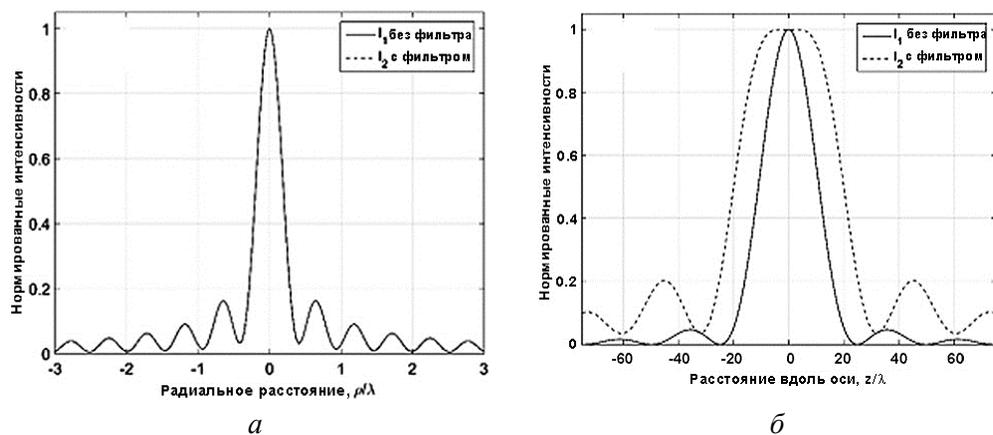


Рис. 2.3. Графики численного моделирования для пространственных распределений нормированной интенсивности светового поля: *а* – в поперечной плоскости наименьшей шейки светового пучка (в фокальной плоскости объектива с числовой апертурой 0,95); *б* – в осевом направлении, вдоль оптической оси, вблизи фокуса объектива

(Лаборатория дифракционной оптики)

Публикации:

1. Корольков В.П., Конченко А.С., Черкашин В.В., Миронников Н.Г. Разработка методов формирования и контроля заданного распределения толщины фоторезиста при изготовлении конформальных корректоров // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 4. С. 482–488.
2. Ленкова Г.А. Особенности измерения оптической силы искусственных рефракционных и дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 121, № 2. С. 335–347.
3. Ленкова Г.А. Исследование пространственно-энергетических характеристик фокальных областей бифокальных дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза // XIII Международная конференции «Голография ЭКСПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 255–258.
4. Agarov Yu.D., Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Malyshev A.I., Ustyantsev I.M., Kas'yanov I.V. Correction of wavefront distortion in YAG:Nd active elements in oblique geometry // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27– July 1, 2016). P. R4–15.

Разработка программно-алгоритмических средств обработки данных для испытания экспериментального образца высокопроизводительной системы измерения микрорельефа изделий микроэлектроники и оптики, на основе многоканальной конфокальной микроскопии и на основе серверов со встроенными графическими процессорами (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

Проведены испытания экспериментального образца высокопроизводительной системы для измерения профиля больших поверхностей (максимальный формат объекта $190 \times 190 \text{ мм}^2$) изделий микроэлектроники и оптики на основе многоканальной конфокальной микроскопии [1]. При приведенной дискретности изображения объектов 100 нм (объектив 60х) время формирования кадра 1000×1000 пикс 10 мс. Результаты разработки использованы при создании скоростного профилометра субмикронного разрешения.

Структурная схема экспериментального образца представлена на рис. 2.4. Источниками света являются лазеры с $\lambda = 0,532$ и $0,405$ мкм. Для согласования с мультипликатором на основе дифракционного оптического элемента (ДОЭ) лазерный луч проходит через коллиматор. В ДОЭ-мультипликаторе излучение разделяется на матрицу независимых лучей размером 25×50 , которые затем проходят через отверстия матрицы конфокальных диафрагм такой же размерности и попадают на светоделительный кубик. Световые лучи, проходящие через светоделительную грань кубика без изменения направления распространения, поступают в двухкоординатный сканер, содержащий преломляющие плоскопараллельные пластины и формирующую оптику. Сканер последовательно отклоняет матрицу коллимированных лучей в соответствии с заданной программой. Далее матрица лучей фокусируется объективом на исследуемом объекте. Отраженный от объекта световой поток, в котором присутствует информация об объекте, возвращается через объектив и тубусную оптику, сканером и светоделительным кубиком направляется на оборачивающие

зеркала и, вторично пройдя сканер, с помощью объектива согласующей оптики фокусируется на регистрирующей CCD-камере. Управление лазерными источниками, сканерами, перемещением объекта, объектива с помощью пьезопривода осуществляет модуль управления. Обработка данных от скоростной камеры (500 кадров в секунду) производится с помощью вычислительного кластера.

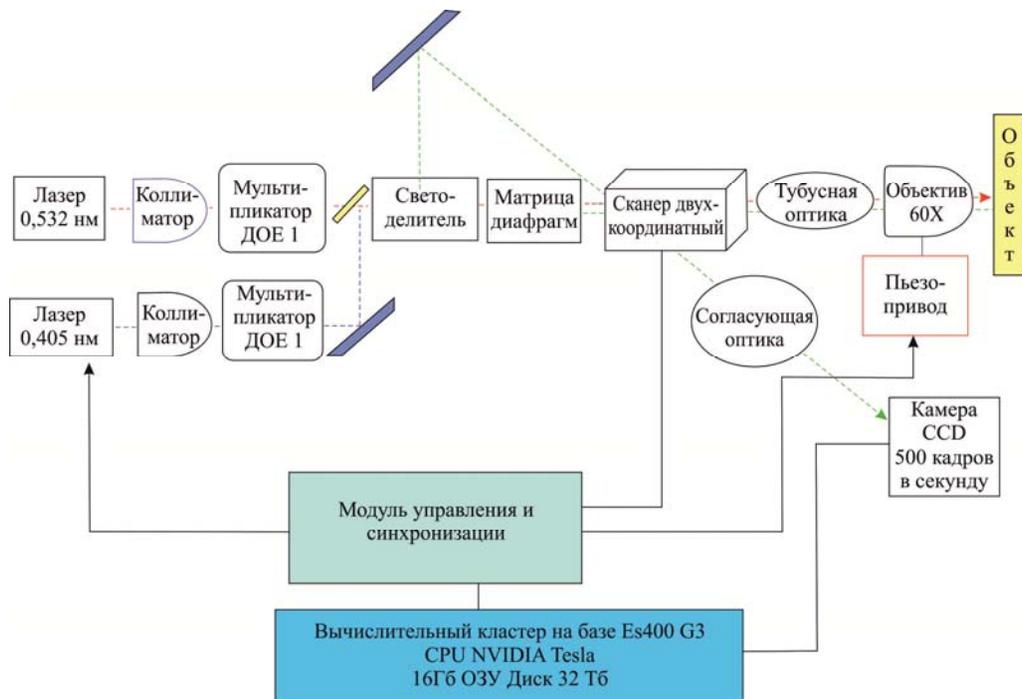


Рис. 2.4. Структурная схема экспериментального образца многоканального конфокального микроскопа

Для построения изображения производится сканирование с помощью последовательного углового перемещения сканерными преломляющими плоскопараллельными пластинами матрицы сфокусированных лучей по зоне объекта, ограниченной расстоянием между сфокусированными пятнами. Построение изображения в данной схеме производится в параллельном режиме, при котором происходит перемещение изображения матрицы пятен лучей по чувствительным элементам регистрирующей камеры. Полное конфокальное изображение объекта формируется за время одного кадра камеры CCD. Данная схема обеспечивает одновременную синхронизацию развертки лучей осветительного блока на объекте и лучей регистрирующего блока на матрице фотодетекторов.

Принцип измерений 3D-профиля заключается в получении серии изображений в режиме стека, т. е. в каждой точке производится получение кадров в заданном диапазоне $[z_1, z_2]$ с шагом δz посредством перемещения пьезопривода и сканирования области быстрыми сканерами; регистрация изображения производится высокоскоростной видеокамерой в режиме синхронизации с работой сканеров. Затем для каждой точки (x, y)

полученного стека изображений определяется положение $z(x, y)$, в котором изображение имеет максимальную яркость $I(x, y)$. Далее поточечно, зная значение $z(x, y)$, восстанавливается изображение карты высот поверхности, а используя значение $I(x, y)$, – изображение расширенного фокуса, т. к. при использовании конфокального принципа измерения, чем выше интенсивность, тем ближе точка к фокальной плоскости системы. На рис. 2.5 *a, б* показаны изображения расширенного фокуса; *в, г* – карта высот ($z(x, y)$) и 3D-визуализация соответственно.

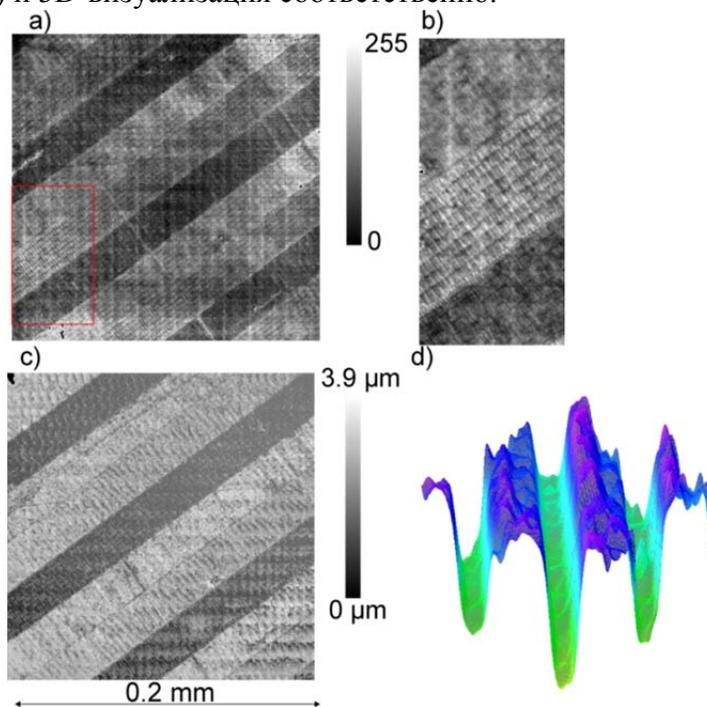


Рис. 2.5. Измерение периодической решетки: *a* – изображение расширенного фокуса (по критерию максимальной интенсивности), *б* – увеличенное изображение (разрешимы решетки 0,9 и 0,8 мкм), *в* – карта высот объекта, *г* – 3D-визуализация

Как показывает тестирование алгоритма при объективе 40х, $NA = 0,8$, разрешаются периодические структуры с линиями через 0,9 и 0,8 мкм, однако при шаге 0,7 мкм наблюдается достаточно высокий уровень шума. Для уменьшения уровня шума может использоваться программное усреднение изображений, объектив с большей числовой апертурой, а также покадровая фильтрация с помощью медианного фильтра.

Время сканирования определяется частотой кадров и количеством стековых изображений: для плоского объекта диапазон $[z_1, z_2]$ в большинстве случаев можно ограничить 2 мкм, $\delta z = 50$ нм, частота кадров более 100 кадров/с, итого время сканирования площади $0,2 \times 0,2$ мм² с учетом перемещения пьезопозиционера – менее 1 с.

Измерение профиля больших поверхностей. Сканирование больших площадей (более 10 см²) изделий микроэлектроники и оптики на основе многоканальной конфокальной микроскопии проводится в несколько зон

с перекрытием по ХУ ~10 %. В каждой зоне проводится получение изображений расширенного фокуса и карты высот согласно алгоритму, описанному в предыдущей главе. Между зонами перемещение производится с помощью высокоточной двухкоординатной системы позиционирования фирмы Aerotech.

Перекрытие по ХУ необходимо вследствие того, что возможны ошибки позиционирования подвижек, достигающие 4 мкм в поле $200 \times 200 \text{ мм}^2$, а также вследствие минимальной дискретности перемещения ~ 0.1 мкм. Изображения двух соседних зон сшиваются алгоритмически по точкам в области перекрытия с использованием вычисления нормализованной взаимной корреляции подобластей изображений:

$$R(x, y) = \frac{\sum_{x', y'} (I_1(x', y') - \mu_{I_1}) (I_2(x + x', y + y') - \mu_{I_2})}{\sqrt{\sum_{x', y'} (I_1(x', y') - \mu_{I_1})^2 \sum_{x', y'} (I_2(x + x', y + y') - \mu_{I_2})^2}},$$

где I_1 и I_2 – области перекрытия изображений, при этом I_1 перемещается относительно I_2 скользящим окном, и в точках (x, y) вычисляется нормализованная взаимная корреляция $R(x, y)$; μ_{I_1} и μ_{I_2} – средние значения яркостей точек перекрытия (x', y') изображений соответственно. Определяется максимум корреляции, и производится коррекция расположения одного изображения относительно другого по координатам (x, y) соответственно.

Сканирование серии кадров проводится по растровому шаблону «змейкой». При наличии верхних соседних кадров сшивка производится не с одним кадром, а с четырьмя, далее, если значение корреляции превышает порог (0,5), то данное вычисление используется при средневзвешенной коррекции расположения нового полученного кадра относительно соседей. Между кадрами производится корректировка положения центра диапазона $[z1; z2]$ по данным области перекрытия, что позволяет сделать систему устойчивой к наклону объекта, а также изгибам поверхности.

На рис. 2.6 показано изображение, алгоритмически сшитое из четырех отдельных изображений расширенного фокуса, в зоне перекрытия производится коррекция интенсивности методом линейной интерполяции, что необходимо, т. к. освещение по полю видеокамеры не является равномерным. В результате может быть получено изображение большой площади ($> 1 \text{ см}^2$) за время менее 1 часа.

(Лаборатория лазерной графики)

Публикации:

1. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С. Многоканальный микроскоп (варианты). Патент на изобретение № 2574863 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 4.

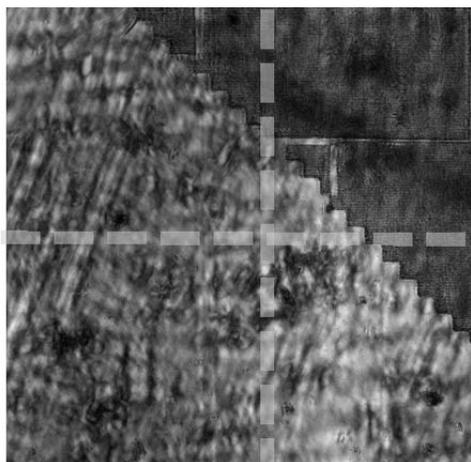


Рис. 2.6. Сшивка изображения зоны (расширенный фокус) из четырех кадров, по пунктирным линиям производится перекрытие изображений. При сшивке осуществляется корректировка интенсивности

Разработка активной системы виброзащиты интерферометра эталонного гравиметра. Мониторинг гравитационного поля в сейсмоактивных и пограничных зонах «континент-океан». Комплексная экспедиция наблюдений современных движений земной коры и вариаций гравитационного поля (ответственный исполнитель к.т.н. Стусь Ю.Ф.).

Разработана и испытана система активной виброзащиты интерферометра эталонного гравиметра. Система базируется на введении положительной обратной связи на маятник низкочастотного сейсмографа, на котором установлен отражатель референтного плеча интерферометра Майкельсона. Это позволило снизить частоту собственных колебаний и тем самым расширить диапазон подавляемых частот вибросейсмических помех, воздействующих на гравиметр во время измерений. Введение новой системы позволило в 2 с лишним раза уменьшить уровень вибросейсмических помех и тем самым уменьшить время измерений в 4 раза.

В 2016 году продолжен мониторинг абсолютного значения ускорения силы тяжести (g) в зоне перехода «континент – Японское море» на базе морской экспедиционной станции «Мыс Шульца» Тихоокеанского океанологического института ДВО РАН на полуострове Гамова [1, 2]. Наблюдения выявили незначительное снижение абсолютного значения g на пункте № 1 (Гора) относительно предыдущего года и увеличение на пункте 2 (рис. 2.7). Разность значений g между пунктами № 1 и № 2 (Берег) выросла за год более чем на 16 мкГал. Пункт № 2, расположенный на 46 м ниже основного пункта № 1, был заложен сотрудниками ИАиЭ СО РАН в 2012 году и используется специалистами ТОИ ДВО РАН для калибровки приливного гравиметра gPhone.

Комплексной экспедицией наблюдений современных движений земной коры проведены повторные измерения баллистическим гравиметром абсолютного значения ускорения силы тяжести и его вариаций в сей-

смактивных зонах: на пунктах Горного Алтая «Усть-Кан», «Кайтанак» и на перевале «Чике-Таман». Среднеквадратическая погрешность измерения вариаций Δg не превышала $2 \text{ мкГал} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}^2$. Из анализа результатов измерений следует: на всех пунктах Горного Алтая регистрируются вариации Δg , отражающие афтершоковый процесс в Земной коре после Чуйского землетрясения 2003 г. (на контрольном пункте в г. Новосибирске Δg стабильно в пределах погрешности измерений). При этом на пункте «Кайтанак», расположенном ближе других к эпицентру землетрясения ($L = 230 \text{ км}$), в 2013 г. произошла смена знака тренда Δg , и в последующие годы тренды на всех трёх пунктах выровнялись (рис. 2.8).

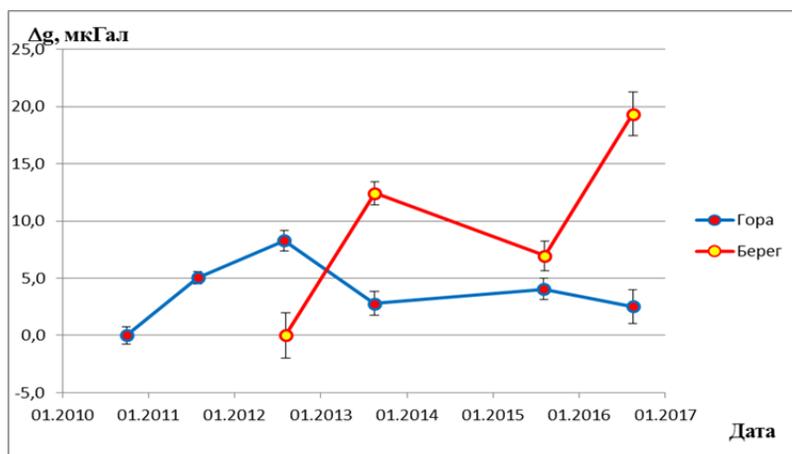


Рис. 2.7. Результаты мониторинга гравитационного поля на мысе Шульца

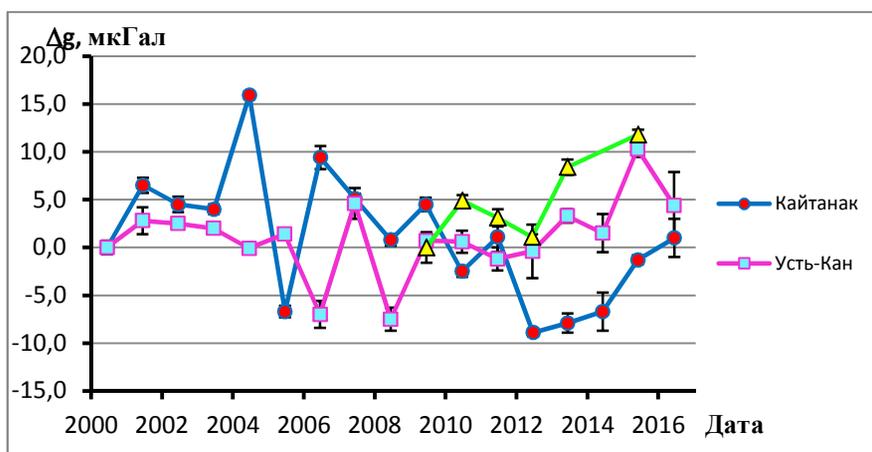


Рис. 2.8. Неприливные вариации Δg на пунктах Горного Алтая

В комплексе с результатами спутниковых GPS-измерений вертикальных движений поверхности Земли, проводимых сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, эти данные позволят уточнить механизм геодинамических процессов в исследуемом регионе.

(Тематическая группа лазерной гравиметрии)

Публикации:

1. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Дюкарм Б., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Кулинич Р.Г., Колпащикова Т.Н., Прошкина З.Н., Сизиков И.С., Носов Д.А. Приливные эффекты по гравиметрическим и уровнемерным наблюдениям, океанические приливные модели // Вестник СГУГиТ, 2016, вып. 1 (33). С. 36–47.
2. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Дюкарм Б., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Кулинич Р.Г., Колпащикова Т.Н., Прошкина З.Н., Сизиков И.С., Носов Д.А., Наумов С.Б. Приливные эффекты по гравиметрическим данным, модели и эффект жидкого ядра Земли // Там же, вып. 2 (34). С. 34–46.

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.**

Исследование послыоного восстановления двумерных изображений исследуемого 3D-объекта в системе лазерной доплеровской томографии с матричным фотоприемником (ответственный исполнитель к.т.н. Щепеткин Ю.А.).

Цель работы – дальнейшее развитие физико-технических основ лазерной доплеровской томографии, созданных при изучении оптико-электронных систем с одиночными одноэлементными фотоприемниками

в качестве детекторов выходного оптического сигнала томографа. Считывание двумерного распределения светового рассеянного излучения в каждом из слоев среды проводилось последовательным способом: вначале по глубине среды и затем по поперечным координатам.

Представлены предварительные результаты исследования свойств и возможностей альтернативной оптико-электронной системы с многоэлементным матричным фотоприемником, позволяющей (в отличие от ранее рассмотренных на этапах 2013–2015 гг.) проводить послойное восстановление 3D рассеянного поля в виде двумерных изображений. Измерение амплитуды и фазы рассеянного излучения во всех пикселях изображения проводится путем гетеродинного детектирования оптических сигналов с доплеровским сдвигом частоты. Схема системы, подлежащей изучению, приведена на рис. 2.9.

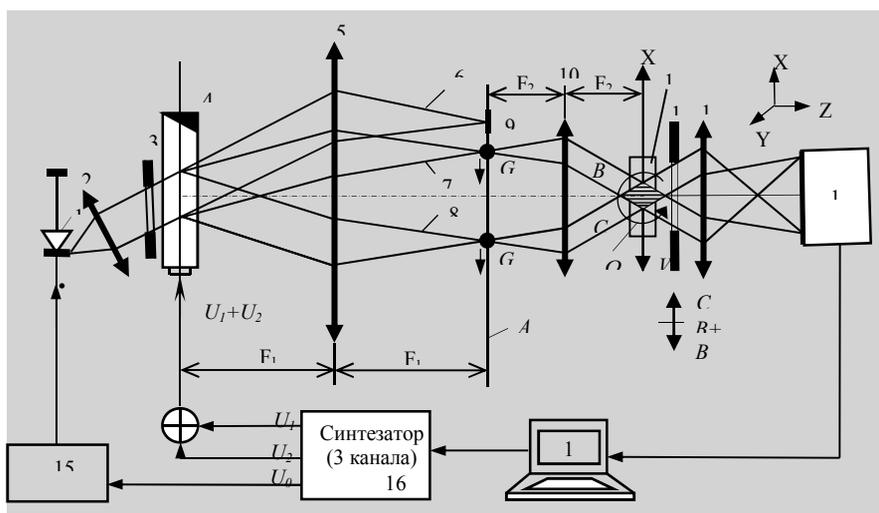


Рис. 2.9. Схема оптико-электронной системы с матричным фотоприемником: 1 – лазер, 2 – коллиматор, 3 – диафрагма, 4 – акустооптический дефлектор, 5 – объектив, 6–8 – световые пучки, 9 – светонепроницаемый экран, 10 – микрообъектив, 11 – исследуемый образец материала, 12 – подвижный экран, 13 – микрообъектив, 14 – ПЗС-камера, 15 – блок управления лазером, 16 – цифровой синтезатор частот, 17 – компьютер

В качестве считывающего устройства используется микроскоп 13 с проекцией изображения исследуемой среды 11 на светочувствительную поверхность ПЗС-камеры 14.

Для отдельного измерения амплитудной и фазовой компоненты объемного материала установлен подвижный экран 12. На рисунке экран показан в положении В+С, когда он пропускает на вход камеры оба пучка В и С. При этом детектируется амплитудная компонента исследуемой дифракционной решетки. Разность сигналов в положениях экрана В или С, когда он пропускает поочередно либо пучок В, либо пучок С, позволяет вычислить фазовую компоненту решетки.

Прием двумерного динамического изображения осуществляется видеокамерой SDU-R429, подключенной к порту USB компьютера. Камера позволяет считывать черно-белые кадры изображения форматом 744×576 пикселей с максимальной частотой 25 кадров/с. Камера содержит 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и обеспечивает низкий уровень шумов и широкий динамический диапазон (60 дБ).

Поскольку частота сигнала управления акустооптическим дефлектором f_0 составляла величину порядка 30 МГц, для регистрации сигнала с помощью такой камеры необходимо было использовать дополнительное гетеродинирование, при котором мощность излучения лазера модулировалась с частотой $f_0 + 5$ Гц. В результате несущая частота сигнала уменьшалась с 30 МГц до 5 Гц, что обеспечивало регистрацию пяти отсчетов за период сигнала.

Физическая суть восстановления послойных изображений состоит в том, что огибающая и фаза переменного сигнала каждого пикселя ПЗС-камеры несут в себе информацию об амплитудах модуляции показателя преломления и пропускания. При этом частота сигнала определяет глубину расположения слоя. В случае же использования одноэлементного фотоприемника, светочувствительная поверхность которого перекрывает большую часть дифрагированного пучка, происходит усреднение переменного сигнала по всей поверхности фотодиода. Такой режим неприемлем при исследовании сильно рассеивающих сред, когда фазовые сдвиги фототоков с отдельных участков фотодиода приобретают случайный характер, а усреднение значительно снижает общий уровень сигнала.

Условие раздельного восстановления по толщине исследуемой среды не зависит от типа фотоприемника и целиком определяется параметрами интерференционной зоны пересечения пучков В и С, которая образует так называемый измерительный объем. На рисунке этот объем заштрихован. Скорость движения интерференционной структуры (считывающей решетки) в направлении оси X изменяется по глубине измерительного объема, поэтому каждому слою исследуемой среды по глубине соответствует свой доплеровский сдвиг частоты света. Путем коллинеарного гетеродинного детектирования этот сдвиг частоты преобразуется в модуляцию интенсивности считанного пучка, результат детектирования которой не зависит от типа фотоприемника.

Предельная разрешающая способность метода в плоскости слоя существенно зависит от параметров микроскопа, поскольку считывание происходит через толстый слой материала и при больших углах сканирования. Все это приводит к значительным абберациям, оценка которых на данном этапе работы не проводилась.

Количественная оценка параметров получаемых изображений основана на том факте, что практически все известные основные параметры томографа обусловлены коллективным действием отдельных пикселей, т. е. матрица действует в этом случае как одноэлементный фотоприемник с эквивалентной светочувствительной площадью. Сигналы же от отдель-

ных пит позволяют провести анализ, например «тонкой» структуры интерферирующих гетеродинного и сигнального световых полей.

Определены основные параметры восстановленных изображений. Исходным параметром является пространственный период записанной решетки $d = 2,3$ мкм. По этому значению определяется числовая апертура микрообъектива 10 (см. рисунок) $NA = \lambda/d \approx 0,3$, где $\lambda = 0,65$ мкм – длина волны излучения лазера. Для достижения предельного разрешения по толщине материала необходимо выбрать оптимальное значение коэффициента уменьшения конфокальной системы

$$Q = F1/F2 = 2 \cdot NA \cdot V/\lambda \cdot f_m = 9,5$$

где $V = 0,72$ км/с, $f_m = 70$ МГц – скорость звука в материале светозвукопровода и диапазон рабочих частот акустооптического дефлектора (АОД). Значение разрешающей способности по критерию Рэлея $\delta = n \lambda / NA^2 \approx 11$ мкм, где $n = 1,5$ – коэффициент преломления материала исследуемого образца.

Исходя из полученных значений, выбран микрообъектив 10 типа OM-5, у которого $NA = 0,3$; $F2 = 15,15$ мм; 10х и объектив 5 типа «Юпитер 11» – $F1 = 135$ мм. Отсюда $Q = F1/F2 = 8,91$.

Для выделения зоны дифрагированного света с равномерной освещенностью перед АОД установлена прямоугольная диафрагма 3 размером $\Delta x \times \Delta y = 4 \times 3$ мм², так что на поверхности исследуемого образца формируется световой пучок с апертурой $(4/Q) \times (3/Q) = 450 \times 345$ мкм. Максимальная толщина исследуемой среды $H = D2d(1 - b) n/\lambda = 1433$ мкм, где $b = 0,7$ – допустимый уровень уменьшения интенсивности переменной составляющей интерференционного поля на поверхности образца по сравнению с максимальным значением в центре ($z = 0$).

Количество периодов исследуемой решетки в апертуре светового пучка $S = 450/2,3 = 196$. Количество отсчетов (пикселей) на один период решетки $S1 = 752/196 \approx 4$. Коэффициент увеличения микроскопа 16,4. Частота напряжения формирования считывающей решетки в АОД 35,369 МГц.

Управляющая программа, диалоговое окно которой приведено на рис. 2.10, выполняет установку режима работы камеры, запуск съемки кадров, прием в компьютер данных заданного количества кадров, отображение кадров, их обработку и вывод графика обработанного сигнала. В программе задается время экспозиции в пределах от 10 мкс до 20 мс, что позволяет получать хорошие кадры изображений от слабых и сильных оптических сигналов. Количество последовательных кадров съемки задается от 1 до 250, что дает возможность анализировать динамические процессы в изображении длительностью до 10 секунд. Для обеспечения максимальной скорости съемки кадров (25 кадров/с), требующей скорости передачи данных по шине USB 20 Мбайт/с, используется упаковка каждых двух 12-разрядных выборок АЦП в 3 байта передаваемых данных. Программа принимает данные кадров, выполняет восстановление данных и выводит выбранные кадры для просмотра в верхнее окошко отображения (рис. 2.10, вверху).

Для контроля динамических изменений снимаемого процесса используется анализ поведения уровня сигнала изображения в относительно небольшом фрагменте изображения. В диалоговом окне задаются положение (координаты) и размеры фрагмента кадра. Программа вычисляет среднее значение выборок по фрагменту в каждом кадре и строит график этого сигнала в нижней окошке отображения сигнала. Это временная (по кадрам) развертка динамического процесса (рис. 2.10, внизу).

Оба массива данных: двумерный массив кадра изображения и одномерный массив временного сигнала – можно сохранять в виде файлов на диске для дальнейшей обработки программой Mathcad. Разработка алгоритмов и программного обеспечения оценки параметров оптических неоднородностей по данным, полученным с двумерной матрицы, является задачей последующих этапов данной работы.

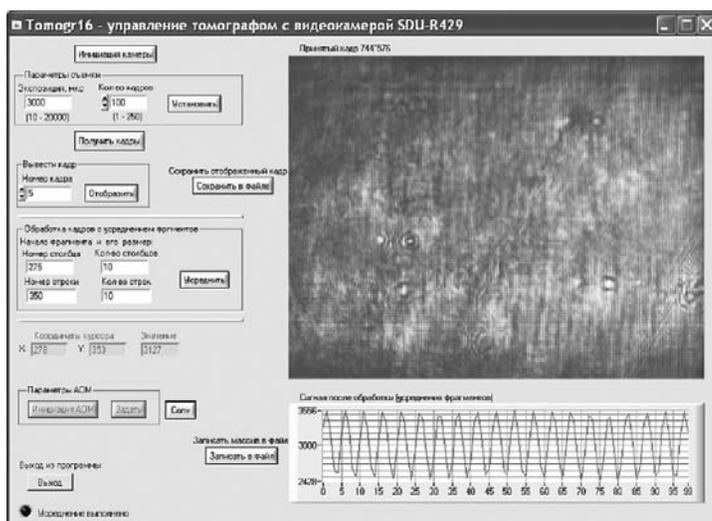


Рис. 2.10. Пример одного изображения кадра (вверху). Изменение во времени сигнала на выходе пикселя (внизу). Частота сигнала определяет положение кадра по глубине материала

Таким образом, проведено исследование оптико-электронной томографической системы с матричным фотоприемником, позволяющей: а) восстановить поле рассеянного излучения в каждом из слоев изучаемой среды в виде изображения; б) измерить амплитудную и фазовую компоненты рассеянного излучения во всех пикселях таких изображений.

Предполагается, что наиболее перспективной областью применения оптико-электронной системы с матричным фотоприемником является детектирование рассеянных световых полей, пространственно некогерентных по апертуре фотоприемника.

Показано, что разрешающая способность метода по глубине материала не зависит от того, какой из фотоприемников находится на выходе системы: фотодиод или фотоматрица.

Создана компьютерная программа для первичной обработки информации с выхода ПЗС-матрицы, что позволило экспериментально апробировать и подтвердить не только правильность выбранного физико-технического решения, но и основных физико-технических положений выполненной работы.

(Лаборатория оптических информационно-систем)

Публикации:

1. Твердохлеб П.Е., Щепеткин Ю.А. Оценка предельной скорости послыного гетеродинного анализа объемных оптических сред // Автометрия, 2017, т. 53, № 1 (в печати).

Исследование влияния концентрации основных компонентов фотополимерного материала с синглет-триплетным механизмом возбуждения красителя на экспозиционные и шумовые характеристики материала при облучении мощными наносекундными импульсами лазера ($\lambda = 532$ нм) (ответственный исполнитель к.т.н. Штейнберг И.Ш.).

Цель исследования – изучение влияния концентрации красителя-сенсibilизатора и донора электронов на значения амплитуды модуляции показателя преломления в фотополимерных материалах (ФПМ) с синглет-триплетным механизмом возбуждения красителя. Образцы таких материалов изготовлены в НИОХ СО РАН (Новосибирск). Концентрация красителя-сенсibilизатора изменялась в диапазоне от $2,8 \times 10^{-3}$ М/л до $8,9 \times 10^{-3}$ М/л. Максимальная концентрация красителя в ФПМ определяется его растворимостью. Она увеличена за счет дополнительного растворения красителя в фотополимерной композиции, содержащей мономеры и полимерную матрицу. При высушивании слоев ФПМ краситель оставался внутри полимерного слоя и не кристаллизовался. Толщина светочувствительного слоя фотополимера составляла 80–120 мкм. Запись объемных микрорешеток производилась лазерным излучением на длине волны 532 нм, а их детектирование (считывание) – на длине волны 660 нм. Запись проводилась на глубине образцов 40–60 мкм. Размер зарегистрированных микрорешеток в плоскости X–Y составлял $0,8 \times 1,2$ мкм², а по оси Z (глубине) – 4,5 мкм. Считывание модифицированного состояния среды проводилось путем коллинеарного гетеродинного микродетектирования.

На рис. 2.11 приведена зависимость амплитуды модуляции показателя преломления от интенсивности записывающих пучков для пяти образцов ФПМ, содержащих различные концентрации красителя-сенсibilизатора. Можно увидеть, что повышение концентрации красителя-сенсibilизатора (при суммарной интенсивности записывающих пучков 7 ГВт/см²) ведет к увеличению амплитуды модуляции показателя преломления более чем в 2 раза (от $1,3 \times 10^{-3}$ до $2,8 \times 10^{-3}$) и уменьшению также в 2 раза величины порога (с $2,2$ до $1,1$ ГВт/см²). В целом же плотность энергии, необходимая для достижения амплитуды модуляции показателя преломления $\Delta n = 10^{-3}$, уменьшилась в 1,9 раза. К сожалению,

вследствие недостаточной воспроизводимости характеристик образцов ФПМ, полученные данные не позволяют пока подтвердить ожидаемый линейный характер зависимости амплитуды модуляции показателя преломления от концентрации красителя-сенсбилизатора.

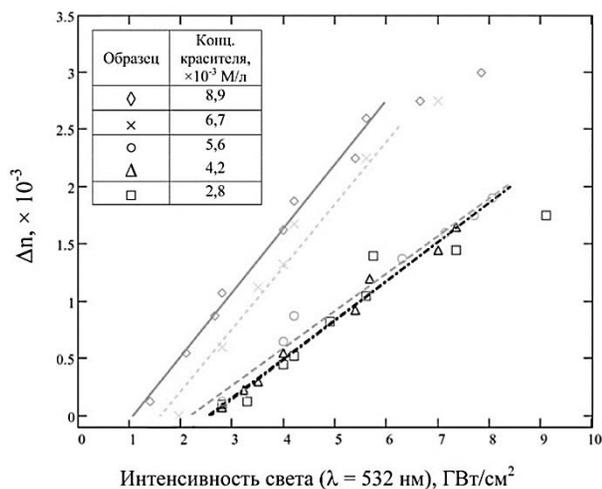


Рис. 2.11. Зависимость амплитуды модуляции показателя преломления от интенсивности записывающих пучков для 5 образцов ФПМ, содержащих различные концентрации красителя-сенсбилизатора

Зависимость от концентрации гетероциклического донора электронов значительно более слабая. При ее изменении от 5,5 до 18,4 М/л величина амплитуды модуляции показателя преломления изменяется не более чем на 10 % с максимумом при концентрации 12,9 М/л.

Полученные данные позволили провести оптимизацию состава компонент фотополимера, в результате чего амплитуда модуляции показателя преломления исследуемых образцов приблизилась к предельному значению (равному 4×10^{-3}).

Исследование шумов рассеяния ФПМ проводилось с помощью лазерного двухпучкового гетеродинного микронзондирования неэкспонированных образцов ФПМ путем их сканирования в плоскости X–Y (вдоль оси Y) на протяжении 200–250 мкм и на глубине ~ 40 мкм (при общей толщине 80–120 мкм). Размер светового зонда внутри ФПМ $\Delta x \times \Delta y \times \Delta z = 0,8 \times 1,2 \times 4,5$ мкм. В первых сериях изготовленных образцов уровень шума был соизмерим с уровнем ожидаемого сигнала. Это исключало возможность их применения в каких-либо практических целях. Существенное уменьшение уровня шума было достигнуто путем фильтрации основного и сшивающего мономера с помощью субмикронных фильтров. Результат сканирования образца ФПМ, изготовленного по данной технологии, приведен на рис. 2.12. Эта картина является типичной и слабо зависящей от глубины. На рисунке показаны области с низким уровнем шума (20–35; 55–85; 120–145 мкм), на которых и производилась запись микрорешеток. Видны также шумовые «пички», которые, по-видимому, связаны с наличием в ФПМ микропузырьков воздуха. Уровень шумов рассеяния удалось уменьшить путем фильтрации мономеров.

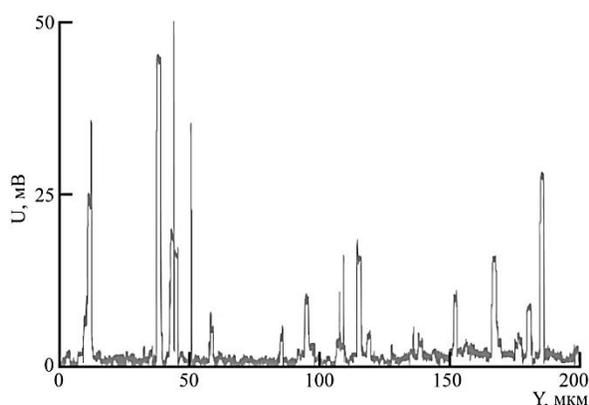


Рис. 2.12. Амплитуда сигналов на выходе гетеродинного фотодетектора при сканировании неэкспонированного образца ФПМ

Таким образом, при проведении работы найдено оптимальное значение концентрации компонентов ФПМ, при котором чувствительность материала повышается в 1,9 раза, а диапазон изменения показателя преломления Δn – в 2,2 раза. Показано также, что путем совершенствования технологии изготовления ФПМ уровень их шумов рассеяния может быть существенно уменьшен. Сделан вывод о том, что ФПМ с синглет-триплетным механизмом возбуждения красителя-сенситизатора имеет хорошие перспективы для использования в качестве регистрирующей среды при создании многослойной оптической памяти с высокой информационной емкостью.

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Vatik S.M., Vedin I.A., Osipov V.V., Luk'yashin K.E., Maksimov R.N., Solomonov V.I., Kopylov Yu.L., Steinberg I.Sh., Tverdokhlebo P.E., Pavlyuk A.A. Optical properties and high-efficiency lasing of Nd:YAG and Ho:YAG ceramics // 17th International Conference “Laser Optics” – LO 2016 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). P. R19 (2 p.).
2. Vatik S.M., Vedin I.A., Osipov V.V., Luk'yashin K.E., Maksimov R.N., Solomonov V.I., Kopylov Yu.L., Steinberg I.Sh., Tverdokhlebo P.E., Pavlyuk A.A. High-efficiency lasing and spectroscopy of domestic Nd:YAG and Ho:YAG ceramics // 7th International Symposium and Young scientists School «Modern Problems Of Laser Physics» (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). P. 101.
3. Штейнберг И.Ш., Щепеткин Ю.А., Васильев Е.В., Шелковников В.В. Двухфотонные регистрирующие материалы для многослойной оптической памяти // XV Международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике (с. Аршан, Республика Бурятия, Россия, 18–24 июля 2016). С. 177–178.
4. Steinberg I., Vasilyev E., Shelkovnikov V. Holographic photopolymer materials using forbidden singlet-triplet electronic transitions // 4th European Symposium of Photopolymer Science (Leipzig, Germany, September 11–14, 2016). P. 53.

Экспериментальные исследования спектральных свойств слоистых отражательных структур, состоящих из двух брэгговских голографических отражательных решеток, разделенных оптически однородным слоем (ответственный исполнитель к.т.н. Пен Е.Ф.).

Цель исследований – разработка новых элементов и устройств фотоники на основе фотополимерных материалов.

Исследуемые структуры по существу являются аналогами классического интерферометра Фабри – Перо. Отличие состоит лишь в том, что в качестве зеркал резонатора используются отражательные голографические брэгговские решётки.

Работы выполнены с помощью установки для записи объемных отражательных голограмм и спектрофотометра высокого разрешения Ramanog U1000. В качестве регистрирующей среды использовались пленки голографического фотополимерного материала (ФПМ) толщиной 55 мкм.

На рис. 2.13 приведены экспериментальные спектры пропускания слоистых структур с толщинами промежуточных слоев $L = 175$ и 450 мкм соответственно, полученных с помощью He-Ne-лазера. На рисунке видны глубокие провалы пропускания центральных лепестков спектрального отклика в интервалах длин волн $6348 \text{ \AA} - 6388 \text{ \AA}$ и $6332 \text{ \AA} - 6406 \text{ \AA}$, удовлетворяющих длине волны зондирующего излучения, а также периодические изменения пропускания как в областях центральных, так и боковых лепестков, состоящие из множества локальных спектральных полос. В случае $L = 175$ мкм период тонкой структуры составлял $\sim 6,5 \text{ \AA}$, а для структуры с $L = 450$ мкм $\sim 3 \text{ \AA}$ (см. вставку к рис. 2.13, б). В области центрального лепестка наблюдается изменение пропускания от 6 до 18 %, а в области правого бокового лепестка – от 60 до 80 %, что значительно отличается от расчетных значений. С учетом потерь света на поглощение в слое фотополимера коэффициент отражения голографических решёток составлял $\sim 80 \%$.

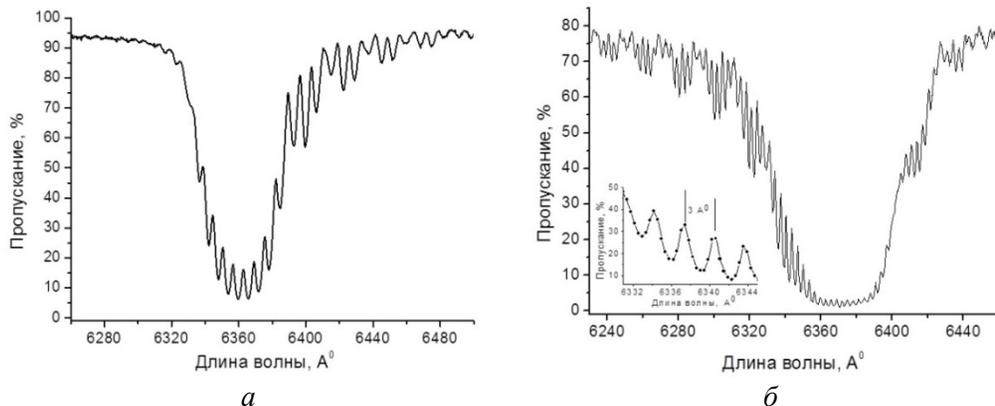


Рис. 2.13. Графики спектров пропускания слоистых структур: *a* – экспериментальные данные для образцов с толщинами промежуточных слоев $L = 175$ мкм; *б* – $L = 450$ мкм

Результаты экспериментов подтверждают ожидаемый эффект интерференционного взаимодействия волн, формируемых двумя брэгговскими решетками. Вместе с тем следует отметить существенные отличия экспериментально наблюдаемых и расчетных данных, полученных путем использования модели многослойной структуры тонких диэлектрических пленок [1], выражающиеся в том, что спектры несимметричны, их боковые лепестки сглажены либо отсутствуют, локальные полосы пропуска-

ния в области центрального лепестка слабо выражены. Эти отличия обусловлены, скорее всего: а) поглощением света в фотополимере, паразитными переотражениями и другими шумами оптической системы; б) искажениями внутренней пространственной структуры голографических решеток, такими как изменение амплитуды модуляции показателя преломления из-за различной энергии засветки по глубине решетки и нарушение периодичности решетки из-за усадки толщины ФПМ в процессе записи и постобработки голограмм [2]. Для проверки этих предположений проведены расчеты спектров пропускания модельных слоистых структур при условии изменений показателя преломления Δn и периода решётки по линейному закону на величину порядка $0,2 \div 0,5$ %, которые показали хорошее совпадение с экспериментальными данными [3, 4].

Таким образом, экспериментально подтверждено, что спектр пропускания слоистых голографических структур, содержащих две объемные голографические отражательные решётки, разделенные оптически однородным слоем, состоит из множества узких спектральных полос пропускания, период расположения которых определяется оптической толщиной промежуточного слоя, а их огибающая совпадает с контуром спектральной селективности одиночной решётки. Анализ полученных спектральных характеристик показал их зависимость не только от параметров решёток и разделительного слоя, но и от неоднородности их внутренних свойств, вызывающих искажения контура спектрального отклика, уменьшение амплитуды локальных полос пропускания, ухудшение их разрешения. Путем сравнения экспериментальных и расчетных данных установлено, что наибольшее влияние оказывают изменения амплитуды модуляции показателя преломления Δn из-за различной энергии засветки по глубине решетки и нарушение периодичности решётки из-за усадки толщины регистрирующего слоя в процессе записи и постобработки голограмм.

При условии уменьшения степени усадки и поглощения света в фотополимерных слоях, а также снижения светорассеяния и иных оптических шумов результаты работы могут быть использованы при проектировании новых элементов спектральных демультимплексоров в каналах оптической связи, интерферометров Фабри – Перо, спектральных фильтров.

Результаты исследований отражены в публикациях [3–7].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Издательство «Наука», 1970. С. 81–96.
2. Пен Е.Ф., Родионов М.Ю. Неоднородные и нестационарные брэгговские голограммы: модели и методы исследований // Автометрия, 2005, т. 41, № 2. С. 98–114.
3. Пен Е.Ф., Родионов М.Ю., Чубаков П.А. Спектральные свойства каскада голографических отражательных решёток, разделённых однородным слоем // Там же, 2017, т. 53, №1. (в печати).
4. Пен Е.Ф., Чубаков П.А. Спектральные свойства слоистых голографических отражательных структур // XIII Международная конференция «Голография, наука и прак-

тика» «Голоэкспо–2016» (г. Ярославль, Россия, 12–15 сентября 2016). Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 26.

5. Пен Е.Ф., Зарубин И.А., Шелковников В.В., Васильев Е.В. Методика определения параметров усадки голографических фотополимерных материалов // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 60–69.
6. Шелковников В.В., Васильев Е.В., Русских В.В., Эктова Л.В., Бережная В.Н., Пен Е.Ф. Свойства монохромных и двухцветных голограмм в слоистых фотополимерных материалах // Там же, № 4. С. 107–117.
7. Пен Е.Ф. Устройство тестирования голографических светочувствительных материалов Патент на полезную модель № 165622 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 30.

Оптимизация пакета программ для нахождения распределения дифракционной эффективности и показателя преломления по толщине изучаемых объемных решеток: снижение диапазона перебора параметров, создание алгоритма перебора для отражательных голограмм, экспериментальная апробация (ответственный исполнитель к.т.н. Родионов М.Ю.).

На этапе 2016 года проведена работа по оптимизации созданного в 2015 г. пакета программ [1] с целью сокращения времени обработки данных за счёт уменьшения количества комбинаций параметров, подлежащих перебору. «Подгонка» сравнительных селективных характеристик осуществляется по критерию минимизации среднеквадратичного отклонения. Дополнительно в алгоритм и пакет программ внесены изменения, обеспечивающие «подгонку» модельных и экспериментальных селективных характеристик не только пропускающих, но и отражательных голограмм. Снижение количества комбинаций параметров при расчете модельных селективных характеристик осуществляется по методу покоординатного спуска. Экспериментальным путем подтверждено, что время поиска комбинаций параметров модели голограмм, при которых обеспечивается наименьшее среднеквадратичное отклонение, существенно уменьшается. Так, например, если общее количество возможных комбинаций параметров составляет 45000, то время обработки данных по методикам 2015 года составляет более часа, а при автоматическом отборе комбинаций по методу покоординатного спуска оно сокращается до одной минуты.

Программный пакет ориентирован на использование в научных институтах (лабораториях) и вузах материаловедческого профиля.

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Родионов М.Ю. Программный пакет для автоматического подбора параметров при расчёте селективных свойств неоднородных голограмм // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2015661630, зарег. 02.11.2015.

Исследование характеристик бимодовых волноводных сенсоров для измерения концентраций водных растворов путем компьютерного моделирования (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Наливайко В.И.).

Принцип работы сенсора иллюстрируется рис. 2.14. Сенсор состоит из волновода 1, вводной/выводной решеток 2, 4 и рабочего объема 3 с прокачиваемой жидкостью на волноводе в области затухающих модовых полей. Две моды, отличающиеся своими эффективными показателями преломления, при распространении в волноводе в результате интерференции создают картину биений [1]. Жидкость в рабочем объеме изменяет внешнюю среду и эффективные показатели мод. Следствием является изменение интенсивности света на выходной решетке 4.

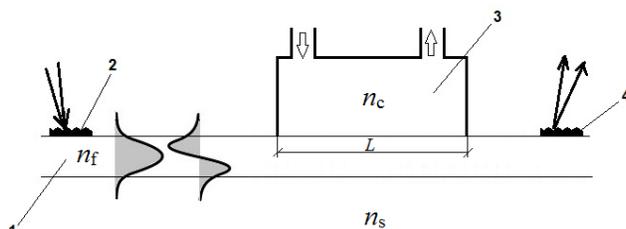


Рис. 2.14. Схема бимодового волноводного сенсора с решеточными элементами ввода/вывода

Путем компьютерного моделирования проведено исследование чувствительности бимодовых сенсоров на основе оксидных и халькогенидных волноводов. На волновод сенсора не накладывается ограничений в поперечном направлении, и он может быть планарным. Для изготовления оптических сенсоров перспективными материалами оказались тонкие слои халькогенидных стеклообразных полупроводников (As-S-Se), отличающиеся большой величиной показателя преломления (до 2,5) и высоким качеством получаемых волноводных слоев.

Проведена оценка минимальной h_{min} и максимальной h_{max} толщин волноводов из оксидного и халькогенидного стекла, для которых в волноводе распространяются только две волноводные моды. Результаты представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Сравнение параметров волноводов на основе оксидного и халькогенидного стёкол

Тип волновода	индекс воздуха n_c	индекс пленки n_f	индекс подложки n_s	длина волны λ , мкм	толщина волновода h_{min} , мкм	толщина волновода h_{max} , мкм
В оксидном стекле К-8	1	1,52	1,5163	0,63	4,4	7,3
Халькогенидное стекло As_2S_3	1	2,5	1,52	0,63	0,19	0,34

В волноводе с толщиной больше h_{max} возбуждается больше двух мод, и интерференционная картина биений будет размываться. Из табл. 2.2 следует, что рабочие толщины волноводов из халькогенидного стекла состава $As_{20}S_{80}$ на полтора порядка меньше толщин волноводов в оксидном стекле К-8. Это обеспечивает более высокую чувствительность сенсоров, создаваемых на таких материалах.

Таблица 2.2. Сравнение параметров решетчатых элементов ввода/вывода излучения

Волновод	Показатели преломления			Толщина волновода, мкм	Глубина гофра, мкм	Длина элемента связи для 0-й/1-й моды, мкм
	n_c	n_f	n_s			
В оксидном стекле К-8	1	1,52	1,5163	6	0,3	5400 / 1500
Из халькогенидного стекла	1	2,5	1,5163	0,3	0,015	200 / 60

В таблице приведены результаты оптимизации длины решетчатых элементов связи для получения максимальной дифракционной эффективности при вводе/выводе излучения. Сравнивались оксидные и халькогенидные волноводы с решетками глубиной 5 % от их толщины.

Изменение эффективного показателя преломления волноводной моды при изменении показателя преломления верхней среды определяет чувствительность волноводного сенсора. Согласно [2] чувствительность трехслойного волновода к изменению показателя преломления верхней среды определяется выражением

$$S = \frac{\partial N}{\partial n_c} = \frac{n_c(n_f^2 - N^2)}{N\gamma_c(n_f^2 - n_c^2)h_{eff}}, \quad (2.1)$$

где h_{eff} – эффективная толщина волновода, вычисляемая по формуле:

$$h_{eff} = h_f + \frac{1}{\gamma_c} + \frac{1}{\gamma_s},$$

$$\gamma_{c,s} = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{N^2 - n_{c,s}^2},$$

а N – эффективный показатель преломления волноводной моды, n_c , n_f , n_s – показатели преломления верхней среды, волновода и подложки соответственно, h_f – толщина волновода, λ – длина волны света.

Важной характеристикой сенсора является предел обнаружения анализируемого вещества. Количественно эта величина пропорциональна минимально измеряемому изменению показателя преломления верхней среды Δn_c , которое определяется по формуле

$$\Delta n_c = \frac{\Delta N}{\frac{\partial N}{\partial n_c}} = \frac{1}{S} \Delta N,$$

где ΔN – минимальное изменение эффективного показателя преломления волноводной моды, которое определяется погрешностью измерения внешних устройств и не зависит от параметров волновода. Поэтому необходима оптимизация параметров волновода для получения максимальной чувствительности S , что приведет к получению минимального предела обнаружения анализируемого вещества.

Чувствительность сенсора S_{1-0} будет определяться разницей чувствительности первой и нулевой моды этого волновода: S_1 и S_0 соответственно:

$$S_{1-0} = \frac{\partial(N_1 - N_0)}{\partial n_c} = S_1 - S_0. \quad (2.2)$$

Измеряемая разность фаз между модами будет определяться выражением

$$\Delta\varphi = k(\Delta N_1 - \Delta N_0)L,$$

и минимальное изменение показателя преломления верхней среды тогда запишется как

$$\Delta n_c = \frac{1}{S} \frac{\Delta\varphi}{kL}.$$

При изготовлении сенсора необходимая толщина волновода должна быть такой, чтобы разность чувствительностей волноводных мод была максимальной. На рис. 2.15 приведены зависимости чувствительности нулевой моды S_0 (сплошная тонкая линия), первой моды S_1 (пунктирная тонкая линия) и разностной чувствительности бимодового сенсора S_{1-0} (жирная линия) от толщины волноводов, рассчитанные по формулам (2.1) и (2.2).

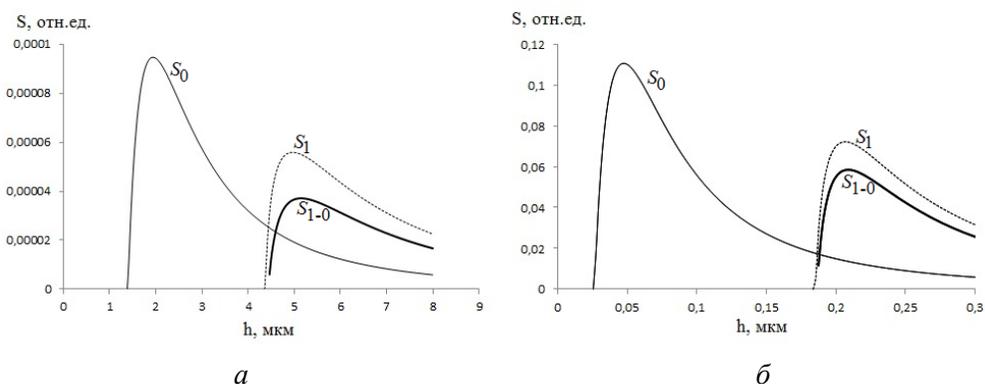


Рис. 2.15. Зависимость чувствительности сенсора от толщины волновода для оксидного (а) и халькогенидного (б) волноводов (параметры волноводов приведены в табл. 2.1)

Причину такого различия в чувствительности можно объяснить тем, что толщины халькогенидных и оксидных волноводов различаются в 20 раз, и, следовательно, халькогенидные волноводы обладают меньшей эффективной толщиной и, в соответствии с (2.1), имеют более высокую чувствительность. Кроме того, волноводы с высоким контрастом показателей преломления имеют меньшие значения углов распространения мод, что также приводит к увеличению чувствительности сенсора.

Изготовлен макетный образец сенсора. Толщина волновода и длины дифракционных решеток ввода/вывода соответствуют данным из

табл. 2.1 и 2.2. Длина чувствительной области L составляла 10 мм. Планарным волноводом был слой халькогенидного стекла толщиной 0,3 мкм состава $As_{20}S_{80}$. Рабочая длина волны полупроводникового лазера составляла 0,64 мкм. Результаты экспериментов подтвердили возможность создания бимодовых сенсоров с волноводами из халькогенидного стекла.

В результате проведенного сравнительного анализа сенсоров с волноводами из оксидного и халькогенидного стекол показано, что бимодовые халькогенидные сенсоры в сравнении с оксидными обладают преимуществами по чувствительности и возможностям миниатюризации конструкции. Расчетная чувствительность халькогенидного сенсора на 3 порядка выше чувствительности оксидного сенсора, а толщина халькогенидного волновода в 20 раз меньше по сравнению с волноводом в оксидном стекле.

Результаты исследований отражены в статье [3].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Zinoviev K., Carrascosa L.G., Rio J.S., Sepulveda B., Dominguez C., Lechuga L.M. Silicon photonic biosensors for lab-on-a-chip applications // *Advances in Optical Technologies*, 2008, v. 2008 (6 p.).
2. Tiefenthaler K., Lukosz W. Sensitivity of grating couplers as integrated-optical chemical sensors // *Journal of the Optical Society of America B*, 1989, v. 6, № 2. P. 209–220.
3. Наливайко В.И., Пономарева М.А. Двухмодовые интерферометрические волноводные сенсоры на основе халькогенидных стекол // *Оптика и спектроскопия* (в печати).

Разработка комплекса для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа на основе высокоскоростного многоканального анализатора эмиссионных спектров, спектрометра высокой дисперсии и установки с вводом порошковых проб методом просыпки-вдувания (ответственный исполнитель д.т.н. Лабусов В.А.).

При анализе геологических проб методом атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС) к спектрометрам, на которых проводится анализ, предъявляются особые требования. Одним из таких требований является высокое спектральное разрешение, т. к. атомно-эмиссионные спектры, получаемые при возбуждении геологических проб, часто содержат большое количество спектральных линий. В то же время для экспрессного и высокочувствительного определения содержания благородных металлов используется способ сцинтилляционной АЭС. Для реализации этого способа спектры должны регистрироваться с временем базовой экспозиции, сопоставимым с длительностью вспышек (сцинтилляций) [1], которые составляют 10^{-3} – 10^{-4} с [2]. Это выдвигает повышенные требования к спектрометрам по светосиле. В настоящее время в аналитических лабораториях России для АЭС широко используются спектрографы СТЭ-1 [3, 4]. Эти спектральные приборы справедливо считаются одними из самых высоко-разрешающих и светосильных приборов, произведённых в СССР. Около 40 из них модернизированы с помощью анализаторов МАЭС [5]. Кроме

того, расширяется использование спектрометров серии «Гранд» [6, 7] и встаёт вопрос: какой из спектральных приборов наиболее подходит для решения задач сцинтилляционной АЭС?

Цель работы – создать комплекс для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа на основе высокоскоростного многоканального анализатора эмиссионных спектров, спектрометра высокой дисперсии и установки с вводом порошковых проб методом просыпки-вдувания «Поток» и исследовать его характеристики.

В работах [1, 8] исследовались методы снижения пределов обнаружения драгоценных металлов в геологических пробах сцинтилляционным способом, по результатам которых был разработан быстродействующий анализатор МАЭС с линейками фотодетекторов БЛПП-2000 [9], использованный в данной работе. Чтобы создать комплекс с наилучшими характеристиками, необходимо было выбрать среди доступных высоко-разрешающих спектрометров СТЭ-1, «Гранд» и «Гранд-1500» спектрометр, с которым будут достигнуты наименьшие пределы обнаружения элементов с минимальным количеством наложений мешающих линий на аналитические.

Использование в спектрометрах анализаторов МАЭС с одинаковыми линейками фотодетекторов в качестве системы регистрации спектров даёт возможность корректного сравнения таких их характеристик, как интенсивность спектральных линий, обратной линейной дисперсии (ОЛД) и спектрального разрешения. Для измерения интенсивностей спектральных линий на всех исследуемых спектрометрах были установлены МАЭС с линейками БЛПП-2000, ширина входной щели спектрометров – 15 мкм, её высота для спектрометра СТЭ-1 – 4 мм, «Гранд» – 5 мм, а для «Гранд-1500» – 7 мм. В качестве источника излучения применялась электродуговая установка для анализа порошковых проб по способу просыпки-вдувания «Поток» [10]. Режим работы установки, оптимизированный для сцинтилляционной АЭС [11]: дуга переменного непрерывного тока ± 22 А с частотой 100 Гц, обжиг электродов – 30 А в течение 2 с. Ввод излучения в спектрометры осуществлялся трехлинзовой оптической системой с использованием ахроматических конденсоров [12]. Регистрация спектров производилась в течение 16,5 с при времени базовой экспозиции 1 мс. Были проанализированы геологические и технологические пробы различного состава. Навеска 150 мг исследуемого образца равномерно рассыпалась на транспортере и подавалась в дуговой разряд со скоростью 13 мм/с. Интенсивность спектральных линий определялась по двум фотоэлементам в окрестности максимума линии полученных интегральных спектров. Измерения ОЛД и спектрального разрешения на спектрометре «Гранд-1500» проводились отдельно с применением анализаторов МАЭС с линейками БЛПП-369. Полученные данные сравнивались с данными для спектрометров «Гранд» и СТЭ-1 из работы [7].

На рис. 2.16 представлены фрагменты спектров, полученных от одной из геологических проб «СЛ35». Для наглядности спектры, зарегистрированные на спектрометре «Гранд», были помножены на коэффици-

енты. Видно, что в окрестностях 240 и 267 нм (рис. 2.16, *а* и *б*) по интенсивности линий спектрометр «Гранд» на порядок превосходит СТЭ-1. В окрестности 342 нм это преимущество уменьшается до 4 раз. «Гранд-1500» в окрестности 240 нм несколько превосходит СТЭ-1 по интенсивности линий, на 267 нм становится в 2 раза меньше, а на 342 нм – в 5 раз меньше.

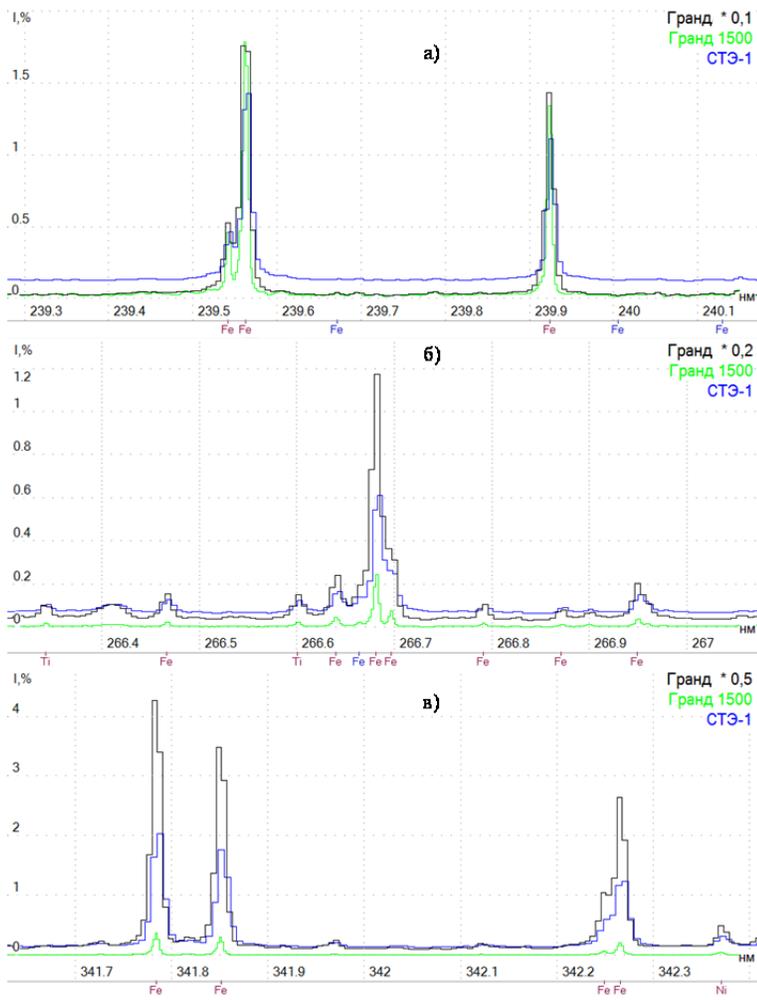


Рис. 2.16. Фрагменты спектров, зарегистрированных спектрометрами «Гранд», «Гранд-1500» и СТЭ-1, полученные при возбуждении порошковой геологической пробы «СЛ35» в установке «Поток». Спектры, полученные на спектрометре «Гранд», помножены на коэффициенты: *а* – 0,1 в области 240 нм; *б* – 0,2 в области 267 нм; *в* – 0,5 в области 342 нм

ОЛД вычислялась из калибровки спектрометра по длинам волн. На рис. 2.17, *а* представлена зависимость ОЛД исследуемых спектрометров от длины волны. Видно, что во всем исследованном диапазоне длин волн показатель ОЛД у спектрометра «Гранд-1500» лучше, чем у СТЭ-1 и «Гранд». В V порядке дифракции у спектрометра СТЭ-1 показатель ОЛД лучше, чем «Гранд», минимальное и максимальное отличие составляет 5 и 11 % соответственно. В IV порядке ОЛД спектрометра «Гранд» лучше, чем СТЭ-1 на 15–17 %.

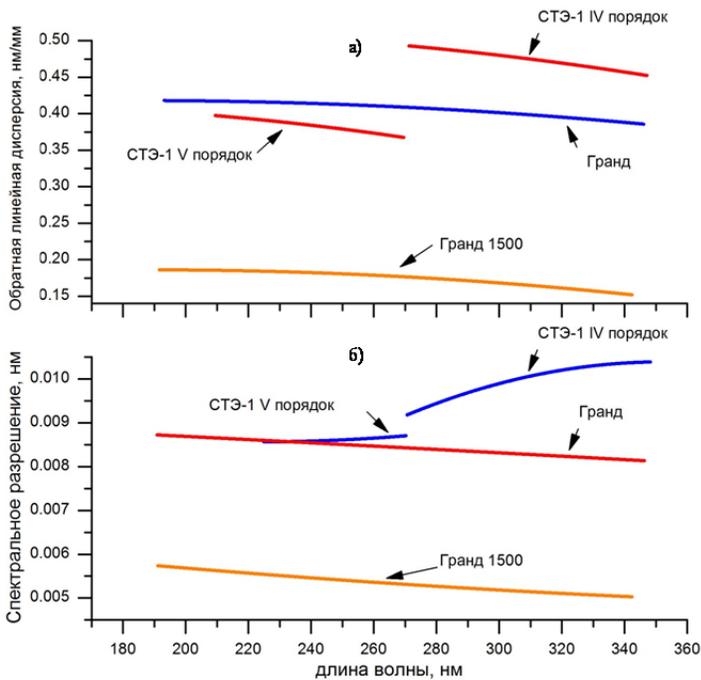


Рис. 2.17. Зависимость обратной линейной дисперсии (а) и спектрального разрешения (б) спектрометров «Гранд», «Гранд-1500» и СТЭ-1 от длины волны при ширине входной щели 15 мкм

Разрешение спектрометров характеризовалось шириной спектральных линий на полувысоте [7]. На рис. 2.17, б приведены зависимости ширины спектральных линий от длины волны спектрометров. Видно, что разрешение спектрометра «Гранд-1500» в 1,5–2 раза превосходит рассматриваемые спектрометры. В V порядке дифракции разрешение спектрометров СТЭ-1 и «Гранд» практически одинаково, а в IV порядке разрешение спектрометра «Гранд» существенно лучше, чем СТЭ-1.

Итак, спектрометры «Гранд» и «Гранд-1500» превосходят СТЭ-1 по разрешению и светосиле, поэтому в дальнейшем СТЭ-1 не будет использоваться для создания комплекса сцинтилляционного АЭС. Спектрометр «Гранд» на порядок светосильнее «Гранд-1500», следовательно, он будет иметь существенно ниже пределы обнаружения благородных металлов в сравнении с «Гранд-1500». Поэтому комплекс был создан на его основе и испытан в сцинтилляционном АЭС. Запись вспышек частиц-носителей золота в 150 мг стандартного образца почвы ОСО 65-86 с содержанием золота 0,0067 г/т представлена на рис. 2.18. В спектре хорошо видно 26 сцинтилляций, соответствующих эмиссионным вспышкам от частиц-носителей золота.

Таким образом, экспериментально измерены светосила и спектральное разрешение спектрометров «Гранд», «Гранд-1500» и СТЭ-1 в спектральном диапазоне 235–344 нм. Показано, что спектрометр СТЭ-1 уступает спектрометрам «Гранд» и «Гранд-1500» по светосиле и спектральному разрешению. Спектрометр «Гранд» превосходит рассматриваемые спектрометры по светосиле от 5 до 20 раз и обладает достаточным разрешением. Благодаря большой интенсивности спектральных линий он более чувствителен к слабым сигналам и, соответственно, будет иметь

меньшие пределы обнаружения элементов, поэтому он выбран для создания комплекса.

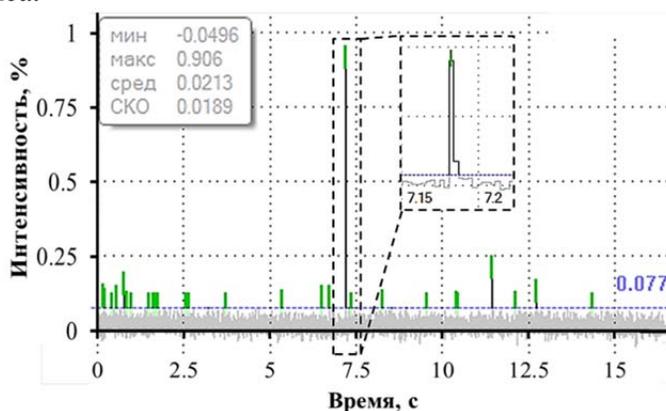


Рис. 2.18. Сцинтилляции частиц-носителей золота на линии Au 267,595 нм в спектре стандартного образца почвы ОСО 65-86 с содержанием золота 0,0067 г/т

Создан комплекс для сцинтилляционного атомно-эмиссионного анализа на основе высокоскоростного анализатора МАЭС, спектрометра «Гранд» и электродуговой установки для анализа порошковых проб по способу просыпки-вдувания «Поток». Его испытания показали, что он обеспечивает надёжную сцинтилляционную регистрацию спектров при введении порошковой пробы в плазму дуги по способу просыпки-вдувания со столь малым содержанием золота, как 0,0067 г/т.

Полученные результаты отражены в публикациях [13–35].

(Лаборатория оптических информационных систем)

Публикации:

1. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Бабин С.А. Оптимизация базовой экспозиции твердотельного детектора излучения в сцинтилляционном атомно-эмиссионном спектральном анализе // Аналитика и контроль, 2015, т. 19, № 1. С. 6–12.
2. Райхбаум Я.Д. Физические основы спектрального анализа. М.: Наука, 1980. С. 159.
3. Тарасов К.И. Спектральные приборы. Л.: Машиностроение, 1977.
4. Хохлов В.В. Многоэлементный спектральный анализ в геологии. Л.: Недра, 1986. 200 с.
5. Лабусов В.А. Приборы и комплексы компании «ВМК-Оптоэлектроника» для атомно-эмиссионного спектрального анализа. Современное состояние // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2015, т. 81, № 1-II. С. 12–21.
6. Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Бехтерев А.В. Новый многоканальный спектрометр для атомно-эмиссионного спектрального анализа в диапазоне длин волн 190–450 нм // Аналитика и контроль, 2005, т. 9, № 2. С. 135–140.
7. Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Зарубин И.А., Гаранин В.Г. Новые многоканальные оптические спектрометры на основе анализаторов МАЭС // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2012, т. 78, № 1-II. С. 7–13.
8. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Дзюба А.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС на основе линеек БЛПП-2000 // Там же, 2015, т. 81, № 1-II. С. 108–113.
9. 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.

10. Гаранин В.Г., Рашенко В.В. Программируемые генераторы для возбуждения атомно-эмиссионных спектров «Шаровая молния» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2012, т. 78, № 1-II. С. 54–58.
11. Шабанова Е.В., Бусько А.Е., Васильева И.Е. Дуговой сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб при использовании МАЭС с высоким временным разрешением // Там же. С. 24–33.
12. Зарубин И.А., Лабусов В.А., Бокк Д.Н. Оптимальная система освещения входной щели многоканальных спектрометров «Гранд» и «Экспресс» // Там же, 2015, т. 81, № 1-II. С. 114–116.
13. Medvedev R.N., Churkin D.S., Zarubin I.A. Inductive discharge as a method for direct detection of impurities in water // Journal of Physics: Conference Series, 2016, v. 754, № 10. P. 102007.
14. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Светосила и спектральное разрешение спектрометров «Гранд», «Гранд-1500» и СТЭ-1 // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 61–67.
15. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Бабин С.А. Аналитические возможности спектрального комплекса «Гранд-Поток» при сцинтилляционном определении содержания золота и серебра // Там же. С. 72–80.
16. Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Лабусов В.А., Неклюдов О.А. Сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб: особенности выбора прибора и программного обеспечения // Там же. С. 59–60.
17. Бабин С.А., Лабусов В.А., Селюнин Д.О., Дзюба А.А. Быстродействующие анализаторы МАЭС для спектрометра «Гранд» с улучшенными характеристиками в области 258 – 269 нм // Там же. С. 68–71.
18. Бокк Д.Н., Лабусов В.А. Способ снижения погрешности определения концентраций растворенной и нерастворённой долей элемента в металлических сплавах методом атомно-эмиссионной спектрометрии с искровым возбуждением // Там же. С. 135–141.
19. Новокрещеных А.М., Солодовникова Т.П., Путьмаков А.Н., Пелипасов О.В. Спектральное определение водорода в титановых и алюминиевых сплавах на установке «Зонд» компании «ВМК-Оптоэлектроника» // Там же. С. 144–147.
20. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф. Возможности двухструйной дуговой плазмы для анализа проб разной природы // Там же. С. 148–151.
21. Пелипасов О.В., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О., Боровиков В.М. Разработка и использование спектрометра с микроволновой плазмой для атомно-эмиссионного анализа растворов // Там же. С. 171–185.
22. Зарубин И.А. Возможности малогабаритного спектрометра «Колибри-2» в атомно-эмиссионном спектральном анализе // Там же. С. 186–189.
23. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А., Гаранин В.Г. Однолинзовая оптическая система освещения входной щели вакуумного спектрометра «Гранд-Эксперт» // Там же. С. 190–196.
24. Путьмаков А.Н. Об использовании новых возможностей спектрометров с анализаторами МАЭС и некоторых ограничениях на практике // Там же. С. 201–205.
25. 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. 206–207.
26. Панкратов С.В., Лабусов В.А. Оценка содержания элементов при автоматическом качественном анализе вещества с использованием функции кросс-корреляции // Там же. С. 212–219.
27. Семёнов З.В., Неклюдов О.А., Гаранин В.Г. Новые модули «Экспорт спектров» и «Информация из спектра» программы «Атом» // Там же. С. 220–223.
28. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Путьмаков А.Н. Оптические спектрометры на основе анализаторов МАЭС // X Всероссийская научная конференция с международным

- участием «Аналитика Сибири и Дальнего востока» (г. Барнаул, Россия, 12–17 сентября 2016). Издательство Алтайского государственного университета. С. 16.
29. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф., Лабусов В.А. Двухструйная дуговая плазма как перспективный источник возбуждения для спектрального анализа твердых проб // Там же. С. 23.
 30. Заякина С.Б., Аношин Г.Н., Лабусов В.А. Развитие атомно-эмиссионного спектрального анализа по программе Импортзамещение (результаты и перспективы) // Там же. С. 41.
 31. Гаранин В.Г., Лабусов В.А. Новые атомно-эмиссионные комплексы на основе анализаторов МАЭС для экспресс-анализа порошковых проб // II Международная Геоаналитическая конференция «Опробование рудных месторождений: проблемы, пути решения» (Московская область, пос. Поведники, Россия, 15–17 ноября 2016). С. 17–18.
 32. Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Новые комплексы атомно-эмиссионного спектрального анализа с анализаторами МАЭС // XXI Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов (Верхняя Пышма, Свердловская область, Россия, 14–18 ноября 2016). Сборник тезисов докладов. С. 55.
 33. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. Сцинтилляционная дуговая атомно-эмиссионная спектрометрия и автоматизированная минералогия для определения благородных металлов в геологических пробах // Там же. С. 12.
 34. Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. О выборе спектрометра для определения состава минеральных фаз методом дуговой сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектрометрии // Там же. С. 133.
 35. Семёнов З.В. Deposition Control Simulator: Программа моделирования работы системы контроля // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016612869, зарег. 11.03.2016.

Обобщение и расширение области применения методов максимального правдоподобия оценок центральной частоты (скорости), ранее разработанных авторами для лазерной доплеровской анемометрии (ответственный исполнитель д.т.н. Соболев В.С.).

Цель работы – обобщение и расширение метода максимального правдоподобия на решение задач оптимальной обработки сигналов лазерной доплеровской анемометрии, лазерной интерферометрии, лазерной локации и измерительных систем, основанных на использовании оптической обратной связи и амплитудной модуляции лазерного зондирующего излучения.

Известно, что фотоприем оптических сигналов сопровождается неизбежным дробовым шумом, который существенно снижает точность нахождения оценок их параметров. Это обстоятельство потребовало разработки адекватных алгоритмов обработки таких сигналов. В 2011 г. издана монография [1], посвященная обработке видеосигналов, в то время как большинство сигналов современных оптико-электронных систем (лазерные локаторы, дальнометры, лазерные доплеровские анемометры, метеорологические лидары, виброметры и т. п.) являются узкополосными случайными процессами. В связи с этим были разработаны алгоритмы получения максимально правдоподобных оценок параметров узкополосных сигналов. Полученные результаты опубликованы в ведущих научных

журналах (см. отчеты по НИР «Новые оптические методы исследования внутренних свойств, пространственной структуры и элементного состава синтезированных и природных материалов. Лазерная интерферометрия с оптической обратной связью» за 2013–2015 гг.).

На этапе 2016 г. метод максимального правдоподобия был распространен на решение ряда актуальных задач обработки сигналов лазерной локации и доплеровской анемометрии.

Были построены функции правдоподобия с учетом узкополосности сигналов и особенностей их корреляционных функций, найдены границы Рао – Крамера, определяющие минимальные дисперсии оценок, и предложены методы поиска максимума функции правдоподобия для оценки значения неизвестного параметра.

Решена задача оценки потенциальной точности методов лазерной доплеровской анемометрии. Этот фундаментальный результат определяет минимальные дисперсии оценок параметров [2].

В связи с необходимостью повышения быстродействия лазерных систем гражданского и военного применений методика максимального правдоподобия была также распространена на нахождение оценок центральной частоты широкого класса узкополосных нормальных случайных процессов при использовании малого числа отсчетов сигнала [3]. Даны рекомендации для поиска компромисса между необходимой точностью и быстродействием.

Решена задача нахождения максимально правдоподобных оценок скорости турбулентных потоков, что расширит возможности исследователей, работающих над проблемой повышения скорости летательных аппаратов и судов [4].

Найдены условия оптимального выбора одной из двух современных альтернативных методик получения оценок доплеровской частоты (скорости), основанных или на критерии максимального правдоподобия, или на оценке разности фаз сигнала [5].

Полученные результаты нашли применение при обработке сигналов пирозлектрических приемников излучения в системах ночного видения [6, 7].

Таким образом, при выполнении работы проведено обобщение и расширение области применения критерия максимального правдоподобия на решение задач оптимальной обработки узкополосных сигналов лазерной доплеровской анемометрии, лазерной интерферометрии и лазерной локации. Отмечены возможности применения предложенных методов в измерительных системах, основанных на использовании оптической обратной связи и амплитудной модуляции лазерного зондирующего излучения. Определены потенциальная точность методов лазерной доплеровской анемометрии, и указаны условия ее достижения.

(Тематическая группа лазерных информационно-измерительных систем)

Публикации:

1. Соболев В.С. Оптимальные оценки параметров оптических сигналов. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2011, 136 с.
2. Соболев В.С., Кашеева Г.А. Потенциальная точность методов лазерной доплеровской анемометрии в режиме многочастичного рассеяния // Радиотехника (в печати).
3. Соболев В.С., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А. Максимально правдоподобные оценки центральной частоты узкополосных случайных нормальных процессов при малом числе используемых отсчетов // Радиотехника и электроника, 2017 (в печати).
4. Соболев В.С., Кашеева Г.А., Журавель Ф.А. Максимально правдоподобные оценки доплеровской частоты сигналов лазерного анемометра при исследовании турбулентных потоков // Успехи современной радиоэлектроники (в печати)
5. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Сравнительный анализ качества лазерных доплеровских систем методами максимального правдоподобия и приращений фазы // Автометрия, 2016, т. 52, № 6. С. 29–33.
6. Иванов С.Д., Косцов Э.Г., Соболев В.С. Наносекундный приемник ИК-излучения на основе тонких пьезоэлектрических пленок // Успехи прикладной физики, 2016, т. 4, № 3. С. 289–293.
7. Ivanov S.D., Kostsov E.G., and Sobolev V.S. Nanosecond IR-radiation detector based on a thin pyroelectric film // Journal of Communications Technology and Electronics (в печати).
8. Иванов С.Д., Косцов Э.Г., Соболев В.С. Быстродействующий приемник ИК-излучения на основе пьезоэлектрических пленок // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 1. С. 130–134.
9. Sobolev V., Utkin E., Kashcheeva G., and Shcherbachenko A. Vibration measurement based on modulation of laser radiation // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 236–237.

Получение мощных фемтосекундных импульсов излучения (~ 1 мДж) титан-сапфирового лазера при частоте следования импульсов ~ 100 кГц (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Донин В.И.).

Ранее проведен расчет резонатора мощного фемтосекундного Ti:Sa-лазера с использованием керровской линзы в активном кристалле и метода осуществления одновременно модуляции добротности резонатора и синхронизации мод твердотельного лазера с помощью сферического зеркала (СЗ) и акустооптического модулятора (АОМ) бегущей волны (СЗАОМ) [1], который позволяет обеспечить работу лазера на частоте повторения импульсов ~ 100 кГц и более.

В 2016 г. разработан лабораторный образец такого лазера, схематично показанного на рис. 2.19.

Зеркала резонатора 31-34 с радиусом кривизны 40 см были плотными в области длин волн 725–785 нм (пропускание < 0,1 %) и имели пропускание ~ 95 % для сине-зеленого излучения накачки. Лазер накачки имел мощность более 100 Вт, поэтому с целью увеличения теплоотвода и уменьшения термооптических эффектов активный кристалл (длиной 1 см) охлаждался жидким азотом.

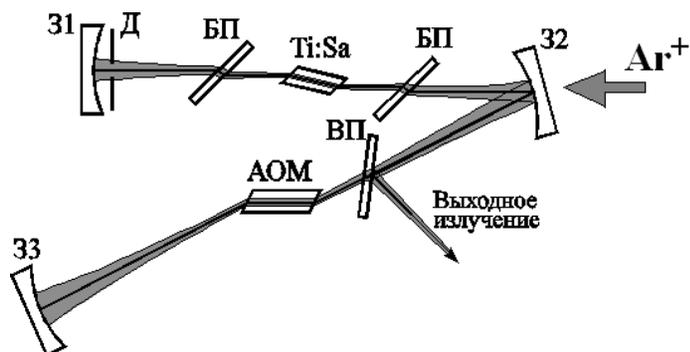


Рис. 2.19. Схема лазера с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод: 31-33 – зеркала резонатора, Ti:Sa – активный элемент, АОМ – акустооптический модулятор, БП – брюстеровские пластинки, ВП – пластинка для вывода излучения из резонатора, Д – диафрагма, Ag^+ – лазер накачки

Метод СЗАОМ позволяет с помощью АОМ бегущей волны и сферического зеркала 33 переводить Ti:Sa-лазер в режим модуляции добротности резонатора с одновременной синхронизацией мод (QML-режим). С этой целью работа АОМ осуществлялась на двух звуковых частотах. Первая из них предназначалась для модуляции добротности резонатора, а вторая – для синхронизации мод [2].

Экспериментально полученные временные характеристики Ti:Sa-лазера представлены на рис. 2.20 при частоте следования импульсов 200 кГц. Длительность импульсов генерации на рис. 2.20, в была ограничена частотной полосой пропускания осциллографа и регистрирующего фотоприемника ЛФД-2.

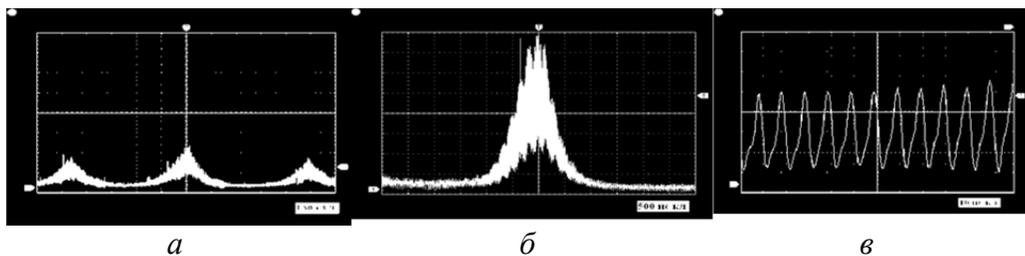


Рис. 2.20. Временные характеристики Ti:Sa-лазера (по осям ординат – мощность лазера в относительных ед., по осям абсцисс – время): а – импульсы в масштабе 1 мкс/дел., б – 500 нс/дел. и в – 10 нс/дел.

Таким образом, в результате выполненной работы впервые реализован QML-режим генерации излучения в мощном Ti:Sa-лазере (~ 1 мДж) с управляемой частотой следования фемтосекундных импульсов в диапазоне (100–300 кГц). Для сравнения отметим, что существующие лазеры такой мощности работают на частотах ~ 1 кГц.

(Тематическая группа мощных ионных лазеров)

Публикации:

1. Донин В.И., Яковин Д.В., Грибанов А.В. Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод. Патент РФ № 2478242 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2013, № 9.
2. Донин В.И., Трубецкой А.В., Яковин Д.В., Грибанов А.В., Затолокин В.Н. Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод. Заявка на патент РФ № 2015121867. Приоритет 08.06.2015.

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.**

Изучение специфики нелинейных интерференционных эффектов (НИЭФ) в трёхуровневых системах, на одном из переходов которых действует излучение в состоянии типа «кошки Шредингера» (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Ильичев Л.В.).

В 2016 г. подробно исследована специфика нелинейных интерференционных процессов в трёхуровневой Λ -системе, на одном из переходов которой действует многофотонное поле, генерируемое источником состояния типа «кошки Шредингера», а на втором – обычное классическое поле [1]. Эта работа является непосредственным продолжением работы [2], в которой рассматривается резонансная флуоресценция двухуровневого атома в поле «кошки Шредингера». В предположении быстрого восстановления энергии поля источником найдены и решены уравнения эволюции атома. Обнаружено явление возникновения сильных корреляций (квантовой зацепленности) атома и поля. Его следствием является исчезновение «тёмного резонанса», что приводит к существенной модификации вида зависимости спектра от расстройек частот полей на каждом переходе. По тематике данная работа близка также к ранее проведенной нами работе о физике квантованной оптической моды в цепи обратной связи с переключением фазы при каждом фотоне, покинувшем резонатор.

Эффективность обратной связи для задач контроля квантовых систем, отличных от фотонных мод, продемонстрирована в [3]. В работе рассмотрена схема оптико-интерферометрического зондирования одного из фрагментов единого атомарного конденсата в двухъямном потенциале ловушки. Оптический сигнал на выходе интерферометра инициирует систему обратной связи, меняющей параметры потенциала ловушки (рис. 2.21).

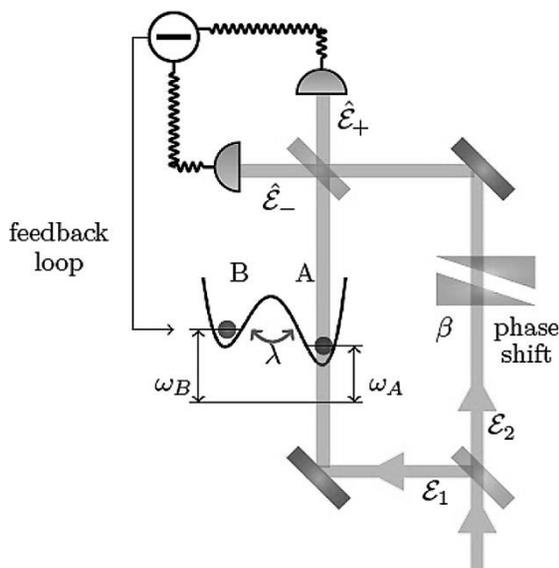


Рис. 2.21. Схема предполагаемого эксперимента

Система демонстрирует неожиданное и сильное влияние обратной связи на поведение населённостей (числа атомов конденсата) в минимумах потенциала ловушки. При этом переход между различными режимами осуществляется через управляемый фазовый сдвиг светового пучка во втором плече интерферометра, не участвующем в зондировании.

Таким образом, произошло распространение исследования квантовой обратной связи с моделей спектроскопии отдельных атомов на системы атомарных конденсатов.

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Томилин В.А., Ильичёв Л.В. Спектроскопия Λ -атома в поле «кошки Шредингера» // ЖЭТФ (в печати).
2. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. The stationary resonance fluorescence of a two-level atom in a cat-state field // Optics Communications, 2016, v. 375. P. 38–42.
3. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. BEC Dynamics in a double-well with interferometric feedback // Annalen der Physik, 2016, v. 528, № 7–8. P. 619–625.

Расчет по точным формулам классической механики относительной разности транспортных частот столкновений для ионов кальция при их столкновении с атомами водорода (ответственный исполнитель д.ф.м.н. Пархоменко А.И.).

По известным потенциалам взаимодействия численно рассчитаны транспортные частоты столкновений ионов Ca^+ в различных состояниях с нейтральными атомами водорода и гелия. Эти данные необходимы для расчета сепарации изотопов Ca под действием эффекта СИД ионов Ca^+ в атмосферах химически пекулярных звезд (СР-звезды). Расчеты показали, что сепарация изотопов Ca под действием СИД ионов Ca^+ в условиях атмосфер холодных СР-звезд ($T = 6600 \text{ K}$) на порядок более эффективна по сравнению с сепарацией, обусловленной световым давлением. Эффект СИД проявляется таким образом, что тяжелый изотоп ионов $^{48}\text{Ca}^+$ выталкивается в верхние слои атмосферы. В атмосферах СР-звезд с ростом эффективной температуры уменьшается скорость СИД ионов Ca^+ и увеличивается скорость дрейфа под действием светового давления. В атмосферах СР-звезд с эффективной температурой $T = 8500 \text{ K}$ величины проявления эффектов СИД и светового давления примерно одинаковые. Полученные результаты позволили объяснить причину наблюдаемых изотопных аномалий кальция в атмосферах химически пекулярных звезд [1].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Пархоменко А.И., Шалагин А.М. Сепарация изотопов кальция в атмосферах СР-звезд вследствие эффекта светоиндуцированного дрейфа (в печати).

Исследование когерентных спектроскопических явлений в перекрывающихся ближних зонах излучения пространственно разнесенных атомов. (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Сапрыкин Э.Г.).

При исследовании излучения тлеющего разряда в зависимости от условий опыта были выявлены 4 типа различающихся по форме оптикомагнитных резонансов [1]. Происхождение резонансов было объяснено в рамках единой концепции нестационарной интерференции реактивных (квазистатических) компонент полей ближних зон атомов изотопов при их перекрытии. Различие форм резонансов связывается с разными способами синхронизации полей. Резонансы в этой модели описываются тригонометрическими функциями $\text{sinc}(x)_s = \sin(x)/x$, при разности фаз равной нулю, и $\text{sinc}(x)_q = [\sin(x - \pi/2) + 1]/x$, $x = \Omega/\Gamma$, при разности фаз равной $\pi/2$, где Γ – параметр ширины резонанса, а Ω – расщепление частот полей в единицах параметра ширины (в данных опытах это Эрстеды).

Форма резонансов с нулевой разностью фаз (синфазные резонансы) объясняется межатомной корреляцией спонтанного распада пары близко расположенных атомов, как и эффект Дике, но при наличии магнитного поля, меняющего разность частот переходов. Три типа резонансов с разностью фаз $\pi/2$ обусловлены спектроскопическими проявлениями вынужденных процессов в паре атомов, инициированных излучением одного из них (квадратурные резонансы).

Использование эмиссионных оптикомагнитных резонансов, индуцируемых резонансным переходом с уровня $2s_4$, позволило решить задачу измерения изотопических сдвигов основного состояния неона без исполь-

зования узкополосных перестраиваемых лазерных источников в XUV диапазоне спектра, которые задействовались для этой цели ранее, и уточнить этот сдвиг [2].

При исследовании поглощения лазерного излучения на длине волны 0,63 мкм были обнаружены оптикомагнитные резонансы, порождаемые перекрытием ближних зон излучения резонансных переходов изотопов неона с уровней $1s_2$ и $1s_4$ в основное состояние. Определенные из их положения изотопические сдвиги переходов совпали с прямыми измерениями изотопических сдвигов с помощью узкополосных перестраиваемых лазерных источников в XUV диапазоне спектра. Подтверждено предсказание модели происхождения квадратурных резонансов об изменении знака и симметрии резонанса при изменении знака изотопического сдвига, тогда как положение резонанса при этом не изменяется [3].

Выяснена роль спонтанного испускания по рабочему переходу в спектроскопии пробного поля двухуровневых систем при наличии спонтанного распада на третьи уровни. Здесь в дополнение к традиционному провалу в структуре нелинейного резонанса появляется упущенная исследователями ранее структура, меняющая знак от совпадающего с провалом до инвертированного. Особенно выразительно это выглядит для случая движущихся атомов и встречных волн, где нижний уровень долгоживущий. Тогда узкая структура вблизи центра резонанса отсутствует при условии равенства коэффициента Эйнштейна A_{mn} и разности констант релаксации уровней ($\Gamma_m - \Gamma_n$). Если же A_{mn} больше этой разности, то структура представлена провалом, а если меньше, то инвертируется в пик [4].

(Лаборатория физики лазеров)

Публикации:

1. Сапрыкин Э.Г. Оптикомагнитные резонансы, индуцированные интерференцией реактивных компонент полей ближней зоны излучения атомов, в тлеющем разряде четных изотопов неона // ЖЭТФ, 2016, т. 149, вып. 2. С. 251–266.
2. Сапрыкин Э.Г. Изотопические сдвиги основного состояния неона: уточнение результатов измерений // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 120, № 2. С. 222–232.
3. Сапрыкин Э.Г. Изотопические сдвиги основного состояния неона по результатам опытов с поглощением лазерного излучения 0.633 мкм // Там же, 2017, т. 122, № 4 (в печати).
4. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А., Шалагин А.М. Роль спонтанного испускания по рабочему переходу в спектроскопии пробного поля двухуровневых систем // ЖЭТФ, 2016, т. 150, вып. 2 (8). С. 238–245.

Оценка оптическими методами качества антирелаксирующего покрытия в оптических ячейках для регистрации магнитооптических резонансов (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Насыров К.А.).

Предложен оптический метод для определения качества антирелаксирующего покрытия вакуумной оптической ячейки, заполненной парами щелочных металлов. Такие ячейки используются для регистрации и изучения магнитооптических резонансов. Суть метода состоит в облучении

ячейки узким резонансным лазерным лучом в импульсном режиме и регистрации временной формы интенсивности флуоресценции. Созданы численная модель и ее компьютерная реализация, расчеты по которой позволяют по форме интенсивности флуоресценции вычислить качество антирелаксирующего покрытия. Показано, что точность метода зависит от соотношения размеров лазерного луча и радиуса ячейки [1].

Кроме того, также для оценки качества покрытия предлагается альтернативный метод, суть которого состоит в регистрации деформации частотного спектра резонансных линий щелочных атомов при обратнопоступательном сканировании частоты лазера. Разрабатывается численная модель для обработки таких спектров с целью определения качества покрытия [2, 3].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Насыров К.А. Метод определения качества антирелаксирующего покрытия в оптических ячейках // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 85–91.
2. Krasteva A., Gateva S., Andreeva C., Alzetta G., Gozzini S., Moi L., Sarkisyan D., Nasyrov K., Cartaleva S. Dark-state resonances observed on the D2 line of Potassium // 19th International Conference and School on Quantum Electronics “Laser physics and applications” (Sozopol, Bulgaria, September 26–30, 2016). Book of abstracts. P. 71.
3. Tsvetkov S., Gateva S., Cartaleva S., Mariotti E., Nasyrov K. Optical characterization of antirelaxation coatings // Там же. P. 72.

Исследование резонансов электромагнитно-индуцированной прозрачности при двухфотонном (780 нм + 480 нм) возбуждении ридберговских состояний атомов рубидия при комнатной температуре (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Чаповский П.Л.).

Ридберговское возбуждение атомов рубидия предназначено в данных исследованиях для работ с ультрахолодными атомами и бозе-эйнштейновскими конденсатами. Практически использовать такое возбуждение для ультрахолодных атомов можно только, если лазерная система возбуждения находится в полностью отлаженном состоянии. Приемлемый путь совершенствования системы ридберговского возбуждения – выполнения тестовых работ с более простым объектом, атомами рубидия при комнатной температуре. Продолжены исследования ридберговского возбуждения атомов рубидия при комнатной температуре в схеме электромагнитно-индуцированной прозрачности (ЭИП). Схема важных для этих экспериментов уровней атомов ^{87}Rb представлена на рис. 2.22.

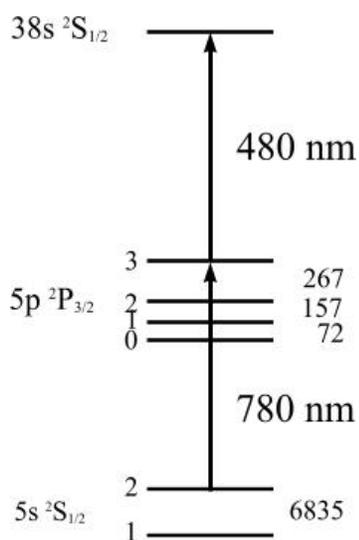


Рис. 2.22. Схема рабочих уровней атомов ^{87}Rb в эксперименте по регистрации резонансов ЭИП. Справа указаны величины сверхтонкого расщепления в МГц и длины волн возбуждающих излучений, слева – угловые моменты сверхтонких состояний и конфигурации атомных уровней

Пример типичной спектрограммы ЭИП представлен на рис. 2.23.

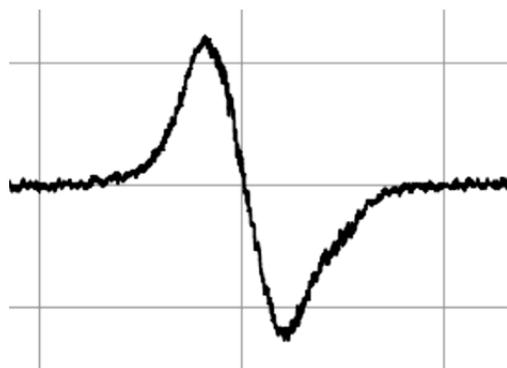


Рис. 2.23. Резонанс ЭИП при ступенчатом возбуждении атомов ^{87}Rb на переходах $5\text{S}_{1/2} (F_g = 2) \rightarrow 5\text{P}_{3/2} (F = 3) \rightarrow 38\text{S}_{1/2} (F = 2)$. Расстояние между экстремумами дисперсионной кривой составляет примерно 10 МГц

Зарегистрированные ширины резонансов ЭИП составляют около 10 МГц и оказываются больше, чем предсказывает теория. Выяснено, что основная проблема на данный момент заключается в несовершенстве системы стабилизации частоты излучения задающего лазера на 960 нм, который используется в системе удвоения частоты излучения 960 нм \rightarrow 480 нм. Лазер стабилизируется с помощью измерителя длин волн WS-U, который имеет точность измерения частоты лазерного излучения только 2 МГц, что оказывается недостаточно для получения узкой линии излучения лазера 960 нм. Проблема пока не решена. Стандартные пути решения основаны на использовании высокостабильных узкополосных интерферометров Фабри – Перо, имеющих высокую стоимость.

В 2016 году выполнены эксперименты по возбуждению атомов рубидия в ридберговские состояния в схеме резонансов электромагнитно-индуцированной прозрачности. Зарегистрированные резонансы имеют ширину большую, чем предсказывает теория, из-за несовершенства системы стабилизации частоты излучения лазера на 960 нм. В настоящее время анализируются возможные пути решения этой проблемы.

Поскольку главной целью создания ридберговского возбуждения атомов рубидия является применение его в работах с ультрахолодными атомами, параллельно были проведены (совместно с ИВТ СО РАН) теоретические и экспериментальные исследования по взаимодействию конденсированных и неконденсированных атомов рубидия в вырожденных бозе-газах при конечных температурах [1–3].

(Лаборатория нелинейной спектроскопии газов)

Публикации:

1. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.П., Чаповский П.Л. Взаимодействие двух фракций в вырожденном бозе-газе при конечных температурах // Письма в ЖЭТФ, 2016, т. 103, № 6. С. 452–457.
2. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.П., Чаповский П.Л. Ответ на комментарий к работе «Взаимодействие двух фракций в вырожденном бозе-газе при конечных температурах» (Письма в ЖЭТФ, 103, 452 (2016)) // Там же, № 12. С. 898.
3. Ильичёв Л.В., Томилин В.А. Надконденсатные атомы в режиме селективного по скоростям когерентного пленения населенностей // ЖЭТФ, 2016, т. 149, № 1. С. 14–22.

Проект II.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 лазерного стенда для синтеза дифракционных микро/наноструктур в полярной системе координат и методов формирования записывающего пучка малого размера. Разработка и исследование методов синтеза эталонных дифракционных элементов, в том числе в многослойных средах (ответственный исполнитель д.т.н. Полещук А.Г.).

Для контроля погрешности позиционирования записывающего пучка в течение долгого (иногда > 10 часов) времени изготовления структуры ДОЭ на лазерном стенде предложен и исследован новый метод записи, включающий следующие этапы:

1. При расчете ДОЭ формируются контрольные окна без дифракционной структуры.
2. Перед записью в эти окна наносят первую группу периодических решеток.
3. В процессе записи наносят вторую группу решеток.

4. После окончания записи сравниваются относительные сдвиги первой и второй групп решеток.

На рис. 2.24 приведены результаты эксперимента.

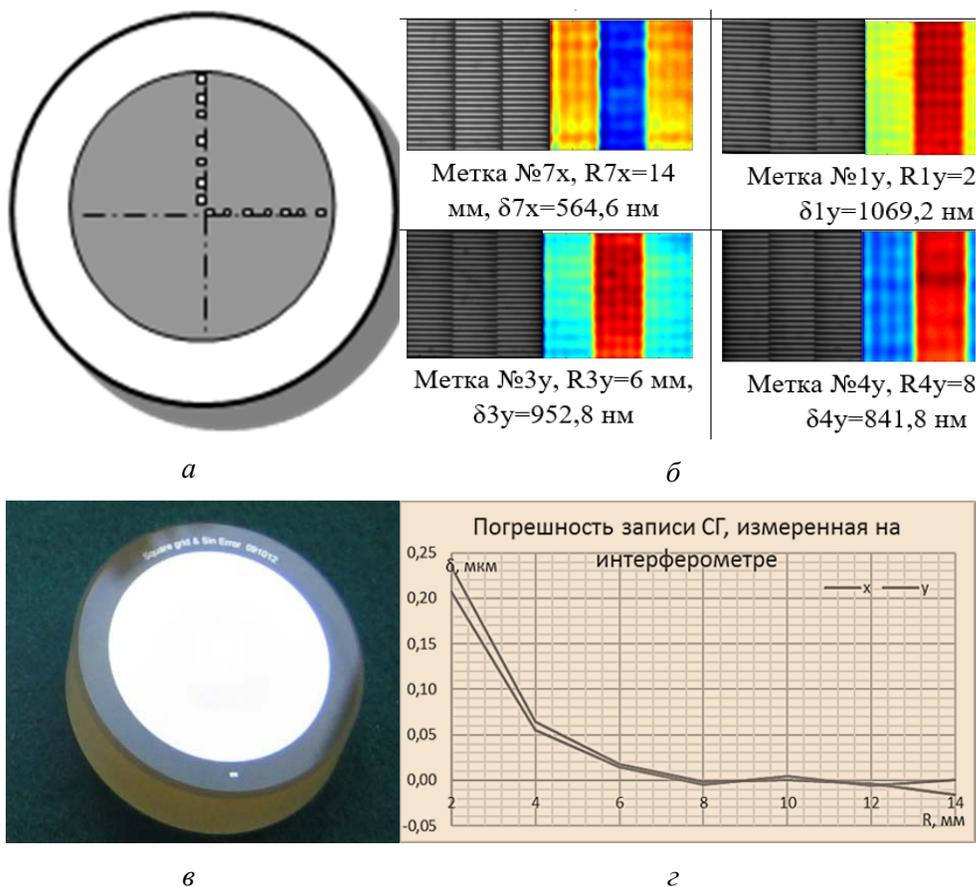


Рис. 2.24. Расположение контрольных окон и тестовый ДОЭ (а, б). Эксперимент. Группы решеток и их микроинтерферограммы и результаты контроля позиционирования по координатам X и Y (в, г)

Для реализации предельно малых размеров записывающего лазерного пучка предложен новый тип «сухого» высокоапертурного ($NA \sim 1$) объектива с большим рабочим отрезком (порядка 1 мм).

Расчетный диаметр лазерного пятна в фокальной плоскости объектива составляет 105 нм (FWHM) при рабочей длине волны технологического лазера 266 нм. Функция рассеяния точки данного объектива близка к бesselовой. На рис. 2.25, а приведена оптическая схема высокоапертурной фокусировки лазерного пучка, где ДОЭ – дифракционный элемент, ФПЧ – фильтр пространственных частот, КСЗ – кольцевое сферическое зеркало, ТПП – тонкопленочный поляризатор. Стопа ТПП рассчитана на освещение под углом Брюстера: $\alpha_B = \arctan(n_1/n_0) = 56,3^\circ$.

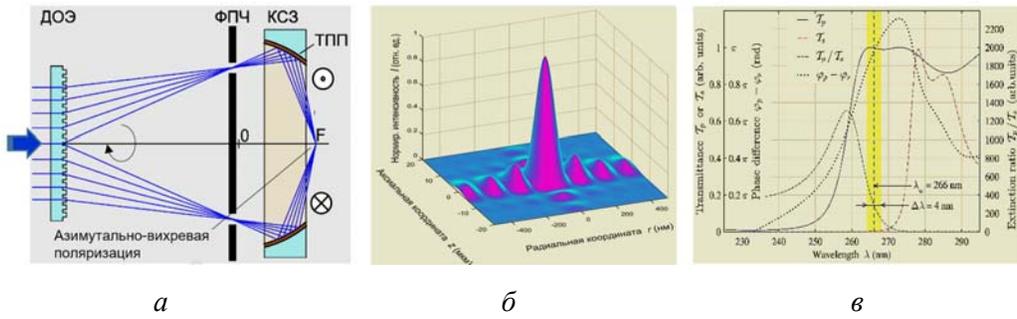


Рис. 2.25. Схема высокоапертурного дифракционно-зеркального объектива (а); функция рассеяния точки (б); характеристики поляризатора (в)

На рис. 2.25, б показана функции рассеяния точки F при различных типах поляризации, О – обычный объектив, ОКСЗ – кольцевое сферическое зеркало. На рис. 2.25, в приведены характеристики тонкопленочного поляризатора: пропускания радиальных и азимутальных компонентов волнового поля, коэффициент экстинкции (отношение пропусканий) и разность фаз 25-слойного поляризатора в зависимости от длины волны. Желтым цветом выделена рабочая область длин волн.

Предложен, разработан и исследован новый тип многослойных тонкопленочных дифракционных оптических элементов (МДОЭ) на основе многослойных структур, состоящих из набора тонких пленок металлов и диэлектриков [1].

Экспериментально получены МДОЭ диаметром до 150 мм с неравномерностью глубины дифракционной структуры менее 10 нм при изменении размеров зон в диапазоне от 1,5 до 200 мкм (рис. 2.26) [2–5].

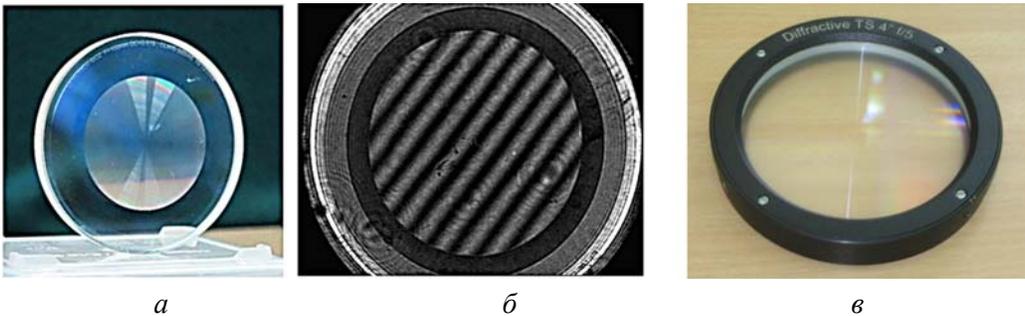


Рис. 2.26. Фотография тонкопленочного дифракционного оптического элемента в тонкой пленке SiO₂ толщиной около 650 нм (а); интерферограмма (б); готовый элемент (в)

Публикации:

1. Полещук А.Г. Эталонный дифракционный оптический элемент (варианты). Патент на изобретение РФ № 2534435 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2014, № 33.
2. Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K., Asfour J.-M. Interferometric testing of steep cylindrical surfaces with on-axis cghs // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 5. P. 625–628.

3. Полещук А.Г., Хомутов В.Н., Маточкин А.Е., Насыров Р.К., Черкашин В.В. Лазерные интерферометры для контроля формы оптических поверхностей // Фотоника, 2016, № 4. С. 38–50.
4. Полещук А.Г., Седухин А.Г. Высокоапертурный объектив для фокусировки оптического излучения. Патент на полезную модель № 162920 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 18.
5. Полещук А.Г., Шиманский Р.В. Способ контроля погрешности изготовления дифракционных оптических элементов (ДОЭ). Патент на изобретение № 2587528 // Там же, № 17.

Исследование и разработка методов скоростной трехмерной обработки диэлектрических материалов и металлических фольг фемтосекундным лазерным излучением с высокой частотой повторения импульсов. Разработка моделей режимов обработки стекол с минимальными микродефектами (ответственный исполнитель к.т.н. Бессмельцев В.П.).

1. *Методы оптимизации параметров лазерных сканирующих систем при высокоскоростной обработке хрупких диэлектрических материалов (стекло, керамика) с использованием фемтосекундных лазеров, обеспечивающих отсутствие микродефектов.*

Проведено исследование влияния энергии импульсов, перекрытия импульсов и количества проходов на показатели качества и геометрические размеры микроканалов, формируемых на поверхности стекла фемтосекундными лазерными импульсами. Определены оптимальные режимы модификации, как по качеству, так и по производительности. Созданы прототипы биочипов и прицельных оптических сеток с заданными параметрами качества и геометрических размеров [1, 2]. Эксперименты проводились на установке для прецизионной фемтосекундной лазерной модификации материалов, разработанной в ИАиЭ СО РАН, и рабочей станции ФПЛ, созданной в ИАиЭ в рамках работ с АО «Швабе – Оборона и Защита» [3, 4]. Измерения профиля объектов, характерных размеров сколов на границах объектов и шероховатости дна Ra проведены на профилометрической системе на основе конфокального хроматического сенсора CL1 MG-210 (разработка ИАиЭ СО РАН) (оптическое латеральное разрешение – 0,9 мкм, по Z – 10 нм) и на конфокальном микроскопе Sensofar (50X, NA = 0,8). Определение геометрических параметров объектов проводилось автоматически с помощью разработанных нами алгоритмов: высокоточного совмещения карты высот измеренных данных с САД-моделью обработки и алгоритма поточечного выделения границ микроканалов, что существенно ускорило процесс измерения и уменьшило статистические погрешности.

На рис. 2.27 приведены 3D-изображения двух микроканалов со сколами. С помощью указанных алгоритмов происходит поточечное выделение их границ (черные линии) на картах высот по следующему критерию: изменение глубины в перпендикулярном направлении более чем на 100 нм, после чего производится вычисление показателей качества структур. Для каждого микроканала на изображении определяется зона, уда-

ленная от каждой границы микроканалов на четверть его ширины. На изображении, представленном на рисунке, она выделена серыми штрих-пунктирными линиями.

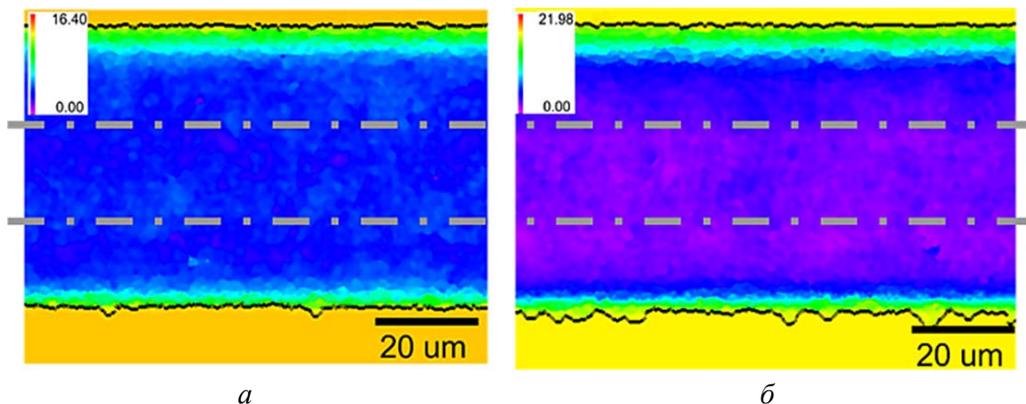


Рис. 2.27. Карты высот фрагментов микроканалов со сколами, черными линиями отмечены границы микроканалов, т. е. точки, в которых происходит изменение высоты на 100 нм по сравнению с уровнем поверхности: *а* – параметры записи $N = 4$, $overlap = 53\%$, $energy = 1,59 \mu J$, глубина канала 9,7 мкм; *б* – параметры записи $N = 4$, $overlap = 65\%$, $energy = 1,82 \mu J$, глубина канала 16,3 мкм. Размеры сколов: до 7×5 мкм², глубина 1 мкм. Серый прямоугольник определяет зону сбора статистики для *depth* и *Ra*

Мы ввели количественную характеристику *Straightness*, которая статистически описывает изменение ширины микроканала и позволяет оценить размеры сколов:

$$w = \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{num}, \quad Straightness = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (w_i - w)^2}{num}}$$

где *num* – количество точек на границе, для которых производился поиск границ, w_i – расстояние между точками с индексом *i*. Производительность обработки *MRR* (*Material Removal Rate*) вычисляется по формуле

$$MRR = \frac{V}{t} = \frac{Vv}{20 \times lN}$$

где *V* – объем удаленного вещества, определяется как объем, заключенный между точками границ микроканалов, *t* – время удаления вещества (зависит от длины микроканалов (*l*), количества проходов (*N*) и скорости перемещения лазерного пучка (*v*)).

Для параметров глубины, прямолинейности и шероховатости дна были посчитаны средние стандартные отклонения $\sigma(\mu m)$ по 144 экспериментам, которые позволяют оценить воспроизводимость экспериментов (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Оценка воспроизводимости фс лазерной микрообработки стекла с помощью измерения стандартного отклонения по показателям качества в повторяющихся экспериментах

Energy (μJ)	σ (Depth) μm	σ (Straightness) μm	σ (Ra) μm	σ (MRR) mm^3/min
3,5	0,07	0,14	0,014	0,005
5	0,15	0,08	0,03	0,002

По всем данным проведен многофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) для глубины, Ra и прямолинейности границ. Средние значения для прямолинейности границ при различных группировках по технологическим параметрам приведены в таблице. Установлено, что вероятность образования сколов выше при увеличении энергии импульсов, а также при больших перекрытиях импульсов записи (выше 65 %). На рис. 2.28 приведен график зависимости шероховатости от числа проходов и энергии импульсов.

Установлено, что Ra, усредненное при различных значениях числа проходов N и перекрытия, растёт при увеличении энергии импульсов (рис. 2.28, *a*) практически линейно, что можно объяснить большей конденсацией осколков вещества (debris) на дне микроканалов. Как видно из рис. 2.28, *b* при близких значениях глубин дно микроканалов получается более гладким при большем количестве слоёв и при средних энергиях импульсов. При увеличении глубины Ra также растёт. На графике приведены кривые, ограничивающие расположение точек. С одной стороны, наблюдается практически линейная зависимость, т. е. шероховатость дна прямо пропорциональна глубине, что происходит при обработке при пороговых плотностях энергий, с другой – ограничение логарифмической кривой. В диапазоне перекрытий (50–68 %) не получено явной зависимости Ra от параметра перекрытия.

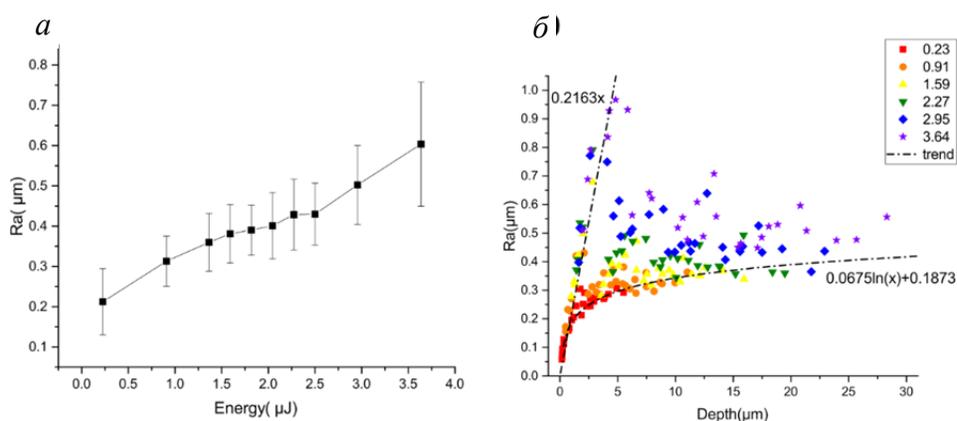


Рис. 2.28. Зависимость Ra от технологических параметров обработки: *a* – усредненное по экспериментам с различным перекрытием импульсов и N ; *b* – в зависимости от глубины микроканалов. Приведены кривые (trend), которые ограничивают область расположения точек

2. Разработка методов скоростной трехмерной обработки диэлектрических материалов и металлических фольг.

2.1. Разработка технологии изготовления LIGA-масок микронных размеров с помощью точной лазерной микрообработки фольги.

Отработана технология точной скоростной лазерной микрорезки сетчатых структур микронных размеров из металлических фольг толщиной более 50 мкм для изготовления квазиоптических элементов терагерцового диапазона по LIGA технологии (рис. 2.29).

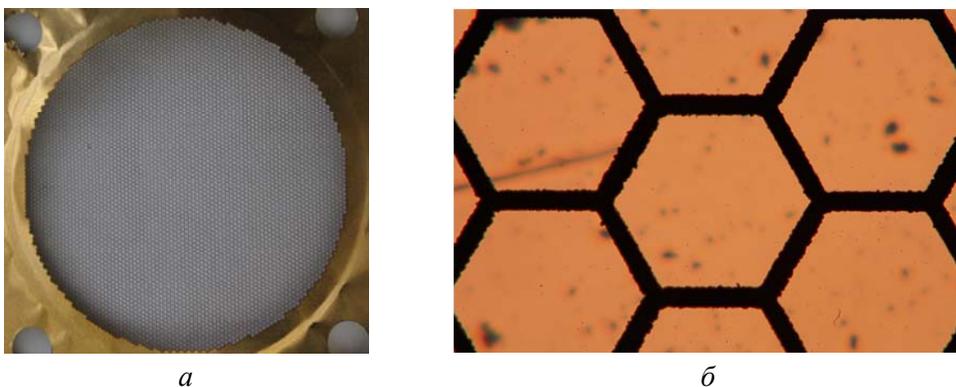
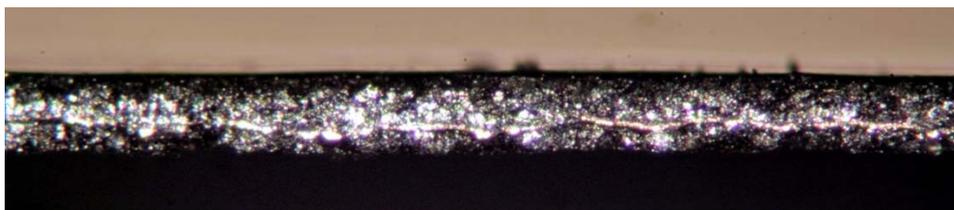


Рис. 2.29. Образец маски из 50 мкм медной фольги для изготовления квазиоптического терагерцового фильтра. Диаметр маски 70 мм (*а*); увеличенный фрагмент маски. Структура ячейки гексагональная, размер структуры 700 мкм, размер перемычек 70 мкм (*б*)

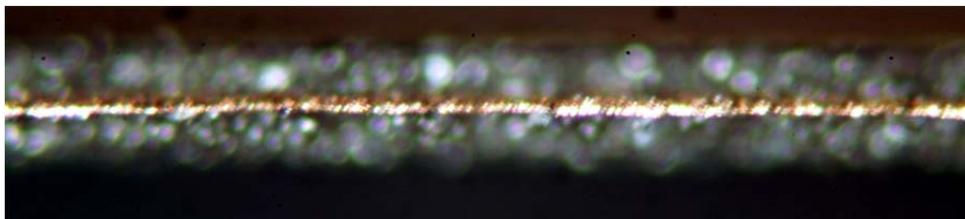
С помощью данной технологии изготовлены квазиоптические селективные элементы в виде фильтров высоких частот и плоских линз для частот 0,65 ТГц [5].

2.2. Прецизионная автоматическая технология и система лазерной резки заготовок из многослойной фольги мощным волоконным лазером.

Актуальность задачи создания высокопроизводительных средств точного формирования электродов для литийионных аккумуляторов основана на недостатках технологии вырезания таких электродов из специальной медной или алюминиевой фольги, покрытой тонким слоем LiCoO_2 , вырубными штампами. При вырубке образуется большое количество брака по качеству отрубленного края (рис. 2.30, *а*), связанного с быстрым износом режущей кромки ножей штампа, ограниченным быстрым действием для больших размеров электродов и сложностью перенастройки автоматов при смене размеров и формы электродов.



а



б

Рис. 2.30. Микрофотографии торцов анодов толщиной 100 мкм: *а* – технология механической вырубки, *б* – лазерная резка

Проведенные нами эксперименты с волоконными импульсными лазерами с высокой частотой повторения показали, что при правильном выборе перекрытия лазерных импульсов и скорости реза качество реза соответствует требованиям технологии изготовления аккумуляторов – максимальная ширина неровности края в диапазоне 15 мкм, отсутствие облоя при скорости фигурного реза более 1 м/с (рис. 2.30, б).

По результатам экспериментов был создан компактный оптический блок скоростной лазерной резки электродной ленты с компьютеризированным модулем управления и встроен в систему ML-QP200/300/700-A автоматического изготовления базовых электродов вместо механического отрубного штампа [6].

Основные технические характеристики автоматической системы на основе лазерного блока фигурной отрезки:

Толщина электродной ленты, мм	0,1–0,3
Ширина реза, не более, мм	0,05
Повторяемость размеров контура на скорости до 0,5 м/с, мм	+/- 0,1
Максимальная производительность, изделий/мин	20 шт.
Форма отреза	программируемая
Дискретность задания контура резки, мм	0,05

2.3. Численное моделирование импульсной лазерной абляции алюминия с учетом зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и объёмного поглощения.

Проведено численное моделирование процесса абляции алюминия под действием импульсного Nd:YAG-лазера. Учтены процессы: теплового испарения, взрывного вскипания, возникновения и нагрева плазменного облака. Принималась во внимание зависимость от температуры таких

параметров задачи, как коэффициент теплопроводности λ и коэффициент объемного поглощения α .

Шаг по времени составил 0,5 пс. До непосредственного решения краевой задачи предварительно были созданы таблицы коэффициентов $\lambda(T)$ и $\alpha(T)$ в широком диапазоне температур, что также увеличило скорость расчета. При проведении моделирования был использован многоядерный сервер Intel Xeon E5-2660 (2 процессора по 40 ядер) 2,6 ГГц. Алгоритм численного решения был распараллелен.

В результате решения краевой задачи получены: скорость абляции, распределение температуры по слою материала, а также его толщина в произвольные моменты времени, ограниченные сверху длительностью импульса. Полученные данные находятся в качественном согласии с экспериментом [7].

(Лаборатория лазерной графики)

Публикации:

1. Bulushev E.D., Bessmeltsev V.P., Dostovalov A.V., Goloshevsky N.V., Wolf A.A. High-speed and crack-free direct-writing of microchannels on glass by an IR femtosecond laser // Optics and Lasers in Engineering, 2016, v. 79. P. 39–47.
2. Bessmeltsev V.P., Bulushev E.D., Goloshevsky N.V., Smirnov K.K. Automated femtosecond laser workstation for high-speed fabrication of reticles and microchannels // International Symposium FLAMN-16 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). In frames of International Congress Laser & Photonics 2016. P. 98–99.
3. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Булушев Е.Д., Голошевский Н.В., Горяев Е.П., Кастеров В.В., Максимов М.В., Смирнов К.К. Особенности технологии прецизионной фемтосекундной микрообработки оптических материалов // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 3–8.
4. Дьякова И.И., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском. Патент РФ № 2591034 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 19.
5. Gentslev A., Kuznetsov S., Bessmeltsev V., Baev S., Lonshakov E. Manufacturing ligamasks with laser micromachining // Synchrotron and Free electron laser Radiation: generation and application (SFR-2016) (Novosibirsk, Russia, July 4–7, 2016). Book of Abstracts Budker INP. P. 39.
6. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев Е.П., Голошевский Н.В., Кастеров В.В., Максимов М.В. Прецизионная автоматическая система лазерной резки заготовок из медной фольги мощным волоконным лазером // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 217–218.
7. Гришин М.А., Булушев Е.Д., Бессмельцев В.П. Численное моделирование импульсной лазерной абляции алюминия с учетом зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и объемного поглощения // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 1–6.

Проект II.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., д.ф.-м.н. Каблуков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А., к.ф.-м.н. Терентьев В.С.).

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.**

Исследование новых схем генерации и нелинейного преобразования излучения волоконного СРОС-лазера (ответственные исполнители: чл.-корр. РАН Бабин С.А., д.ф.-м.н. Подивиллов Е.В.).

Исследованы новые схемы и режимы генерации волоконного лазера со случайной распределённой обратной связью (СРОС): схемы с активным световодом и с сохранением поляризации, многоволновой и импульсный режимы. Изучены статистические свойства и особенности генерации второй гармоники излучения СРОС-лазера. Исследованы поляризационные свойства генерации второй гармоники в световодах с периодически наведенной нелинейностью.

В частности, получена и исследована узкополосная генерация СРОС-лазера на основе висмутового волоконного световода и многоволновая генерация в гибридной схеме усиления в активном эрбиевом световоде и ВКР-усиления в пассивном световоде с фильтром Лио в качестве селектора. Использование эрбиевого волоконного усилителя позволяет существенно снизить порог многоволновой генерации и улучшить равномерность распределения по линиям. Изучены статистические свойства излучения многоволонового СРОС-лазера.

Проведено сравнение спектра генерации волоконного СРОС-лазера с полуоткрытым резонатором, образованным кольцевым зеркалом или волоконной брэгговской решёткой (ВБР) на одном конце световода. Показано, что применение ВБР даёт существенное увеличение спектральной плотности мощности и, как следствие, увеличение мощности второй гармоники, генерируемой в периодически-ориентированном кристалле. Исследованы поляризационные свойства генерации второй гармоники в световодах с периодически наведенной нелинейностью, показано, что форма кривых синхронизма существенно зависит от состояния поляризации (рис. 2.31), с учетом этого проведена оптимизация процесса генерации второй гармоники в таких световодах.

Получен и исследован импульсный режим генерации волоконного СРОС-лазера с ВКР-усилением как с пассивной (насыщающийся поглотитель на основе графена), так и активной модуляцией добротности (акустооптический модулятор). В схеме ВКР-лазера с акустооптическим модулятором реализована гибридная синхронизация мод (с добавлением пассивного модулятора на основе эффекта нелинейного вращения поля-

ризации), которая позволяет получить импульсы длительностью ~ 50 пикосекунд.

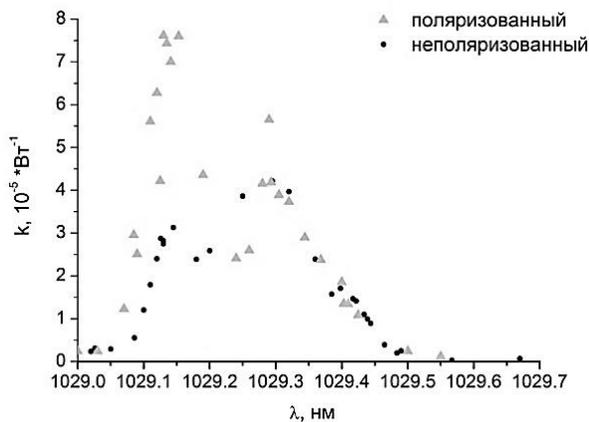


Рис. 2.31. Кривые синхронизма ГВГ в световоде с периодически наведенной нелинейностью для линейно поляризованного и неполяризованного излучения

(Лаборатория волоконной оптики, Тематическая группа нелинейной оптики)

Публикации:

1. Донцова Е.И., Лобач И.А., Достовалов А.В., Каблуков С.И. Исследование поляризационных свойств генерации второй гармоники в световодах с периодически наведенной квадратичной нелинейностью // Прикладная фотоника, 2015, т. 2, № 4. С. 342–357.
2. Yao B.C., Rao Y.J., Wang Z.N., Wu Y., Zhou J.H., Wu H., Fan M.Q., Cao X.L., Zhang W.L., Chen Y.F., Li Y.R., Churkin D., Turitsyn S., Wong C.W. Graphene based widely-tunable and singly-polarized pulse generation with random fiber lasers // Sci. Rep., 2015, v. 5. P. 18526.
3. Sugavanam S., Zulkifli M.Z., Churkin D.V. Multi-wavelength erbium/Raman gain based random distributed feedback fiber laser // Laser Phys., 2016, v. 26, № 1. P. 015101 (5 p.).
4. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., Churkin D.V. Statistical properties of radiation of multiwavelength random DFB fiber laser // Opt. Express, 2016, v. 24, № 17. P. 19417–19423.
5. Aragonese A., Carpi L., Tarasov N., Churkin D.V., Torrent M.C., Masoller C., Turitsyn S.K. Unveiling temporal correlations characteristic of a phase transition in the output intensity of a fiber laser // Phys. Rev. Lett., 2016, v. 116, № 3. P. 033902.
6. Perego A.M., Tarasov N., Churkin D.V., Turitsyn S.K., Staliunas K. Pattern generation by dissipative parametric instability // Phys. Rev. Lett., 2016, v. 116, № 2. P. 028701.
7. Лобач И.А., Каблуков С.И., Скворцов М.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А., Мелькумов М.А., Дианов Е.М. Узкополосная генерация в висмутовом волоконном лазере со случайной распределенной обратной связью // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 111–112.
8. Донцова Е.И., Каблуков С.И., Ватник И.Д., Бабин С.А. Удвоение частоты случайного волоконного лазера с ВКР-усилением // Там же. С. 138–139.
9. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Импульсный ВКР лазер с гибридной активной и пассивной синхронизацией мод // Там же. С. 140–141.

Исследование вынужденного рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в волоконном световоде с накачкой лазером с самосканированием частоты. Применение нелинейных эффектов для характеристики волоконных лазеров и сенсоров (ответственные исполнители: д.ф.-м.н. Каблучков С.И., к.ф.-м.н. Лобач И.А., к.ф.-м.н. Терентьев В.С.).

Разработан полностью волоконный одночастотный иттербиевый лазер с самосканированием частоты в области 1058–1076 нм и выходной мощностью более 50 мВт с возможностью управления областью сканирования с помощью температуры активного волокна. Также разработан метод анализа мгновенного спектра излучения волоконного лазера с самосканированием частоты. Лазер с самосканированием частоты использовался для опроса линейки из 7 сенсоров (один из которых является реперным) на основе волоконных брэгговских решёток (рис. 2.32, а). Точность определения длины волны отражения датчиков оценена как ~ 2 нм (рис. 2.32, б). Кроме того, с помощью самосканирующего волоконного лазера продемонстрирована возможность регистрации спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна в волоконном световоде с сохранением поляризации. Разработан бриллюэновский анализатор оптического спектра (БАОС) на основе лазера с самосканированием частоты, с которым были измерены спектры генерации двух непрерывных лазеров (многочастотного и одночастотного) в полосе ~ 170 ГГц (рис. 2.33, а) с высоким уровнем спектрального разрешения (~ 50 МГц) (рис. 2.33, б). Проведен сравнительный анализ полученных результатов со спектрами, измеренными анализатором оптических спектров (АОС) на основе дифракционной решётки.

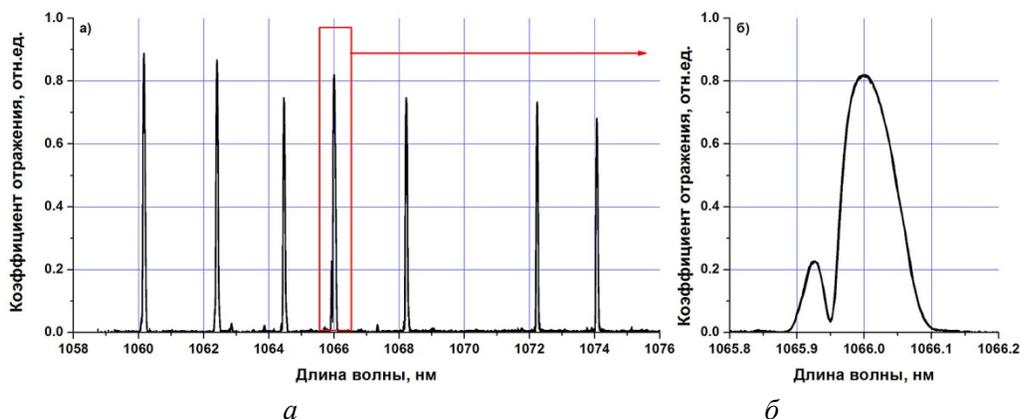


Рис. 2.32. Спектры отражения сенсорной линии в широком (а) и мелком (б) масштабе, измеренные с помощью устройства опроса на базе волоконного лазера с самосканированием частоты

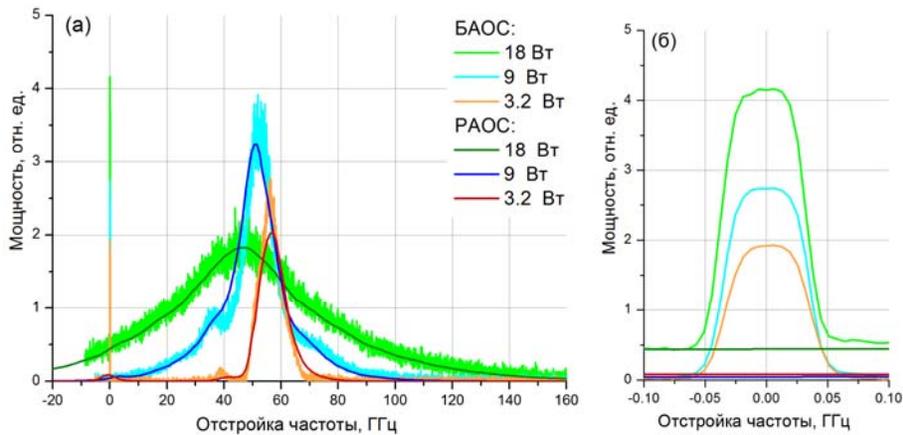


Рис. 2.33. Спектры генерации двух лазеров, измеренные с помощью волоконного лазера с самосканированием частоты: многочастотного волоконного (с центром вблизи 50 ГГц) и одночастотного (с центром в нуле) в широком диапазоне (а) и вблизи нуля (б). Также для сравнения приведены спектры, измеренные АОС на основе дифракционной решётки

Исследованы спектральные характеристики двуслойной металл-диэлектрической структуры в процессах изготовления, измерения и использования ее в качестве сенсора показателя преломления внешней среды. Разработана фемтосекундная технология изготовления волоконных брэгговских решёток без снятия пластиковой оболочки для применений в точечных и распределенных сенсорах деформации и температуры.

(Лаборатория волоконной оптики)

Публикации:

1. Sugavanam S., Fabbri S., Le S.T., Lobach I., Kablukov S., Khorev S., Churkin D. Real-time high-resolution heterodyne-based measurements of spectral dynamics in fibre lasers // *Scientific Reports*, 2016, v. 6. P. 23152.
2. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А. Устройство опроса волоконных сенсоров на базе волоконного лазера с самосканированием частоты // *Прикладная фотоника*, 2016, т. 3, № 1. С. 37–49.
3. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Kablukov S.I. Brillouin optical spectrum analyzer based on PM self-sweeping fiber laser // *Laser Physics Letters* (в печати).
4. Голдина Н.Д., Терентьев В.С., Симонов В.А. Спектральные свойства металл-диэлектрической структуры // *Оптика и спектроскопия*, 2016, т. 120, № 5. С. 847–854.
5. Ткаченко А.Ю. Устройство опроса волоконных сенсоров на базе волоконного лазера с самосканированием частоты // 54-я международной научной студенческой конференции (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). С. 54.
6. Лобач И.А., Ткаченко А.Ю. Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 37–38.
7. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Guskov L.N. Fiber sensor interrogator based on self-sweeping fiber // 17th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 17) (Erlagol, Altai, Russia, June 30 – July 4, 2016). P. 348 – 351.

8. Вольф А.А., Достовалов А.В., Парыгин А.В., Зюбин В.Е., Бабин С.А. Запись ВБР для точечных и распределенных измерений фс излучением // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 206–207.
9. Парыгин А.В., Зюбин В.Е., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. 2D система стабилизации положения оптического волокна // XVII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016), 2016. Программа. С. 23.
10. Якушин С.С., Достовалов А.В., Вольф А.А., Парыгин А.В., Бабин С.А. Величины и положения точечных температурных воздействий на длинные ВБР // I Всероссийская научно-практическая конференция «Оптическая рефлектометрия – 2016» (г. Пермь, Россия, 26–27 мая 2016). Сборник тезисов докладов. С. 39–40.

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

Оценка информационной емкости линий связи является одной из наиболее важных и актуальных задач в области оптических коммуникаций. В частности, такие расчеты важны для оптимизации оптических каналов связи с учетом керровской нелинейности. Нелинейность, хроматическая дисперсия, джиттер импульсов и неидеальная фильтрация приводят к «паттерн-эффекту» – влиянию соседних импульсов на передаваемый сигнал. До сих пор не существовало численного метода расчета оптимального распределения в линии с памятью, где правила канала зависят от распределения вероятности символов входного алфавита. Разработан эффективный способ оценки пропускной способности линии связи с нелинейной памятью с точностью до квадрата параметра памяти в простейшей модели гауссова шума. Предложен алгоритм расчета оптимального входного алфавита. Оптимизация позволяет за счет подбора алфавита частично обойти паттерн-эффект. С помощью этого алгоритма была посчитана зависимость пропускной способности канала с памятью от мощности сигнала (рис. 2.34).

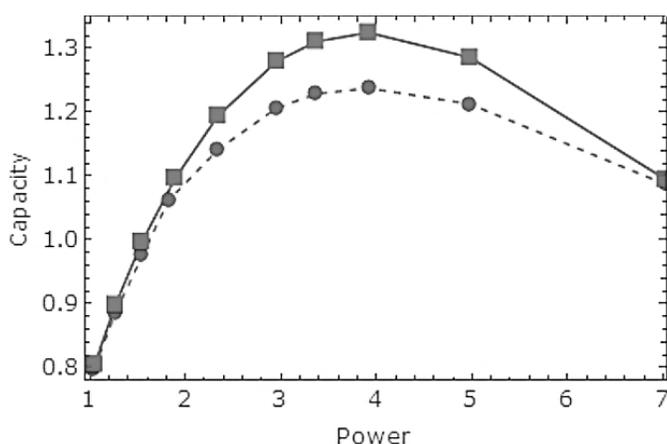


Рис. 2.34. Пропускная способность канала с усредненным шумом (сплошная линия) и конечной памятью (пунктир) как функция средней мощности сигнала (Лаборатория фотоники)

Публикации:

1. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Оценка пропускной способности линий связи с конечной нелинейной памятью // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 12. С. 1117–1120.
2. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Пропускная способность линий связи с конечной нелинейной памятью // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 172–173.
3. Belan S., Chernykh A., Lebedev V., Falkovich G. Inelastic collapse and near-wall localization of randomly accelerated particles // Physical Review E – Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics, 2016, v. 93. P. 052206.
4. Belan S., Chernykh A., Falkovich G. Phase transitions in the distribution of inelastically colliding inertial particles // J. Phys. A, 2016, v. 49, iss. 3. P. 035102.

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.).

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

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

Разработка аппаратуры и адаптация методов гиперкомбинационного и гиперрелеевского рассеяния для изучения сегнетоэлектрических композиций и стеклюющихся жидкостей. Поиск универсальных свойств восприимчивости стеклюющихся жидкостей при переходе от аррениусовского к неаррениусовскому поведению. Изучение фазовой диаграммы пропротектора глицин–вода в зависимости от протокола охлаждения. Анализ спектров комбинационного рассеяния водного раствора глицина различного состава. Исследование поведения ОН колебаний в различных фазах сегнетоэлектрика KDP. Изучение резонансного комбинационного рассеяния в дрожжевых клетках, замораживаемых в криопротекторном растворе (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Суровцев Н.В.).

Создан стенд для исследования гиперкомбинационного и гиперрелеевского рассеяния. С его помощью изучены сегнетоэлектрические композиции и стеклюющиеся жидкости. На примере кристалла в параэлектрической фазе показано, что в параэлектрической фазе кристалла центральный пик в режиме гиперрелеевского рассеяния надежно измеряется, давая информацию о полярных нанорегионах [1, 2].

Проверена гипотеза о том, что время релаксации при температуре перехода от аррениусовского к неаррениусовскому поведению стеклующихся жидкостей одинаково для различных веществ. Для этой цели были изучены спектры рассеяния Мандельштама – Бриллюэна следующих веществ: дибутилфталат, глицерин, орто-терфенил, пропилен карбонат, альфа-пиколин, салол, толуол, о-толуидин в широком температурном диапазоне. В этих спектрах проявляется интенсивный пик альфа-релаксации, когда время альфа-релаксации находится в диапазоне от 1 до 20 пс. Из подгонки этого пика контуром Коль – Давидсона были определены температурные зависимости времени альфа-релаксации $\tau_\alpha(T)$ для исследованных стеклующихся жидкостей. Из деривативного анализа зависимостей $\tau_\alpha(T)$ были определены температуры перехода от аррениусовского к неаррениусовскому поведению стеклующихся жидкостей T_A , которые составили: 257 К (толуол), 403 К (салол), 250 К (пиколин), 298 К (пропилен карбонат), 408 К (орто-терфенил), 366 К (глицерин), 405 К (дибутилфталат) и 205 К (этанол). На рис. 2.35 показаны спектры рассеяния Мандельштама – Бриллюэна этих веществ на температуре T_A (кроме этанола, у которого пик альфа-релаксации имеет низкую интенсивность и находится на 4 ГГц при T_A), в спектральной области, где доминирует пик альфа-релаксации.

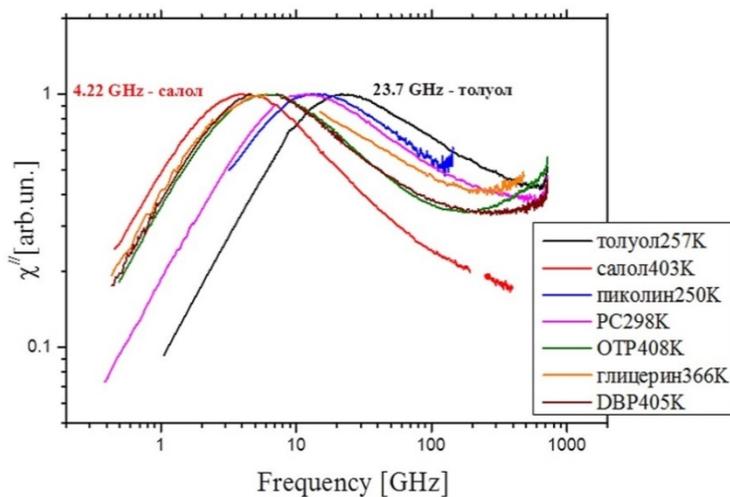


Рис. 2.35. Спектр рассеяния Мандельштама – Бриллюэна в области пика альфа-релаксации при $T = T_A$ для семи стеклующихся жидкостей

Из рисунка видно, что положение пика варьируется от 4 до ~ 24 ГГц для различных стеклующихся веществ (соответствующее время релаксации от 40 до 6.6 пс). Можно заключить, что хотя время релаксации $\tau_\alpha(T=T_A)$ одного порядка для различных веществ, есть систематическая тенденция к увеличению положения максимума (укорочение времени релаксации) с ростом индекса фрагильности стеклующейся жидкости. Полученный результат находится в качественном согласии с недавним анализом, проведенным в [3] для модельных предсказаний перехода от аррениусовского к неаррениусовскому поведению.

Различия в значении времени релаксации при T_A в совокупности с примерно одинаковым значением спектрального положения максимума микроскопического пика означает существенное различие во влиянии альфа-релаксации на затухание колебательных мод, составляющих микроскопический пик. Таким образом, гипотеза о том, что температура T_A универсальным образом соответствует передемпфированию микроскопического пика, не подтвердилась.

Определено влияние криопротектора глицерина на кинетику фотовыцветания линий цитохрома в замораживаемых дрожжевых клетках. Получено, что использование криопротекторного раствора (10 % водный раствор глицерина) изменяет кинетику фотовыцветания, которая отражает дыхательную активность клеток. На рис. 2.36 показана температурная зависимость времени фотовыцветания резонансных линий цитохрома в дрожжевых клетках от температуры. Видно, что выше температуры кристаллизации раствора данные для клеток в физиологическом растворе и клеток в водном растворе глицерина совпадают. Ниже температуры образования льда данные существенно различаются – скорость фотовыцветания в 3–4 раза выше в случае раствора с криопротектором. Этот эффект мы связываем с различием в доступности кислорода для двух вариантов растворов: при замораживании физиологического раствора образуются замкнутые полости, в которых находятся клетки, и, соответственно, аноксия нарушает работу дыхательной цепи клетки. В случае кристаллизации части воды водного раствора глицерина замкнутой сетки не образуется, для клеток есть доступный кислород, а падение скорости реакций может быть связано с увеличением вязкости цитоплазмы.

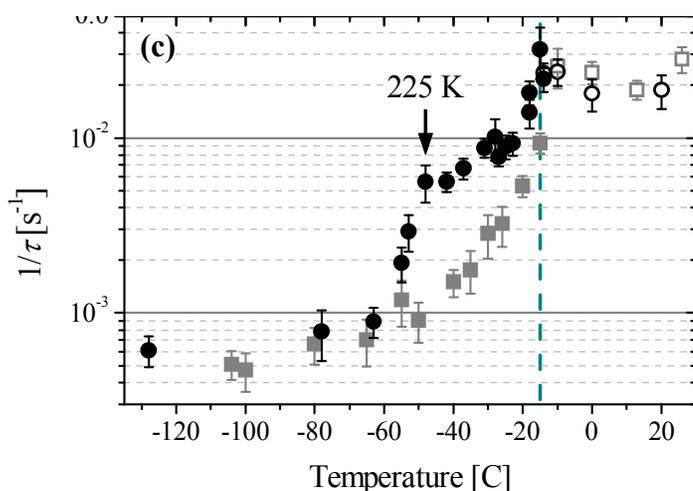


Рис. 2.36. Зависимость обратного времени фотовыцветания резонансных линий цитохрома в дрожжевых клетках от температуры. Квадратами показаны данные для клеток в физиологическом растворе, кружками – для клеток в водном растворе глицерина. Штриховой линией показана температура образования льда. Результаты получены для интенсивности облучения 2,4 мВт при фокусировке в область ~ 1 мкм²

Исследовано поведение колебательных мод ОН-групп в различных фазах сегнетоэлектрика KDP и его дейтерированного аналога DKDP. Были измерены спектры КРС этих кристаллов для различных поляризационных условий и при различных температурах, включающих в себя сегнетоэлектрическую и параэлектрическую фазы. Решалась задача определения линий в спектрах КРС соответствующих колебательных мод ОН-групп. В литературе существуют 2 варианта ответа для этой задачи. Распространено мнение, что валентное колебание находится в районе $1300\text{--}1350\text{ см}^{-1}$, и эта интерпретация находится в согласии с эмпирической корреляцией между частотой колебания и расстоянием О–О в кристалле KDP. Другая версия заключается в том, что моды в районе 2600 и 2400 см^{-1} являются валентными колебаниями ОН с водородными связями. Оба варианта ответа согласуются с сопоставлением мод для протонированного и дейтерированного кристаллов KDP. Для решения вопроса об отнесении мод нами было предложено рассмотреть температурную зависимость мод. На рис. 2.37 показано относительное изменение спектрального положения мод при понижении температуры.

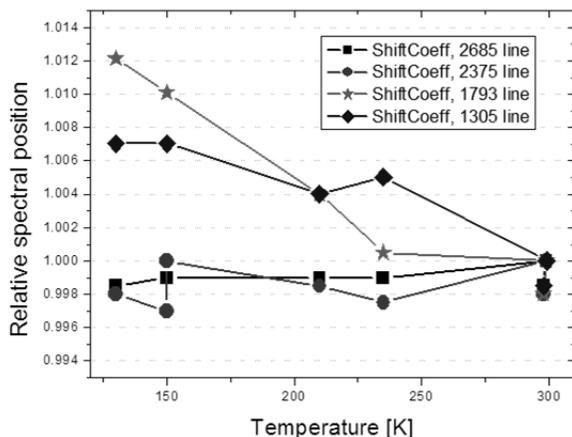


Рис. 2.37. Относительное изменение линий КРС в кристалле KDP при понижении температуры (относительно значения при комнатной температуре)

Видно, что частота валентных (растягивающих) колебательных мод ОН-групп слегка понижается с понижением температуры, что контрастирует с ожидаемым поведением для валентных мод без водородной связи или деформационных мод ОН-групп, позиция которых увеличивается с понижением температуры. Из рисунка ясно, что поведение мод 1305 и 1793 см^{-1} не соответствует предположению о том, что они являются валентными колебаниями ОН с водородными связями. С другой стороны, так как эти моды включают в себя движение ОН-групп (по сравнению со спектрами дейтерированных образцов), то приходим к заключению, что эти моды отражают колебательные моды ОН-групп деформационного типа. Поведение мод 2685 и 2375 см^{-1} согласуется с предположением, что они являются валентными колебаниями ОН с водородными связями.

Изучена фазовая диаграмма криопротектора глицерин–вода в зависимости от протокола охлаждения. Для этих целей водные растворы глицерина различного состава охлаждались с различными скоростями, а

затем при нагревании измерялась теплоемкость образцов как функция температуры (дифференциальная сканирующая калориметрия, ДСК). По кривой ДСК были определены температуры стеклования раствора, кристаллизации и плавления. Построена фазовая диаграмма для значений температуры стеклования растворов различного состава. Для анализа состава стеклующейся части водного раствора глицерина была применена спектроскопия КРС в области СН и ОН валентных колебаний. Результаты исследований водных растворов глицерина методом КРС подтвердили вывод, сделанный из анализа фазовой диаграммы, что в кристаллизованных растворах всегда присутствует застеклованная часть раствора, которая соответствует 75 вес. % раствору глицерина [4].

(Лаборатория спектроскопии конденсированных сред)

Публикации:

1. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Kovalevskii V.I., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Borzdov Yu. M., Raevskii I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Local residual stresses in pressure-treated barium titanate powders probed by second harmonic generation // *Ferroelectrics*, 2016, v. 501, № 1. P. 9–14.
2. Pugachev A.M., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V. Borzdov Yu. M., Raevskii I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Local residual stresses in pressure-treated barium titanate powders probed by inelastic light scattering // Там же, v. 496, № 1. P. 225–230.
3. Novikov V.N. Connection between the glass transition temperature T_g and the Arrhenius temperature T_A in supercooled liquids // *Chemical Physics Letters*, 2016, v. 659. P. 133–136.
4. Карпегина Ю.А., Окотруб К.А., Е.Ю. Brusentsev, Амстиславский С.Я., Суровтсев Н.В. Cryoprotectant redistribution along the frozen straw probed by Raman spectroscopy // *Cryobiology*, 2016, v. 72, № 2. P. 148–153.

Экспериментальное исследование влияния объемной диффузии в вязком полимерном слое на процесс столкновения атомов с его поверхностью (ответственные исполнители: к.ф.-м.н. Атутов С.Н., д.ф.-м.н. Плеханов А.И.).

Проведены всесторонние исследования рубидиевых резонансных ячеек, внутренние стенки которых были покрыты плёнками полидиметилсилоксана (ПДМС). Смоделирована диффузия Rb как в ячейке, так и в полимерном покрытии при условии, что основная потеря атомов Rb связана с физической абсорбцией атомов на стекле под покрытием. Экспериментально обнаружено, что равновесная плотность атомов в ячейке является монотонной функцией от толщины покрытия: плотность увеличивается с увеличением толщины покрытия.

Измерена зависимость коэффициента диффузии от времени отверждения покрытия, обусловленного его полимеризацией в присутствии щелочных атомов. Аномально длительное время пребывания атомов Rb на покрытии ПДМС объяснено столкновением атомов с пористой поверхностью полимера. На основе построенной модели был определён коэффициент диффузии для рубидия в тонких пленках ПДМС, который составил величину $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{с}$.

Обнаружено, что время жизни поляризованных состояний атомов рубидия определяется убеганием этих атомов в источник паров рубидия с металлической каплей рубидия, релаксацией поляризованных состояний на поверхности ПДМС из-за ненулевого времени пребывания атома на поверхности и физической адсорбцией поляризованных атомов на поверхности стекла под покрытием.

Показано, что убегание атомов в источник (рис. 2.38) является основным фактором, ограничивающим время жизни поляризованных атомов, а не качество покрытия, как полагалось ранее. Это ограничение становится особенно существенным в малогабаритных ячейках, применяемых для создания компактных атомных часов.

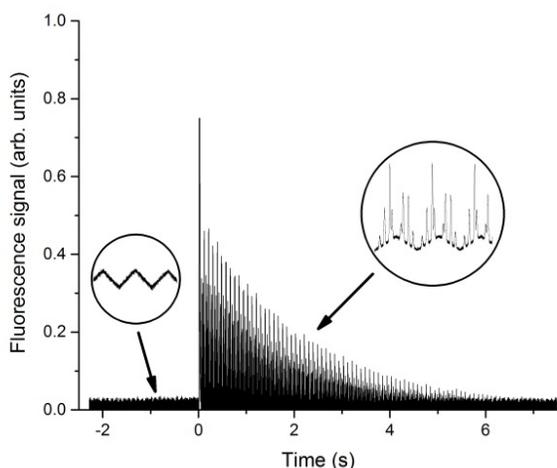


Рис. 2.38. Зависимость от времени плотности паров рубидия в резонансной ячейке. Пары экстрагированы из парафинового покрытия импульсом света в момент времени «0»

(Лаборатория физики лазеров)

Публикации:

1. Atutov S.N., Benimetskiy F.A., Plekhanov A. I., Sorokin V.A. Study of Rb-vapor coated cells - Atomic diffusion and cell curing process // The European Physical Journal D, 2016, v. 70, iss. 2. Article: 40, 6 P.
2. Atutov S.N., Benimetskiy F.A., Plekhanov A.I., Sorokin V.A., Yakovlev A.V. Diffusion of RB atoms in paraffin-coated resonant vapor cells // European Physical Journal D (в печати).

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.).

Композитные среды, включающие металлические наночастицы (НЧ) и супрамолекулярные структуры, обладают особыми оптическими, нелинейными и спектральными характеристиками, которые можно применить при конструировании новых оптических материалов и устройств с размерами, меньшими длины волны света. Сильные локальные поля НЧ позволяют управлять переносом сигнала, локализовать энергию и локально воздействовать на биологические объекты, например раковые

клетки. Построение теории, описывающей динамические нелинейные процессы при взаимодействии света с такими наносистемами, имеет практический интерес.

Такая теория была развита [1, 2]. Она описывает нелокальную, нелинейную динамику экситон-плазмон-поляритонного взаимодействия в наносистеме, включающей НЧ и J-агрегаты красителей. На базе построенной модели проведен анализ экспериментальных данных, полученных коллегами (Харьков, ИСМ УАН), исследовавших зависимость величины флуоресценции от типа J-агрегатов красителей, расстояния до НЧ металлов и другие характеристики. Изучались наносистемы красителей, образующих J-агрегаты в виде цилиндрических пучков и частиц Ag, и красителей, образующих тонкие пластины и дополнительно частицы Au. Выявлена роль *нелокальной* обратной связи полей экситонов и локальное поле НЧ. Получено количественно совпадение с экспериментальными данными. В стационарном пределе найдена зависимость спектральной плотности флуоресценции от расстояния h до НЧ, анализ которого выявил ряд характеристик среды, таких как число мономеров, взаимодействующих с НЧ (рис. 2.39).

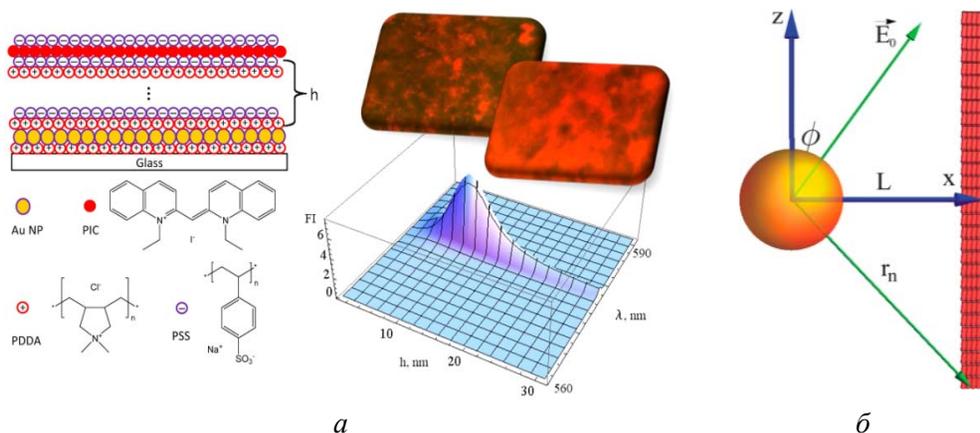


Рис. 2.39. Способ послойного синтеза агрегатов красителя, его формула и фотографии флуоресцирующих пластин. В виде 3D-графика показана теоретически и численно найденная и подтвержденная экспериментально зависимость интенсивности флуоресценции FI от h и длины волны для НЧ Au радиусом 8,5 нм (а).
Схема наносистемы, которая использовалась при построении модели (б)

На основе анализа выведенных уравнений *динамики* экситона с учетом деформации агрегата, локальных полей и действия внешнего поля проведено исследование условий формирования плазмон-поляритонных импульсов и переноса энергии в системе, состоящей из НЧ серебра и J-агрегатов красителя, моделируемых двухуровневой средой. Изучено влияние локальных полей индуцированных диполей металлических наночастиц, расположенных вблизи длинных молекулярных цепочек J-агрегатов красителей на *динамику* экситонных возбуждений. Показано, что в окрестности наночастицы реализуется локальная *бистабильная* зависи-

мость амплитуды и фазы поляризации среды от амплитуды внешнего поля. Численный анализ уравнений выявил реализуемые в эксперименте параметры поля и среды, при которых экситонные возбуждения локализуются в окрестности НЧ [1].

Теоретически и численно изучен новый физический механизм *локализации* возбуждений среды солитонной формы в плоской системе оптических волноводов с примесными наноструктурами, образующими энергетические ловушки. В качестве ловушек предлагается использовать поглощающие или усиливающие двухуровневые среды. Показана возможность управления режимами распространения импульсов в ловушках внешним полем.

Аналитически и численно изучены механизмы фокусировки поля в *плотнупакованном* пакете НЧ, состоящих из металлического ядра и молекул красителя в окружающей оболочке (спазеров). Показано, что плоский пакет спазеров генерирует локальное поле, интенсивность которого может быть на порядки больше, чем в случае изолированных НЧ. Это явление может быть использовано при разрушении раковых клеток [2]. Исследованы экситон-поляритонные взаимодействия с учетом *изменения положения* квантовых точек с размером 1–2 нм в локальных полях экситонов, генерируемых в пакете J-агрегатов. Показано, что действие индуцированных дипольных моментов проявляется в градиентной силе, которая локализует или отталкивает НЧ от области возбуждения агрегата. Знак силы зависит от расстройки и начальных условий [3]. Результаты работы могут быть использованы при синтезе *новых наноразмерных метаматериалов*. Для анализа описания генерации *микроволновых* импульсов и их взаимодействия с наносистемой построено семейство интегрируемых эволюционных уравнений, описывающих комбинационное рассеяние вне рамок приближения медленной огибающей в среде с постоянным дипольным моментом, найдены точные решения, описывающие новые явления в этой области. Система применяется для анализа локализации экситонов в протяженной нелинейной среде вблизи квантовых точек с постоянным дипольным моментом [4].

(Тематическая группа нелинейной оптики)

Публикации:

1. Заболотский А.А. Оптическая бистабильность в системе молекулярных J-агрегатов и наночастиц золота // *Автоматрия*, 2016, т. 52, № 1. С. 92–103.
2. Заболотский А.А. Локальные электрические поля в ансамблях композитных наночастиц // *Там же*, № 4. С. 88–97.
3. Заболотский А.А. Нелокальное экситон-механическое взаимодействие в наносистеме // *ЖЭТФ*, 2016, т. 150, № 5. С. 879–890.
4. Заболотский А.А. Вынужденное комбинационное рассеяние в приближении однонаправленного распространения в среде с постоянными дипольными моментами // *Там же*, т. 149, № 1. С. 53–63.

Исследование влияния шероховатости поверхности диэлектрика на достижение предельной плотности энергии электрического поля в нанозазоре тонкопленочной структуры «подвижный электрод – диэлектрик – электрод», а также на характеристики поведения во времени пироэлектрического тока в указанной структуре. Оптимизация конструкции элемента неохлаждаемой пироэлектрической матрицы и разработка методики его характеристики (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Косцов Э.Г.).

При наличии подвижного электрода вблизи поверхности кристаллического диэлектрика основным фактором, определяющим удельную энергоемкость структуры, является величина зазора между двумя материалами. В настоящее время все большее внимание в микро/нанoeлектронике уделяется понятию «нанозазоры», в большинстве случаев их площадь ограничена значениями 10^{-12} – 10^{-14} м², при современной технологии трудно ожидать значительного увеличения этой площади.

Предлагаемый принцип создания нанозазоров, заключающийся в электростатическом прижатии тонкой пленки металла (бериллиевая бронза толщиной 1–2,5 мкм) к поверхности сегнетоэлектрика с высоким значением диэлектрической проницаемости ϵ более 1000–5000, дает возможность многократного увеличения этой площади до значений 10^{-4} – 10^{-2} м² и более, что открывает возможность создания нового класса микроэлектронных устройств с не имеющими аналогов характеристиками.

Показано, что при определении параметров указанных структур, в частности их энергоемкости, необходимо учитывать шероховатость поверхностей, которая накладывает ограничение на предельную среднюю величину нанозазора.

Шероховатость обычно характеризуется совокупностью нескольких параметров, среди которых наиболее значимые, в пределах исследуемой поверхности образца: R_{\max} – величина разницы между максимальным и минимальным значением координаты Z , R_{mean} – величина среднего значения координаты Z на поверхности образца, R_a – величина среднего значения шероховатости поверхности образца.

На рис. 2.40 представлено типичное 3D-изображение поверхности сегнетоэлектрической пленки НБС, образец N180504, размер площади 10×10 мкм (зондовый микроскоп SOLVER P47-PRO, лаборатория физики и технологии трехмерных наноструктур, ИФП СО РАН), величина среднего значения шероховатости поверхности этого образца в пределах указанной площади равна 14 нм.

Экспериментально установлено, что при контакте указанных поверхностей минимальная величина среднего по площади нанозазора, с учетом прогиба металлической пленки под действием больших электростатических сил прижатия поверхностей до 10^3 – 10^4 кг/м², составляет при оптимальной технологии изготовления пленки НБС 3–5 нм.

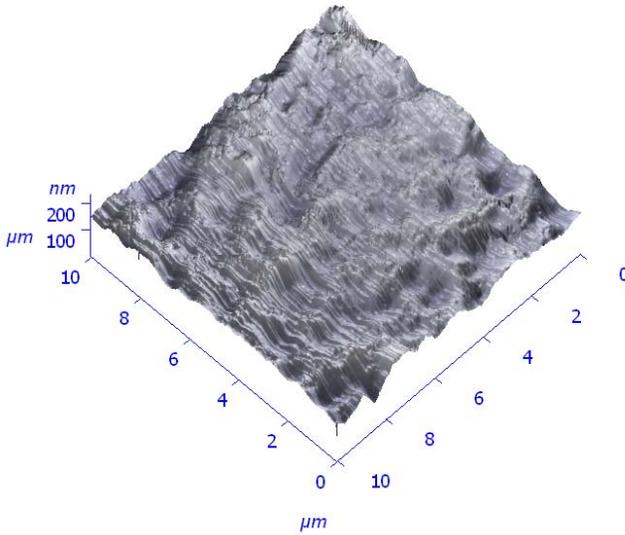


Рис. 2.40. Типичное 3D-изображение поверхности сегнетоэлектрической пленки НБС

Экспериментально установлено, что напряженность поля в нанозазоре с учетом высокой электрической прочности СП может достигать значений 10^8 – 10^{10} В/м, а плотность энергии электрического поля в нанозазоре – до 10^8 Дж/м³.

Показано, что нанозазоры, формируемые при осаждении тонких металлических пленок как неподвижных электродов на шероховатую поверхность сегнетоэлектрика, практически не оказывают влияния на характер первоначального поведения пироэлектрического тока в момент воздействия наносекундного импульса излучения. Определяющим фактором в этом случае является большая площадь прямого контакта электрода и сегнетоэлектрика. На рис. 2.41 приведен пример поведения пироэлектрического тока (синие линии) в указанной структуре при воздействии на нее коротких импульсов излучения (желтые линии).



Рис. 2.41. Пироэлектрический ток в тонкопленочной структуре Cr-НБС-ITO. Подложка сапфир. $S = 5 \cdot 10^{-7}$ м². $I^{\max}(t) = 10^3$ Вт/м², $J_p^{\max}(t) = X10^3$ А/м²

Спецификой исследования поведения наносекундных импульсов пироэлектрического тока в указанных структурах является высокая величина их удельной емкости. Для определения значения пироэлектрического тока, генерируемого наносекундными импульсами излучения, был раз-

работан специальный широкополосный трансимпедансный усилитель, параметры пиротока определялись по выходному напряжению усилителя.

Показано, что для эффективного использования энергии излучения с заданной его длительностью $t_{\text{имп}}$ в формировании пироэлектрического тока необходимо оптимизировать толщину пироэлектрической пленки d_p . Она должна быть меньше $(2 * t_{\text{имп}} \chi)^{0,5}$, где χ – температуропроводность материала пироэлектрика. Величина d_p является технологическим параметром, априори задаваемым при выборе конструкции указанных структур.

(Лаборатория тонкопленочных сегнетоэлектрических структур)

Публикации:

1. Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A. Single-capacitor electret impact microgenerator // *Micromachines*, 2016, v. 7, № 1. P. 2–11.
2. Фадеев С.И., Косцов Э.Г., Пиманов Д.О. Исследование математической модели микроэлектромеханического резонатора типа платформа // *Вычислительные технологии*, 2016, № 2, т. 21. С. 63–87.
3. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Тепловые приемники неохлаждаемых многомерных тепловизионных матриц. Ч. II. Новые, нетеплоизолированные элементы // *Автоматика*, 2016, № 1. С. 104–115.
4. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Буханец Д.И. Оценка максимальной удельной мощности емкостных электростатических микрогенераторов // *Нано- и микросистемная техника*, 2016, № 8. С. 518–528.
5. Иванов С.Д., Косцов Э.Г., Соболев В.С. Наносекундный приемник ИК-излучения на основе тонких пироэлектрических пленок // *Успехи прикладной физики*, 2016, т. 4, № 3. С. 289–293.

Развитие методов нестационарной терагерцовой спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения для исследования поверхностей, тонких слоев, жидких и твердых конденсированных сред (ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Анцыгин В.Д.).

Разработан и создан блок нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), обеспечивающий возможность исследования слоев жидких и твердых сред, а также границ их раздела методами нестационарной терагерцовой (ТГц) спектроскопии. Применение метода НПВО (проникновение терагерцовой волны из оптически более плотной среды в менее плотную на глубину порядка длины волны) дает возможность изучать различные образцы, которые обладают сильным ($\alpha \geq 500 \text{ см}^{-1}$) поглощением в ТГц области спектра. В частности, это особенно важно для биологических объектов в среде, которые обладают сильным поглощением из-за присутствия воды в свободном или связанном состоянии. Блок-схема устройства НПВО представлена на рис. 2.42. В качестве базового элемента устройства применена призма из высокоомного кремния (5), обладающего большим показателем преломления ($n \approx 3,418$) и малым поглощением в ТГц области спектра ($\alpha \leq 0,1 \text{ см}^{-1}$). Применение двух элементов Пелтье на торцах кремниевой призмы позволяет устанавливать и поддерживать температуру образца в области $0 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$ с точностью $\sim 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$. От-

дельный элемент Пелтье (8) обеспечивает вымораживание атмосферной влаги в объеме блока НПВО. Измерения могут выполняться в различных газовых средах, в том числе в обычной атмосфере или в атмосфере сухого азота.

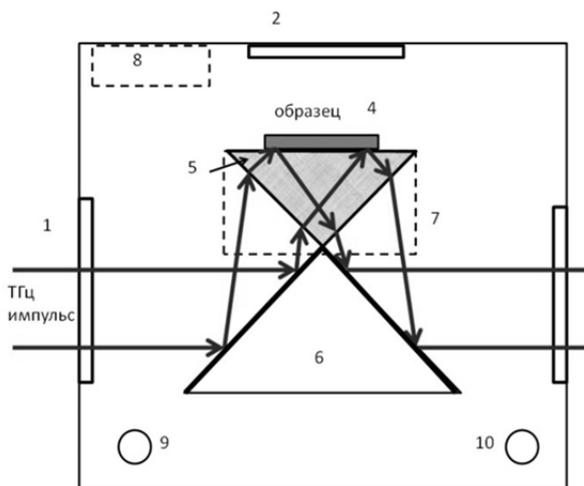


Рис. 2.42. Блок-схема устройства НПВО: 1, 2, 3 – окна из плавленного кварца; 4 – исследуемый образец; 5 – призма из высокоомного кремния; 6 – призма с напыленными металлическими зеркалами; 7, 8 – элементы Пелтье; 9, 10 – штуцеры для откачки и заполнения объема камеры

Для управления работой ТГц спектрометра с блоком НПВО разработаны и созданы программно-алгоритмические средства, включающие обработку результатов измерений отражения ТГц импульсов от исследуемых материалов с целью определения их оптических терагерцовых свойств. Для проверки работоспособности ТГц спектрометра с блоком НПВО проведены измерения ТГц свойств воды и этилового спирта в спектральной области 0,1÷1,2 ТГц, результаты при 20 °С которых представлены на рис. 2.43.

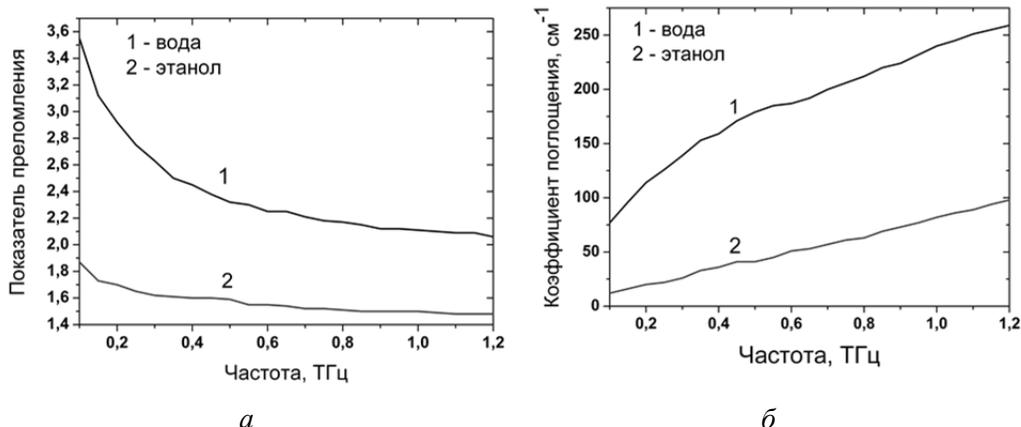


Рис. 2.43. Показатели преломления и коэффициенты поглощения воды (а) и этанола (б) при 20 °С

Установлено, что точность определения терагерцовых оптических свойств с помощью ТГц спектрометра и блока НПВО определяется качеством линейной поляризации терагерцового излучения. Для повышения точности измерений показателя преломления и коэффициента поглоще-

ния до второго знака после запятой предложено применять в качестве поляризаторов элементы из германата свинца, обладающего большим дихроизмом в ТГц области спектра [1–4].

(Лаборатория информационной оптики)

Публикации:

1. Анцыгин В.Д., Лосев В.Ф., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Особенности исследования анизотропных сред методами импульсной терагерцовой спектроскопии // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 71–78.
2. Vlasov M.Y., Losev V.F., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Optical properties of lead germanate $Pb_5Ge_3O_{11}$ in terahertz range // Journal of Physics: Conference Series, 2016, v. 737, is. 1. P. 12022–5.
3. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Терагерцовые свойства германата свинца в области фазового перехода // V Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 4–6 февраля 2016). С. 31–32.
4. Власов М.Ю., Николаев Н.А., Меркулова И.Е. Терагерцовая спектроскопия нелинейных сред // Российско-японская конференция «Передовые материалы–2016: синтез, обработка и свойства наноструктур» (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Новосибирск, 2016. С. 39.

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 пассивной синхронизации мод волоконных лазеров при запрыгивающей инжекции генерируемого излучения в лазерный резонатор (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Смирнов Г.И.).

На основе численного моделирования исследуется новый режим генерации волоконных лазеров, в котором пассивная синхронизация мод реализуется одновременно с режимом регулярных незатухающих пиков излучения, вызванных внутррезонаторным насыщающимся поглотителем [1, 2]. Такой суперпозиционный режим возникает за счет того, что часть выходного излучения лазера (рис. 2.44), состоящего из элементов 1–4, работающего в пиковом режиме, выводится из генерационного резонатора и через определенное время задержки, определяемое длиной волокна 5, инжектируется в лазерный резонатор. Для реализации такого режима необходимо, чтобы время задержки было близко к временному интервалу между соседними пиками.

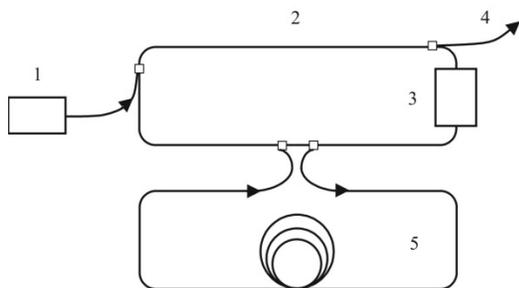


Рис. 2.44. Схема исследуемого лазера: 1 – источник накачки, 2 – усиливающее волокно, 3 – устройство, создающее нелинейные потери, уменьшающиеся с ростом интенсивности, 4 – система вывода генерируемого излучения, 5 – оптоволоконная линия задержки

На рис. 2.45 показано изменение энергии излучения со временем $J(\zeta)$ в активном кольцевом резонаторе в установившемся после переходного процесса режиме генерации.

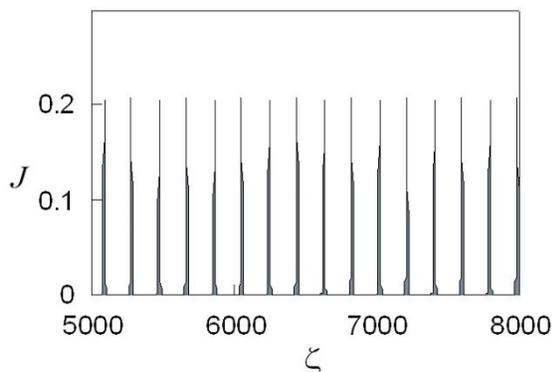


Рис. 2.45. Энергия излучения в генерационном резонаторе J как функция числа проходов поля по этому резонатору ζ для устанавливающегося режима генерации, реализующегося после переходного процесса

При отсутствии оптоволоконной линии задержки 5 в задающем генераторе, работающем в режиме регулярных незатухающих пичков, реализующем за счет нелинейных потерь 3, каждый генерируемый пичок формируется из начального излучения, интенсивность которого сравнима с интенсивностью внутрирезонаторного спонтанного шума. В результате в каждом импульсе выходного цуга возникает своя, не зависящая от предыстории, пространственно-временная структура поля, что связано со стохастичностью затравочного излучения. В случае использования оптоволоконной линии задержки 5 каждый последующий пичок рождается из затравочного излучения предыдущего пичка. Возникающая преемственность характеристик генерируемых пичков обеспечивает режим пассивной синхронизации мод в предлагаемом лазере с резонатором восьмеричной конфигурации.

Обсуждаются преимущества предложенного режима генерации по сравнению с другими способами пассивной синхронизации мод волоконных лазеров. Главным из этих преимуществ является подавление механизмов структурирования мощных импульсов при их прохождении в протяженных волокнах. Предложенный режим представляет интерес для разработки генераторов устойчивых воспроизводимых высокоэнергетических импульсов света на основе волоконных лазеров.

(Лаборатория нелинейной физики)

Публикации:

1. Комаров А.К., Дмитриев А.К., Комаров К.П., Санчес Ф. Пассивная синхронизация мод волоконного лазера, работающего в режиме регулярных незатухающих пиков // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 121. С. 153–158.
2. Sanchez F., Komarov A., Grelu Ph., Salhi M., Komarov K., Leblond H. Collective dissipative soliton dynamics in passively mode-locked fiber lasers // In the book “Nonlinear optical cavity dynamics: from microresonators to fiber lasers” edited by Philippe Grelu, Ch. 10. P. 312–346. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. – 2016. 544 p.

Исследование квантовых свойств и пространственной структуры заряженных доменных стенок в сегнетоэлектриках. Изучение линейных свойств и нелинейно-оптических эффектов в микрорезонаторах типа шепчущей галереи в отсутствие аксиальной симметрии (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Стурман Б.И.).

Аксиальная симметрия лежит в основе теории и приложений высокодобротных микрорезонаторов типа шепчущей галереи. Однако наличие важных анизотропных сред толкает исследователей к отказу от требования аксиальной симметрии. Показано теоретически и экспериментально, что влияние потери азимутальной симметрии из-за оптической анизотропии умеренно для частот и добротностей мод резонатора. В то же время влияние анизотропии на модовые функции весьма сильно. Это существенно модифицирует условия синхронизма для $\chi^{(2)}$ нелинейных процессов и делает возможными широкополосную генерацию второй гармоники и параметрическую генерацию, как иллюстрирует рис. 2.46, а. В свою очередь, это открывает возможность для широкого использования одноосных и двуосных кристаллов с широкими окнами прозрачности и большими нелинейными коэффициентами в нелинейной оптике микрорезонаторов.

Заряженные доменные стенки, обладающие металлической проводимостью и контролируемые в объёме сегнетоэлектрика, представляют повышенный научный интерес. Наиболее важный метод формирования устойчивых заряженных стенок предполагает слабое освещение с энергией фотонов выше ширины запрещённой зоны. Исследовано теоретически влияние такого освещения на основные свойства стенки, включая её энергию и пространственные профили поляризации, электростатического потенциала и компенсирующего заряда. Ключевые материальные параметры – это величина спонтанной поляризации, диэлектрическая проницаемость и концентрация ловушек. Основные предсказания – существенное понижение энергии стенки и уменьшение потенциала под действием света. Эти особенности способствуют формированию заряженных стенок и достижению металлической стеночной проводимости.

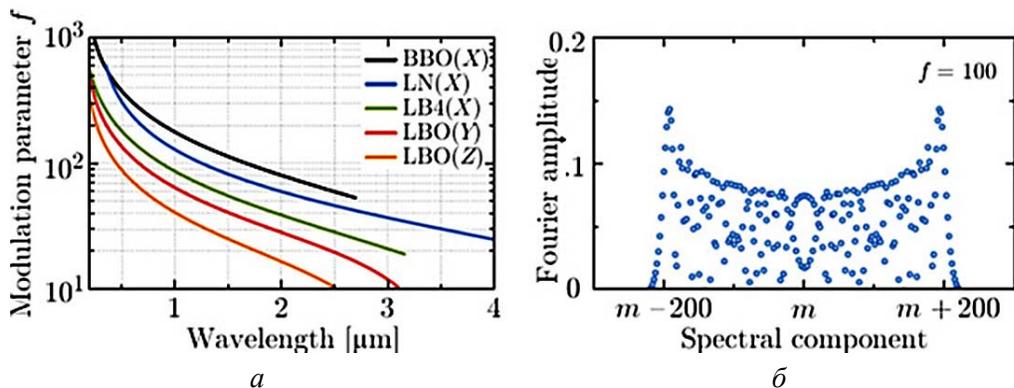


Рис. 2.46. Спектральная зависимость коэффициента фазовой модуляции f моды для нескольких оптически анизотропных кристаллов и радиусе резонатора $R = 1$ мм (а); трансформация азимутального дискретного Фурье спектра моды резонатора для $f = 100$ (б)

(Лаборатория нелинейной физики)

Публикации:

1. Fürst J., Sturman B., Buse K., Breunig I. Whispering gallery resonators with broken axial symmetry: Theory and experiment Acoustic whispering gallery modes within the theory of elasticity // Opt. Express, 2016, v. 24, № 8. P. 20143–20155.
2. Sturman B., Podivilov E. Charged domain walls under superbandgap illumination // Phys. Rev. B (submitted on 14.09.2016).

НАПРАВЛЕНИЕ IV.35. Когнитивные системы и технологии, нейрo-информатика 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., к.т.н. Дашевский О.Ю.).

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. Будников К.И., д.т.н. Кирьянов В.П., к.т.н. Кирьянов А.В.).

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 классификации гиперспектральных изображений на основе совместной обработки спектральных и пространственных данных (ответственный исполнитель к.т.н. Борзов С.М.).

Исследована эффективность методов спектрально-пространственной классификации гиперспектральных (ГС) данных [1–3]. Рассмотрены алгоритмы, учитывающих при анализе пикселей ГС изображений их локальные окрестности как на этапе предобработки исходных данных, так и при постобработке картосхем попиксельной спектральной классификации путем выбора наиболее часто встречающегося класса (рис. 2.47). При этом в качестве анализируемой окрестности используется либо прямоугольное окно, либо сегменты, сформированные из наиболее близких по параметрам пикселей.



Рис. 2.47. Спектрально-пространственная классификация с включением в анализ информации о ближайшей окрестности на предварительном и заключительном этапах

На примере крупноформатного изображения (размер 614×2677 пикс, разрешение 20 м/пикс, число каналов 220 в диапазоне 0,4-2,5 мкм, рис. 2.48) установлено, что эффективность обработки существенно зависит от способа формирования обучающей выборки (ОВ). Так точность спектральной классификации крупноформатного изображения при использовании в качестве ОВ всех пикселей выделенного фрагмента составила лишь 64,1 %, а дополнительная пространственная обработка позволила увеличить ее не более чем на 3 % (табл. 2.4, столбец 2). В случае обучения по выборке такого же объема, сформированной случайным образом из всего изображения, точность спектральной классификации повысилась до 70,5 %, а спектрально-пространственной – до 79,4 % (табл. 2.4, столбец 4).

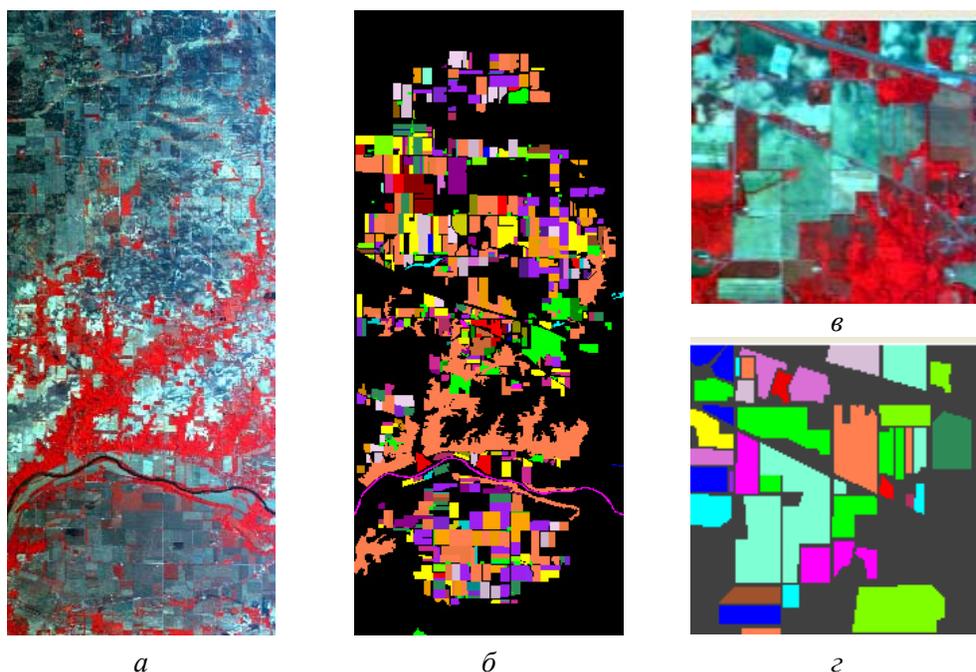


Рис. 2.48. Исходные данные: *a* – RGB (каналы 50:30:10) композит крупноформатного ГС изображения, *б* – эталонная картосхема классов изображения, *в* – RGB композит фрагмента, *г* – эталонная картосхема классов фрагмента

Продемонстрировано существенное различие результатов при обработке крупноформатного изображения и его фрагмента. Так при близкой точности спектральной классификации крупноформатного изображения и фрагмента (76,3 и 79,9 % соответственно) дополнительная пространственная обработка в первом случае позволила повысить ее до 84,0 % (табл. 2.4, столбец 6), а во втором – до 93,3 %, т. е. примерно на 7 и 14 %. При этом показано, что в обоих случаях методы, основанные на предварительном уточнении значений пикселей за счет пространственной обработки (до спектральной классификации), обеспечивают большую точность, чем методы, основанные на постобработке картосхем попик-

сельной спектральной классификации путем выбора доминирующего класса в локальных зонах (прямоугольных окнах или сегментах).

Таблица 2.4. Эффективность классификации крупноформатного изображения при различных ОБ

Методы классификации	ОБ – фрагмент изображения	ОБ – 20 пикселей на класс (~0.3%)	ОБ – объем как на фрагменте (~3%)	ОБ – 10% пикселей каждого класса	ОБ – 25% пикселей каждого класса
Спектральная классификация (SVM)	64,1 %	55,5 %	70,5 %	75,3 %	76,3 %
С предварительным сглаживанием (I)	67,1 %	58,9 %	79,4 %	82,1 %	84,0 %
С предварительным усреднением по сегментам (II)	61,8 %	59,6 %	73,9 %	79,4 %	81,4 %
С постобработкой голосованием по окрестности (III)	66,6 %	57,6 %	72,2 %	77,5 %	78,9 %
С постобработкой голосованием по сегментам (IV)	63,8 %	55,2 %	68,6 %	75,1 %	77,2 %

Исследованы методы формирования синтезированного изображения с увеличенной глубиной резкости из последовательности кадров, оперативно полученных при фокусировке на различную дальность. Разработан алгоритм, основанный на построении картосхемы дальностей путем анализа пирамиды контраста и взвешенном попиксельном суммировании исходных изображений с коэффициентами, пропорциональными числу отсчетов соответствующей дальности в каждой локальной окрестности [4].

(Лаборатория информационной оптики)

Публикации:

1. Борзов С.М., Потатуркин А.О., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Исследование эффективности классификации гиперспектральных спутниковых изображений природных и антропогенных территорий // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 3–14.
2. Борзов С.М., Мельников П.В., Пестунов И.А., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Комплексная обработка гиперспектральных изображений на основе спектральной и пространственной информации // Вычислительные технологии, 2016, т. 21, № 1. С. 25–39.
3. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Исследование эффективности спектрально-пространственной классификации данных гиперспектральных наблюдений // Автометрия, 2017, № 1 (в печати).
4. Борзов С.М., Голицын А.В., Потатуркин О.И. Алгоритм слияния последовательности дальностных изображений для приборов с электроуправляемым объективом // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 3. С. 388–394.

Исследование светотехнических характеристик инфракрасных фотоприемных устройств применительно к обнаружению изображений малогабаритных объектов с использованием вейвлет-анализа (ответственный исполнитель к.т.н. Козик В.И.).

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее путем обработки последовательностей изображений тестовых полей определять поэлементные светосигнальные зависимости, импульсную и пеленгационную характеристику, чувствительность и пороговую чувствительность по точечному объекту и т. п. Экспериментально оценены основные характеристики крупноформатных многомодульных сканирующих ИК фотоприемных устройств, связанные с отображением точечных источников, а также методы коррекции искажений, обусловленных пространственной неоднородностью чувствительных элементов и нелинейностью их светосигнальных зависимостей [1–3].

Определены достоверность линейной аппроксимации светосигнальных зависимостей и среднеквадратическое отклонение сигналов до и после линейных и нелинейных методов коррекции неоднородности элементов.

Показано, что коррекция амплитудных искажений с использованием линейного преобразования при работе в пределах квазилинейного участка светосигнальной характеристики обеспечивает снижение остаточной неоднородности примерно в 1,5 раза. Однако при обработке данных во всем диапазоне яркости существенное снижение остаточной неоднородности обеспечивает только применение кубической коррекции (в 1,6 раза).

Крупноформатные фотоприемные устройства предназначены, как правило, для использования в системах мониторинга поверхности Земли и околоземного пространства для обнаружения малоразмерных объектов, изображение которых определяется импульсным откликом системы. В этом случае применения вейвлет-анализа нецелесообразно, гораздо эффективнее согласованная фильтрация с фильтром, определяемым изображением точечного объекта. Её применение позволило улучшить пороговую чувствительность каналов по точечной цели более чем в 3 раза.

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

Публикации:

1. Борзов С.М., Дrajников Б.Н., Козик В.И., Потатуркин О.И., Синельщиков В.В. Оценка характеристик и исследования эффективности нелинейной коррекции данных крупноформатных тепловизионных фотоприемников // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2016, № 4. С. 14–21.
2. Борзов С.М., Громилин Г.И., Дrajников Б.Н., Козик В.И., Косых В.П., Потатуркин О.И. Оценка эффективности нелинейных методов коррекции данных крупноформатных тепловизионных ФПУ // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 205–208.
3. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Системы генерации динамических тестовых сигналов для испытания тепловизионных приборов // Там же. С. 209–214.

Экспериментальные исследования применения метода эмпирических мод (преобразования Гильберта – Хуанга) для классификации гиперспектральных спутниковых изображений. Разработка методов распознавания теле- и тепловизионных изображений с помощью сверточных нейронных сетей, исследование возможности реализации последних в комплекснозначном виде (ответственный исполнитель д.т.н. Нежженко Е.С.).

Проведены эксперименты по определению результирующей точности классификации гиперспектральных изображений (ГСИ) в случае, когда в качестве признаков используются параметры, полученные с помощью преобразования Гильберта – Хуанга, а само распознавание производится с помощью нейронных сетей [1]. ГСИ раскладывалось по системе функций, являющихся внутренними колебаниями, присущими анализируемому изображению. Функции базиса разложения называются эмпирическими модами (intrinsic mode function – IMF), их получение производится путем преобразования Хуанга (ННТ). Эмпирические моды являются аналитическими сигналами, путем преобразования Гилберта из них вычисляются мгновенные амплитуды и частоты, которые используются в качестве признаков распознавания объектов.

Экспериментальные исследования выполнены на широко известных тестовых фрагментах гиперспектральных изображений, предлагаемых в открытом пакете MultiSpec. Изображение получено в рамках программы AVIRIS (Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer) на опытном полигоне Индиан Пайс, размер фрагмента 145×145 пикс, разрешение 20 м/пикс, число каналов 220 в диапазоне 0,4–2,5 мкм. Фрагмент изображения и эталонная картосхема классов представлены на рис. 2.49.

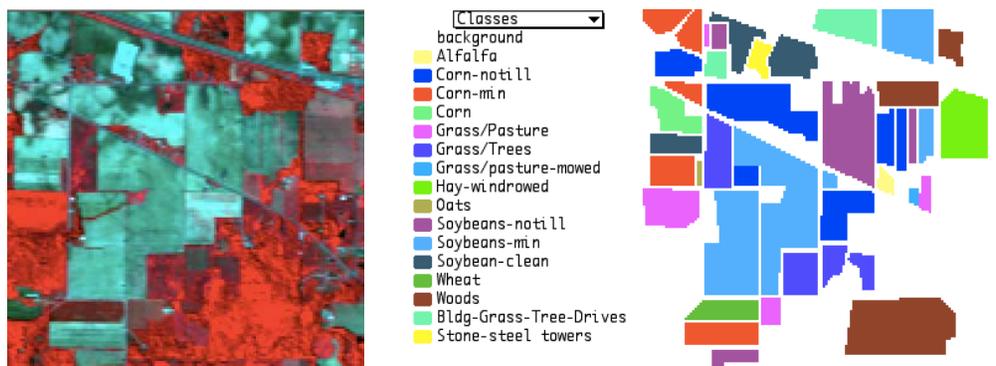


Рис. 2.49. Гиперспектральное изображение Indian Pine и эталонная картосхема

Этот фрагмент был преобразован к главным компонентам, 5 первых из них были разложены на эмпирические моды. Результат этих преобразований представлен на рис. 2.50. Каждая строка – это главная компонента (первый фрагмент) и ее 5 эмпирических мод.

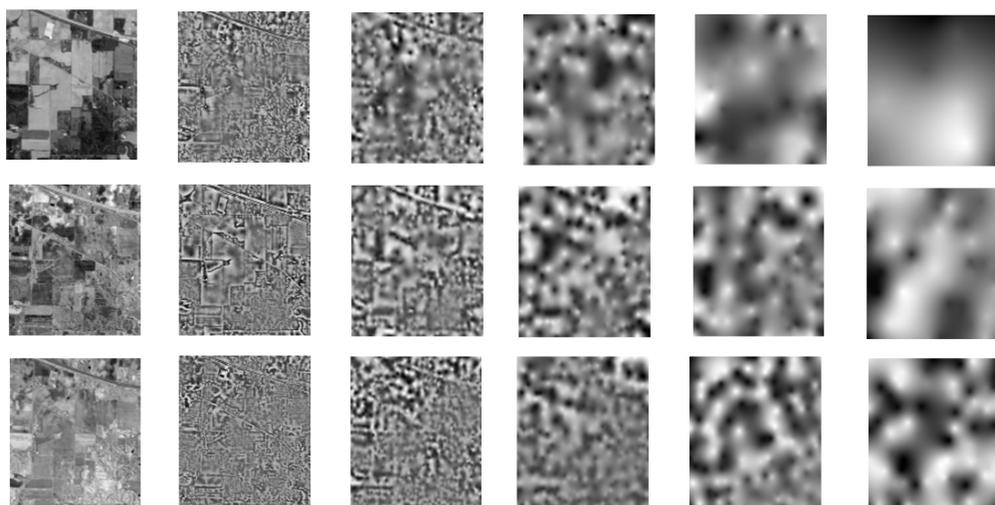


Рис. 2.50. Главные компоненты и их 5 эмпирических мод

Преобразование ННТ было проведено в программе, разработанной в среде Matlab, основными модулями которой являются модули преобразования Хуанга и Гильберта, для поиска локальных экстремумов реализованы операторы морфологической реконструкции, а для построения огибающих реализована аппроксимация как с помощью RBF функций, так и с помощью сплайнов.

Классификация проводилась в нейросетевом пакете программы STATSOFT. При этом конструировалось 10 нейронных сетей, из которых отбиралось 5 наилучших. Каждый массив делился случайным образом на 3 выборки: обучающую, контрольную и тестовую. Контрольная выборка использовалась для остановки процесса обучения.

Таким образом, было получено 3 массива, подлежащих классификации: массив спектральных компонент (МСК), массив главных компонент (МГК) и массив эмпирических мод главных компонент (МЭМГК). Решалась задача: определить точность классификации в каждом из массивов, а затем выбрать эффективную и наиболее экономичную систему признаков.

Обучение проводилось в следующих нейронных сетях: линейная сеть, многослойный перцептрон, сети на основе радиально-базисных функций (RBF-сети) с различным количеством элементов. Наилучшие результаты обучения и классификации были получены в RBF-сети. Результаты представлены долей верноклассифицированных пикселей: на обучающей выборке – $P_{об}$, на тестовой – P_T . На МСК (RBF-сеть из 121 элемента) $P_{об} = 0,756$, $P_T = 0,752$. Как видно, почти 25 % пикселей классифицированы неправильно. На МГК (RBF-сеть из 630 элементов) $P_{об} = 0,785$, $P_T = 0,720$. Т. е. классификация по главным компонентам практически не отличается от классификации по исходным признакам. А при использовании пространственной информации – эмпирических мод – МЭМГК (RBF-сеть из 824 элементов) – $P_{об} = 0,997$, $P_T = 0,993$. Таким образом, показано, что преобразование Гильберта – Хуанга в сочетании с

главными компонентами – весьма эффективное преобразование гиперспектральных изображений с точки зрения классификации.

Проведен анализ (в основном по литературным данным) сверточных нейронных сетей с целью выбора наиболее эффективного пакета для реализации систем классификации и синтеза теле- и тепловизионных изображений [2]. Из множества программных средств для реализации сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) и неразрывно связанного с ними глубокого обучения (deep learning) были выбраны Theano и Deeplearn Toolbox (Matlab R2016b). На Theano было проведено предобучение на базе данных Sifar 10 (10 классов) и Imagenet (1000 классов). Deeplearn Toolbox – система, открытая для обучения.

(Тематическая группа оптико-электронных специализированных процессоров)

Публикации:

1. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Исследование эффективности нейросетевой классификации гиперспектральных изображений с использованием преобразования Гильберта – Хуанга // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 4, № 1. С. 59–62.
2. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Системы генерации динамических тестовых сигналов для испытания тепловизионных приборов // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 209–214.

Теоретическое и экспериментальное исследование новых методов фильтрации проекций в задачах малоракурсной и локальной томографии. Разработка для этих случаев аппроксимаций гагр-фильтра посредством цифровых рекурсивных фильтров, адаптированных к имеющимся данным. Расчёт характеристик, определение оценок потенциальной точности томографической реконструкции при их использовании (ответственный исполнитель д.т.н. Лихачёв А.В.).

Была продолжена работа по исследованию рекурсивной фильтрации проекционных данных в задаче томографии области интереса [1, 2]. Предложен метод оценки коэффициентов, который был реализован для фильтра:

$$f_{\varphi}^F(jh) = b_0 f_{\varphi}(jh) + b_1 f_{\varphi}((j-1)h) - a_1 f_{\varphi}^F((j-1)h),$$

где f_{φ} – проекция, зарегистрированная под углом φ , через h обозначен шаг сетки. В результате были получены следующие выражения:

$$b_0 = \sqrt{2}, \quad b_1 = -\sqrt{2}, \quad a_1 = -1 + \Delta\omega \sqrt{4r_0/\gamma - 1}. \quad (2.3)$$

Здесь $\Delta\omega = 2\pi/(N-1)$, N – число отсчётов на проекции; r_0 – радиус области интереса, имеющей форму круга; γ – усреднённое отношение реальных частей первого и нулевого коэффициентов разложения в ряд Фурье одномерных проекций:

$$\gamma = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \left| \operatorname{Re} \{ \tilde{f}_{m\Delta\varphi}(\Delta\omega) \} \right| / \left| \operatorname{Re} \{ \tilde{f}_{m\Delta\varphi}(0) \} \right|.$$

На рис. 2.51, *a* представлена частотная характеристика фильтра (1), рассчитанная предложенным методом для радиуса области интереса $r_0 = 0,2$ и отношения $\gamma = 0,2$. Его импульсная характеристика приведена на рис. 2.51, *б*.

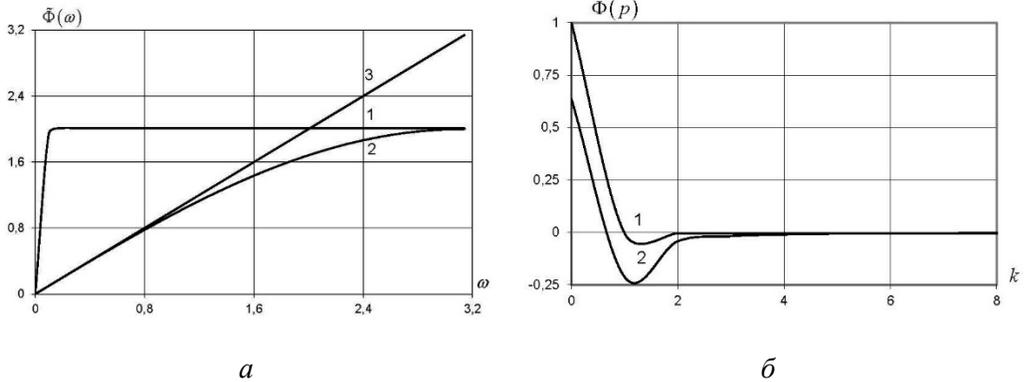


Рис. 2.51. Частотные (*a*) и импульсные (*б*) характеристики фильтров проекционных данных. Кривые 1 – предлагаемый рекурсивный фильтр; 2 – фильтр Шеппа-Логана, кривая 3 – функция $|\omega|$

На рис. 2.52, *a* представлены зависимости среднеквадратической ошибки по области интереса от коэффициента a_1 . Количество точек дискретизации N составляет 4097. Кривые 1, 2, 3 соответствуют радиусам области интереса $r_0 = 0,2$, $r_0 = 0,3$ и $r_0 = 0,4$. На каждой кривой кружком помечено значение коэффициента $a_1 = a_1^{th}$, полученное по формуле (2.3). Видно, что все кривые имеют единственный минимум. Это значит, что для заданных r_0 и N существует единственное значение $a_1 = a_1^{min}$, при котором ошибка реконструкции области интереса достигает минимума. По результатам проведённого вычислительного эксперимента оказалось, что значения a_1^{th} и a_1^{min} достаточно близки. В частности, $|a_1^{th} - a_1^{min}| = 0,0026$ для рис. 2.52, *б*.

Разработанный метод даёт существенное преимущество по сравнению с применением для фильтрации усечённых проекций стандартных томографических фильтров. На рис. 2.52, *б* показаны зависимости ошибки от радиуса области интереса. Кривая 1 – рекурсивная фильтрация (1) при $a_1 = a_1^{th}$, кривая 2 – фильтрации Шеппа – Логана с частотой отсечки, равной половине частоты Найквиста.

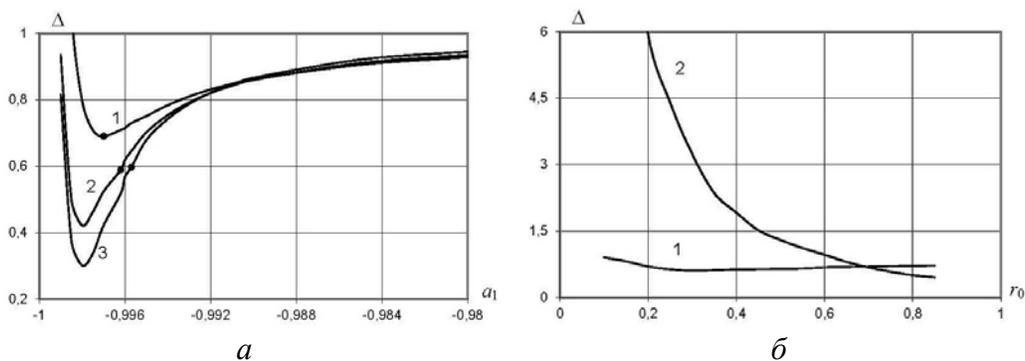


Рис. 2.52. Зависимости ошибки реконструкции от: величины коэффициента a_1 (а); радиуса области интереса (б)

Был предложен метод решения так называемой внешней задачи, в которой, в отличие от томографии области интереса, неизвестны проекционные данные от внутренних частей объекта. В частности, такая постановка возникает, когда в области исследования содержится тело, полностью поглощающее зондирующее излучение. В основе метода лежит условие Кавальери для преобразования Радона, которое использовалось при выполнении предыдущих этапов проекта для разработки алгоритма томографии области интереса.

Предлагаемый метод сравнивался с другими методами реконструкции в присутствии непрозрачного тела. В частности, было проведено сравнение с алгебраическими алгоритмами для малоракурсной постановки. Результаты приведены на рис. 2.53, где показаны зависимости ошибки от числа ракурсов наблюдения. Кривая 1 соответствует предлагаемому методу; кривая 2 – алгебраическому алгоритму ART; кривая 3 – линейной интерполяции проекций в области тени от непрозрачного тела. Для кривой 4 коррекции данных в области тени не производилось. Кривая 5 получена для полных проекций.

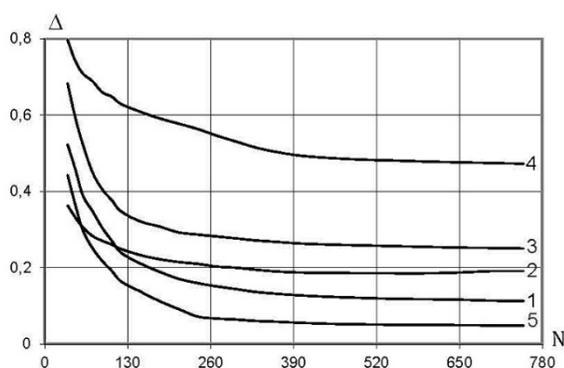


Рис. 2.53. Зависимости ошибки реконструкции от числа ракурсов наблюдения

(Тематическая группа информатики и прикладной математики)

Публикации:

1. Лихачев А.В. Разработка сглаживающих фильтров проекционных данных в задачах двумерной томографии // Цифровая обработка сигналов, 2016, № 3. С. 55–60.

2. Лихачев А.В. Исследование рекурсивной фильтрации проекционных данных в задаче томографии области интереса // Вычислительные технологии (в печати).

Исследование работы подсистем АСУ солнечных телескопов (ответственный исполнитель к.т.н. Лубков А.А.).

Проведено сравнение методов позиционирования изображения Солнца с применением телевизионной (Солнечный телескоп оперативных прогнозов СТОП-1) и фотодиодной (Большой солнечный вакуумный телескоп БСВТ) подсистем гидирования.

Показано [1], что погрешность гидирования при телевизионном методе изображения с использованием фильтрации составляет 0,51 пикселя.

Для телескопа СТОП-1 изображение Солнца на матрице ССD-камеры равно 570 пикселям. Так как средний видимый угловой размер Солнца равен 1920", то погрешность позиционирования не превышает 1,72".

Размер ССD-матрицы видеокамеры телескопа 1920×1080 пикселей. Получение данных для расчета магнитограммы Солнца осуществляется сканированием изображения всего солнечного диска вдоль большей стороны матрицы с одновременным получением последовательности спектров столбцов. Очевидно, что при таком методе сканирования линейный размер изображения Солнца не может превышать размера меньшей стороны и половины размера большей стороны матрицы, т. е. 960 пикселей. Однако отсутствие линейности в передаче изображения на периферийных областях матрицы привело к тому, что размер Солнца в подсистеме гидирования сокращен до 570 пикселей.

Увеличение точности позиционирования при использовании телевизионной системы гидирования требует увеличения разрядности ССD-матрицы и применения более совершенных алгоритмов субпиксельной фильтрации.

Перемещение изображения Солнца относительно датчиков фотодиодной подсистемы гидирования БСВТ [2, 3] осуществляется шаговыми двигателями сканирования зеркала гелиостата или координатометра. Перемещения контролируются энкодерами, встроенными в двигатели. Расчетная разрешающая способность:

– канала сканирования зеркалом $K_{\alpha} \approx 0,06"/\text{отсчет энкодера } \alpha$, либо $K_{\alpha} \approx 0,01158 \text{ мм}/\text{отсчет энкодера } \alpha$ (перемещение измеряется на палетке координатометра);

– канала перемещения координатометра $K_x \approx 0,006"/\text{отсчет энкодера } X$ либо $K_x \approx 0,00122 \text{ мм}/\text{отсчет энкодера } X$.

С учетом редукации в каналах сканирования Солнца зеркалом сидеростата и в каналах перемещения палетки координатометра соотношение передаточных функций этих каналов можно записать в виде

$$N_x = 9,51N_{\alpha},$$

где N_x и N_α – количество шагов энкодера двигателей X координатометра и α сканирования сидеростата соответственно.

АСУ БСВТ имеет цифровую систему координат, которую можно использовать для оценки погрешности позиционирования подсистемы гидирования.

Для этого:

- двигателями сканирования изображение Солнца переводится на заданное приращением координаты α расстояние;
- с некоторым запаздыванием двигателя координатометра, работающие в режиме слежения, перемещают палетку вслед за изображением;
- с учетом передаточного отношения вычисляются координаты палетки и сравниваются с ее фактическими координатами после останова;
- разность между расчетным и фактическим положением каретки равна абсолютной погрешности подсистемы гидирования.

Вычисленная погрешность кроме погрешности позиционирования края солнца включает и погрешность механики, возникающую за счет люфтов в редукторах приводов. По экспериментальной оценке максимальное значение люфта в канале перемещения координатометра равно 150 шагам энкодера, что может привести к ошибке в перемещении палетки на 0,18 мм или угловому смещению изображения Солнца 0,9".

Для БСВТ при большом размере изображения Солнца, равном 380 мм, погрешность позиционирования края Солнца на фотоприемнике можно просто измерить как разницу в положениях изображения Солнца относительно палетки до и после описанного выше ее перемещения за изображением Солнца. Экспериментально получено смещение менее 0,1 мм. Это эквивалентно погрешности позиционирования палетки относительно изображения не более 0,5" (вклад люфтов в погрешность отсутствует).

В перспективе замена фотодиодов на измерительные фотодиодные линейки, которые имеют до 40 чувствительных элементов на 1 мм, сможет обеспечить точность позиционирования не хуже 0,1".

(Лаборатория интегрированных информационных систем управления)

Публикации:

1. Пещеров В.С., Власов С.В., Лылов С.А. Определение координат центра изображения солнца в солнечных телескопах оперативных прогнозов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2016, т. 14, № 3. С. 61–68.
2. Ковадло П.Г., Лубков А.А., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С., Перебейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В., Томин В.Е. Система автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Автометрия, 2016, т.52, № 2. С. 97–106.
3. Котов В.Н., Власов С.В., Лубков А.А., Перебейнос С.В. Фотоэлектрическое устройство для слежения за Солнцем. Патент на полезную модель № 160483 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 8.

Исследование модели устройства фильтрации запросов к интернет-контенту на основе анализа интернет-протоколов в условиях стендовых испытаний в соответствии с разработанными методиками (ответственный исполнитель к.т.н. Будников К.И.).

По разработанной методике проведены стендовые испытания представленной ранее программной модели HTTP-фильтра (рис. 2.54) и двух ее вариаций [1].

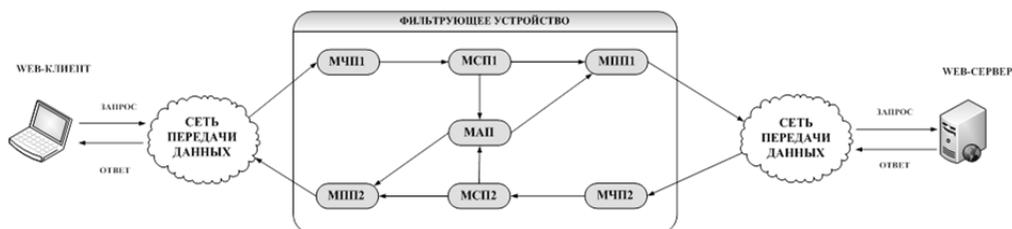


Рис. 2.54. Базовая модель HTTP-фильтра

Вариация А базовой модели HTTP-фильтра представляет собой устройство, в котором модули чтения пакетов (МЧП) и сортировки пакетов (МСП) объединены в единый модуль чтения и сортировки. В вариации В HTTP-фильтра по сравнению с базовой моделью модули сортировки объединены с модулем анализа пакетов (МАП).

Проведенные испытания показали [2], что при фильтрации запросов с ответом от Web-сервера размером в 1 Кбайт (рис. 2.55) преимущество перед сравниваемыми моделями имеет вариация А, а при фильтрации запросов с ответом размером в 100 Кбайт (рис. 2.56) – вариация В.

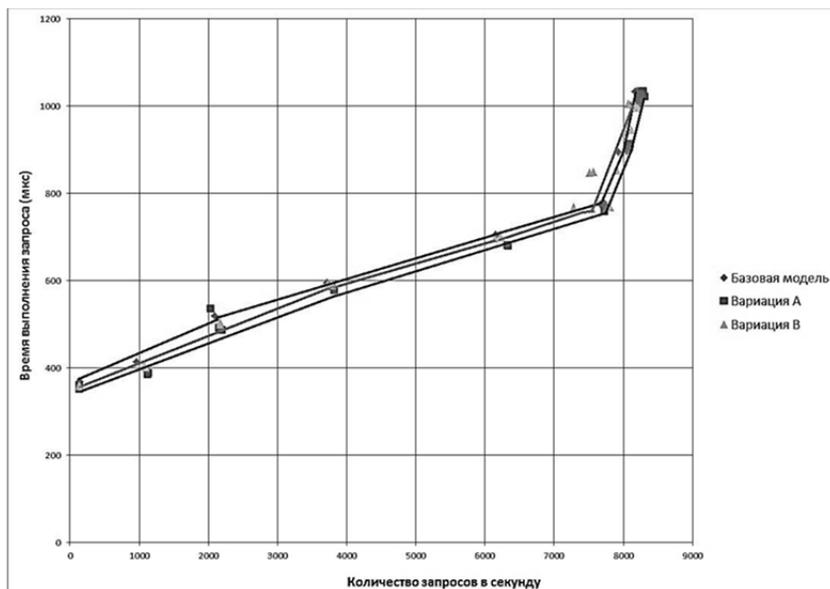


Рис. 2.55. Фильтрация запросов с ответом от Web-сервера размером в 1 Кбайт

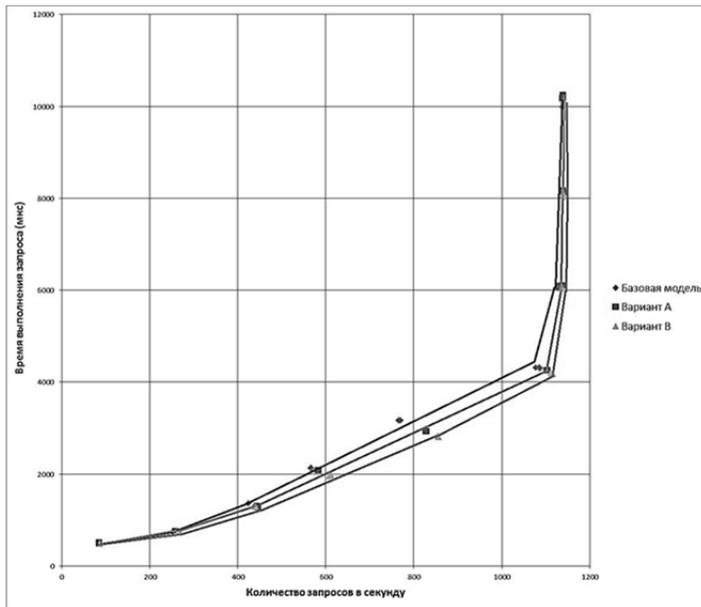


Рис. 2.56. Фильтрация запросов с ответом от Web-сервера размером в 100 Кбайт

Проведено имитационное компьютерное моделирование для получения экспериментальной оценки временного выигрыша при прохождении пользовательского запроса через фильтр при использовании метода пост-анализа по сравнению с методом предварительного анализа запроса. Для того чтобы исключить влияние сетевой инфраструктуры на работу модели, интерфейсы сети пользователя и сети Интернет эмулировались программно и все сетевые потоки данных протекали в памяти моделирующего компьютера.

Компьютерное моделирование показало уменьшение среднего времени прохождения пользовательского запроса к web-ресурсу через эмулируемое устройство фильтрации, которое работало в режиме пост-анализа запросов до 14 % по сравнению с устройством, работающим в режиме предварительного анализа запросов.

(Лаборатория интегрированных информационных систем управления)

Публикации:

1. Будников К.И., Курочкин А.В. Способ фильтрации потока HTTP-пакетов на основе пост-анализа запросов к Интернет-ресурсу и устройство фильтрации для его реализации. Патент на изобретение № 2599949 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 29.
2. Будников К.И., Курочкин А.В., Лубков А.А., Яковлев А.В. Управление доступом к web-ресурсу на основе пост-анализа HTTP-запросов // II Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016)» (г. Самара, Россия, 17–19 мая 2016). С. 419–423. URL: [http://elibrary.ru/item.asp?id=26715253]

Разработка программной архитектуры системы мониторинга и управления сложными техническими объектами на основе интеграции событийно-управляемых алгоритмических блоков, специфицированных средствами процесс-ориентированного программирования, и графической оболочки LabVIEW. Практическая апробация архитектуры на задаче управления углоизмерительной машины АЭ.1686 (ответственные исполнители: д.т.н. Курьянов В.П., д.т.н. Зюбин В.Е., к.т.н. Курьянов А.В.).

Предложена программная архитектура управляющей системы на базе графической оболочки LabVIEW, реализующей интерфейс оператора и взаимодействие с периферийными устройствами, в том числе мультимедийными, и событийно-управляемого алгоритмического блока (СУАБ), специфицируемого на процесс-ориентированном языке Рефлекс и интегрируемого как исполняемый dll-модуль штатными средствами LabVIEW [1–3]. Взаимодействие модулей в системе производится через механизм сообщений, реализованный посредством очередей LabVIEW (*queue*). Обмен с СУАБ организован по четырем каналам: канал входных дискретных переменных, канал дискретных выходных переменных, канал входных сообщений и канал выходных сообщений. Единичное сообщение состоит из трех элементов: код сообщения, параметр сообщения и тег параметра. Дискретные входные-выходные переменные передаются как массивы. В качестве редактора используется Notepad++, расширенный конфигурационным файлом синтаксиса языка Рефлекс. Согласование кодов сообщений между СУАБ и LabVIEW производится через имена констант VI-подпрограммой, разбирающей сгенерированный транслятором Рефлекс файл-описание констант. Команды оператора преобразуются в сообщения по событиям через структуру *event*. Предложенный подход обеспечивает сокращение трудозатрат на реализацию сложных управляющих программ для научно-исследовательских и экспериментальных комплексов. Произведена практическая апробация подхода на задаче создания системы управления углоизмерительной машиной АЭ.1686 (рис. 2.57).

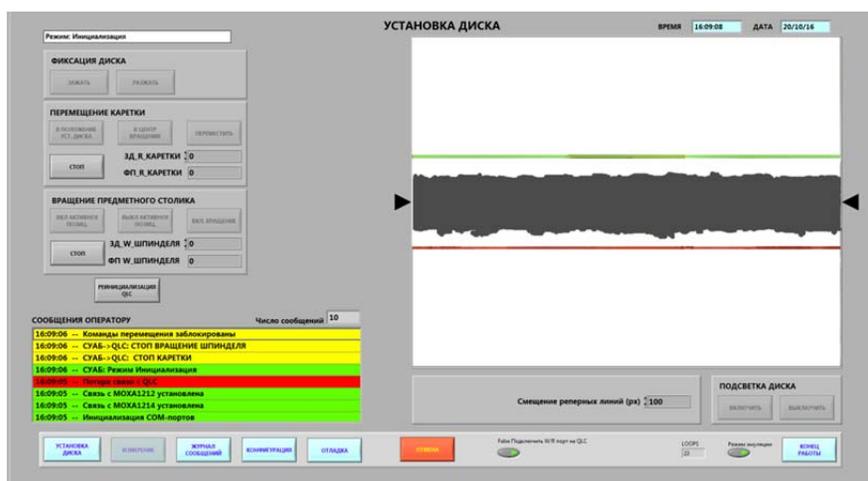


Рис. 2.57. Интерфейс оператора экрана «Установка диска» ПО системы управления углоизмерительной машиной АЭ.1686

ПО системы управления углоизмерительной машиной АЭ.1686 архитектурно состоит из СУАБ и функционально-интерфейсного комплекса, реализуемого средствами LabVIEW [4, 5]. Функционально-интерфейсный комплекс включает графический интерфейс оператора, модуль взаимодействия с контроллером углоизмерительной машины, модуль взаимодействия с модулями сопряжения МОХА, модуль управления сервоприводами QLC и вычислительный модуль обработки результатов измерений. Для связи с имеющейся в составе USB-камерой используется библиотека OpenCV. В системе предусмотрены ведение журнала работы с возможностью просмотра, конфигурирование и калибровка, режим отладки и режим аварийного приведения машины в безопасное состояние.

(Лаборатория интегрированных информационных систем управления, Тематическая группа языковых средств проектирования информационных систем управления)

Публикации:

1. Сизов М.М., Зюбин В.Е., Лях Т.В., Медведев А.М., Семенов Ю.И. Использование языка C# для обработки видеосигналов в системе автоматизации электронно-лучевой сварки // Промышленные АСУ и контроллеры, 2016, № 6. С. 38–43.
2. Лях Т.В., Зюбин В.Е., Сизов М.М. Опыт применения языка Reflex при автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Там же, № 7. С. 37–43.
3. Лях Т.В., Зюбин В.Е. Верификация промышленных алгоритмов управления методом Model checking в сочетании с концепцией виртуальных объектов управления // Системная информатика, 2016, № 8. С. 11–20.
4. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Чуканов В.В. Использование дифференциального метода измерений для контроля точности прецизионных углоизмерительных структур // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 45–52.
5. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Волохов И.В., Бобков А.В. Использование метода кругового сканирования для формирования и контроля топологии прецизионных фотошаблонов интегральных датчиков физических величин // Оптический журнал, 2016, № 7. С. 26–31.

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

ПРОГРАММА IV.36.1. 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. Котов К.Ю.).

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., к.т.н. Котов К.Ю.).

Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата (кинематика).

Под маршрутом движения летательного аппарата (ЛА) понимается проекция трехмерной траектории полета на горизонтальную плоскость. Основой планирования такого маршрута является указание координат поворотных пунктов маршрута (ППМ), определение траекторий движения между ними и траекторий поворотов в их окрестностях. На рис. 2.58 представлена схема фрагмента маршрута, состоящего из трех ППМ (P_1, P_2, P_3) и траекторий L_1, L_2, S_1 , к которым предъявляются специфические требования, вызванные ограничениями на перегрузки, испытываемые ЛА.

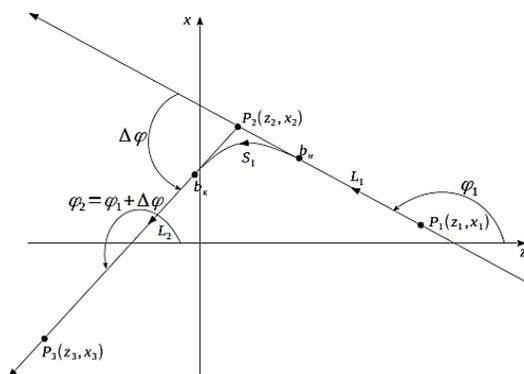


Рис. 2.58. Схема фрагмента маршрута

Будем считать, что движение по маршруту осуществляется с постоянной скоростью $V = const$ и, следовательно:

$$n = \frac{a_n}{g},$$

где a_n – нормальное ускорение.

В точках b_s и b_n начала и конца поворота соответственно прямые L_1 и L_2 должны быть касательными к кривой S_1 . Это необходимо для непрерывности траектории. Но для гладкости траектории этого недостаточно. Необходимо еще соблюсти равенство кривизны траекторий в точках сопряжения.

Некоторые определения.

Введем в рассмотрение радиусы-векторы $\bar{r}_1(z_1, x_1) = [z_1 \ x_1]^T$, $\bar{r}_2(z_2, x_2) = [z_2 \ x_2]^T$ и $\bar{r}(z, x) = [z \ x]^T$ точек P_1 , P_2 и произвольных точек $P(z, x)$, лежащих на прямых L_1 и L_2 соответственно (рис. 2.59).

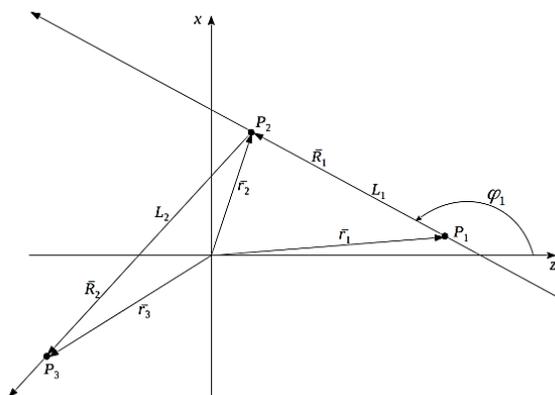


Рис. 2.59. Радиусы-векторы

Вектор $\bar{R}_1 = \bar{r}_2 - \bar{r}_1$ определяет направление движения ЛА от точки P_1 к точке P_2 , т. е. единичный вектор \bar{t}_1 касательной к траектории L_1 :

$$\bar{t}_1 = \frac{\bar{R}_1}{|\bar{R}_1|} = [(\bar{t}_1)_z \ (\bar{t}_1)_x]^T = [\cos \varphi_1 \ \sin \varphi_1]^T \quad (2.4)$$

и единичный вектор нормали к этой траектории

$$\bar{n}_1 = [(\bar{t}_1)_z \ -(\bar{t}_1)_x]^T = [\cos \varphi_1 \ -\sin \varphi_1]^T,$$

где φ_1 – угол между положительным направлением оси z и ориентированной прямой L_1 соответственно.

Прямые $L_1(z, x)$ и $L_2(z, x)$ определяются уравнениями:

$$L_1(z, x) = \bar{r}(z, x) \cdot \bar{n}_1 + c_1 = z \cdot \sin \varphi_1 - x \cdot \cos \varphi_1 + c_1 = 0 \quad ;$$

$$L_2(z, x) = \bar{r}(z, x) \cdot \bar{n}_2 + c_2 = z \cdot \sin \varphi_2 - x \cdot \cos \varphi_2 + c_2 = 0.$$

Константы c_1 и c_2 определяются из условия прохождения прямых L_1 и L_2 через точки P_1 и P_2 для L_1 и точки P_2 и P_3 для L_2 :

$$\begin{cases} c_1 = -\bar{r}_1(z_1, x_1) \cdot \bar{n}_1 = -\bar{r}_2(z_2, x_2) \cdot \bar{n}_1 \\ c_2 = -\bar{r}_2(z_2, x_2) \cdot \bar{n}_2 = -\bar{r}_3(z_3, x_3) \cdot \bar{n}_2 \end{cases}$$

Очевидно, величина и направление скоростей движения по прямым L_1 и L_2 определяются векторами

$$\bar{V}_1 = V \cdot \bar{t}_1, \bar{V}_2 = V \cdot \bar{t}_2.$$

Траектория.

В качестве траектории поворота S_1 примем клотоиду (спираль Корню), которая не только обеспечивает непрерывное с заданной скоростью изменение центростремительного ускорения, но и является самой короткой среди переходных кривых подобного класса.

Определим клотоиду в форме

$$\begin{cases} z(\tau) = a \cdot \int_0^\tau \cos \frac{\tau^2}{2} d\tau \\ x(\tau) = a \cdot \int_0^\tau \sin \frac{\tau^2}{2} d\tau \end{cases} \quad (2.5)$$

Соотношения (2.5) задают траекторию поворота S_1 в параметрической форме. Дважды дифференцируя (2.5) по параметру τ (безразмерное время), получаем:

$$\bar{V}(\tau) = a \cdot \begin{bmatrix} \cos \frac{\tau^2}{2} \\ \sin \frac{\tau^2}{2} \end{bmatrix} \quad u \quad \frac{d\bar{V}(\tau)}{d\tau} = a\tau \cdot \begin{bmatrix} -\sin \frac{\tau^2}{2} \\ \cos \frac{\tau^2}{2} \end{bmatrix},$$

т. е. векторы скорости и ускорения ЛА в функции параметра τ .

Определим закон изменения угла $\Delta\varphi_{\tan}(\tau)$ наклона касательной к клотоиде в функции параметра τ :

$$\varphi_{\tan}(\tau) = \begin{cases} \varphi_1 + \text{sign} \Delta\varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \quad \text{for } 0 \leq \tau \leq \tau_c, \frac{d\tau}{dt} > 0, \\ \varphi_2 - \text{sign} \Delta\varphi \cdot \frac{\tau^2}{2} \quad \text{for } \tau_c > \tau \geq 0, \frac{d\tau}{dt} < 0 \end{cases}$$

Для полного описания траектории поворота необходимо определить точки $b_s(z_s, x_s)$ и $b_e(z_e, x_e)$ начала и конца траектории поворота:

$$\begin{bmatrix} z_s \\ x_s \end{bmatrix} = \text{inv} \left(\begin{bmatrix} (\bar{\tau}_1)_z & -(\bar{\tau}_1)_x \\ (\bar{\tau}_2)_z & -(\bar{\tau}_2)_x \end{bmatrix} \right) \cdot \left[-C_2 - \begin{bmatrix} -C_1 \\ (\bar{\tau}_2)_x \\ -(\bar{\tau}_2)_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_{cl} \\ \Delta x_{cl} \end{bmatrix} \right].$$

Для дальнейшего планирования маршрута желательно описать движение ЛА в функции времени.

$$\bar{V}(t) = \bar{V}(\tau) \cdot \frac{d\tau}{dt} = \frac{a}{T} \cdot [\cos \varphi_{\tan}(\tau(t)) \quad \sin \varphi_{\tan}(\tau(t))]^T, \quad (2.6)$$

где

$$\varphi_{\tan}(t) = \begin{cases} \varphi_1 + \text{sign} \Delta \varphi \cdot \left(\frac{t - t_s}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} & \text{for } t_s \leq t \leq t_s + T \cdot \tau_c, \\ \varphi_2 - \text{sign} \Delta \varphi \cdot \left(\frac{2T \cdot \tau_c - (t - t_s)}{T} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} & \text{for } t_s + T \cdot \tau_c < t \leq t_s + 2T \cdot \tau_c \end{cases}.$$

Определим постоянные a и T . Из первого уравнения (2.5) получаем $\left[\frac{a}{T} \right] = m/s = [V]$. Из структуры (2.6) очевидно, что следует положить

$$V = \frac{a}{T}, \text{ тогда } \bar{V}(t) = V \cdot [\cos \varphi_{\tan}(\tau(t)) \quad \sin \varphi_{\tan}(\tau(t))]^T.$$

Далее определяются основные свойства клотоиды: кривизна $k(\tau) = \frac{\tau}{a}$; радиус кривизны $\rho(\tau) = \frac{a}{\tau}$; длина траектории поворота

$S(\tau) = 2a \cdot \tau_c$. Нормальное ускорение $a_n = \frac{V^2}{\rho} = \frac{V^2}{a} \cdot \tau$ достигает максима

при $\tau = \tau_c$. Из (2.4) следует, что $n_{\max} = \frac{V^2 \tau_c}{ag} \leq n_{enable}$, тогда

$$\frac{V}{T} \tau_c \leq g \cdot n_{enable}, \quad T \geq \frac{V \cdot \tau_c}{g \cdot n_{enable}},$$

$$T = \frac{V}{g} \cdot \frac{\sqrt{|\Delta \varphi|}}{n_{enable}}, \quad a = \frac{V^2 \cdot \sqrt{|\Delta \varphi|}}{g \cdot n_{enable}}, \quad S = 2 \cdot \frac{V^2 \cdot \sqrt{|\Delta \varphi|}}{g \cdot n_{enable}}.$$

Моделирование.

Предложенный метод планирования траектории, заданной последовательностью поворотных пунктов маршрута, реализован в среде MATLAB/Simulink. На рис. 2.60 представлены результаты планирования траектории движения с использованием клотоиды для перехода между отрезками прямых маршрута.

Публикации:

1. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Планирование маршрутов движения летательного аппарата (кинематика) с использованием гладких траекторий // Автометрия (в печати).

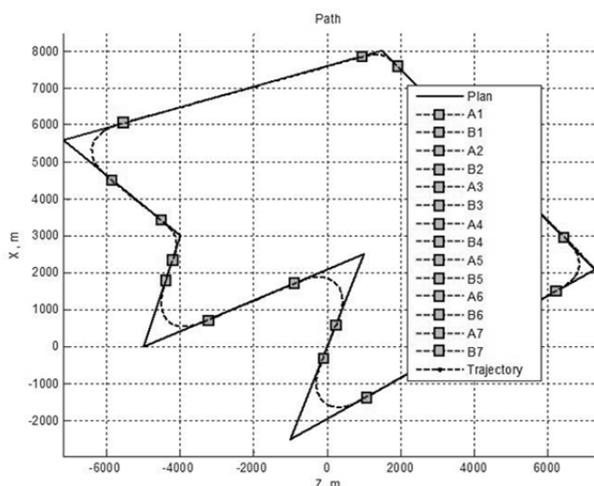


Рис. 2.60. Гладкая траектория движения по заданному маршруту

(Лаборатория нечётких технологий)

Разработка автоматизированной установки для исследования зависимости сопротивления оксидных материалов от парциального давления кислорода (ответственный исполнитель Сковородин И.Н.).

В рамках данного раздела разрабатывалась автоматизированная установка для исследования зависимости сопротивления оксидных материалов от парциального давления кислорода. Отличительной особенностью данной установки является комбинированное регулирование парциального давления кислорода (PO_2) в камере с помощью напуска и отвода газов (кислородсодержащих, бескислородных и кислородпоглощающих) и с помощью электрохимического кислородного насоса. Напуск и отвод газов позволяют существенно повысить скорость изменения исходного значения PO_2 . Возможен напуск газовой смеси в заданной пропорции.

К настоящему времени разработаны:

- структурная схема электрооборудования установки (рис. 2.61);
- принципиальная электрическая схема установки;
- пневматическая схема трехканальной системы напуска и отвода газов);
- конструкция установки;
- программное обеспечение (в среде LabVIEW) для выполнения экспериментов в ручном и автоматическом режиме;
- руководство по эксплуатации установки.

В результате проделанной работы в ИХТТМ СО РАН создана автоматизированная установка для исследования зависимости сопротивления оксидных материалов от парциального давления кислорода.

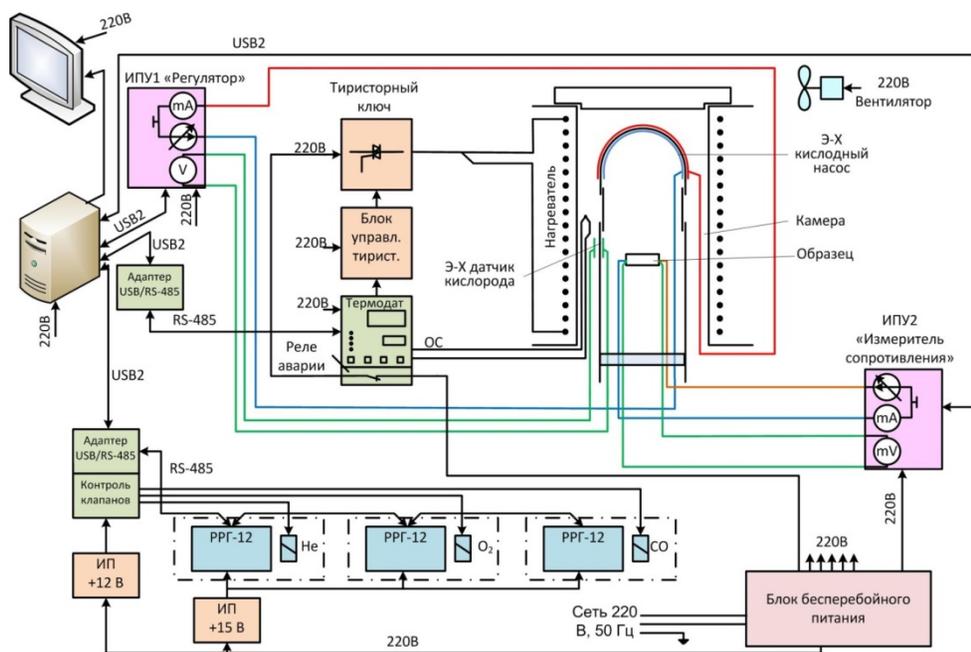


Рис. 2.61. Структурная схема электрооборудования установки

(Тематическая группа автоматизации измерительных технологий)

Разработка алгоритмов анализа результатов тестирования пациентов на различные виды инфекций по количественной оценке спектральной плотности изображения матрицы пятен, нанесенных на поверхность биочипа антигенов (ответственный исполнитель Литвинцев В.И.).

В рамках данного раздела разрабатывалась система первичного оперативного скрининга пациентов (доноров крови и групп населения с повышенным риском) в небольших фельдшерских пунктах при наличии минимума технических средств: компьютер, планшетный сканер, портативный набор реагентов для мультиплексного дот-иммуноанализа антител к возбудителям гемотрансмиссивных инфекций.

Типичное изображение биочипов, предъявляемых к компьютерному анализу, показано на рис. 2.62, а.

Алгоритм обработки изображения (этапы компьютерного анализа):

- 1) распознавание границ гребенок биочипов и геометрическое выравнивание (поворот и смещение) каждой гребенки;
- 2) привязка каждого биочипа к координатной сетке;
- 3) анализ изображения пятна антигенов в локальной области предполагаемого его местоположения, определение зоны достоверности пятна;
- 4) усреднение величины оптической плотности в зоне достоверности;
- 5) принятие решения о инфицированности по каждому антигену по результатам сравнения с эталонным значением оптической плотности;
- 6) ведение журнала учета, архивирование результатов.

На рис. 2.62, б показан результат выравнивания изображения биочипов.

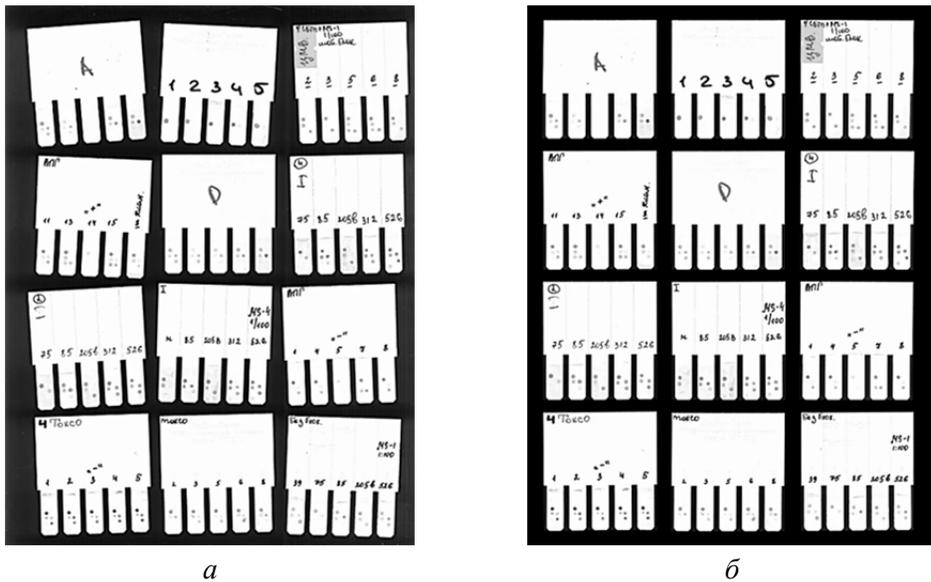


Рис. 2.62. Исходное изображение гребенок биочипов (а); геометрическое выравнивание (б)

На рис. 2.63, а показано соответствие пятен реагируемым инфекциям. Зона К- – пустая зона для привязки к уровню фона. Зона К+ – контрольная зона для проверки работоспособности системы. На рис. 2.63, б показан пример изображения конкретного биочипа и координатная сетка обработки. На рис. 2.63, в изображены зоны обработки пятна реагента. Большая окружность (красный цвет) ограничивает зону обработки пятна. С помощью малой окружности (черный цвет) оценивается достоверность пятна и определяются геометрические дефекты биочипа. Зона учета данных (внутри зеленой границы) определяется как связная область пикселей с оптической плотностью, отличающейся от средней менее заданного значения (например, 5 %).

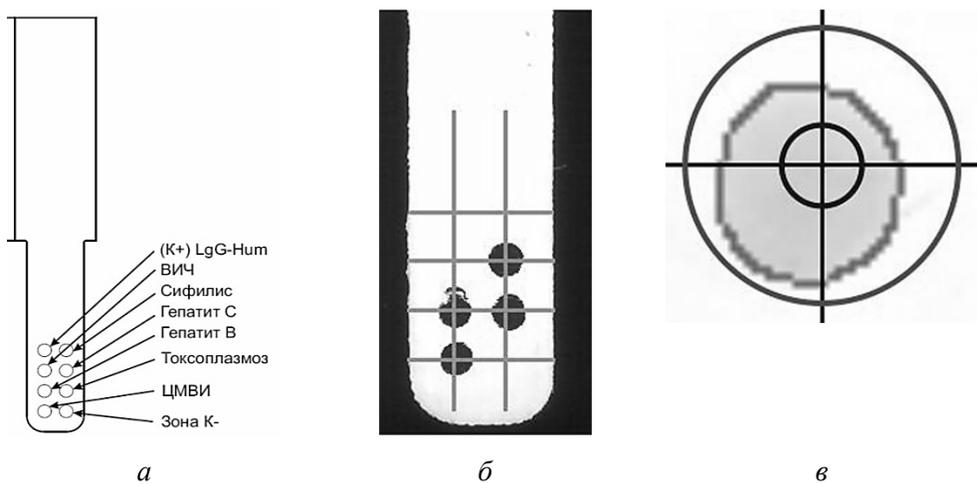


Рис. 2.63. Соответствие пятен (а); реальный биочип (б); обработка пятна (в)

Параметры, используемые алгоритмом обработки, определяются на стадии тестирования-обучения программы.

Эффективность разработанных алгоритмов и программы исследована на комплексе тестовых биочипов, представленных ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор». По результатам тестирования 30 образцов биочипов выявлено совпадение правильности диагноза случаев инфекции: для ВИЧ – 97 %; для ЦМВИ, гепатита С, токсоплазмоза – 95 %; для гепатита В – 85 %.

(Тематическая группа встроенных систем управления и обработки сигналов совместно с ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор»)

Публикации:

1. Ерышов А.И., Филатов П.В., Снопков В.П., Урсул А.С. Программа для инструментального учёта результатов мультиплексного дотиммуноанализа АРМ «Лаборант-15» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016617045, зарег. 23.06.2016.

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.**

Определение вероятностных характеристик обнаружения исследуемых объектов в зависимости от условий формирования и способа обработки изображений (ответственные исполнители: д.т.н. Киричук В.С., к.т.н. Косых В.П.).

Выполнено имитационное моделирование сканирующего оптико-электронного устройства для регистрации слабоконтрастных малоразмерных подвижных объектов, позволившее:

- объяснить ряд наблюдавшихся при его испытаниях артефактов;
- оценить зависимость энергетических характеристик объектов, обнаруживаемых с заданными вероятностями пропуска и обнаружения, от

мощности и состава пространственно-нестационарного фона при оптимальных по уровню собственного шума параметрах устройства;

- обосновать выбор способа обработки соотношением между мощностью фоновой и шумовой компоненты в сформированных изображениях.

Матричные «смотрящие» приборы принципиально не способны обеспечить шаг пространственной дискретизации регистрируемого изображения, меньший, чем размер фоточувствительного элемента приемника, что приводит к ухудшению качества обнаружения малоразмерных объектов. Это ухудшение обусловлено как зависимостью сигнала от положения объекта относительно элементов матрицы, так и недостаточным подавлением высокочастотных компонент фона. Уменьшение шага дискретизации достигается посредством сканирования изображения относительно фотоприемника. Один из перспективных способов сканирования реализуется применением нескольких пространственно разнесенных фотоприемных субматриц, работающих в режиме временной задержки-накопления (ВЗН) [1].

С применением созданной на предыдущем этапе проекта программной реализации математической модели сканирующего фотоприемного устройства, имитирующей формирование изображений наблюдаемой сцены при различных параметрах оптического тракта, топологии, электрических и шумовых характеристиках приемника и режимах сканирования, объяснено возникновение искажений, существенно нарушающих структуру изображений малоразмерных объектов и фона. На рис. 2.64 приведены примеры искажений, предсказанных с помощью модели и обнаруженных при испытаниях устройства.

С применением модели получены оценки минимальных значений мощности излучения объектов, обнаруживаемых в присутствии мощного пространственно-нестационарного случайного фона в изображениях, сформированных сканирующим фотоприемным устройством с заданными параметрами оптико-электронного тракта, при различных соотношениях фоновой и шумовой компонент.

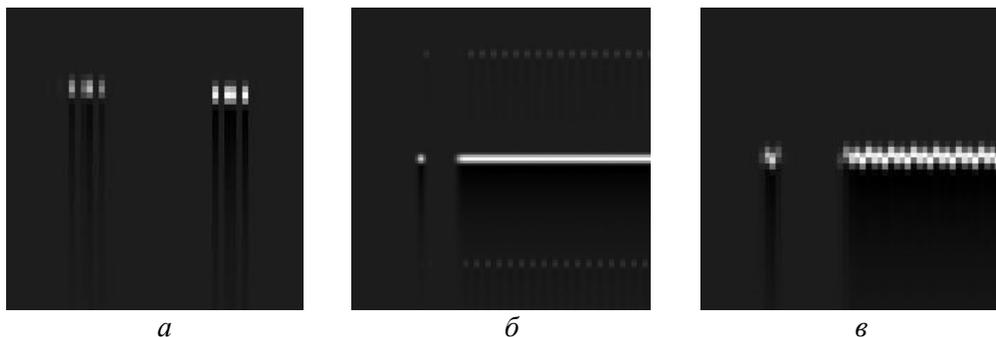
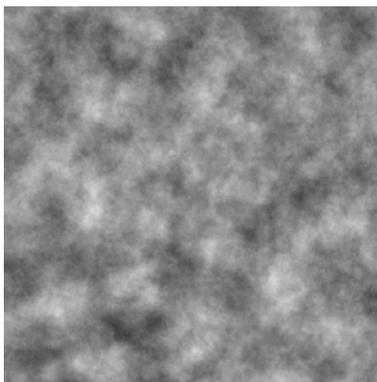


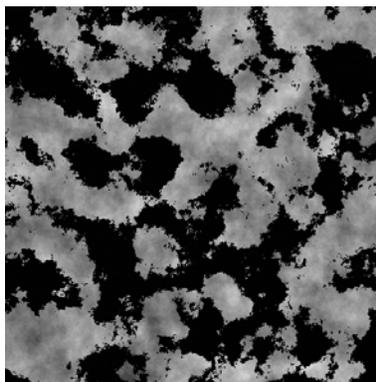
Рис. 2.64. Искажения в изображениях, формируемых в режиме ВЗН фотоприемником с субматричной структурой при сканировании, обусловленные:
a – несовпадением направления ВЗН-каналов и направления сканирования;
б – взаимным влиянием соседних каналов; *в* – отклонением скорости сканирования от номинального значения

Оценки показывают, что преимущество межкадровой обработки (МКО) при анализе динамических сцен проявляется с момента, когда СКО фона в изображениях превышает СКО шума вдвое и более, практически независимо от типа фона и применяемых при последующей обработке линейных фильтров. Более того, при трехкратном превышении фона над СКО шума применение МКО обеспечивает обнаружение более слабых объектов даже без последующей фильтрации. При внутрикадровой обработке (ВКО), применение которой возможно, в отличие от МКО, при анализе не только динамических, но и статических сцен, основным фактором, влияющим на качество обнаружения, является структура фильтра. Фильтром, максимизирующим, согласно критерию Неймана – Пирсона, вероятность обнаружения объекта P_o при заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$, является фильтр, учитывающий совместно форму объекта и корреляционные свойства фона и шума аппаратуры. Реализация такого фильтра в бортовой аппаратуре в условиях изменяющейся фоновой обстановки вызывает затруднения, поэтому иногда предлагается применять фильтр, не учитывающий свойств фона. Имитационное моделирование показывает, что такая замена допустима только при сравнительно небольшом превышении СКО фона над СКО шума. На рис. 2.65 приведены графики зависимости минимальной мощности излучения обнаруживаемого объекта (в единицах приведенного к входу СКО шума) от соотношения СКО фона и СКО шума в различных фоновых условиях и при различных способах обработки для $P_o = 0,95$ при $P_{лт} = 10^{-4}$. Графики «Фон» показывают зависимость мощности объекта, обнаруживаемого с применением классического согласованного фильтра, построенного согласно выражению $F = K_H^{-1} \theta$, $K_H = (\sigma_B^2 K + \sigma^2 I) \sigma_H^{-2}$, $\sigma_H^2 = \sigma_B^2 + \sigma^2$, а графики «Объект» – с применением фильтра вида $F = \theta$. Здесь F – вектор, описывающий фильтр, θ – вектор, описывающий форму объекта, K – ковариационная матрица фона, I – единичная матрица, σ – СКО шума, σ_B – СКО фона.

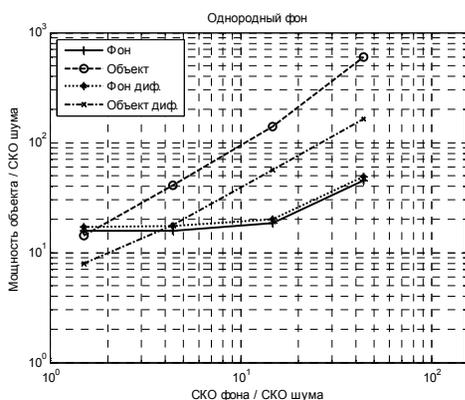
В первом фильтре отношению $\frac{\sigma_B}{\sigma}$ присвоено максимальное для данного вида фона значение. Основанием для такого присвоения является невозможность в условиях аппаратной реализации обращать матрицу K_H . Графики «Фон диф» и «Объект диф» имеют тот же смысл, но построены для сигналов, в которых постоянная составляющая подавлена с помощью дифференцирующего звена первого порядка, часто встраиваемое в фотоприемные устройства для исключения влияния температурного дрейфа. Из сопоставления графиков, в частности, следует, что применение в режиме ВКО второго фильтра на однородном фоне допустимо только при $\frac{\sigma_B}{\sigma} < 5$, а первый фильтр предпочтительно согласовывать с яркой составляющей фона. Режим МКО позволяет обнаруживать при тех же P_o и $P_{лт}$ и более тусклые объекты уже при отношении $\frac{\sigma_B}{\sigma} > 2$, что демонстрируют графики «МКО» и «МКО диф».



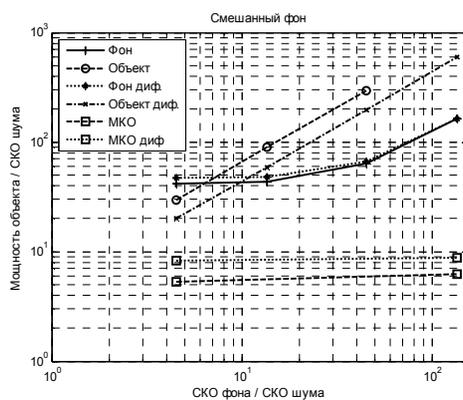
а



б



в



г

Рис. 2.65. Качество обнаружения малоразмерных объектов в изображениях с мощным фоном (а – однородный фон, б – фон, содержащий две яркие компоненты с различными распределениями, в и г – зависимость минимальной мощности излучения объекта от отношения СКО фона / СКО при $P_o = 0,95$ и $P_{лт} = 10^{-4}$

(Лаборатория цифровых методов обработки изображений)

Публикации:

1. Громилин Г.И., Иванов В.А., Косых В.П., Попов С.А. Особенности процесса сканирования с использованием матричного фотоприемника в режиме ВЗН // Вычислительные технологии, 2016, т. 21, № 1. С. 60–69.
2. Fursenko, D.V., Khotskin, N.V., Kulikov, V.A., Kulikov, A.V. Behavioral phenotyping of mice deficient in the tumor necrosis factor // Russian Journal of Genetics: Applied Research, 2016, v. 6, iss. 4. P. 400–404.
3. Khotskin, N.V., Kulikov, V.A., Zavyalov, E.L., Fursenko, D.V., Kulikov, A.V. Conducting and automating Morris water maze test under SPF conditions // Там же. P. 394–399.
4. Громилин Г.И., Дrajников Б.Н., Козлов К.В., Косых В.П., Попов С.А., Шакинов А.К. Моделирование процесса сканирования изображений с использованием матричных фотоприемников // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 200–205.

5. Борзов С.М., Громилин Г.И., Дразников Б.Н., Козик В.И., Косых В.П., Потатуркин О.И. Оценка эффективности нелинейных методов коррекции данных крупноформатных тепловизионных ФПУ // Там же. С. 205–208.

Исследование надежности многопорогового считывания случайных дискретных изображений (ответственный исполнитель д.т.н. Резник А.Л.).

На основе программных систем, осуществляющих символьные аналитические выкладки, и с применением дискретно-комбинаторных схем, базирующихся на обобщенных числах Каталана, получены новые ранее неизвестные соотношения, описывающие вероятность безошибочного считывания случайных точечных изображений, когда такое считывание проводится с помощью апертуры с ограниченным числом пороговых уровней.

Получены новые научные результаты в виде обобщающих формул, описывающих вероятность безошибочного считывания случайного точечного изображения при ограниченном числе пороговых уровней сканирующей апертуры. На этом пути важнейшим моментом, способствовавшим успешному проведению исследований, было введение в научную практику нового понятия обобщенных чисел Каталана. Знание явного вида обобщенных чисел Каталана требуется при упорядочении взаимозависимых случайных числовых последовательностей (рис. 2.66).

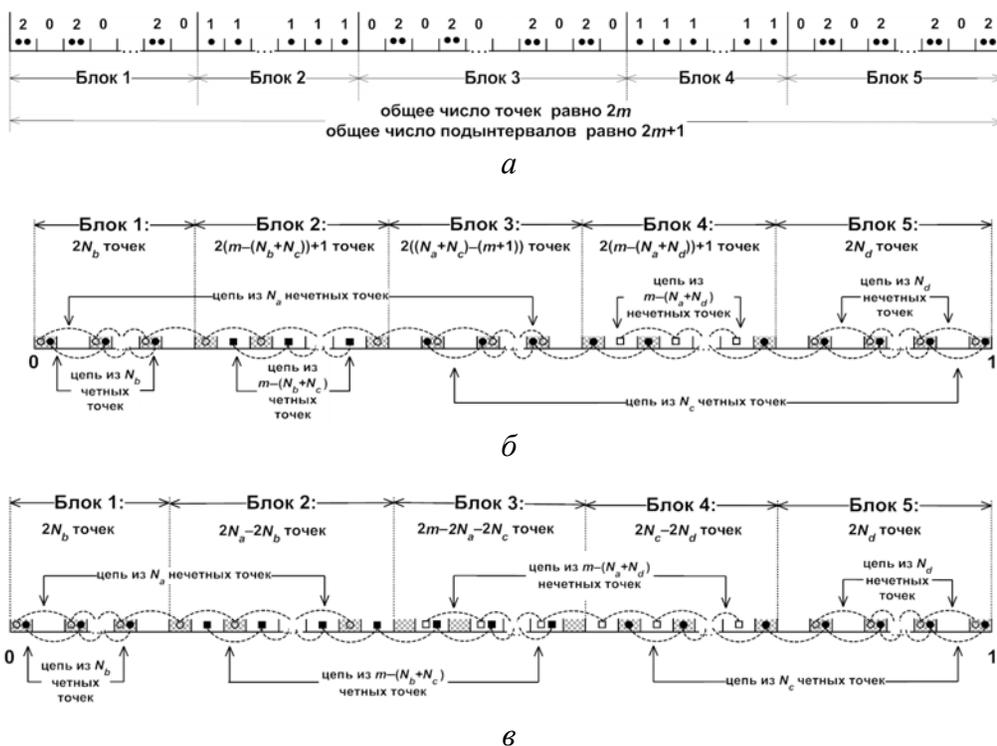


Рис. 2.66. Схема успешных бросаний $n=2m$ точек на интервал $(0,1)$: *a* – общая схема, объединяющая все варианты успешных бросаний; *б* – схема успешных бросаний для случая $N_a+N_c>m$; *в* – схема успешных бросаний для случая $N_a+N_c\leq m$

И хотя в решавшихся нами задачах все элементы анализируемых последовательностей являлись случайными равномерно распределенными вещественными числами, задачи с обобщенными числами Каталана оказалось удобнее ставить и решать в словарно-лингвистической форме. Формулировки и решения ряда таких задач, возникших при поиске аналитических соотношений, описывающих вероятность безошибочного считывания случайных точечных изображений, приводятся ниже. Первая и вторая задачи менее сложны, чем задачи № 3 и № 4, но в научной литературе поставлены впервые. Задачи № 3 и № 4 являются новыми.

Комбинаторно-лингвистические задачи, возникающие при исследовании случайных точечных структур и приводящие к обобщению чисел Каталана.

ЗАДАЧА № 1.

В образовании слова участвуют N_a символов “ a ” и N_b символов “ b ”. Сколько из этих слов таких, что при просмотре слова слева направо количество встреченных символов “ b ” никогда не превышает количества встреченных символов “ a ”? (Естественно, предполагается, что $N_a \geq N_b$, поскольку при $N_a < N_b$ ни одно слово не удовлетворяет поставленному в задаче условию).

Решение:

$$WORD1(N_a, N_b) = \frac{(N_a + N_b)!}{N_a! N_b!} - \frac{(N_a + N_b)!}{(N_a + 1)!(N_b - 1)!}.$$

Двумерная последовательность $WORD1(N_a, N_b)$ является простейшим расширением классических чисел Каталана, которые получаются из нее при $N_a = N_b$.

ЗАДАЧА № 2.

В образовании слова участвуют N_a символов “ a ” и N_b символов “ b ”. Сколько из этих слов таких, что при просмотре слова слева направо количество встреченных символов “ b ” никогда не превышает количества встреченных символов “ a ” более чем на k ? (Предполагается, что $k \geq 0$ и $N_a + k \geq N_b$).

Решение:

$$WORD2_k(N_a, N_b) = \frac{(N_a + N_b)!}{N_a! N_b!} - \frac{(N_a + N_b)!}{(N_a + k + 1)!(N_b - k - 1)!}.$$

Это дальнейшее расширение чисел Каталана, а именно: при $k = 0$ задача № 2 эквивалентна задаче № 1, а при $N_a = N_b$ и $k = 0$ получаем классические числа Каталана.

ЗАДАЧА № 3.

В образовании слова участвуют N_a символов “ a ”, N_b символов “ b ” и N_c символов “ c ”. Сколько из этих слов таких, что одновременно выполняются два условия:

- 1) при просмотре слова слева направо количество встреченных символов “ b ” никогда не превышает количества встреченных символов “ a ”;
- 2) при просмотре слова справа налево количество встреченных символов “ c ” никогда не превышает количества встреченных символов “ a ”?

Решение:

В рассматривавшихся нами задачах с регистрацией случайных точечных полей всегда выполнялось условие $N_b + N_c - N_a - 2 < 0$ (вообще говоря, в них выполнялось более строгое условие: $N_a \geq N_b + N_c$), поэтому для этих задач справедлива формула

$$\begin{aligned} \text{WORD3.1}(N_a, N_b, N_c) = & \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{N_a!N_b!N_c!} - \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 1)!(N_b - 1)!N_c!} - \\ & - \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 1)!N_b!(N_c - 1)!} + \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 2)!(N_b - 1)!(N_c - 1)!}, \end{aligned}$$

которая была получена нами чисто геометрическим путем с использованием классического метода зеркального отражения Д. Андре. А вот более общую формулу

$$\begin{aligned} \text{WORD3}(N_a, N_b, N_c) = & \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{N_a!N_b!N_c!} - \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 1)!(N_b - 1)!N_c!} - \\ & - \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 1)!N_b!(N_c - 1)!} + \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_a + 2)!(N_b - 1)!(N_c - 1)!} + \\ & + \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_b + N_c - N_a - 2)!(N_a + 1)!(N_a + 1)!} - \frac{(N_a + N_b + N_c)!}{(N_b + N_c - N_a - 2)!N_a!(N_a + 2)!} \end{aligned}$$

получить таким способом не удастся, поэтому для ее нахождения нами были использованы методы, относящиеся к поиску случайных путей в камерах Вейля.

(Заметим, что при $N_c = 0$ задача № 3 переходит в задачу № 1, так что мы имеем дальнейшее расширение чисел Каталана).

ЗАДАЧА № 4.

С помощью 6-символьного алфавита $\{“a”, “b”, “c”, “d”, “e”, “f”\}$ составляются различные слова длиной $2m$ такие, что:

$$\begin{aligned} N_a + N_d + N_e = m; \quad N_b + N_c + N_f = m; \\ N_a + N_c \leq m, \end{aligned}$$

где N_a, N_b, N_c, N_d, N_e и N_f – количество использованных в данном слове символов “ a ”, “ b ”, “ c ”, “ d ”, “ e ” и “ f ” соответственно. Требуется для каждого допустимого набора $\{N_a, N_b, N_c, N_d, N_e, N_f\}$ найти общее число

слов $WORD4_m(N_a, N_b, N_c, N_d, N_e, N_f)$, которые при их просмотре слева направо одновременно удовлетворяют трем условиям:

- 1) количество встреченных символов “b” никогда не превышает количества встреченных символов “a”;
- 2) количество встреченных символов “d” никогда не превышает количества встреченных символов “c”;
- 3) количество встреченных символов “f” никогда не превышает количества встреченных символов “e” более чем на $(N_a - N_b)$.

Решение:

С использованием классического метода зеркального отражения Д. Андре нами найдено решение сформулированной задачи:

$$WORD4_m(N_a, N_b, N_c, N_d, N_e, N_f) = (2m)! \times$$

$$\times \left\{ \frac{1}{(m - (N_b + N_c))!(m - (N_a + N_d))!} - \frac{1}{(m + 1 - (N_b + N_d))!(m - 1 - (N_a + N_c))!} \right\} \times$$

$$\times \left\{ \frac{1}{N_a! N_b!} - \frac{1}{(N_a + 1)!(N_b - 1)!} \right\} \times \left\{ \frac{1}{N_c! N_d!} - \frac{1}{(N_c + 1)!(N_d - 1)!} \right\}.$$

Выводы. Вместе с новым понятием обобщенных чисел Каталана в успешном выполнении задач проекта существенную роль сыграли программы машинной аналитики, применение которых позволило установить конкретные аналитические зависимости, которыми описывается надежность считывания случайных точечных изображений. С помощью этих программ был рассчитан широкий набор частных решений задачи, в том числе методом прямого многомерного интегрирования рассчитаны конкретные формулы для двухпорогового считывания при фиксированных значениях $n = 2, 3, \dots, 14$. Полученные в рамках данного проекта результаты в виде новых аналитических соотношений, описывающих надежность регистрации случайных точечных изображений при различных диапазонах изменения параметров считывания, открывают перспективу установления в ближайшее время общей аналитической зависимости, то есть решения общей задачи безошибочного считывания случайного дискретного изображения при двух пороговых уровнях считывающей апертуры.

(Лаборатория вероятностных методов исследования информационных процессов)

Публикации:

1. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Программно-комбинаторный подход к решению задач безошибочного считывания случайных точечных изображений // Автометрия, 2016, т. 52, № 2. С. 20–27.
2. Резник А.Л., Тузиков А.В., Соловьев А.А., Торгов А.В. Анализ случайных точечных изображений с использованием программ для символьных вычислений и обобщенных чисел Каталана // Там же, № 6. С. 3–11.

3. Reznik A.L., Torgov A.V., Soloviev A.A. High performance computing and generalized Catalan numbers in image processing tasks // Международная конференция «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ–2016) (г. Самара, Россия, 17–19 мая 2016). С. 934–936.
4. Соловьев А.А., Резник А.Л., Торгов А.В. Высокопроизводительные компьютерно-аналитические вычисления в задачах обработки случайных точечных изображений // XVII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). С. 104.
6. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-СЧИТ16» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662343, зарег. 08.11.2016.

Создание прототипа РМВС и адаптация его для актуальных предметных областей, в частности тренажёрно-обучающего комплекса (ответственный исполнитель к.т.н. Долговесов Б.С.).

На базе разработанных в ходе выполнения проекта архитектурных и программно-алгоритмических решений для обработки и отображения распределенных мультимедийных данных в реальном масштабе времени создан прототип системы отображения и регистрации многоканальной аудиовизуальной информации, адаптированный к задачам тренажерного комплекса.

Особенность систем видеорегистрации данных в тренажерных комплексах – обеспечение быстрого поиска и отображения необходимых фрагментов тренировочного процесса, не останавливая при этом процесс регистрации данных. Это необходимо для оперативного просмотра инструктором во время тренировки записанной информации и изменения им сценария тренировки, акцентируя внимание космонавтов на допущенные ошибки или особенности функционирования тренажера. Система также должна обеспечивать обработку различных типов видеосигналов для полноценного контроля тренировочного процесса (видеосигналы с камер видеонаблюдения, пультов инструктора, видеосигналы от формирователей изображений внешней визуальной обстановки и др.). С учетом этих требований создан прототип системы отображения и регистрации многоканальной аудиовизуальной информации, архитектура которого представлена на рис. 2.67. Основные функциональные блоки системы:

- приложение пользовательского интерфейса для управления отображением видео-, аудиоданных как из архива, так и с устройств захвата изображений с видеокамер;
- приложение для кодирования и записи в архив входящих видео - и аудиопотоков, получаемых с устройств захвата видео;
- приложение для экспорта данных (осуществляет перекодирование выбранных данных из архива в общедоступный мультимедийный формат);
- сервис хранения данных;
- сервис для работы с устройствами видеозахвата.

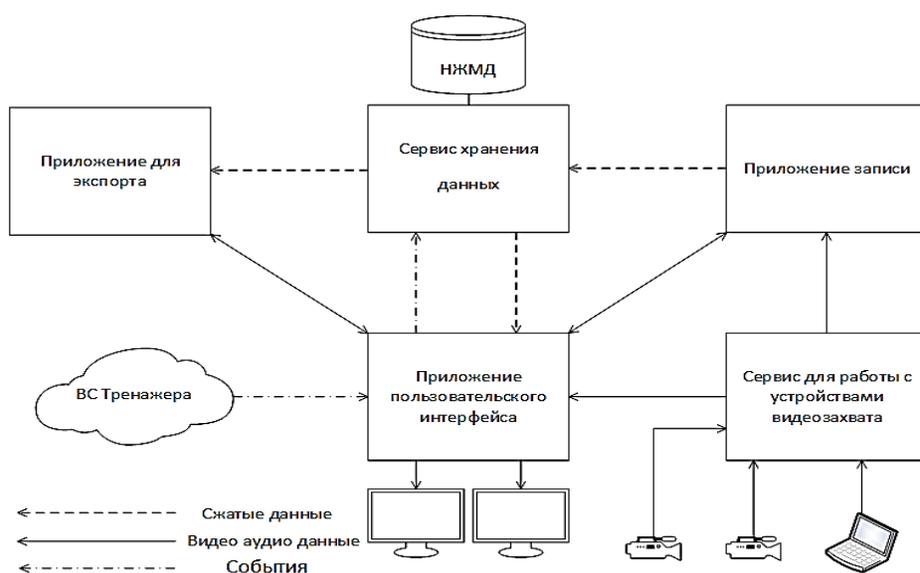


Рис. 2.67. Архитектура прототипа системы отображения и регистрации аудиовизуальной информации

Приложения записи и экспорта данных в системе регистрации и отображения реализованы на языке *QML*, который является частью среды разработки пользовательского интерфейса *QtQuick*. Особенность использования *QML* в данной системе заключается в применении этого языка как для реализации функций графического пользовательского интерфейса, так и основной логики работы приложения. Кроме того, *QML* используется для формирования графической анимированной сцены при экспорте в один видеопоток данных от нескольких источников. Инструментарии языка *QML* позволяют удобным образом описывать правила взаимодействия между свойствами объектов, так как язык реализует декларативную парадигму программирования. Для реализации конкретных функций использовался язык *C++*. Низкоуровневый функционал делится на модули, которые слабо связаны друг с другом. Взаимодействие между такими модулями осуществляется за счет связей, описанных на *QML*. Таким образом, на языке *QML* описывалось высокоуровневое поведение системы, что позволило существенно сократить время на разработку системы.

Стандартный набор функциональных модулей, предоставляемых вместе со средой разработки *QtQuick*, достаточно обширный, включающий модуль для работы с мультимедийными данными – *QtMultimedia*. Данный модуль позволяет воспроизводить видео и аудио, записывать видео с камер в файл, но не соответствует полностью функциональным требованиям к системе регистрации и отображения данных тренировочного процесса. В первую очередь не поддерживается одновременная запись и воспроизведение. Поэтому были разработаны модули для реализации функционала обработки мультимедийных данных.

Для работы с мультимедийными данными используется программная платформа *Microsoft Media Foundation*, которая позволяет в полной

мере использовать ресурсы графических процессоров для кодирования, декодирования и обработки видео. Для использования этих возможностей с помощью *QML* объектов был реализован модуль *MediaSession*, который позволяет создавать различные топологии обработки и воспроизведения мультимедийных данных.

Для отображения видеоданных в сцене, описанной на *QML*, реализованы модули *QtQuickSink* и *VideoView*. Модуль *QtQuickSink* в топологии обработчиков мультимедийных данных обеспечивает обработку некомпрессированных видеоданных, преобразование чересстрочной развертки в прогрессивную, цветового формата – в формат *RGBA*. Модуль *VideoView* является объектом расширения *QML*, позволяющий отображать данные из модуля *QtQuickSink*. Передача изображения сцены, описанной на *QML*, в топологию *Microsoft Media Foundation* осуществляется при помощи разработанного модуля *QtQuickSource*. Данный модуль также формирует звуковой сигнал, полученный микшированием нескольких источников. Это обеспечивает экспорт записанных сигналов в виде одного файла, содержащего произвольно расположенные изображения входных источников с наложением титров. При этом сцена может быть анимированная, например всплывающие титры с описанием события, зарегистрированного по протоколу связи с вычислительной системой тренажера. Работа с архивом данных обеспечивается при помощи библиотеки *SLPostPlay*. По сравнению с записью в файлы стандартного формата запись в архив со специализированной структурой обладает рядом преимуществ:

- одновременные запись и чтение данных (записанный в архив кадр сразу же доступен для чтения);
- работа с большим количеством потоков данных различных форматов (видео, аудио, метаданные и др.), связанных с общим временем;
- задание приоритетов операциям записи и чтения;
- устойчивость к аварийному завершению работы, т. е. после восстановления работы большая часть данных в архиве будет доступна для чтения;
- разбиение логического пространства на несколько дисков памяти;
- настраиваемый размер буферизации данных.

Для работы с библиотекой *SLPostPlay* разработаны модули расширения для *Microsoft Media Foundation*, позволяющие осуществлять чтение и запись из заданного архива, и *QML* объекты для управления архивами и получения информации о записях.

На основе результатов, полученных в ходе выполнения настоящего проекта, созданы для ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» образцы систем для практического использования:

- система для мониторинга и комбинированного отображения видеосигналов от источников различных форматов комплекса тренажеров Российского сегмента Международной космической станции;

– система для оперативного отображения и регистрации многоканальных аудиовизуальных данных тренировочного процесса подготовки космонавтов на тренажере «Дон-Союз».

(Лаборатория синтезирующих систем визуализации)

Публикации:

1. Вяткин С.И. Метод распознавания лиц с применением скалярных функций возмущения и теоретико-множественной операции вычитания // *Автометрия*, 2016, т. 52, № 1. С. 52–59.
2. Вяткин С.И. Моделирование неоднородностей при визуализации атмосферных эффектов // *Вестник компьютерных и информационных технологий*, 2016, № 7. С. 9–14.
3. Vyatkin Sergey I. Using gpu for interactive ray casting 3d models based on perturbation functions // *Journal Of Algorithms, Computer Network, And Security*, v. 1, № 2, March 2016. [<http://www.sciencesolve.com/joacns/201602/160202.pdf>]
4. Vyatkin S.I., Pavlov S.V., Romanyuk S.A. Real-time hybrid terrain rendering // *Международная научно-практическая Интернет-конференции «Электронные информационные ресурсы: создание, использование и доступ» [Электронный ресурс]*. Винница, Украина: ВНТУ. 2016. 1CD – ROM. С. 10–19. [http://conference.vntu.edu.ua/eir/eir2015/pdf/zbirnyk_eir2015.pdf]
5. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Дудник А.А. Методы высококачественной фильтрации текстуры // *Там же*. С. 106–113. [http://conference.vntu.edu.ua/eir/eir2015/pdf/zbirnyk_eir2015.pdf]
6. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Savitska L.A. Multi-level ray casting of function-based surfaces // *Материалы IV Международной конференции «Информационные технологии в промышленности и производстве», ITBI – 2016 (г. Томск, Россия, 21–23 сентября 2016)*. Томск, ТПУ – 2016. [http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/itbi/programme/ITBI_2016%20%D0%A0%D1%83%D1%81_corr.pdf]
7. Долговесов Б.С. Использование мультимедийных технологий для тренажерных и обучающих систем // *V Международная научная конференция «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности (SCVRT1516)» (Московская обл., г. Протвино, Россия, 21–25 ноября 2016)*, т. 1. С. 130–133.
8. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю. Особенности построения системы оперативного отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов // *Там же*. С. 134–137.
9. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю. Система отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов // *XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016)*. Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 83.
10. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль для воспроизведения мультимедиа в среде QML // *Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016661549*, зарег. 13.10.2016.
11. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль для вывода мультимедиа данных, сформированных в среде QML // *Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016661561*, зарег. 13.10.2016.
12. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль визуализации и управления трехмерными сценами в формате fbx в среде QML // *Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662063*, зарег. 28.10.2016.

Разработка методов визуальной имитации процессов внекорабельной деятельности космонавтов на наружной поверхности орбитальной станции (ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Лаврентьев М.М.).

Проведены исследования особенностей внекорабельной деятельности космонавтов. Разработан метод визуальной имитации наружной поверхности Международной космической станции с использованием технологии мультифокальных дисплеев, направленный на устранение влияния основных факторов, присущих традиционным наголовным дисплейным системам:

- недопустимые ошибки оператора при определении расстояний и размеров объектов;
- рассогласование стереоскопического и аккомодационного механизмов человеческого зрения;
- ограничение времени тренировки в связи опасностью для зрения оператора.

Создан прототип системы визуализации для тренажеров внекорабельной деятельности с применением наголовного бифокального дисплея.

В основе успешности применения классических компьютерных тренажеров лежит близость зрительного восприятия человеком реальной и виртуальной визуальной обстановки в тех случаях, когда целевые объекты, на которые ориентируется человек, находятся от него на значительном расстоянии. Такие типы визуальной обстановки успешно имитируются с помощью проекционных устройств, экраны которых устанавливаются на расстоянии 6 и более метров от обучаемого или с помощью коллимационной оптики, фокусирующей человеческих глаз на бесконечность. Для отработки непосредственного взаимодействия человека с близкими целевыми объектами (к которой в полной мере относится отработка деятельности космонавта на внешней поверхности космической станции) традиционные методы визуальной имитации не применимы, так как в них на малых расстояниях до целевых объектов перестают согласованно работать механизмы зрительного восприятия: аккомодация – фокусировка глаза на близкий целевой объект и конвергенция – встречное движение глаз, в результате которого обе зрительные линии сходятся вместе на целевом объекте (рис. 2.68).

Попытка применения традиционных дисплейных стереосистем приводит к возникновению конфликта – глаз аккомодирует на фиксированное расстояние до плоскости экрана (Z – на схеме) независимо от того, в какой точке виртуального пространства (ближе или дальше) пересекаются зрительные оси глаз вследствие конвергенции (точка F – на схеме на расстоянии d от глаза). В результате у человека появляется бинокулярный стресс, утомление глаз, головная боль, тошнота и т. д. Кроме того, обучаемому прививаются ложные навыки, связанные с недопустимым ошибочным определением расстояний и размеров объектов.

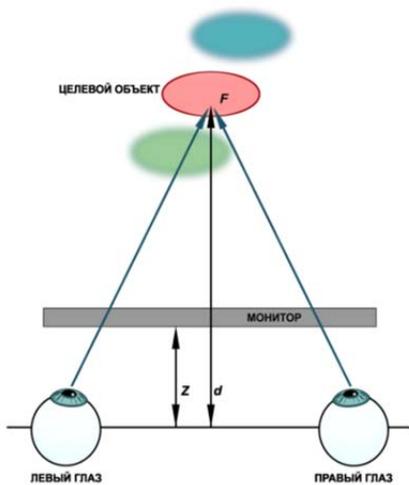


Рис. 2.68. Особенности зрительного восприятия близких объектов. F – точка пересечения зрительных осей; Z – расстояния от глаз до плоскости монитора; d – расстояние от глаз до точки фиксации взгляда на поверхности целевого объекта

Для устранения или существенного уменьшения перечисленных проблем был предложен метод, основанный на применении наголовного бифокального дисплея и разработана специализированная четырехканальная система визуализации. Оптическая схема и внешний вид дисплея приведены на рис. 2.69 и 2.70.

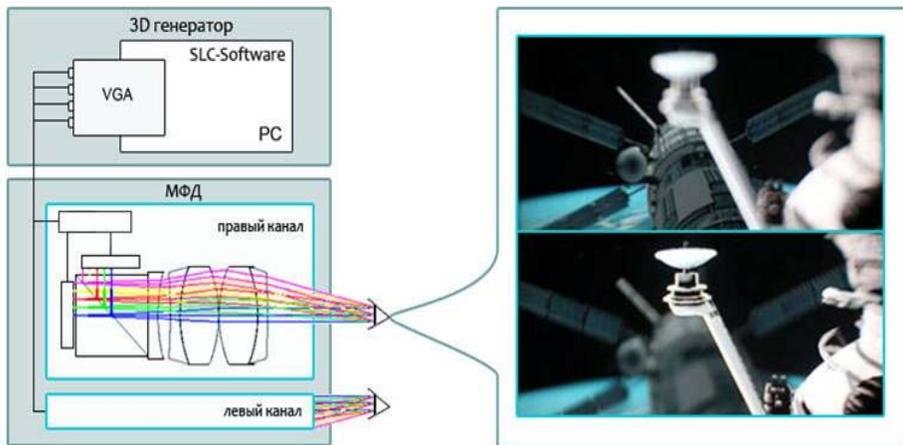


Рис. 2.69. Бифокальная схема, обладающая двумя планами фокусировки



Рис. 2.70. Внешний вид наголовного мультифокального дисплея

В отличие от традиционных стереосистем визуализации в разработанной системе генерируется по 2 изображения для каждого глаза. При этом каждый пиксель генерируемого изображения наряду с плоскими координатами XY получает третью координату $D=1/d$, где D – глубина в диоптриях, d – расстояние до видимого участка объекта в метрах. Пара изображений для одного глаза соответствует двум фокусным планам: 1 и 4 м. В целях оптимизации процесса отображения разработан специальный шейдер, который на этапе постобработки генерирует 2 изображения, соответствующие разным фокусным планам на основе одного готового изображения стереопары. Шейдер модифицирует яркость каждого пикселя в зависимости от разности между глубиной изображения в данном пикселе и целевым фокусным планом. Зависимость яркости от глубины подобрана с учетом психофизиологических свойств зрения так, чтобы при оптическом смешивании изображений двух фокусных планов достигалась равномерность аккомодационного восприятия. На рис. 2.71 и 2.72 проиллюстрированы 2 фокальных изображения для одного глаза в типичной сцене тренинга внекорабельной деятельности космонавтов.

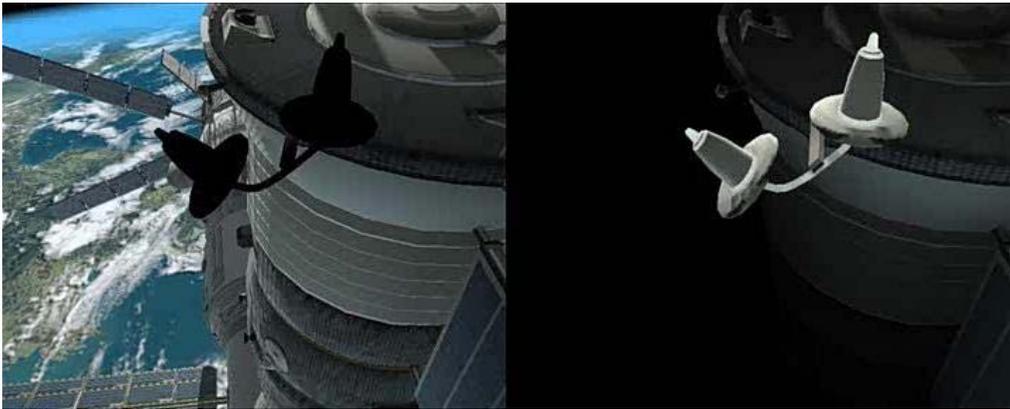


Рис. 2.71. Слева – изображение для дальнего фокусного плана, справа – для ближнего плана. Расстояние до антенн на ближнем плане ~ 1 м.



Рис. 2.72. Точка наблюдения смещена на 2 м назад от предыдущего рисунка

Четыре изображения, предназначенные для одного кадра, формируются в виде составного единого изображения и передаются посредством HDMI-интерфейса на бифокальный дисплей, который с помощью окулярной оптоэлектронной схемы для каждого глаза формирует по 2 плана изображения.

Такая технология не имеет методической погрешности как при монокулярном, так и при бинокулярном зрении. В первом случае виртуальное пространство воспринимается объёмным за счет аккомодации глаза на точки фиксации взгляда F с глубиной d . При этом изображение вокруг точки фиксации становится резким, а изображение удалённых ($d < DF$) или более близких точек ($d > DF$) в поле зрения естественным образом дефокусируется. Во втором случае при стереозрении аккомодация и конвергенция глаз приходится на одни и те же точки фиксации F . Возникает процесс стереопсиса, который усиливает объёмное ощущение пространства. Таким образом, в области интереса изображение оказывается и резким, и слитным (без диплопии). Появление визуального дискомфорта принципиально невозможно. Дефокусировка изображений вне области фиксации остаётся, что является необходимой компонентой достоверного когнитивного восприятия пространства. Технология обеспечивает согласованное стереоскопическое и аккомодационное зрение при большом динамическом диапазоне расстояний до целевых объектов (от 80 см до бесконечности).

Опытный образец разработанной системы получил положительную оценку в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» в качестве перспективной технологии для создания тренажеров внекорабельной деятельности космонавтов.

Разработанный метод визуальной имитации может использоваться при создании перспективных систем дистанционного управления различными транспортными средствами, роботизированными манипуляторами, в авиационных тренажерах дозаправки в воздухе, в задачах микрохирургии и др.

(Лаборатория программных систем машинной графики)

Публикации:

1. Гончаренко А.И., Таранцев И.Г., Лысаков К.Ф. Слепой алгоритм внедрения цифровых водяных знаков в последовательность телевизионных изображений // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 30–36.
2. Бартош В.С., Белого И.В., Дьяков М.С., Кузиковский С.А., Переверзев А.С. Особенности моделирования визуально-инструментальных наблюдений Земли с борта МКС // Автометрия, 2016, т. 52, № 3. С. 45–52.
3. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук Ан.Г., Романенко А.А. Быстрое численное моделирование цунами // Вестник кибернетики, 2016, № 2 (22). С. 91–101.
4. Goryunov, E., Romanenko, A., Lavrentiev, M., Lysakov, K. Modern simulation tools for real time numerical simulation of ocean-related processes // OCEANS 2015 – MTS/IEEE Washington 7404385. 2016. PDA.
5. Кузаков Д. Е., Дьяков М. С., Лаврентьев М. М. Поиск путей для группы автономных транспортных средств при исследовании неизвестной территории // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии, 2016, т. 14, № 2. С. 59–71.

6. Бартош В.С., Власов Е.В., Лаврентьев М.М. Многоплановые 3D-дисплеи для дистанционного управления транспортными средствами и манипуляторами // Приборы, 2016, № 11. С. 30–36.
7. Abramov T., Lavrentiev M., Lunev B. Implementation and testing of the fast numerical algorithm for simulation of 3D gravity creeping flow of incompressible newtonian fluid // 2nd International Conference on Applications in Information Technology (Aizu-Wakamatsu, Japan, October 6–8, 2016). The University of Aizu Press, 2016. Proceedings. P. 121–124.
8. Goriounov E., Lavrentiev M., Romanenko A. Improving efficiency of identification of coastal evolution profiles // Proc. ISOPE, 2016. P. 1575–1582.
9. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю. Система отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 83.
10. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Применение FPGA для контроля качества видеопотока в режиме поступления // XVI Международная конференция «Супервычисления и математическое моделирование» (г. Саров, Россия, 3–7 октября 2016). С. 79–81.
11. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Реализация алгоритма моделирования распространения цунами на базе FPGA // Там же. С. 81–82.
12. Лаврентьев М.М., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Бартош В.С.2, Белого И.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Федотова О.А. Вопросы и новые подходы к организации образовательного процесса в новосибирском государственном университете (НГУ) // Материалы XXVII Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании» (г. Троицк – Москва, Россия, 28 июня 2016). С. 131–133.

Разработка архитектуры масштабируемой высокопроизводительной одноранговой системы управления с улучшенными техническими и функциональными показателями (ответственный исполнитель к.т.н. Сердюков О.В.).

Осуществлена проверка на опытном образце, оптимизирована и доведена до стадии внедрения и коммерциализации архитектура масштабируемой высокопроизводительной одноранговой системы управления.

При оптимизации архитектуры учтены возможности многофункциональной вычислительной платформы собственной разработки (рис. 2.73), на базе которой создан опытный образец системы управления.

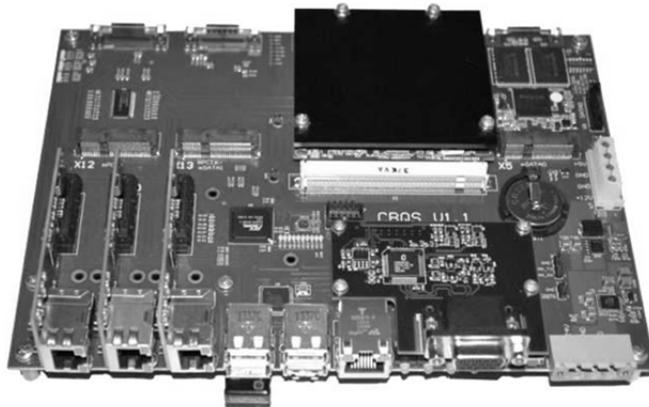


Рис. 2.73. Универсальная вычислительная платформа

Применение оптимизированной архитектуры позволяет создавать высоконадежные и высокопроизводительные масштабируемые промышленные системы управления сложными динамическими процессами в реальном времени. Системы управления с оптимизированной одноранговой архитектурой обладают рядом конкурентных преимуществ по сравнению с «классическими» системами управления. При этом ключевым является полный отказ от применяемых в классических системах управления физических контроллеров в пользу программно-реализованных «виртуальных контроллеров» (рис. 2.74).

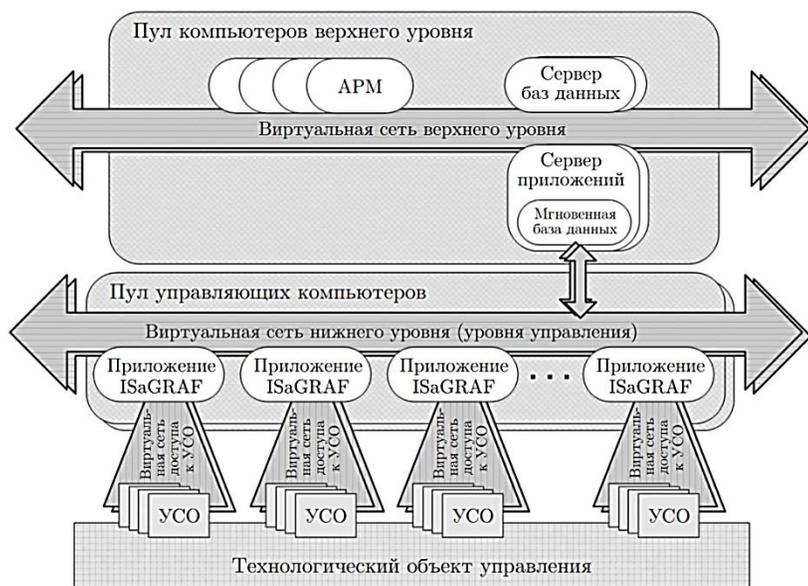


Рис. 2.74. Организация опытного образца одноранговой системы управления с «виртуальными контроллерами»

В результате исследований опытного образца подтверждено, что применение одноранговых систем управления с «виртуальными контроллерами» обеспечивает следующие конкурентные преимущества. Радикально расширяются возможности в проектировании и эксплуатации систем управления, поскольку применение оптимизированной одноранговой архитектуры снимает топологические и конструктивные ограничения, а также позволяет оперативно перераспределить нагрузку, добавить вычислительные мощности и каналы ввода/вывода. В системе реализовано общее «коммутационное поле», через которое от каждого активного элемента системы управления может быть статически проложен и настроен виртуальный канал связи с любым другим пассивным элементом, с гарантированным временем доставки. В реализации такого виртуального канала используются не специализированные, а широко распространённые недорогие программные и технические средства сети передачи данных *Fast Ethernet*. Это решение намного экономичнее, чем, например, организация гарантированной доставки с применением специальных

сетевых средств типа *Profibus* и других «полевых» шин. При добавлении новых технических и программных средств необходимо выполнить только их настройку без изменения существующей и настроенной части системы. Для систем такой архитектуры возможна любая степень резервирования, необходимая по условиям применения. При резервировании используются отдельные дублированные сети. Кардинально меняются способы и стоимость решения многих задач, которые необходимо решать при создании систем управления. Компоновка (распределение модулей по шкафам с оборудованием) может точно соответствовать топологии кабельных трасс: единицей привязки становится не контроллер, а модуль ввода/вывода. В одном шкафу могут размещаться модули из разных функциональных узлов. Перевод сигнала с одной управляющей программы на другую производится только программно, без изменения имеющихся физических подключений. Фактически любой сигнал в системе можно привязать к любой управляющей программе, выполняемой на любом управляющем компьютере. Управляющее программное обеспечение выделяется в полностью обособленный слой системы. Его декомпозиция зависит от спроектированного функционала системы и никак не зависит от компоновки технических средств. Вместо дорогих решений сложных технических проблем применяются относительно простые способы перенастройки и/или переконфигурации программного обеспечения.

Благодаря гибкости оптимизированной архитектуры упрощается и снимается множество ограничений в организации проектных и внедренческих работ. Для конкретного объекта, конкретных исполнителей и конкретных условий производства можно задать оптимальную последовательность проектирования системы управления и её разработки, создания и ввода в действие.

(Тематическая группа магистрально-модульных систем)

Публикации:

1. Пермяков Р.А., Подусов М.С., Поляков В.Г., Сердюков О.В. Система обнаружения вторжений для АСУТП на базе ПТК «ТОРНАДО-Н» // Автоматизация. Современные технологии (в печати)
2. Горбунов А.И., Кулагин С.А., Сердюков О.В. О проблемах дизайна мнемосхем // Электрические станции, 2016, № 5. С. 51–54.

3. РФФИ, РФФИ И ДРУГИЕ ГРАНТЫ

В 2015 году сотрудники Института выполнили 24 проект по грантам РФФИ (табл. 3.1):

Таблица 3.1.

№ п/п	№ проекта	Руководитель/ Ответственный исполнитель
1.	16-32-60184	Ватник Илья Дмитриевич
2.	16-32-60096	Достовалов Александр Владимирович
3.	16-33-00144	Зыкова Валерия Андреевна
4.	16-04-01221	Окотруб Константин Александрович
5.	16-03-00664	Суровцев Николай Владимирович
6.	16-01-00313	Резник Александр Львович
7.	16-37-00356	Мамрашев Александр Анатольевич
8.	16-32-00777	Достовалов Александр Владимирович
9.	16-32-00772	Ватник Илья Дмитриевич
10.	16-32-00710	Бенимецкий Федор Анатольевич
11.	16-02-00329	Ильичев Леонид Вениаминович
12.	15-08-03233	Золотухин Юрий Николаевич
13.	15-02-04950	Пугачев Алексей Маркович
14.	14-02-00189	Малиновский Валерий Константинович
15.	14-02-00449	Каблуков Сергей Иванович
16.	15-02-02333	Атутов Сергей Никитич
17.	14-02-00732	Твердохлеб Петр Емельянович
18.	15-02-05754	Чаповский Павел Львович
19.	15-52-45068	Бабин Сергей Алексеевич
20.	14-29-08134	Плеханов Александр Иванович
21.	14-29-07227	Полещук Александр Григорьевич
22.	16-02-00511	Шапиро Давид Абрамович
23.	16-52-12026	Шапиро Давид Абрамович
24.	16-02-20590	Бабин Сергей Алексеевич

По гранту РФФИ 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.* Институт является также соисполнителем проекта «Мощные широкодиапазонные терагерцовые источники и их применение в спектроскопии» в рамках гранта РФФИ № 15-19-10021, *руководитель д.ф.-м.н. профессор Лосев В.Ф.* (ИСЭ СО РАН, г. Томск).

В 2016 г. выполнялись работы в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ НШ-6898.2016.2 «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-6657.2016.2 («Фемтосекундная запись длинных волоконных брэгговских решеток показателя преломления для применения в лазерах и распределенных сенсорных системах», *руководитель к.ф.-м.н. Доставка-лов А.В.*).

Научный сотрудник, к.т.н. в 2016 *Булусhev Е.Д.* и инженер-конструктор *Сизиков И.С.* получали стипендии Президента РФ для молодых специалистов - исполнителей оборонного заказа.

Стипендия Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, получена на 2016–2018 гг. *Лобачев И.А.* на проведение исследований по теме «Исследование спектральных и фазовых свойств излучения волоконного лазера с пассивным сканированием частоты». Аналогичную стипендию в 2016 году продолжил получать *Ватник И.Д.* по теме «Исследование спектральных и поляризационных свойств волоконных ВКР-лазеров со случайной распределенной обратной связью».

Грант SPIE "Student Chapter Leadership Workshop 2016" для поездки на конференцию в Сан-Диего (США) получен *В.А. Симоновым*.

Гранты Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере на 2015–2016 гг. по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК») по Новосибирской области продолжили получать *Лобач И.А.* за проект «Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты» и *Чубаков В.П.* за разработку аппаратного комплекса проведения биомедицинской диагностики методом цифровой ПЦР.

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-9697.2016.2 «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.*) 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.

4. РАЗРАБОТКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ

4.1. Комплекс для разработки и отладки систем управления и навигации автономных мобильных роботов

Предлагаемый комплекс предназначен для разработки и отладки систем управления беспилотными аппаратами колесного, гусеничного и мультикоптерного типов в задачах управления траекторным движением, группового децентрализованного управления, определения местоположения в пространстве и обхода препятствий в условиях неопределенности.

Комплекс включает в себя моделирующий стенд, предназначенный для тестирования и отладки опытных образцов систем управления, а также набор специального конфигурируемого программного обеспечения, реализующего оригинальные методы навигации и управления движением автономных мобильных роботов.

Использование комплекса позволяет значительно уменьшить затраты, связанные с разработкой, реализацией и тестированием систем управления как единичными, так и группами роботов.



Рис. 4.1. Стенд для тестирования и отладки систем управления и навигации автономными мобильными платформами

Технико-экономические преимущества:

Для управления подвижными объектами созданы оригинальные методы формирования управляющих команд, обеспечивающих движение по заданным траекториям, поддержание требуемого расположения объектов в группе и перестроение группы, методы обхода препятствий, оценивания и компенсации погрешности алгоритмов определения местоположения при автономном движении в заранее неизвестном окружении, метод адаптации и компенсации возмущений по каналам управления.

Разработанные методы позволяют не только управлять движением объектов по предписанному маршруту, но и обеспечивают непрерывную оценку их пространственного положения с одновременным построением карты окружающей местности. Реализованные в комплексе методы управления носят универсальный характер и применимы для робототехнических объектов с произвольной динамикой.

Наличие в составе комплекса универсальных методов управления средств для моделирования и тестирования позволяет сократить время разработки и затраты, связанные с созданием систем управления для реальных объектов. В качестве объектов могут выступать как наземные роботы, так и беспилотные летательные аппараты, применение которых может существенно сэкономить человеческие ресурсы и повысить эффективность в обеспечении безопасности жизнедеятельности.

Данная разработка ориентирована на развитие современного производства автономных мобильных платформ, робототехнических комплексов в нашей стране и имеет высокую социальную значимость, так как при организации производства появятся новые рабочие места, необходимость привлечения высококвалифицированных специалистов, появятся возможности для обучения студентов и аспирантов с целью выполнения исследовательских работ, что приведет к дополнительному развитию науки в нашей стране.

Области применения: управление подвижными автономными объектами – мобильными роботами с целью решения задач поиска, наблюдения, транспортировки, аварийно-спасательных и военных операций, исследования океана, экологического мониторинга и др.

Рынок потребителей:

- Промышленные предприятия и организации, занимающиеся производством автономных мобильных роботов, беспилотных летательных аппаратов.
- Структуры МВД, МЧС, МО.
- Научные лаборатории, занимающиеся исследованиями в области системы управления и навигации.

Уровень практической реализации: предыдущая версия комплекса, включающего специальное программное обеспечение, поставлена в рамках хоздоговора (Москва, ЗАО НТЦ «Поиск-ИТ», 2015 г.).

Патентная защита: свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2016613926 «Программа траекторного управления полетом беспилотного летательного аппарата квадроспирального типа», 2016 г.

Коммерческие предложения: договор на разработку, изготовление и поставку продукции.

Ориентировочная стоимость: 5 млн. рублей.

4.2. Многоканальная система отображения и регистрации аудиовизуальной информации (СОРАВИ)

Одной из распространённых корпоративных задач является многоканальная аудио-, видеофиксация событий с целью протоколирования, дальнейшего анализа, формирования отчётов и сводок. Особенно востребовано это для различных тренажёрных комплексов, участков работы с повышенной ответственностью и т. д. Традиционно для этих целей использовались различные регистраторы из сфер систем видеонаблюдения и охраны либо традиционное видеокоммутационное и записывающее оборудование. Оба подхода имеют серьёзные недостатки как относительно выполнения конкретных задач (например, обработка данных в реальном времени), так и в объёме, стоимости и обслуживании подобных решений. Современное развитие компьютерных технологий позволяет поднять подобные решения на новый уровень эффективности, качества и функциональной насыщенности.

Многоканальная система отображения и регистрации аудиовизуальной информации (рис. 4.2) имеет модульную архитектуру, что обеспечивает достаточно простую процедуру реконфигурирования и адаптации системы под широкий спектр задач в зависимости от количества входных мультимедийных источников данных и количества используемых средств отображения в конкретном приложении.

Характеристики СОРАВИ:

1) Многооконный вывод на несколько мониторов.

СОРАВИ имеет встроенную возможность многооконного процессора с выводом на несколько мониторов. Разработан встроенный редактор раскладок, который позволяет создавать или редактировать расположение произвольного числа видеосигналов на поле отображения. Удобный пользовательский интерфейс (рис. 4.2, а) позволяет оперативно назначать видеисточники на места в раскладке. Сформированные раскладки можно сохранять для быстрого доступа и организовывать наборы раскладок под конкретные задачи. Имеется возможность оперативного отображения одного из источников на весь экран.



а



б

Рис. 4.2. Внешний вид многоканальной системы отображения и регистрации аудиовизуальной информации: *а* – пользовательский интерфейс инструктора, *б* – вычислительный блок системы

2) *Регистрация до 10 каналов формата высокой четкости (HD).*

Поддерживается одновременная регистрация до 10 входных видеосигналов высокой четкости со звуком в различных форматах (HD SDI/HDMI/DVI/VGA). Данная система позволяет комбинировать сигналы различных типов и форматов, а также дополнительно регистрировать сигналы с IP камер.

3) *Одновременная регистрация и воспроизведение.*

Воспроизведение ранее записанных видеоданных или просмотр данных реального времени можно осуществлять одновременно с записью.

4) *Поиск фрагмента.*

Для быстрого и удобного поиска можно создавать ссылки на конкретное время в записанном событии с помощью «горячих» клавиш, сигналов GPI или по сетевому протоколу. Список событий можно фильтровать по типу событий. Каждому событию можно добавлять текстовый комментарий, который будет отображаться на экране во время воспроизведения.

Поддерживается ускоренное (10x) и замедленное воспроизведение (0.1x). Есть возможность пошагового просмотра.

При воспроизведении видео в чересстрочном формате используется качественный аппаратный деинтерлейсинг.

5) *Эффективное использование дискового пространства.*

Сжатые аудио- и видеоданные хранятся в специальном оптимизированном формате, позволяющем оптимально использовать жесткие диски при записи и воспроизведении, что позволяет существенно увеличить срок службы жестких дисков. Кроме того, такой подход позволяет сократить до минимума время на позиционирование в произвольную позицию при воспроизведении. Применение современных эффективных алгоритмов сжатия видео (AVC) и аудио (AAC) позволяет хранить до 100 часов

записи 10 каналов высокой четкости в высоком качестве на диске объемом 4 Тб. В среднем качестве данный показатель может быть увеличен в 2 раза. Для просмотра записанного материала реализована возможность экспорта выбранных фрагментов в формат *MP4*. При этом экспортируется выбранная раскладка или отдельный канал.

6) Циклическая перезапись.

За счет использования специального формата хранения реализована возможность циклической перезаписи прежних данных, что позволяет упростить эксплуатацию.

7) Высокая надежность. Автоматическое восстановление процесса записи в случае ошибок.

Для повышения надежности системы предусмотрено протоколирование основных действий оператора и ошибок внутренних модулей. Кроме того, процесс записи отделен от процесса пользовательского интерфейса и процесса экспорта, что позволяет автоматически восстанавливать запись в случае экстренной остановки. Ошибки программы пользовательского интерфейса также не влияют на работоспособность системы записи, и запись продолжается даже при неактивном пользовательском интерфейсе.

Кроме того, предусмотренные, но не использованные в настоящий момент функциональные возможности в конкретной описанной системе:

- трансляция в сеть;
- удаленные консоли управления и отображения;
- возможность объединять несколько регистраторов.

Технико-экономические преимущества:

Предлагаемая система, базирующаяся на высокопроизводительной рабочей станции, может обеспечить одновременную параллельную регистрацию и воспроизведение около 10 каналов форматов HD, регистрировать различные предметные метаданные с внешних датчиков и использовать в качестве транспортной среды передачи данных сетевые решения, что позволяет эффективно организовывать удаленные рабочие места для контроля и управления событиями.

Унифицированные архитектурные и программно-алгоритмические решения, лежащие в основе СОРАВИ, являются предпосылкой создания подобных систем для различных областей применения, использующих широкий спектр мультимедийных данных для информационного обеспечения.

Области применения: Ситуационные центры, демонстрационные залы, системы управления и принятия решений, системы мониторинга и управления технологическими процессами, обучающие и тренажерные системы различного назначения.

Уровень практической реализации: Институт автоматизации и электрометрии СОРАН имеет опыт создания подобных систем, успешно апробированных, в частности на нескольких тренажерных комплексах в Центре

подготовки космонавтов им. Ю.А. Гагарина. Образец СОРАВИ используется как для регулярных, так и для экзаменационных тренировок космонавтов и обеспечивает синхронную многоканальную регистрацию высококачественного видео со встроенных камер, интерфейсов систем управления, переговоров космонавтов и инструкторов, сигналов управления тренажёром и информации с датчиков.

Патентная защита:

Получены свидетельства о государственной регистрации программ функциональных модулей СОРАВИ.

Коммерческие предложения: договор на изготовление и поставку продукции.

Ориентировочная стоимость: ~3,0 млн. руб.

5. НАУЧНО-ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

5.1. ОБЩИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИАиЭ СО РАН В 2016 ГОДУ (на 31.12.2016)

<u>Численный состав (чел.)</u>	
Общая численность	371
В том числе:	
Научных работников	144
Академиков	1
Член-корреспондентов РАН	2
Докторов наук	34
Кандидатов наук	68
Научных работников без степени	42
Молодых (до 35 лет) специалистов	28
Аспирантов	13
<u>Публикации (шт.)</u>	
Монографии, главы в монографиях	3
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (отечественных)	94
Статьи в рецензируемых журналах и сборниках научных статей (зарубежных)	41
Доклады в сборниках (трудах) международных конференций	60
Охранные документы	22
<u>Количество проектов и договоров</u>	
«Базовые» проекты госзадания	10
Гранты и стипендии Президента РФ	4
РФФИ и РФФИ	25
Проекты РАН	20
Договоры и контракты	
с российскими заказчиками	36
с зарубежными заказчиками	1

5.2. 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, чл.-корр. РАН*
 Condensed matter spectroscopy – *N.V. Surovtsev, Corr. Mem. of RAS*
- (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.*
 Optical Information Systems – *V.A. Labusov, Dr. Sci.*
- (05-1): Многоканальных анализаторов оптического и рентгеновского излучений – *д.т.н. В.А. Лабусов.*
 Multi-channel Analyzers of Optical and X-ray Radiation – *V.A. Labusov, Dr. Sci.*
- (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.*
- (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.*

- Software Systems for Computer Graphics – *M.M. Lavrentyev, Dr. Sci.*
- (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. Лихачев, 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, Ph. D.*
- (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. Сквородин.*
 Measuring Technology Automation – *I.N. Skovorodin.*
- (16): Интегрированных информационных систем управления – *А.В. Кирьянов, к.т.н.*
 Integrated Informational Control Systems – *A.V. Kiryanov, 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, чл.-корр. РАН*
 Fiber Optics – *S.A. Babin, Corr. Mem. of RAS*
- (17-1): Волоконных лазеров – *С.И. Каблуков, д.ф.-м.н.*
 Fiber Laser – *S.I. Kablukov, Dr. Sci.*

5.3. РАБОТА УЧЕНОГО СОВЕТА

В 2016 г. состоялось 15 протокольных заседаний Ученого совета ИАиЭ СО РАН, на которых:

- Рассмотрены итоги деятельности ИАиЭ СО РАН в 2015 году;
- Утверждены индивидуальные планы и темы диссертационных работ аспирантов приема 2015 г., закреплены курирующие лаборатории, на базе которых будут осуществляться научные исследования аспирантов;
- Утвержден отчет ИАиЭ СО РАН о научной и научно-организационной деятельности в 2015 г.;
- Утверждены рейтинговые показатели подразделений Института за 2014–2015 гг.;
- Рассмотрен и утвержден состав редакционной коллегии журнала «Автометрия» в главе главным редактором академиком *Шалагиным А.М.*;
- Утверждены поправки к «Положению о порядке стимулирующих выплат сотрудникам научных подразделений ИАиЭ СО РАН»;
- Проведены конкурсы на замещение вакантных должностей научных работников ИАиЭ СО РАН, по результатам которых выбрано: ведущих научных сотрудников – 2, старших научных сотрудников – 5, научных сотрудников – 3, младших научных сотрудников – 4, заведующих лабораторий – 1;
- Обсуждено Положение об Ученом совете Института и проведены выборы на должность председателя Ученого совета Института с избранием на эту должность академика *Шалагина А.М.*;
- Утвержден список кандидатов от ИАиЭ СО РАН в реестр экспертов РАН;
- Рассмотрены и утверждены кандидатуры на избрание в академики и члены-корреспонденты РАН (*члена-корреспондента РАН, д.ф.-м.н. Бабина С. А., д.ф.-м.н. Подвилова Е.В., д.т.н., профессора Потатуркина О.И., д.ф.-м.н., профессора РАН Суровцева Н.В., д.ф.-м.н., профессора Михаила П.Ф.*);
- Рассмотрены и поддержаны 3 заявки сотрудников Института (*Будушева Е.Д., Катасонова Д.Н., Мальцева А.С.*) на участие в конкурсе 2016 г. на предоставление субсидий в виде муниципальных грантов мэрии города Новосибирска молодым ученым и специалистам;
- Рассмотрена и поддержаны 3 заявки сотрудника Института (*Николаева Н.А., Харенко Д.С., Будушева Е.Д.*) на получение гранта президента РФ в рамках конкурса МК-2017 для государственной поддержки научных исследований, проводимых молодыми российскими учеными – кандидатами наук;

- Рассмотрены и поддержаны 2 заявки сотрудников Института (*Булужева Е.Д.* и *Сизикова И.С.*) на получение стипендии Президента Российской Федерации для специалистов и молодых работников организаций – исполнителей государственного оборонного заказа;
- Обсуждены и утверждены важнейшие результаты научных исследований за 2016 г.;
- Утверждены отчеты по «базовым» темам фундаментальных научных исследований, выполнявшимся в рамках госзадания ИАиЭ СО РАН на 2016 г. в соответствии с Планом НИР Института и «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы»;
- Рассмотрены и утверждены государственное задание и план НИР Института на 2017 г., включая проекты в рамках программ ФНИ Президиума и Отделений РАН.

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

Аспирантура ИАиЭ СО РАН ведет обучение по программам подготовки научно-педагогических кадров по следующим направлениям подготовки:

03.06.01 Физика и астрономия. Специальность 01.04.05 Оптика (физико-математические науки, технические науки).

09.06.01 Информатика и вычислительная техника. Специальность 05.13.18 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки).

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии. Специальность 05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы (физико-математические науки).

В 2016 году в аспирантуру Института принято 3 человека (1 – выпускник 2016 года из НГТУ, 1 – 2015 года из НГУ и 1 – 2003 года из НГУ).

Всего на 30.11.2016 обучение проходят 13 аспирантов. В 2016 году 6 выпускников закончили обучение с представлением диссертации, 1 – с защитой 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 2016 г. проведено 4 заседания Совета, защищено 3 диссертации (1 докторская, 2 кандидатских).

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

Двойнишиников С.В. «Многопараметрическая триангуляция геометрии динамичных объектов в фазово-неоднородных средах».

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

Окотруб К.А. «Исследование замораживаемых биологических клеток методом комбинационного рассеяния света».

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

Булушев Е.Д. «Разработка алгоритмов и программных средств для определения оптимальных параметров лазерной микрообработки по данным систем технического зрения и оптических профилометров».

Институт является базовым для трех специализированных кафедр Новосибирского государственного университета: «Квантовая оптика» (КО) – зав. кафедрой директор Института академик РАН *Шалагин А.М.*, «Автоматизация физико-технических исследований» (АФТИ) – зав. кафедрой научный сотрудник Института к.т.н. *Лысаков К.Ф.* и «Компьютерные технологии» (ИИС) – зав. кафедрой зам. директора по научной работе д.т.н. *Потатуркин О.И.*, а также кафедры Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) «Оптические информационные технологии» (ОИТ) – зав. кафедрой заведующий лабораторией Оптических информационных систем Института д.т.н. *Лабусов В.А.* На этих кафедрах в 2016 г. обучались 80 студентов 3–4 курсов и 21 магистрант. Под руководством научных сотрудников Института выполняли дипломные работы и магистерские диссертации 25 студентов различных вузов Новосибирска.

С Новосибирским государственным университетом заключено соглашение о сотрудничестве в направлении подготовки научных и инженерных кадров, а также области научных исследований и инновационной деятельности.

В работе со студентами, магистрантами и аспирантами участвовали около 50 сотрудников Института, среди которых один академик, один член-корреспондент РАН, 15 докторов и 22 кандидата наук.

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

На базе Института действует 6 научно-образовательных центров (НОЦ). Совместно с НГУ созданы НОЦ в области автоматике и волоконной оптики НОЦ АВО (руководитель академик РАН *Шалагин А.М.*, исполнительный директор чл.-корр. РАН *Бабин С.А.*), НОЦ «Оптические 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.*).

На базе Института организованы постоянно действующие семинары: межинститутские УНЦ «Квантовая оптика» (руководитель акад. РАН *Шалагин А.М.*) и «Инжиниринг современных информационных систем» (руководитель д.т.н. *Зюбин В.Е.*) и межлабораторный «Информационные технологии и системы» (руководитель д.т.н., проф. *Потатуркин О.И.*), в рамках которых в 2016 году проведено 14, 4 и 3 семинара соответственно.

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях Лаборатории нелинейной фотоники НГУ 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.

Достижения молодых ученых Института отмечены различными грантами и стипендиями.

В 2016 г. получила традиционную поддержку в виде гранта Президента РФ научная школа «Спектроскопия и фотоника наноструктур, волоконных световодов и газовых сред» (руководитель академик *Шалагин А.М.*). Также получен грант Президента РФ 2016–2018 гг. для государственной поддержки молодых российских ученых МК-6657.2016.2 («Фемтосекундная запись длинных волоконных брэгговских решеток показателя преломления для применения в лазерах и распределенных сенсорных системах»), руководитель к.ф.-м.н. *Доставалов А.В.*

Стипендию Президента РФ молодым ученым и аспирантам, осуществляющим перспективные научные исследования и разработки по приоритетным направлениям модернизации российской экономики, в 2016 году получали *Ватник И.Д.* и *Лобач И.А.*

Премию мэрии в сфере науки и инноваций для молодых учёных и специалистов в номинации «Лучший молодой исследователь в организациях науки» получил научный сотрудник к.ф.-м.н. *Лобач И.А.* (тема: «Исследование волоконного лазера с пассивным сканированием частоты»).

Грант SPIE для участия в конференциях "Student Chapter Leadership Workshop 2016" и "Optics + Photonics 2016" (США) получен *Симоновым В.А.*

В 2016 году Институт провел Всероссийскую конференцию «Физика ультрахолодных атомов – 2016», Российский семинар по волоконным лазерам и Молодежную конкурс-конференцию «Фотоника и оптические технологии 2016». Институт являлся также соорганизатором Меж-

дународной конференции «СибОптика» в рамках Международного форума «Интерэкспо ГЕО-Сибирь – 2016».

Молодые ученые Института активно участвуют в популяризации науки и подготовке подрастающего поколения будущих ученых: в рамках Дней науки в Институте традиционно проводятся экскурсии для студентов и школьников.

В 2016 году произошло важное для Института событие – заведующий лабораторией д.ф.-м.н. профессор РАН *Суровцев Н.В.* избран членом-корреспондентом РАН.

5.5. МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ СВЯЗИ

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

Совместно с коллегами из Анжуйского (Франция) и Фрайбургского (Германия) университетов продолжались 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 «Доминантекс» и «Индастриал технолоджиз групп», г. Киев) продолжаются работы, связанные с разработкой алгоритмического и программного обеспечения для решения прямых и обратных задач дифракции и сейсмотомографии.

Поддерживается сотрудничество с Международной Ассоциацией научного и технологического развития IASTED. Заведующий лабораторией д.т.н. А.Л. Резник 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 (2015–2017 гг.) в сотрудничестве с Объединенным институтом проблем информатики (г. Минск) выполняется проект «Разработка средств интеллектуальной программной поддержки для ускоренного решения трудоемких задач цифровой обработки информации».

В 2016 году ИАиЭ СО РАН продолжал совместную деятельность в рамках Международного консорциума по терагерцовой фотонике и оптоэлектронике, который объединяет более 70 ведущих российских и иностранных организаций, занимающихся образовательной и исследовательской деятельностью, опытно-конструкторскими работами, связанными с возможными применениями волн терагерцового диапазона.

Продолжалось сотрудничество в рамках Протокола о намерениях сотрудничества между Институтом автоматизации Академии наук про-

винции Хэйлуңцзян КНР и ИАиЭ СО РАН в области позиционирования и определения траекторий движения людей с помощью инерциальной навигационной системы, а также в области беспроводной передачи, обработки и 3D-отображения информации в реальном времени.

Продолжалось сотрудничество в рамках Соглашения о научном и технологическом сотрудничестве между Колледжем электроники и информационной инженерии Чанчуньского университета науки и технологий (ЧУНТ) и ИАиЭ СО РАН.

В соответствии с грантом РФФИ № 15-52-45068/15 ИНД_a (совместный конкурс российско-индийских проектов 2015–2016 гг.) выполнен проект «Непрерывные и импульсные поляризационно-зависимые волоконные параметрические генераторы для применений в биомедицинской диагностике» совместно с учеными Индийского технологического института в Кхарагпуре (Indian Institute of Technology Kharagpur).

Грант SPIE для участия в конференциях "Student Chapter Leadership Workshop 2016" и "Optics + Photonics 2016" (США) получен Симоновым В.А.

Д.ф.-м.н. Шапиро Д.А. избран почетным членом Международного оптического общества OSA.

ИАиЭ СО РАН является координатором и исполнителем международного проекта COSMA (Coherent Optics Sensors for Medical Applications) по научному обмену в рамках 7 Европейской рамочной программы International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), FP7-PEOPLE-2011-IRSES (координатор д.ф.-м.н. Насыров К.А.).

В рамках договора о международном научно-техническом сотрудничестве с компанией Диоптик ГмбХ (Германия) продолжаются работы по дифракционной оптике, разработке и применению синтезированных голограмм.

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

Сотрудники Института принимают участие в исследованиях Лаборатории нелинейной фотоники НГУ 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.

В 2016 г. в рамках проекта Министерства науки и образования Германии «Планирование инновационных стратегий для неинвазивной диагностики опухолей на основе применения узкополосных плазмонных наноструктур для обнаружения экзосом» сотрудники Института в сотрудничестве с европейскими исследователями стремятся создать междисциплинарную сеть для создания платформы, позволяющей разработку

новых подходов диагностического зондирования с целью обнаружения раковых экзосом и их компонентов из биологических секретов организма для развития новой технологии жидкостной биопсии.

Продолжилось сотрудничество с Арканзаским наномедицинским центром при Университете медицинских наук Арканзаса (США) и государственным Университетом Джорджия (США) по исследованию спазеров как тераностик-агентов. Полученные результаты опубликованы в совместной публикации в журнале “Nature Communications”.

В отчетном году в заграничные служебные командировки (Великобритания, Германия, Китай, Индия, Франция, США, Армения, Беларусь, Украина) для участия в совместных исследованиях, конференциях и выставках выезжали 20 сотрудников ИАиЭ СО РАН. С целью ознакомления с научными достижениями ИАиЭ СО РАН и обсуждения совместных работ Институт посетили 24 иностранных учёных из Болгарии, Японии, Китая, Италии, Индии, Кореи. 2 иностранных специалиста проходят стажировку в Институте.

В 2016 году Институт участвовал в организации и проведении XV Международного симпозиума «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» и VII Российского Семинара по волоконным лазерам, в котором принимали участие иностранные ученые.

Результаты исследований ученых ИАиЭ СО РАН были представлены более чем в 60 докладах на международных конференциях, а также на 4 международных выставках.

В текущем году продолжали действовать договоры о международном научно-техническом сотрудничестве (МНТС) с организациями:

- Университет Анже, г. Анже, Франция. Учетный номер НТИМИ 0683/03/10;
- Институт Фотоники и Электроники Академии Наук Чешской Республики, г. Прага, Чехия. Учетный номер НТИМИ 0391/01/13;
- Университет Астон, г. Бирмингем, Великобритания. Учетный номер НТИМИ 0683/02/10 (продлён до 2019 г.).

В 2016 году зарегистрирован новый договор МНТС с Институтом экологической медицины и гигиены Университетской клиники Фрайбурга (Германия).

5.6. ПРАВОВАЯ ЗАЩИТА РАЗРАБОТОК И ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2016 г. Институтом получено:

- 9 патентов на изобретения:
 - № 2574863 «Многоканальный конфокальный микроскоп (варианты)» (авторы: Бессмельцев В.П., Терентьев В.С.). Официальный бюллетень РОСПАТЕНТА «Изобретения. Полезные модели», № 4, 10.02.2016;
 - № 2582286 «Способ детекции проникновения углеродных нанотрубок в биологическую ткань» (авторы: Шляхова Е.В., Булушева Л.Г., Окотруб А.В., Гурова О.А., Омелянчук Л.В., Дубатолова Т.Д., Окотруб К.А., Суровцев Н.В.). Там же, № 11, 20.04.2016;
 - № 2585928 «Широкодиапазонный нанопозиционер сфокусированного электромагнитного излучения» (авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И., Сорокин В.А., Кучьянов А.С.). Там же, № 16, 10.06.2016;
 - № 2587528 «Способ контроля погрешности изготовления дифракционных оптических элементов (ДОЭ)» (авторы: Полещук А.Г., Шиманский Р.В.). Там же, № 17. 20.06.2016;
 - № 2591034 «Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском» (авторы: Дьякова И.И., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В.). Там же, № 19, 10.07.2016;
 - № 2592734 «Способ калибровки углового датчика» (авторы: Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Измайлов К.О., Максимов А.С.). Там же, № 21, 27.07.2016;
 - № 2593351 «Способ мониторинга сердечной деятельности пациента» (авторы: Бессмельцев В.П., Катасонов Д.Н., Слуев В.А., Морозов В.В., Шевела А.И.). Там же, № 22, 10.08.2016;
 - № 2597943 «Способ мониторинга малых примесей ацетона в выдыхаемом воздухе пациента и устройство для его реализации» (авторы: Атутов С.Н., Плеханов А.И., Суровцев Н.В.). Там же, № 26, 20.09.2016;
 - № 2599949 «Способ фильтрации потока НТТР-пакетов на основе пост-анализа запросов к Интернет-ресурсу и устройство фильтрации для его реализации» (авторы: Будников К.И., Курочкин А.В.). Там же, № 29, 20.10.2016.
- 3 патента на полезные модели:
 - № 160483 «Фотоэлектрическое устройство для слежения за Солнцем» (авторы: Котов В.Н., Лубков А.А., Власов С.В., Перебейнос С.В.). Официальный бюллетень РОСПАТЕНТА «Изобретения. Полезные модели», № 8, 20.03.2016;
 - № 162920 «Высокоапертурный объектив для фокусировки оптического излучения» (авторы: Полещук А.Г., Седухин А.Г.). Там же, № 18, 27.06.2016;

- № 165622 «Устройство тестирования голографических светочувствительных материалов» (автор Пен Е.Ф.). Там же, № 30, 27.10.2016.
- 10 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ:
 - № 2016612869 «Deposition Control Simulator: Программа моделирования работы системы контроля» (автор Семёнов З.В.). Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.03.2016;
 - № 2016613926 «Программа траекторного управления полетом беспилотного летательного аппарата квадроспирального типа» (авторы: Котов К.Ю., Мальцев А.С., Соболев М.А.). Там же, 11.04.2016;
 - № 2016618013 «Программа для формирования перечней файлоизображений при оценке характеристик тепловизионных фотоприемных устройств» (авторы: Дашевский О.Ю., Козик В.И.). Там же, 19.07.2016;
 - № 2016619372 «Программа для определения характеристик тепловизионных фотоприемных устройств» (авторы: Дашевский О.Ю., Козик В.И.). Там же, 18.08.2016;
 - № 2016661549 «Модуль для воспроизведения мультимедиа в среде QML» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н.). Там же, 29.04.2015;
 - № 2016661549 «Модуль для воспроизведения мультимедиа в среде QML» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н.). Там же, 13.10.2016;
 - № 2016661561 «Модуль для вывода мультимедиа данных, сформированных в среде QML» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н.). Там же, 13.10.2016;
 - № 2016662063 «Модуль визуализации и управления трехмерными сценами в формате fbx в среде QML» (авторы: Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н.). Там же, 28.10.2016;
 - № 2016662158 «Программа для ЭВМ «М-СТАР16»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Там же, 31.10.2016;
 - № 2016662159 «Программа для ЭВМ «М-РАЗР16»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Там же, 31.10.2016;
 - № 2016662343 «Программа для ЭВМ «М-СЧИТ16»» (авторы: Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А.). Там же, 08.11.2016.
- В РОСПАТЕНТе находятся заявки:
 - Международная заявка на изобретение «Способ изготовления волоконных брэгговских решеток в нефоточувствительных волоконных световодах» (авторы: Достовалов А.В., Бабин С.А., Вольф А.А., Парыгин А.В., Распопин К.С.);
 - на изобретение «Лазер с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод» (авторы: Донин В.И., Трубецкой А.В., Яковин Д.В., Грибанов А.В., Затолокин В.Н.);

- на изобретение «Способ анализа концентрации аналита и оптический хемосенсор» (авторы: Кучьянов А.С., Плеханов А.И., Чубаков П.А.);
- на изобретение «Способ построения углового преобразователя абсолютного типа» (авторы: Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Чуканов В.В.);
- на изобретение «Устройство для контроля углового положения дифракционных порядков дифракционных элементов (варианты)» (авторы: Полещук А.Г., Белоусов Д.А.);
- на изобретение «Эталон единицы плоского угла» (авторы: Кирьянов А.В., Кирьянов В.П.);
- на изобретение «Двухлучевой интерферометр» (автор Угожаев В.Д.);
- на изобретение «Многоканальный конфокальный микроскоп» (авторы: Бессмельцев В.П., Максимов М.В., Терентьев В.С.);
- на программу для ЭВМ «Программа для поиска таблицы корректирующих значений для сканирующей лазерной системы по файлу изображения тестовой сетки Scan Coggestion» (авторы: Голошевский Н.В., Смирнов К.К.).

Поддерживается в действии 67 патента, зарегистрировано 41 программа для ЭВМ, 1 база данных, 2 товарных знака, оформлено 8 ноу-хау.

Заключено 3 договора о совместном патентовании.

В Институте работают Комиссия по охране результатов интеллектуальной деятельности и Комиссия по экспортному контролю и вопросам экспертизы.

В ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (ФГАНУ ЦИТиС) для регистрации в государственном информационном фонде неопубликованных документов направлены:

- Регистрационные карты по 32 темам НИР;
- Отчеты:
 - Оптические методы исследования и формирования твердотельных наноструктур с целью создания компонентов оптоэлектронных систем (№ гос. рег. 01201366866), рук. Потатуркин О.И. (заключительный, инв. 216021060009);
 - 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), рук. Потатуркин О.И. (заключительный, инв. 216021060010);
 - Разработка технологии точной лазерной микрообработки стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок изделий оптико-механической промышленности для изготовления мето-

- дами прямой лазерной записи оптических шкал, лимбов, сеток (№ гос. рег. 01201373853), рук. Бессмельцев В.П. (заключительный, инв. 216021210018);
- Исследование организации и функциональных свойств наноструктурированных сред оптическими методами (№ гос. рег. 01201365448), рук. Малиновский В.К. (заключительный, инв. АААА-Б16-216122750085-3);
 - Математическое моделирование интегрированных программно-аппаратных систем в задачах формирования, анализа и представления последовательности изображений и автоматизации сложных динамических процессов (№ гос. рег. 01201364507), рук. Резник А.Л. (заключительный, инв. АААА-Б17-217011060013-6);
 - Исследование динамики формирования пространственно-временных структур при взаимодействии полей с фоторефрактивными, оптоволоконными и наноструктурированными средами (№ гос. рег. 01201363760), рук. Комаров К.П. (заключительный, инв. АААА-Б17-217011060018-1).

5.7. ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Ведется работа по взаимодействию с предприятиями, занимающимися внедрением и производством продукции на базе разработок Института.

Ведется работа по экспертизе публикаций и материалов, направляемых за рубеж для открытого представления на предмет соответствия проводимых публикуемых материалов перечням контрольных списков. Продолжена работа по заключённым ранее международным контрактам.

Проведена работа, связанная с изменениями в уставном капитале предприятия, основанного с участием Института (ООО «Фемтотех»).

Сотрудники Инновационного отдела повышают свою квалификацию путем участия в различных семинарах и конференциях по патентной и инновационной тематике. В 2016 г. по следам обучения в патентной школе Сколково главным специалистом по патентной и изобретательской работе проведен семинар «Защита технических решений и не только...», а также двое сотрудников прошли обучение по работе с графическим редактором InDesigne.

Разработки Института ежегодно участвуют в конкурсах инновационных проектов. В 2016 г. работа «Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства оптических шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро- и нанообработки» (*совместно с КТИ ИП СО РАН*) удостоена звания Лауреат Конкурса международной научно-технической организации «Лазерная Ассоциация» на лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий (в рамках 11 Международ-

ной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики–2016».

На конкурс инновационных проектов в рамках XXII Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*) было представлено 4 проекта: «Прецизионный технологический комплекс для оптического производства на основе лазерной фемтосекундной трехмерной микрообработки и точного профилометрического контроля», «Двухканальная круговая лазерная записывающая система для синтеза микроструктурированных компонентов новой элементной базы для оптоэлектронного приборостроения, фотоники и микромеханики» (*совместно с КТИ НП СО РАН*), «Системы управления и навигации автономных мобильных роботов» и «Малобюджетная мультимедийная система обучения компьютерным телевизионным технологиям для образовательных учреждений».

Все работы отмечены наградами (см. подробно в разделе «Награды»).

5.8. 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 (*Лаборатория волоконной оптики*);
- Широкополосная терагерцовая спектроскопия (*Лаборатория информационной оптики*);
- Приборы для исследования полупроводниковых структур (планшет) (*Тем. группа аналого-цифровых систем*);
- Дифракционные оптические элементы: синтез и применение *Лаборатория дифракционной оптики*;
- Нанометрология асферических поверхностей (*Лаборатория дифракционной оптики*);
- Лазерные технологии и оборудование для микрообработки и промышленной маркировки (*Лаборатория лазерной графики*);
- Исследовательский автоматизированный высокотемпературный пресс (планшет) (*Тем. группа автоматизации измерительных технологий*);
- Автоматизированная система диспетчерского управления (на примере управления движением поездов метрополитена) (*Лаборатория нечетких технологий*).

Ведется работа по подготовке материалов для обновления экспозиции.

В 2016 г. Институт принимал участие в следующих выставках:

- XXII Международная выставка-конгресс «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» в составе XII Петербургской Технической Ярмарки (*Санкт-Петербург*): «Прецизионный технологический комплекс для оптического производства на основе лазерной фемтосекундной трехмерной микрообработки и точного профилометрического контроля», «Двухканальная круговая лазерная записывающая система для синтеза микроструктурированных компонентов новой элементной базы для оптоэлектронного приборостроения, фотоники и микромеханики» (*совместно с КТИ НП СО РАН*), «Системы управления и навигации автономных мобильных роботов»; «Малобюджетная мультимедийная система обучения компьютерным телевизионным технологиям для образовательных учреждений», «Дифракционные оптические элементы»;
- XI Международная специализированная выставка лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. мир лазеров и оптики – 2016» (*Москва*): «Дифракционные элементы – синтез и применение», «Интерферометр ФТИ-100РС», «Волоконные лазеры видимого и ИК диапазона», «Базовая платформа для создания технологического оборудования фотоники субмикронного разрешения», «Лазерные фемто-технологии и системы точной микрообработки различных материалов»;
- Форум «Городские технологии» (*г. Новосибирск, Россия*): «Системы автоматического управления сложными динамическими объектами», «Интеллектуальная обработка изображений и видеоданных в системах обеспечения безопасности», «Система мобильного мониторинга сердечной деятельности человека на основе интеллектуальных датчиков и беспроводных технологий»;
- Выставка в рамках научно-практической конференции «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития» (*Москва*): «Лазерная трехканальная рабочая станция 3D микрообработки», «Оптический профилометр с конфокальным хроматическим датчиком», «Круговая лазерная записывающая система», «Интерферометры для контроля сферических и асферических поверхностей», «Профилометр на базе микроинтерферометра МИИ-4», «Оптоволоконные лазеры», «Исследовательский автоматизированный высокотемпературный пресс»;
- Международный форум технологического развития «ТЕХНО-ПРОМ–2016» (*г. Новосибирск, Россия*) в рамках программы «Фламанские проекты программы «Реиндустриализация экономики Новосибирской области»: «Разработка аппаратно-программных лазерных аддитивных систем трехмерного послойного формообразования прототипов и изделий на основе селективного сплавления порошков» (*в составе Сибирского металлурго-машиностроительного кластера аддитивных цифровых технологий и производств ИХТТМ СО РАН, ИЛФ*

СО РАН, ИАиЭ СО РАН, КТИ НП СО РАН, НГТУ, ООО «ЭПОС-инжиниринг», ПАО «Компания «Сухой» ОАО «НАПО им. Чкалова», ОАО «БЭМЗ»); в рамках специализированной выставки «Технологии в условиях Арктики. Материалы и технологии для работ по освоению Арктики»: «Система мобильного мониторинга сердечной деятельности человека» и «Баллистический абсолютный гравиметр ГАБЛ-ПМ для полевых работ»;

- 26 Международная выставка здравоохранения, медицинской техники и лекарственных препаратов «Здравоохранение-2016» (Москва): «Действующий макет миниатюрного устройства с беспроводными датчиками для мониторинга деятельности сердечно-сосудистой системы человека в режиме реального времени с передачей данных по сотовой связи» (совместно с ИХБФМ СО РАН).

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 2015 г. (212 с., тираж 115 экз.).

Постоянно ведется работа по обновлению информации на сайте Института <http://www.iae.nsk.su>.

Изготовлены 7 новых рекламных баннеров и проспектов о разработках Института.

СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МИКРО-ОПТИКИ, МЕХАНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Применение: измерение рельефа поверхности изделий, полученных в процессе 3D-микроформообразования (травления, лазерной микрообработки, напыления, литографии и пр.).

Состав комплекса:

- конфокальные хроматические сенсоры (C1, C2)
- трехкоординатная система позиционирования
- высокоразрешающая система технического зрения
- Программное обеспечение "Profilometer".

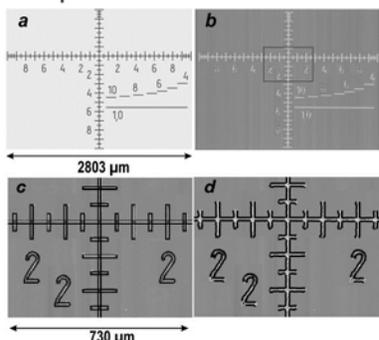
Технические характеристики:

- Область сканирования 200×200 мм²;
- Максимальная толщина образца 50 мм;
- Получение профиля объекта с погрешностями менее 100 нм со скоростью сканирования до 100 мм/сек головками C1 и C2:
C1: разрешение XY – 4 мкм, Z – 75 нм, диапазон по Z – 4 мм)
C2: разрешение XY – 0.9 мкм, Z – 5 нм, диапазон по Z – 130 мкм);
- Получение изображений 10 Мп с разрешением 4 мкм;
- Шивка в изображение высокого разрешения (> 1 Гп) с погрешностями менее 10 мкм;

Функциональные особенности и новизна:

- Интеграция в одном продукте средств измерения, обработки данных и контроля качества CAD-модели;
- Исключены ошибки (сферические aberrации, дисторсия) при получении профилограммы поверхности;
- Возможность измерения поверхности высококонтрастных объектов (коэффициент отражения которых локально изменяется более чем на 3 порядка);
- Высокоточные алгоритмы:
 - обработки пространственных данных (коррекция ошибок, фильтрация, компенсация наклона);
 - сравнения данных измерений с CAD-моделью (автоматическое совмещение, поиск границ объектов, определение размеров и формы структурных элементов объекта и дефектов обработки).

Контроль качества нанесения сеток

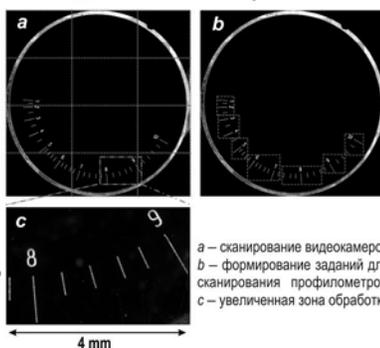


Полностью автоматический контроль качества фс лазерного формирования сеток на стекле по данным измерений на профилометрической системе и совмещения с CAD-моделью: *a* – CAD-модель, *b* – результат измерений, *c* – результат автоматического совмещения, *d* – выделение границ структурных элементов, определение показателей качества и проверка выполнения технологических требований.



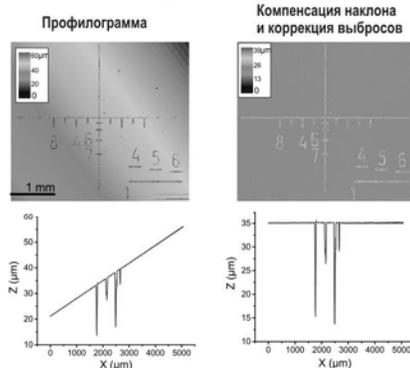
Внешний вид устройства

Выделение зон сканирования



a – сканирование видеокамерой
b – формирование заданий для сканирования профилометром
c – увеличенная зона обработка

Обработка профилометрических данных



Проект Министерства образования и науки Российской Федерации «Создание гибкого производства оптических и оптико-электронных приборов нового поколения на основе лазерной трехмерной микрообработки оптических компонентов и нанесение многослойных диэлектрических покрытий со слоями нанометровой толщины», шифр 2012-218-03-004



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН www.iae.nsk.su
630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Контюга, 1, тел.: (383) 330-83-00, 333-24-91,
факс: (383) 330-88-78 E-mail: innovation@iae.nsk.su, bessmelt@iae.nsk.su

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНОЙ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МИКРООБРАБОТКИ И ТОЧНОГО ПРОФИЛОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

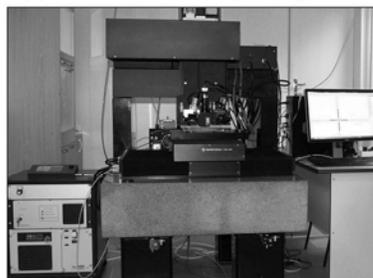
ЛАЗЕРНАЯ РАБОЧАЯ СТАНЦИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА (ФПЛ)

Прецизионная лазерная микрообработка стеклянных, кристаллических, полимерных и композитных заготовок изделий оптико-механической промышленности методами прямой лазерной записи.

Производительность системы (скорость формирования трехмерных профилей в оптически прозрачных хрупких материалах) превышает аналогичные показатели западных экспериментальных образцов.

Основные технические характеристики:

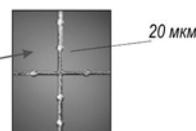
Способ сканирования	растровый, векторный
Максимальная скорость обработки, мм/с	до 1000
Минимальная ширина гравироваемой линии, мкм	3
Минимальная дискретность позиционирования, нм	50
Максимальный размер зоны обработки, мм	200x200x100



Применение лазерных гравировки и микрорезки



Гравировка стекла
(минимальная ширина линии 5 мкм)



Изделие из фольги толщиной 100 мкм
(микрорезка)

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.

СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МИКРО- ОПТИКИ, МЕХАНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

Прецизионная система 3D измерений и контроля качества микрообработки на основе конфокальных хроматических сенсоров и высокоразрешающей модуля технического зрения.

Система обеспечивает измерения с субмикронным разрешением, совмещение результатов с исходной САД-моделью обработки, измерение размеров и определение показателей качества изделий (наличие сколов, шероховатость).

Основные технические характеристики:

Область сканирования	200x200 мм ² .
Получение профиля объекта с разрешением	по XY до 100 нм, по Z до 5 нм.
Скорость сканирования	до 100 мм/с.



Проект Министерства образования и науки Российской Федерации «Создание гибкого производства оптических и оптико-электронных приборов нового поколения на основе лазерной трехмерной микрообработки оптических компонентов и нанесение многослойных диэлектрических покрытий со слоями нанометровой толщины», шифр 2012-218-03-004.



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН <http://www.iae.nsk.su>
тел. +7(383) 330-83-00, 333-24-91, факс: +7(383) 330-88-78
e-mail: innovation@iae.nsk.su; bessmelt@iae.nsk.su



СИСТЕМА МОБИЛЬНОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

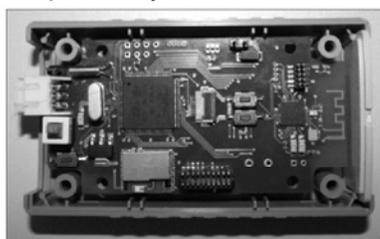
Разработаны структурные и аппаратно-программные решения для создания носимого комплекса непрерывного мониторинга сердечной деятельности человека с датчиками, не мешающими пациенту выполнять повседневные функции.

Микросервер обеспечивает сбор, предварительную обработку и хранение данных мониторинга.

Коммуникатор по запросу передает данные на медицинский сервер глобальной системы мониторинга. При возникновении критических состояний пациента (определяемых мобильным комплексом) обеспечивается быстрое оповещение экстренных служб.



Медицинский сервер



Плата микросервера на базе микроконтроллера STM32F401VCT6, BLUETOOTH V3, BLE

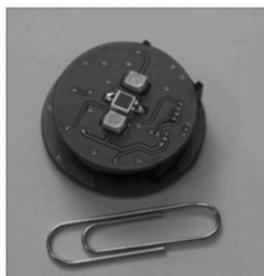


Карта пациента

Монитор коммуникатора

Датчик ЭКС

ДАТЧИК ПУЛЬСА



Принцип действия основан на просвечивании кровеносных сосудов и измерении пульсаций отражённого или прошедшего светового потока с помощью фотоэлектрического преобразователя.

ДАТЧИК ЭКГ



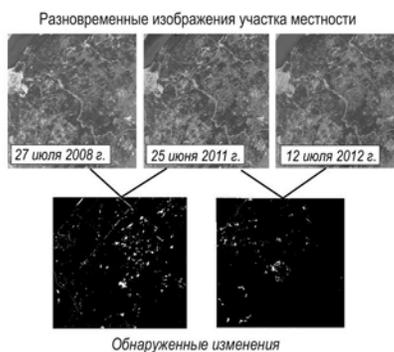
Принцип действия основан на измерении емкостной связи между поверхностью кожи и площадкой сенсора (~10 пФ при площади 100 мм² и зазоре между кожей и чувствительной площадкой сенсора 0.1 мм)

Институт автоматизики и электрометрии СО РАН www.iae.nsk.su
630090 г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 1
тел. (383)333-24-91, (383)330-83-00, факс (383)330-88-78 e-mail: innovation@iae.nsk.su

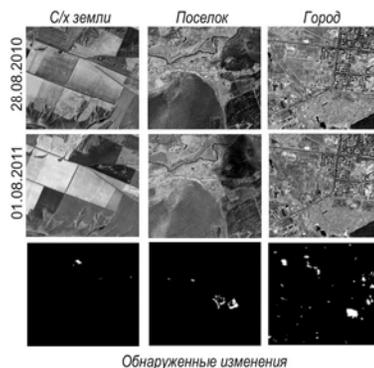
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

ОБНАРУЖЕНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Обнаружение выборочных рубок



Обнаружение изменений территории застройки



ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ И ДОСМОТРА

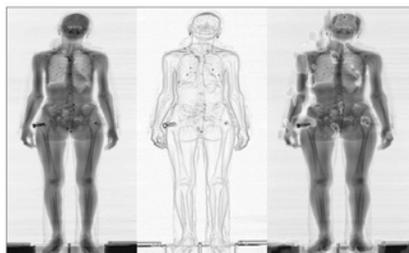
Повышение надежности
распознавания номерных знаков



Сопровождение движущихся объектов
в видеопоследовательностях



Обработка изображений системы
рентгенографического досмотра а/п «Толмачево»



Обнаружение оставленных предметов



Институт автоматики и электрометрии СО РАН www.iae.nsk.su
630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Колтуяга, 1, тел.: (383) 330-90-33, (383) 330-83-00,
факс: (383) 330-88-78 e-mail: borzov@iae.nsk.su, innovation@iae.nsk.su

МАЛОБЮДЖЕТНАЯ МУЛЬТИМЕДИЙНАЯ СИСТЕМА ОБУЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫМ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Малобюджетная мультимедийная система обучения компьютерным телевизионным технологиям предназначена для создания в условиях образовательных учреждений учебно-производственных видеостудий, как для обучения «живому» (интерактивному) производству, так и для профессионального создания учебного, документального, новостного, познавательного видеоматериала.

Система на базе персонального компьютера со специализированным программным обеспечением реализует широкий набор функций и инструментария, необходимых для организации конкретных студийных рабочих мест (режиссёры эфира, операторы графики, монтажа, титров, звукооператоры и др.).

Система поддерживает:

- обработку до 8-ми входных источников данных в любых форматах (SD/HD);
- различные компьютерные медиаисточники (изображения, видеофайлы и др.);
- цветокоррекцию, хромакей, интеграцию/масштабирование любых видеоисточников;
- превью источников/результатов непосредственно в интерфейсе (мультивью);
- расширяемый набор эффектов-переходов микширования;
- аудиомикширование с сохранением пресетов;
- отображение логотипов, часов, «картинка в картинке»;
- создание многослойных титров (обеспечивается встроенным редактором и оперативным управлением);
- воспроизведение медиафайлов по сценарию;
- использование трёхмерной виртуальной студии в качестве медиаисточника;
- поддержку внешних консолей управления (пульт DSC, Behringer BCF 2000);
- поддержку аппаратных модулей ввода-вывода FDExt (SoftLab), DeckLink (BlackMagic);
- вещание в сеть.



Микшер – основа программно-аппаратного комплекса системы



Пользовательский интерфейс системы

Графический пользовательский интерфейс системы предельно прост и нагляден.

Применение:

- обучение учащихся методике и технике интерактивного производства видеоматериалов;
- создание учебного, документального, новостного, познавательного видеоматериала, как преподавателями, так и учащимися.



Использование системы в процессе производства в учебно-образовательных студиях



Студийная система на выставке CSTB- 2016



Институт автоматизации и электрометрии СО РАН <http://www.iae.nsk.su>
тел. +7(383) 330-83-00, 330-81-82, факс: +7(383) 330-88-78
e-mail: innovation@iae.nsk.su; bsd@iae.nsk.su



ОПТОВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ

Перестраиваемые волоконные лазеры ближнего ИК и видимого диапазона

Основные преимущества:

- высокое качество пучка;
- компактность; • отсутствие юстировочных элементов;
- отсутствие водяного охлаждения; • возможность выбора любой длины волны; • возможность плавной перестройки; • возможность генерации в импульсном режиме (50 нс, 1–5 кГц, до 0.5 мДж).

Области применения: биоаналитическое оборудование (секвенирование ДНК, проточная цитометрия), голография, фундаментальные исследования (раман- спектроскопия, флуоресцентный анализ).

Технические характеристики:	видимый	ИК
длина волны	515–560 нм	1030–1120 нм
диапазон перестройки	до 20 нм	до 40 нм
ширина спектра	< 0.05 нм	< 0.3 нм
выходная мощность	до 1 Вт	до 20 Вт
стабильность мощности	1 %	0.5 %
поляризация	линейная	случайная или линейная
качество пучка M2	< 1.1	< 1.1

КРУГОВАЯ ЛАЗЕРНАЯ ЗАПИСЫВАЮЩАЯ СИСТЕМА С ДВУХЛАЗЕРНЫМ ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ (совместно с КТИ НП СО РАН)

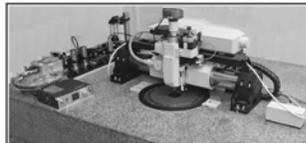
Запись УФ диодным лазером – произвольные дифракционные и микрооптические элементы на фоторезисте. Запись DPSS-лазером – фотошаблоны и амплитудные дифракционные оптические элементы на термочувствительных материалах (хром).

Преимущества полярной системы координат:

Высокая скорость записи благодаря непрерывному движению по угловой координате.

Высокая точность (шпиндели делаются точнее, чем линейные направляющие).

Опция – запись на осесимметричных криволинейных поверхностях с наклоном до 10 градусов.



Макс. диаметр поля записи – 285 мм

Толщина заготовки – 1–25 мм

Диаметр пучка – 0.7 мкм

Скорость записи по радиусу – 10 мм/ч

Абс. погрешность по радиусу – 50 нм

Погрешность по φ – 1.5°

Диодный лазерный модуль:

λ = 405 нм, P = 60 mW.

DPSS-лазер: λ = 532 нм, P = 2000 мВт.

ОПТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛОМЕТР НА БАЗЕ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРА МИИ-4М

Профилометр предназначен для измерения толщины пленок и глубины микрорельефа в диапазоне до 100 мкм с нанометровым разрешением при проведении исследований в области микро- и оптоэлектроники, технологий дифракционной оптики, лазерной микрообработки, глубокой рентгенолитографии. Предлагаемый прибор сравним по основным характеристикам с зарубежными оптическими профилометрами, но имеет существенно меньшую стоимость, что дает возможность для его широкого внедрения в качестве простого недорогого профилометра для цехов, лабораторий НИИ и университетов.



Варианты модернизации МИИ-4 (а) и МИИ-4М (б): 1 – USB-видеокамера; 2 – блок датчика перемещений; 3 – USB-контроллер; 4 – светодиодный осветитель без волоконного подвода светового пучка

1. Профилометр имеет два режима измерения:

- однофокусный режим с диапазоном измерения ±2 мкм с погрешностью ±20 нм;
 - многофокусный режим с диапазоном измерения 100 мкм с погрешностью ±(50 нм + 0.01T), где T – измеренное значение глубины микрорельефа.
2. Размер светового контролируемого поля – 200×300 мкм.
 3. Диапазон коэффициента отражения контролируемой поверхности от 2 до 100 %. При коэффициенте отражения материала поверхности менее 20 % и при шероховатости микрорельефа Rz >10 нм величина погрешности может отличаться от указанных в п. 1 значений.
 4. Аксиальное пространственное разрешение при измерении в однофокусном режиме – 1–4 нм (в зависимости от числа интерференционных полос в кадре).
 5. Пространственное разрешение датчика линейного перемещения не хуже 5 нм.
 6. Разрешение цифровой видеокамеры не менее 1.3 Мпкс.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРЕСС

Назначение:

- диффузионная сварка неоднородных материалов;
- компактирование и спекание порошковых материалов;
- синтез сверхплотных монофазных и композиционных материалов с заданными свойствами.

Основные характеристики:

максимальная температура горячей зоны, °С	2000
максимальное значение давления пресса, МПа	200
объем рабочего пространства (высота / диаметр), мм	60 / 40
размеры установки, мм	2000x2000x700
масса установки, кг	150
потребляемая мощность, кВт	5
питание от сети переменного тока	

Внешний вид пресса



630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, 1 <http://www.iae.nsk.ru>
тел. +7(383) 330-83-00; факс +7(383) 330-88-78 innovation@iae.nsk.ru

5.9. НАГРАДЫ

В 2016 году Институтом и его сотрудниками получены следующие награды:

Диплом мэрии г. Новосибирска и звание Лауреата городского конкурса «Предприятие высокой социальной ответственности» по итогам работы за 2016 г.

Почетная грамота губернатора Новосибирской области – награжден директор Института академик *Шалагин А.М.* за заслуги в развитии науки, многолетнюю плодотворную научно-исследовательскую деятельность.

Победителем конкурса 2016 г. на право получения грантов Президента РФ по гос. поддержке ведущих научных школ в области знания «Физика и астрономия» признана Ведущая научная школа НШ-6898.2016.2 (руководитель – директор Института академик *Шалагин А.М.*).

Доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией фотоники ИАиЭ СО РАН *Д.А. Шапиро* **избран почётным членом** Международного оптического общества (The Optical Society, OSA).

Победителем конкурса 2016 г. на право получения грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук в области знания «Физика и астрономия» стал н.с. к.ф.-м.н. *Достовалов А.В.* (Свидетельство МК-6657.2016.2).

Премии г. Новосибирска в сфере науки и инноваций присуждены *Булусеву Е.Д.* в номинации «Лучший молодой инноватор» (тема научного исследования «Разработка технологии прецизионной фемтосекундной лазерной микрообработки стеклянных заготовок изделий оптико-механической промышленности») и к.ф.-м.н. *Лобачу И.А.* в номинации «Лучший молодой исследователь в организациях науки» (тема научного исследования «Исследование волоконного лазера с пассивным сканированием частоты»).

Представленная на Конкурс международной научно-технической организации «Лазерная Ассоциация» на лучшую отечественную разработку в области лазерной аппаратуры и лазерно-оптических технологий в 2016 г. (в рамках 11 Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2016» работа «Прецизионный лазерный технологический комплекс для производства оптических шкал, сеток, фотошаблонов и синтезированных голограмм на основе лазерной трехмерной микро и нанобработки» (*Лаборатория лазерной графики, Лаборатория дифракционной оптики совместно с КТИ НП СО РАН*) удостоена звания «**Лауреат Конкурса ЛАС 2016 года**» в номинации «Лазерные технологические комплексы и технологии для обработки промышленных материалов» и награждена **Дипломом II степени**.

Четыре проекта Института стали лауреатами Конкурса инновационных проектов, проходившего в рамках XXII Международной выставки-конгресса «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» (Hi-Tech)» (*Санкт-Петербург*) и награждены:

Золотыми медалями и Дипломами I степени – проекты «Прецизионный технологический комплекс для оптического производства на основе лазерной фемтосекундной трехмерной микрообработки и точного профилометрического контроля» в номинации «Лучшая инновация в импортозамещении, локализации и/или импортоопережении» (*Лаборатория лазерной графики*) и «Двухканальная круговая лазерная записывающая система для синтеза микроструктурированных компонентов новой элементной базы для оптоэлектронного приборостроения, фотоники и микромеханики» (*Лаборатория дифракционной оптики совместно с КТИ НПСО РАН*) в номинации «Лучший инновационный проект (разработка) в области приборостроения, отечественная элементная база, отечественные компьютеры и комплектующие»;

Серебряными медалями и Дипломами II степени – проекты «Системы управления и навигации автономных мобильных роботов» (*Лаборатория нечетких технологий*) и «Малобюджетная мультимедийная система обучения компьютерным телевизионным технологиям для образовательных учреждений» (*Лаборатория синтезирующих систем визуализации*) в номинации «Информационные технологии, образовательные технологии».

Почетной грамотой Объединенного комитета профсоюзов Новосибирского научного центра СО РАН награжден *Ралдугин А.Н.* (старший уполномоченный по охране труда профкома ИАиЭ СО РАН), занявший III место в конкурсе 2016 г. «Лучший уполномоченный по охране труда профкома в ННЦ СО РАН».

В 2016 году Институтом также получены:

- **Благодарственное письмо** мэрии г. Новосибирска коллективу ИАиЭ СО РАН за значительный вклад научных исследований и разработок в развитие г. Новосибирска и в связи с празднованием Дня российской науки;
- **Диплом** Петербургской Промышленной Ярмарки (*Санкт-Петербург*) за вклад в развитие научно-промышленного сферы;
- **Диплом** XI Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики – 2016» (*Москва*);
- **Благодарственное письмо** IV Международного форума технологического развития «ТЕХНОПРОМ–2016» (*г. Новосибирск*);
- **Благодарственные письма** Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства мэрии г. Новосибирска сотрудникам Института Белоконову: С.А., Косых В.П., Куликову В.А., Лабусову В.А.,

Мальцеву А.С., Слуеву В.А. за активное участие в форуме «ГОРОДСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»;

- **Диплом** Департамента промышленности, инноваций и предпринимательства мэрии г. Новосибирска за участие в выставке оборудования, технологий и инновационных разработок в рамках форума «ГОРОДСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».

6. ПУБЛИКАЦИИ СОТРУДНИКОВ ИАиЭ СО РАН в 2016 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. Rev. Lett. (7.645)	2	Вестник СГУГиТ (1.590)	2
Scientific Reports (5.578)	3	Письма в ЖЭТФ (1.312)	3
Crystal Growth and Design (4.425)	1	Российские нанотехнологии (1.060)	1
CrystEngComm (3.849)	1	ЖЭТФ (1.033)	5
Annalen der Physik (3.443)	1	Квантовая электроника (0.946)	7
Opt. Letters (3.179)	3	Медицинская техника (0.603)	1
Optics Express (3.148)	7	Компьютерная оптика (0.595)	4
Physical Review A (2.765)	1	Автометрия (0.555)	26
Metrologia (2.500)	1	Оптика и спектроскопия (0.496)	4
Laser Physics Letters (2.391)	5	Цифровая обработка сигналов (0.478)	1
Optics and Lasers in Engineering (2.319)	1	Приборы и техника эксперимента (0.456)	1
Phys. Rev. E (2.288)	1	Аналитика и контроль (0.430)	1
J. of sensors (2.033)	1	Нано- и микросистемная техника (0.402)	1
J. Phys. A (1.933)	1	Вестник компьютерных и информационных технологий (0.387)	1
Cryobiology (1.920)	1	Мехатроника, автоматизация, управление (0.354)	1
Chemical physics letters (1.860)	1	Оптический журнал (0.349)	1
Opt. Comm. (1.45)	1	Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии (0.335)	3
Micromachines (1.295)	1	Вычислительные технологии (0.308)	5
The European Physical Journal D (1.228)	1	Фотоника (0.288)	1
Laser Phys. (1.102)	1	Электрические станции (0.233)	1
Ferroelectrics (0.530)	3	Приборы (0.228)	1
Journal of Physics: Conference Series (0.450)	2	Автоматика и программная инженерия (0.202)	2
Другие зарубежные журналы	1	Промышленные АСУ и контроллеры (0.154)	3
		Вестник кибернетики (0.108)	1
		Другие отечественные журналы	17

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

МОНОГРАФИИ

1. In the book “Nonlinear optical cavity dynamics: from microresonators to fiber lasers” / edited by Philippe Grelu, Wiley-VCH, Verlag GmbH&Co. KGaA, 2016. 456 p.
Sanchez F., Komarov A., Grelu Ph., Salhi M., Komarov K., Leblond H. Collective dissipative soliton dynamics in passively mode-locked fiber lasers. Ch. 10. P. 312–346.
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. Ch. 12. P. 277–316.
2. Вяткин С.И. Распознавание лиц с применением функций возмущения. LAP (LAMBERT Academic Publishing), GmbH, Saarbrücken. Germany, 2016. 88 с. ISBN: 978-3-659-90112-6. www.lap-publishing.com

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Абалмасов В.А. Численное моделирование динамики спина электрона и поляризованных ядер в квантовой точке // Письма в ЖЭТФ, 2016, т. 103, вып. 8. С. 584–587.
2. Анцыгин В.Д., Лосев В.Ф., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Особенности исследования анизотропных сред методами импульсной терагерцовой спектроскопии // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 71–78.
3. Атутов С.Н., Кучьянов А.С., Сорокин В.А., Плеханов А.И. Простой позиционер с нанометровой воспроизводимостью положения сфокусированного светового луча на объекте // Там же, № 1. С. 79–84.
4. Атутов С.Н., Микерин С.Л., Симанчук А.Э., Сорокин В.А., Плеханов А.И. Измерение характеристик сверхвысокочастотных модуляторов излучения с помощью сканируемого интерферометра // Там же, № 6. С. 67–75.
5. Атутов С.Н., Сорокин В.А. Газоразрядный He–Ne-лазер, генерирующий монохроматическое излучение с $\lambda = 1.52$ мкм, для тестирования телекоммуникационных систем // Приборы и техника эксперимента, 2016, № 3. С. 75–82.
6. Багинский И.Л., Косцов Э.Г., Буханец Д.И. Оценка максимальной удельной мощности емкостных электростатических микрогенераторов // Нано- и микросистемная техника, 2016, № 8. С. 518–528.
7. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Булушев Е.Д., Голошевский Н.В., Горяев Е.П., Кастеров В.В., Максимов М.В., Смирнов К.К. Особенности технологии прецизионной фемтосекундной микрообработки оп-

- тических материалов // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 3–8.
8. Бартош В.С., Белаго И.В., Дьяков М.С., Кузиковский С.А., Переверзев А.С. Особенности моделирования визуально-инструментальных наблюдений Земли с борта МКС // Автометрия, 2016, т. 52, № 3. С. 45–52.
 9. Бартош В.С., Власов Е.В., Лаврентьев М.М. Многоплановые 3D-дисплеи для дистанционного управления транспортными средствами и манипуляторами // Приборы, 2016, № 11. С. 30–36.
 10. 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 мобильными роботами в составе группы лидер-ведомые // Мехатроника, автоматизация, управление, 2016, т. 17, № 3. С. 166–171.
 11. Белоусов Д.А., Полещук А.Г., Хомутов В.Н. Контроль параметров микрорельефа синтезированных голограмм методом анализа дифракционной картины // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 32–36.
 12. Бессмельцев В.П., Катасонов Д.Н. Применение дискретного вейвлет-преобразования с изменением представления коэффициентов для сжатия данных в мобильных системах мониторинга ЭКГ // Медицинская техника, 2016, № 1. С. 25–28.
 13. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С., Вилейко В.В., Бабин С.А., Шалагин А.М., Латышев А.В., Насимов Д.А., Федина Л.И., Пышный Д.В., Воробьев П.Е., Анненков В.В., Даниловцева Е.Н., Зелинский С.Н., Верховина О.Н., Грачев М.А., Галачьянц Ю.П. О создании платформы для исследования нуклеиновых кислот (ДНК-секвенатора) // Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 4. С. 389–412.
 14. Бокк Д.Н., Лабусов В.А. Способ снижения пределов обнаружения неметаллических включений в металлических сплавах при их определении методом атомно-эмиссионной спектроскопии с искровым возбуждением // Аналитика и контроль, 2016, т. 20, № 4. С. 286–293.
 15. Борзов С.М., Голицын А.В., Потатуркин О.И. Алгоритм слияния последовательности дальностных изображений для приборов с электроуправляемым объективом // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 3. С. 388–394.
 16. Борзов С.М., Дрожников Б.Н., Козик В.И., Потатуркин О.И., Синельщиков В.В. Оценка характеристик и исследования эффективности нелинейной коррекции данных крупноформатных тепловизионных фотоприемников // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2016, №4. С. 14–21.
 17. Борзов С.М., Мельников П.В., Пестунов И.А., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Комплексная обработка гиперспектральных изображений на основе спектральной и пространственной информации // Вычислительные технологии, 2016, т. 21, № 1. С. 25–39.
 18. Борзов С.М., Потатуркин А.О., Потатуркин О.И., Федотов А.М. Исследование эффективности классификации гиперспектральных спут-

- никовых изображений природных и антропогенных территорий // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 3–14.
19. Борзов С.М., Узилов С.Б. Обнаружение слабозначимых антропогенных изменений растительного покрова по мультиспектральным разновременным изображениям // Вычислительные технологии, 2016, т. 21, № 1. С. 40–48.
 20. Вяткин С.И. Метод распознавания лиц с применением скалярных функций возмущения и теоретико-множественной операции вычитания // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 52–59.
 21. Вяткин С.И. Моделирование неоднородностей при визуализации атмосферных эффектов // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2016, № 7. С. 9–14.
 22. Голдина Н.Д., Терентьев В.С., Симонов В.А. Спектральные свойства металл-диэлектрической структуры // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 120, № 5. С. 847–854.
 23. Гончаренко А.И., Таранцев И.Г., Лысаков К.Ф. Слепой алгоритм внедрения цифровых водяных знаков в последовательность телевизионных изображений // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 30–36.
 24. Горбунов А.И., Кулагин С.А., Сердюков О.В. О проблемах дизайна мнемосхем // Электрические станции, 2016, № 5. С. 51–54.
 25. Громилин Г.И., Иванов В.А., Косых В.П., Попов С.А. Особенности процесса сканирования с использованием матричного фотоприемника в режиме ВЗН // Вычислительные технологии, 2016, т. 21, № 1. С. 60–69.
 26. Донин В.И., Яковин Д.В., Яковин М.Д. Параметрический генератор света среднего ИК, видимого и УФ диапазонов с синхронной накачкой излучением Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности резонатора и синхронизацией мод // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 7. С. 601–605.
 27. Донцова Е.И., Каблуков С.И., Лобач И.А., Достовалов А.В., Бабин С.А., Гладышев А.В., Дианов Е.М., Corbari C., Ibsen M., Kazan-sky P.G. Генерация второй гармоники в волоконном световоде во вне-резонаторной и внутррезонаторной схемах // Там же, № 11. С. 989–994.
 28. Дорошина Ю.П., Насыров Р.К., Одинокоев С.Б., Полещук А.Г., Сенник Б.Н. Перспективы применения голограммных элементов для юстировки внеосевых оптических систем // Контенант, 2016, т. 15, № 3. С. 28–33.
 29. Заболотский А.А. Вынужденное комбинационное рассеяние в приближении однонаправленного распространения в среде с постоянными дипольными моментами // ЖЭТФ, 2016, т. 149, № 1. С. 53–63.
 30. Заболотский А.А. Локальные электрические поля в ансамблях композитных наночастиц // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 88–97.
 31. Заболотский А.А. Нелокальное экситон-механическое взаимодействие в наносистеме // ЖЭТФ, 2016, т. 150, № 5. С. 879–890.

32. Заболотский А.А. Оптическая бистабильность в системе молекулярных J-агрегатов и наночастиц золота // *Автометрия*, 2016, т. 52, № 1. С. 92–103.
33. Злобина Е.А., Каблуков С.И., Бабин С.А. Генерация линейно-поляризованного излучения в области 1,4 мкм в каскадном ВКР-лазере со случайной распределенной обратной связью // *Квантовая электроника*, 2016, т. 46, № 12. С. 1102–1105.
34. Золотухин Ю.Н., Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Соболев М.А., Цупа А.Е. Координированное управление группой роботов в задачах перемещения груза // *Вычислительные технологии*, 2016, т. 21, № 1. С. 70–79.
35. Иванов В.А., Киричук В.С., Косых В.П., Синельщиков В.В. Особенности обнаружения точечных объектов в изображениях, формируемых матричным приемником // *Автометрия*, 2016, т. 52, № 2. С. 10–19.
36. Иванов С.Д., Косцов Э.Г., Соболев В.С. Быстродействующий приемник ИК-излучения на основе пироэлектрических пленок // *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 2016, т. 5, № 1. С. 130–134.
37. Иванов С.Д., Косцов Э.Г., Соболев В.С. Наносекундный приемник ИК-излучения на основе тонких пироэлектрических пленок // *Успехи прикладной физики*, 2016, т. 4, № 3. С. 289–293.
38. Иванов С.Д., Косцов Э.Г. Тепловые приемники неохлаждаемых многомерных тепловизионных матриц. Ч. II. Новые, нетеплоизолированные элементы // *Автометрия*, 2016, № 1. С. 104–115.
39. Ильичёв Л.В., Томилин В.А. Надконденсатные атомы в режиме селективного по скоростям когерентного пленения населенностей // *ЖЭТФ*, 2016, т. 149, № 1. С. 14–22.
40. Каблуков С.И., Злобина Е.А., Скворцов М.И., Немов И.Н., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Селекция мод в волоконном ВКР-лазере с прямой диодной накачкой при использовании ВБР в многомодовом градиентном световоде // *Квантовая электроника*, 2016, т. 46, № 12. С. 1106–1109.
41. Катасонов Д.Н. Об адаптивном формировании обучающей выборки для системы выявления искаженных участков ЭКГ // *Автоматика и программная инженерия*, 2016, № 4 (18). С. 60–66.
42. Катасонов Д.Н. Система мобильного мониторинга сердечной деятельности человека: о применимости различных методов фильтрации электрокардиосигнала // *Там же*, № 3 (17). С. 76–90.
43. Катасонов Д.Н., Бессмельцев В.П. Метод адаптивного формирования обучающей выборки для системы выявления искажений ЭКГ // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*, 2016, № 2 (84). С. 156–160.
44. Киричук В.С., Шакенов А.К. Алгоритм восстановления изображений в задаче обнаружения объектов при круговом микросканировании // *Автометрия*, 2016, т. 52, № 1. С. 15–21.

45. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Волохов И.В., Бобков А.В. Использование метода кругового сканирования для формирования и контроля топологии прецизионных фотошаблонов интегральных датчиков физических величин // Оптический журнал, 2016, № 7. С. 26–31.
46. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Чуканов В.В. Использование дифференциального метода измерений для контроля точности прецизионных углоизмерительных структур // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 45–52.
47. Ковадло П.Г., Лубков А.А., Бевзов А.Н., Будников К.И., Власов С.В., Зотов А.А., Колобов Д.Ю., Курочкин А.В., Котов В.Н., Лылов С.А., Лях Т.В., Максимов А.С., Перебейнос С.В., Петухов А.Д., Пещеров В.С., Попов Ю.А., Русских И.В., Томин В.Е. Система автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Там же, № 2. С. 97–106.
48. Комаров А.К., Дмитриев А.К., Комаров К.П., Санчес Ф. Пассивная синхронизация мод волоконного лазера, работающего в режиме регулярных незатухающих пичков // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 121. С. 153–158.
49. Корольков В.П., Конченко А.С., Черкашин В.В., Миронников Н.Г. Разработка методов формирования и контроля заданного распределения толщины фоторезиста при изготовлении конформальных корректоров // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 4. С. 482–488.
50. Кузаков Д.Е., Дьяков М.С., Лаврентьев М.М. Поиск путей для группы автономных транспортных средств при исследовании неизвестной территории // Вестник НГУ Серия: Информационные технологии, т. 14, № 2. С. 59–71.
51. Куликов В.А. Алгоритм трассировки пересекающихся объектов по последовательности дальностных изображений // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 45–51.
52. Кучьянов А.С., Плеханов А.И. Лазерная генерация в опалоподобных монокристаллических и гетероструктурных фотонных кристаллах // Там же, № 6. С. 96–102.
53. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Марчук Ан.Г., Романенко А.А. Быстрое численное моделирование цунами // Вестник кибернетики, 2016, № 2 (22). С. 91–101.
54. Ленкова Г.А. Особенности измерения оптической силы искусственных рефракционных и дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 121, № 2. С. 335–347.
55. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.П., Чаповский П.Л. Взаимодействие двух фракций в вырожденном бозе-газе при конечных температурах // Письма в ЖЭТФ, 2016, т. 103, № 6. С. 452–457.
56. Лиханова Ю.В., Медведев С.Б., Федорук М.П., Чаповский П.Л. Ответ на комментарий к работе «Взаимодействие двух фракций в вырожденном бозе-газе при конечных температурах» (Письма в ЖЭТФ, 103, 452 (2016)) // Там же, № 12. С. 898.

57. Лихачев А.В. Разработка сглаживающих фильтров проекционных данных в задачах двумерной томографии // Цифровая обработка сигналов, 2016, № 3. С. 55–60.
58. Лях Т.В., Зюбин В.Е. Верификация промышленных алгоритмов управления методом Model checking в сочетании с концепцией виртуальных объектов управления // Системная информатика, 2016, № 8. С. 11–20.
59. Лях Т.В., Зюбин В.Е., Сизов М.М. Опыт применения языка Reflex при автоматизации Большого солнечного вакуумного телескопа // Промышленные АСУ и контроллеры, 2016, № 7. С. 37–43.
60. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Новые оптические нелинейные материалы для генерации коротких импульсов терагерцевого диапазона на основе органических полимеров // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 7. С. 609–611.
61. Миронников Н.Г., Корольков В.П., Деревянко Д.И., Шелковников В.В., Витрик О.Б., Жижченко А.Ю. Исследование оптических и термооптических характеристик гибридного фотополимерного материала на основе тиол-силоксановых и акрилатных олигомеров // Автометрия, 2016, т. 52, № 2. С. 88–96.
62. Миронников Н.Г., Корольков В.П., Деревянко Д.И., Шелковников В.В. Оптические методы формирования многоуровневого микро рельефа в тонких пленках гибридного фотополимерного материала «гибример-татс» // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 15–19.
63. Насыров К.А. Метод определения качества антирелаксирующего покрытия в оптических ячейках // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 85–91.
64. Немов И.Н., Скворцов М.И., Злобина Е.А., Каблуков С.И. Сравнение спектральных характеристик волоконных брэгговских решёток разной длины, записанных в градиентном многомодовом световоде // Прикладная фотоника, т. 3, № 2. С. 166–176.
65. Пен Е.Ф., Зарубин И.А., Шелковников В.В. Васильев Е.В. Методика определения параметров усадки голографических фотополимерных материалов // Автометрия, 2016, т. 52, № 1. С. 60–69.
66. Пещеров В.С., Власов С.В., Лылов С.А. Определение координат центра изображения солнца в солнечных телескопах оперативных прогнозов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии, 2016, т. 14, № 3. С. 61–68.
67. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К., Хомутов В.Н., Конченко А.С. Методы оперативного контроля характеристик дифракционных и конформальных оптических элементов в процессе изготовления // Компьютерная оптика, 2016, т. 40, № 6. С. 818–829.
68. Полещук А.Г., Хомутов В.Н., Маточкин А.Е., Насыров Р.К., Черкашин В.В. Лазерные интерферометры для контроля формы оптических поверхностей // Фотоника, 2016, № 4. С. 38–50.
69. Полещук А.Г., Хомутов В.Н., Маточкин А.Е., Насыров Р.К., Черкашин В.В. Современные лазерные интерферометры для контроля фор-

- мы оптических поверхностей // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 47–52.
70. Резник А.Л., Соловьев А.А., Торгов А.В. Программно-комбинаторный подход к решению задач безошибочного считывания случайных точечных изображений // Автометрия, 2016, т. 52, № 2. С. 20–27.
 71. Резник А.Л., Тузиков А.В., Соловьев А.А., Торгов А.В. Анализ случайных точечных изображений с использованием программ для символьных вычислений и обобщенных чисел Каталана // Там же, № 6. С. 3–11.
 72. Розов А.С., Зюбин В.Е. Расширенная модель гиперпроцесса для программирования микроконтроллеров // Промышленные АСУ и контроллеры, 2016, № 9. С. 34–38.
 73. Сапрыкин Э.Г. Изотопические сдвиги основного состояния неона: уточнение результатов измерений // Оптика и спектроскопия, 2016, т. 120, № 2. С. 222–232.
 74. Сапрыкин Э.Г. Оптикомагнитные резонансы, индуцированные интерференцией реактивных компонент полей ближней зоны излучения атомов, в тлеющем разряде четных изотопов неона // ЖЭТФ, 2016, т. 149, вып. 2. С. 251–266.
 75. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А., Шалагин А.М. Роль спонтанного испускания по рабочему переходу в спектроскопии пробного поля двухуровневых систем // Там же, т. 150, вып. 2 (8). С. 238–245.
 76. Седухин А.Г., Полещук А.Г. Зеркально-дифракционный объектив для фокусировки лазерного радиально поляризованного пучка в пятно предельно малого размера // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 5, № 2. С. 42–46.
 77. Сизов М.М., Зюбин В.Е., Лях Т.В., Медведев А.М., Семенов Ю.И. Использование языка Cарh для обработки видеосигналов в системе автоматизации электронно-лучевой сварки // Промышленные АСУ и контроллеры, 2016, № 6. С. 38–43.
 78. Соболев В.С., Журавель Ф.А., Кашеева Г.А. Сравнительный анализ качества лазерных доплеровских систем методами максимального правдоподобия и приращений фазы // Автометрия, 2016, т. 52, № 6. С. 29–33.
 79. Терентьев В.С., Симонов В.А. Волоконный отражательный интерферометр на основе диэлектрической дифракционной структуры для селекции мод волоконного лазера // Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 3. С. 321–330.
 80. Терентьев В.С., Симонов В.А. Численное моделирование волоконного отражательного фильтра на основе металлодиэлектрической дифракционной структуры с повышенной лучевой стойкостью // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 2. С. 142–146.
 81. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Дюкарм Б., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Кулинич Р.Г., Колпашникова Т.Н., Прошкина З.Н., Сизиков И.С., Носов Д.А. Приливные эффекты по гравиметрическим и

- уровнемерным наблюдениям, океанические приливные модели // Вестник СГУГиТ, 2016, вып. 1 (33). С. 36–47.
82. Тимофеев В.Ю., Валитов М.Г., Дюкарм Б., Ардюков Д.Г., Тимофеев А.В., Кулинич Р.Г., Колпачикова Т.Н., Прошкина З.Н., Сизиков И.С., Носов Д.А., Наумов С.Б. Приливные эффекты по гравиметрическим данным, модели и эффект жидкого ядра Земли // Там же, вып. 2 (34). С. 34–46.
 83. Ткаченко А.Ю., Лобач И.А. Устройство опроса волоконных сенсоров на базе волоконного лазера с самосканированием частоты // Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 1. С. 37–49.
 84. Третьяков Д.Б., Коляко А.В., Плешков А.С., Энтин В.М., Рябцев И.И., Неизвестный И.Г. Генерация квантового ключа в однофотонных системах связи // Автометрия, 2016, т. 52, № 5. С. 44–54.
 85. Угожаев В.Д. Перестраиваемый вращением двухлучевой интерферометр с неподвижным фоточувствительным элементом. Ч.I. Интерферометр на основе светоделительного кубика // Там же, № 2. С. 57–65.
 86. Угожаев В.Д. Предельные характеристики перестраиваемого вращением двухлучевого интерферометра с неподвижным фоточувствительным элементом // Там же, № 4. С. 118–125.
 87. Фадеев С.И., Косцов Э.Г., Пиманов Д.О. Исследование математической модели микроэлектромеханического резонатора типа платформа // Вычислительные технологии, 2016, № 2, т. 21. С. 63–87.
 88. Феоктистов А.С., Нежевенко Е.С. Исследование эффективности нейросетевой классификации гиперспектральных изображений с использованием преобразования Гильберта – Хуанга // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016, т. 4, № 1. С. 59–62.
 89. Хомутов В.Н. Портативная программно-аппаратная платформа датчика формы волнового фронта // Там же, т. 5, № 2. С. 37–41.
 90. Чубаков В.П., Чубаков П.А., Плеханов А.И., Орлова Н.А., Каргаполова И.Ю., Шелковников В.В. Люминесцентное детектирование паров первичных алифатических аминов в низких концентрациях хромофорами пирилоцианинового ряда // Российские нанотехнологии, 2016, т. 11, № 7–8. С. 30–34.
 91. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Оценка пропускной способности линий связи с конечной нелинейной памятью // Квантовая электроника, 2016, т. 46, № 12. С. 1117–1120.
 92. Шелковников В.В., Васильев Е.В., Русских В.В., Эктова Л.В., Бережная В.Н., Пен Е.Ф. Свойства монохромных и двухцветных голограмм в слоистых фотополимерных материалах // Автометрия, 2016, т. 52, № 4. С. 107–117.
 93. Якушин С.С., Достовалов А.В., Вольф А.А., Парыгин А.В. Измерение величины и положения точечных температурных воздействий на длинные ВБР // Прикладная фотоника, 2016, т. 3, № 2. С. 113–122.

1. Abalmassov V.A. Pressure effect on the ferroelectric phase transition in KDP in the cluster approximation of the proton-tunneling model // *Ferroelectrics*, 2016, v. 501 P. 57–60.
2. Abdullina S.R., Vlasov A.A., Lobach I.A., Belai O.V., Shapiro D.A., Babin S.A. Single-frequency Yb-doped fiber laser with distributed feedback based on a random FBG // *Laser Physics Letters*, 2016, v. 13, № 7. P. 075104 (6 p.).
3. Aragonese A., Carpi L., Tarasov N., Churkin D.V., Torrent M.C., Masoller C., Turitsyn S.K. Unveiling temporal correlations characteristic of a phase transition in the output intensity of a fiber laser // *Phys. Rev. Lett.*, 2016, v. 116, № 3. P. 033902.
4. Atutov S.N., Benimetskiy F.A., Plekhanov A. I., Sorokin V.A. Study of Rb-vapor coated cells - Atomic diffusion and cell curing process // *The European Physical Journal D*, 2016, v. 70, iss. 2. Article: 40, 6 P. (arXiv:1605.04658)
5. Babin S.A., Zlobina E.A., Kablukov S.I., Podivilov E.V. High-order random raman lasing in a PM fiber with ultimate efficiency and narrow bandwidth // *Scientific Reports*, 2016, v. 6. P. 22625 (10 p.).
6. Baginsky I.L., Kostsov E.G., Sokolov A.A. Single-capacitor electret impact microgenerator // *Micromachines*, 2016, v. 7, № 1. P. 2–11.
7. Belan S., Chernykh A., Falkovich G. Phase transitions in the distribution of inelastically colliding inertial particles // *J. Phys. A*, 2016, v. 49, iss. 3. P. 035102.
8. Belan S., Chernykh A., Lebedev V., Falkovich G. Inelastic collapse and near-wall localization of randomly accelerated particles // *Physical Review E – Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 2016, v. 93. P. 052206.
9. Bulushev E.D., Bessmeltsev V.P., Dostovalov A.V., Goloshevsky N.V., Wolf A.A. High-speed and crack-free direct-writing of microchannels on glass by an IR femtosecond laser // *Optics and Lasers in Engineering*, 2016, v. 79. P. 39–47.
10. Dontsova E.I., Kablukov S.I., Vatnik I.D., Babin S.A. Frequency doubling of Raman fiber lasers with random distributed feedback // *Opt. Lett.*, 2016, v. 41, № 7. P. 1439–1442.
11. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V., Zyubin V.E., Babin S.A. Femtosecond point-by-point inscription of Bragg gratings by drawing a coated fiber through ferrule // *Opt. Express*, 2016, v. 24, № 15. P. 16232–16237.
12. Fürst J., Sturman B., Buse K., Breunig I. Whispering gallery resonators with broken axial symmetry: Theory and experiment Acoustic whispering gallery modes within the theory of elasticity // *Там же*, № 8. P. 20143–20155.
13. Gorbunov O.A., Sugavanam S., Vatnik I.D., Churkin D.V. Statistical properties of radiation of multiwavelength random DFB fiber laser // *Там же*, № 17. P. 19417–19423.

14. Karpegina Yu.A., Okotrub K.A., E.Yu. Brusentsev, Amstislavsky S.Ya., Surovtsev N.V. Cryoprotectant redistribution along the frozen straw probed by Raman spectroscopy // *Cryobiology*, 2016, v. 72, № 2. P. 148–153.
15. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Apolonski A., Babin S.A. Cascaded generation of coherent raman dissipative solitons // *Opt. Lett.*, v. 41, № 1. P. 175–178.
16. Kharenko D.S., Gonta V.A., Babin S.A. 50 nJ 250 fs all-fiber Raman-free dissipative soliton oscillator // *Las. Phys. Lett.*, 2016, v. 13, № 2. P. 025107.
17. Komarov A., Dmitriev A., Komarov K., Meshcheriakov D., Sanchez F. Spectral-doublet rectangular pulses in passive mode-locked fiber lasers with anomalous dispersion // *Phys. Rev. A*, 2016, v. 94. P. 043827.
18. Krylov A.S., Molokeevev M.S., Misyul S.V., Krylova S.N., Oreshonkov A.S., Ivanenko A.A., Zykova V.A., Ivanov Y.N., Sukhovskiy A.A., Voronov V.N., Safonov I.N., Vtyurin A.N. Crystal structure and phase transitions of a layered perovskite-like CsScF₄ crystal // *CrystEngComm*, 2016, v. 18, № 43. P. 8472–8486.
19. Kuznetsov A.G., Kharenko D. S., Podivilov E. V., Babin S.A. Fifty-ps Raman fiber laser with hybrid active-passive mode locking // *Opt. Express*, 2016, v. 24, № 15. P. 16280–16286.
20. Leidinger M., Sturman B., Buse K., and Breunig I. Strong forward-backward asymmetry of stimulated Raman scattering in lithium-niobate-based whispering gallery resonators // *Opt. Letters*, 2016, v. 41, № 12. P. 2823–2826.
21. Lobach I.A., Kablukov S.I., Skvortsov M.I., Podivilov E.V., Melkumov M.A., Babin S.A., Dianov E.M. Narrowband random lasing in a bismuth-doped active fiber // *Scientific Reports*, 2016, v. 6. P. 30083 (9 p.).
22. Lobach I.A., Tkachenko A.Yu., Kablukov S.I. Optimization and control of the sweeping range in an Yb-doped self-sweeping fiber laser // *Laser Phys. Lett.*, 2016, v. 13, № 4. P. 045104 (7 p.).
23. Medvedev R.N., Churkin D.S., Zarubin I.A. Inductive discharge as a method for direct detection of impurities in water // *Journal of Physics: Conference Series*, 2016, v. 754, № 10. P. 102007 (5 p.).
24. Nesterov V., Belai O., Nies D., Buetefisch S., Mueller M., Ahbe T., Naparty D., Popadic R., Wolff H. SI-traceable determination of the spring constant of a soft cantilever using the nanonewton force facility based on electrostatic methods // *Metrologia*, 2016, v. 53, № 4. P. 1031–1044.
25. Novikov V.N. Connection between the glass transition temperature T_g and the Arrhenius temperature T_A in supercooled liquids // *Chemical Physics Letters*, 2016, v. 659. P. 133–136.
26. Palyanov Y.N., Kupriyanov I.N., Borzdov Y.M., Khokhryakov A.F., Surovtsev N.V. High-pressure synthesis and characterization of Ge-doped single crystal diamond // *Crystal Growth and Design*, 2016, v. 16, № 6. P. 3510–3518.

27. Perego A.M., Tarasov N., Churkin D.V., Turitsyn S.K., Staliunas K. Pattern generation by dissipative parametric instability // *Phys. Rev. Lett.*, 2016, v. 116, № 2. P. 028701.
28. Poleshchuk A.G., Nasyrov R.K., Asfour J.-M. Interferometric testing of steep cylindrical surfaces with on-axis cghs // *Компьютерная оптика*, 2016, т. 40, № 5. P. 625–628.
29. Pugachev A.M., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V. Borzdov Yu. M., Raevskii I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Local residual stresses in pressure-treated barium titanate powders probed by inelastic light scattering // *Ferroelectrics*, 2016, v. 496, № 1. P. 225–230.
30. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Kovalevskii V.I., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Borzdov Yu. M., Raevskii I.P., Raevskaya S.I., Malitskaya M.A. Local residual stresses in pressure-treated barium titanate powders probed by second harmonic generation // *Там же*, v. 501, № 1. P. 9–14.
31. Reznik A.L., Solov'ev A.A., Torgov A.V. On the probability of the formation of local groups in random point images // *Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications*, 2016, v. 26, № 4. P. 142–147.
32. Shapiro D., Nies D., Belai O., Wurm M., Nesterov V. Optical field and attractive force at the subwavelength slit // *Optics Express*, 2016, v. 24, № 14. P. 15977–15982.
33. Shishkin V.V., Terentyev V.S., Kharenko D.S., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Simonov V.A., Fedotov M.Yu., Shienok A.M., Shelemba I.S., Babin S.A. Experimental method of temperature and strain discrimination in polymer composite material by embedded fiber-optic sensors based on femtosecond-inscribed FBGs // *Journal of Sensors*, 2016. P. 3230968 (6 p.). [<http://dx.doi.org/10.1155/2016/3230968>]
34. Sugavanam S., Fabbri S., Le S.T., Lobach I., Kablukov S., Khorev S., Churkin D. Real-time high-resolution heterodyne-based measurements of spectral dynamics in fibre lasers // *Scientific Reports*, 2016, v. 6. P. 23152 (8 p.).
35. Sugavanam S., Zulkifli M.Z., Churkin D.V. Multi-wavelength erbium/Raman gain based random distributed feedback fiber laser // *Laser Phys.*, 2016, v. 26, № 1. P. 015101 (5 p.).
36. Terentyev V.S., Simonov V.A., Babin S.A. Multiple-beam reflection interferometer formed in a single-mode fiber for applications in fiber lasers // *Opt. Express*, 2016, v. 24, № 5. P. 4512–4518.
37. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. BEC Dynamics in a double-well with interferometric feedback // *Annalen der Physik*, 2016, v.528, № 7–8. P. 619–625.
38. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. The stationary resonance fluorescence of a two-level atom in a cat-state field // *Optics Communications*, 2016, v. 375. P. 38–42.
39. Vlasov M.Y., Losev V.F., Mamrashev A.A., Nikolaev N.A. Optical properties of lead germanate $Pb_5Ge_3O_{11}$ in terahertz range // *Journal of Physics: Conference Series*, 2016, v. 737, is. 1. P. 12022–5.

40. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. All-PM CW fiber optical parametric oscillator // *Opt. Express*, 2016, v. 24, № 22. P. 25409–25414.
41. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Skvortsov M.I., Nemov I.N., Babin S.A. 954 nm Raman fiber laser with multimode laser diode pumping // *Las. Phys. Lett.*, 2016, v. 13, № 3. P. 035102.
42. Zlobina E.A., Mishra V., Kablukov S.I., Singh S.P., Varshney S.K., Babin S.A. Specifics of short-wavelength generation in a continuous wave fiber optical parametric oscillator // *Там же*, № 11. P. 115106.

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 для спектрометра «Гранд» с улучшенными характеристиками в области 258–269 нм // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 68–71.
2. Белоконь С.А., Деришев Д.С., Золотухин Ю.Н., Золотухина М.А., Филиппов М.Н., Ян А.П. Комплекс полунатурного моделирования систем управления летательным аппаратом // XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия, 20–25 сентября 2016). Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 374–379.
3. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата (кинематика) // *Там же*. С. 380–388.
4. Белоконь С.А., Золотухин Ю.Н., Нестеров А.А. Метод управления угловым положением летательного аппарата // *Там же*. С. 389–395.
5. Бокк Д.Н., Лабусов В.А. Способ снижения погрешности определения концентраций растворенной и нерастворённой долей элемента в металлических сплавах методом атомно-эмиссионной спектроскопии с искровым возбуждением // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 135–141.
6. Бокк Д.Н., Лабусов В.А., Зарубин И.А., Гаранин В.Г. Однолинзовая оптическая система освещения входной щели вакуумного спектрометра «Гранд-Эксперт» // *Там же*. С. 190–196.
7. Борзов С.М., Громилин Г.И., Дражников Б.Н., Козик В.И., Косых В.П., Потатуркин О.И. Оценка эффективности нелинейных методов коррекции данных крупноформатных тепловизионных ФПУ // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 205–208.

8. Будников К.И., Курочкин А.В., Лубков А.А., Яковлев А.В. Управление доступом к web-ресурсу на основе пост-анализа HTTP-запросов // II Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016)» (г. Самара, Россия, 17–19 мая 2016). С. 419–423.
9. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Дудник А.А. Методы высококачественной фильтрации текстуры // Международная научно-практическая Интернет-конференции «Электронные информационные ресурсы: создание, использование и доступ» [Электронный ресурс]. Винница, Украина: ВНТУ. 2016. 1CD – ROM. С. 106–113. [http://conference.vntu.edu.ua/eir/eir2015/pdf/zbirnyk_eir2015.pdf]
10. 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» // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 206–207.
11. Гибин И.С., Козик В.И., Нежевенко Е.С. Системы генерации динамических тестовых сигналов для испытания тепловизионных приборов // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 209–214.
12. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю. Особенности построения системы оперативного отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов // V Международная научная конференция «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности (SCVRT1516)» (Московская обл., г. Протвино, Россия, 21–25 ноября 2016), т. 1. С. 134–137.
13. Громилин Г.И., Дrajников Б.Н., Козлов К.В., Косых В.П., Попов С.А., Шакенов А.К. Моделирование процесса сканирования изображений с использованием матричных фотоприемников // XXIV Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 24–27 мая 2016). Москва: НПО «Орион», 2016. С. 200–205.
14. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Светосила и спектральное разрешение спектрометров «Гранд», «Гранд-1500» и СТЭ-1 // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 61–67.
15. Дзюба А.А., Лабусов В.А., Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Бабин С.А. Аналитические возможности спектрального комплекса «Гранд-Поток» при сцинтилляционном определении содержания золота и серебра // Там же. С. 72–80.
16. Долговесов Б.С. Использование мультимедийных технологий для тренажерных и обучающих систем // V Международная научная конфе-

- ренция «Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности (SCVRT1516)» (Московская обл., г. Протвино, Россия, 21–25 ноября 2016), т. 1. С. 130–133.
17. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф. Возможности двухструйной дуговой плазмы для анализа проб разной природы // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 148–151.
 18. Зарубин И.А. Возможности малогабаритного спектрометра «Колибри-2» в атомно-эмиссионном спектральном анализе // Там же. С. 186–189.
 19. Катасонов Д.Н. Методы улучшения параметров энергопотребления и достоверности получаемых данных в беспроводных мобильных системах мониторинга ЭКГ // XIII Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016)» (г. Новосибирск, Россия, 3–6 октября 2016), т. 10. С. 188–191.
 20. Катасонов Д.Н., Бессмельцев В.П. Метод адаптивного формирования обучающей выборки для системы выявления искажений ЭКГ // XXIX Международная научная конференция «Математические методы в технике и технологиях (ММТТ–29)» (г. Саратов, Россия, 25–28 апреля 2016): т. 2. С. 156–161.
 21. Кирьянов А.В., Кирьянов В.П., Чуканов В.В. Использование гибридных угловых датчиков в лазерных генераторах изображений с круговым сканированием // XIII Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2016)» (г. Новосибирск, Россия, 3–6 октября 2016), т. 3, ч. 2. С. 146–150.
 22. Князев И.В., Глухов А.В., Косцов Э.Г. Разработка оптического многоканального коммутатора с разделением сигнала по длине волны для создания высокопроизводительных вычислительных комплексов // XII Международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы телекоммуникаций» (г. Севастополь, Россия, 14–18 ноября 2016). С. 332–336.
 23. Корольков В.П. Инновационные разработки ИАиЭ СО РАН по импортозамещению оптических приборов, лазеров и лазерного технологического оборудования // Научно-практическая конференция «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития» (г. Москва, Россия, 15–16 ноября 2016). Москва, «Богородский печатник», 2016. С. 57–59.
 24. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Нестеров А.А., Соболев М.А., Ян А.П. Управление квадрокоптерами в составе группы лидер-ведомые // XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия, 20–25 сентября 2016). Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 406–409.

25. Котов К.Ю., Милованова А.М., Семенюк Е.Д., Соболев М.А. Автоматизированная система управления полетом парашюта // Там же. С. 410–414.
26. Кутанов А.А., Нурбек Сыдыкуулу, Снимщиков И.А., Полещук А.Г. Система интерференционной литографии с прямой лазерной записью на слое аморфного кремния // XIII Международная конференция «Голография ЭКСПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 71–73.
27. Ленкова Г.А. Исследование пространственно-энергетических характеристик фокальных областей бифокальных дифракционно-рефракционных хрусталиков глаза // Там же. С. 255–258.
28. Мальцев А.С., Цупа А.Е. Многоконтурная адаптивная система управления группировкой транспортных роботов // XVIII Международная конференция «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (г. Самара, Россия, 20–25 сентября 2016). Самара: ООО «Офорт», 2016. С. 415–420.
29. Милованова А.М., Милованов М.М. Моделирование и программная реализация динамики движения парашюта // IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Моделирование и наукоемкие информационные технологии» (г. Новокузнецк, Россия, 12–15 января 2016). Сборник «Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах». С. 317–320.
30. Миронников Н.Г., Корольков В.П., Деревянко Д.И., Шекловников В.В., Полещук А.Г. Сравнение характеристик гибридных фотополномерных материалов «Гибример-Татс» и «ORMOCOMP», предназначенных для прямой лазерной записи // XIII Международная конференция «Голография ЭКСПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 161–164.
31. Моргачева А.И., Куликов В.А., Косых В.П. Разработка динамического алгоритма трекинга объектов по особым точкам // 26-я Международной конференции GraphiCon 2016 (г. Нижний Новгород, Россия, 19–23 сентября 2016). Труды конференции. ИФТИ, ННГАСУ. С. 110–112.
32. Новокрещеных А.М., Солодовникова Т.П., Путьмаков А.Н., Пелипасов О.В. Спектральное определение водорода в титановых и алюминиевых сплавах на установке «Зонд» компании «ВМК-Оптоэлектроника» // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 144–147.
33. Панкратов С.В., Лабусов В.А. Оценка содержания элементов при автоматическом качественном анализе вещества с использованием функции кросс-корреляции // Там же. С. 212–219.
34. Пелипасов О.В., Путьмаков А.Н., Чернов К.Н., Бурумов И.Д., Селюнин Д.О., Боровиков В.М. Разработка и использование спектрометра с

- микроволновой плазмой для атомно-эмиссионного анализа растворов // Там же. С. 171–185.
35. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К., Хомутов В.Н. Контроль характеристик дифракционных оптических элементов в процессе изготовления // XIII Международная конференции «Голография ЭКС-ПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 187–190.
 36. Полещук А.Г., Корольков В.П., Насыров Р.К., Хомутов В.Н., Конченко А.С. Методы контроля оптических элементов с микрорельефом // II Международная конференция и молодёжная школа «Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2016)» (г. Самара, Россия, 17–19 мая 2016). С. 8–14.
 37. Полещук А. Г., Насыров Р.К. Интерферометрические методы контроля сферической, асферической и нетипичной оптики с применением синтезированных голограмм // XIII Международная конференции «Голография ЭКСПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 347–350.
 38. Полещук А.Г., Насыров Р.К. Интерферометры Физо на основе компьютерно-синтезированных голограмм // Там же. С. 44–48.
 39. Полещук А.Г., Седухин А.Г. Дифракционно-зеркальный высокоапертурный микрообъектив для фокусировки лазерного излучения в устройствах записи // Там же. С. 351–354.
 40. Путьмаков А.Н. Об использовании новых возможностей спектрометров с анализаторами МАЭС и некоторых ограничениях на практике // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 201–205.
 41. Романюк О.Н., Дудник О.О., Вяткін С.І. Анализ методів анізотропної фільтрації // Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ- збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2016. 1CD – ROM.
 42. Семёнов З.В., Неклюдов О.А., Гаранин В.Г. Новые модули «Экспорт спектров» и «Информация из спектра» программы «Атом» // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 220–223.
 43. Сковородин И.Н., Сафонов П.Г., Уваров Н.Ф., Сковородин Д.И., Аракчеев А.С., Дудина Д.В. Разработка многоцелевого (универсального) пресса для горячего прессования // Научно-практическая конференция «Научное приборостроение – современное состояние и перспективы развития» (Москва, Россия, 15–16 ноября 2016). Москва, «Богородский печатник», 2016. С. 218–219.
 44. Хомутов В.Н. Программно-аппаратный комплекс датчика формы волнового фронта // XIII Международная конференции «Голография ЭКСПО–2016» (г. Ярославль, Россия, 13–15 сентября 2016). С. 384–387.

45. Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Лабусов В.А., Неклюдов О.А. Сцинтилляционный атомно-эмиссионный анализ порошковых проб: особенности выбора прибора и программного обеспечения // XV Международный симпозиум «Применение анализаторов МАЭС в промышленности» (г. Новосибирск, Россия, 16–18 августа 2016). Издательство СО РАН, 2016. С. 59–60.
46. Abramov T., Lavrentiev M., Lunev B. Implementation and testing of the fast numerical algorithm for simulation of 3D gravity creeping flow of incompressible newtonian fluid // 2nd International Conference on Applications in Information Technology (Aizu-Wakamatsu, Japan, October 6–8, 2016). The University of Aizu Press, 2016. Proceedings. P. 121–124.
47. Aragonese A., Carpi L., Torrent M.C., Masoller C., Tarasov N., Churkin D.V., Turitsyn S.K. Investigating optical complexity of the phase transition in the intensity of a fibre laser radiation // Proc. SPIE, v. 9892 Semiconductor Lasers and Laser Dynamics VII, 98920L (9 p.).
48. Aralcheev A.S., Ancharov A.I., Aulchenko V.M., Bugaev S.V., Burdakov A.V., Kasatov A.A., Kosov A.V., Kurkuchekov V.V., Piminov P.A., Polosatkin S.V., Popov V.A., Sharafutdinov M.R., Shekhtman L.I., Shoshin A.A., Skovorodin D.I., Tolochko B.P., Trunev Y.A., Vasilyev A.A. et al. Applications of synchrotron radiation scattering to studies of plasma facing components at Siberian synchrotron and terahertz radiation centre // 11th International conference on open magnetic systems for plasma confinement, (Novosibirsk, Russia, August 8–12, 2016). AIP Conference Proceedings 11. P. 060003.
49. Babin S.A., Zlobina E.A., Kablukov S.I. Efficient cascaded generation of narrowband linearly-polarized radiation in random Raman fiber laser // Proc. SPIE, v. 9731: Nonlinear Frequency Generation and Conversion: Materials, Devices, and Applications XV, 2016. Paper 97310P (11 p.).
50. Erofeev V. Coulomb collisions in a “single” ionized plasma // AIP Conf. Proc, 2016, v. 1771. P. 040004.
51. Gao S., Nies D., Nesterov V., Brand U., Belai O. Comparative measurements of the spring constant of a soft cantilever using PTB’s MEMS // NanoScale 2016 (Wroclaw, Poland, March 9–11, 2016). Braunschweig: PTB. Proceedings. P. 209–210.
52. Goriounov E., Lavrentiev M., Romanenko A. Improving efficiency of identification of coastal evolution profiles // Proc. ISOPE, 2016. P. 1575–1582.
53. Goryunov E., Romanenko A., Lavrentiev M., Lysakov K. Modern simulation tools for real time numerical simulation of ocean-related processes // OCEANS 2015 – MTS/IEEE Washington 7404385, 2016. PDA.
54. Kharenko D.S., Podivilov E.V., Apolonskiy A.A., Babin S.A., Bednyakova A.E., Fedoruk M.P. Mode-locked fiber laser with cascaded generation of coherent Raman dissipative solitons // Proc. SPIE, v. 9728: Fiber Lasers XIII: Technology, Systems, and Applications (San Francisco, California, USA, February 13, 2016). Paper 972836 (8 p.).

55. Liah T.V., Zyubin V.E. The reflex language usage to automate the large solar vacuum telescope // 17th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 17) (Erlagol, Altai, Russia, June 30 – July 4, 2016). P. 137–139.
56. Nies D., Buetefisch S., Naparty D., Wurm M., Belai O., Shapiro D., Nesterov V. Experimental setup for the direct measurement of a light-induced attractive force between two metal bodies // Proc. SPIE 9922, Optical Trapping and Optical Micromanipulation XIII (San Diego, California, 28 August – 1 September 2016). Paper 99222L.
57. Peshekhonov V.G., Sokolov A.V., Stepanov O.A., Krasnov A.A., Stus Yu.F., Kalish E.N., Nazarov E.O., Nosov D.A., Sizikov I.S. Concept of an integrated gravimetric system to determine the absolute gravity value aboard vehicles // IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: static and mobile measurements (TG-SMM 2016) (St. Petersburg, Russia, April 12–15, 2016), The State Research Center of the Russian Federation, Concern CSRI Elektropribor, JSC, 2016. P. 61–67.
58. Reznik A.L., Torgov A.V., Soloviev A.A. High performance computing and generalized Catalan numbers in image processing tasks // Международная конференция «Информационные технологии и нанотехнологии» (ИТНТ–2016) (г. Самара, Россия, 17–19 мая 2016). С. 934–936.
59. Shishkin V.V., Terentyev V.S., Kharenko D.S., Dostovalov A.V., Wolf A.A., Simonov V.A., Fedotov M.Y., Shienok A.M., Shelemba I.S., Babin S.A. Fiber-optic sensors based on FBGs with increased sensitivity difference embedded in polymer composite material for separate strain and temperature measurements // International Conference on Smart Infrastructure and Construction (ICSIC) – 2016 (Robinson College, Cambridge, June 27–29, 2016). Proc. P. 75–79.
60. Timofeev V.Y., Ardyukov D.G., Timofeev A.V., Kalish E.N., Sizikov I.S., Nosov D.A., Smirnov M.G., Sorokin K.E., Stus Y.F., Nazarov E.O. Gravity measurements for vertical motion study and for seismicity research (Baikal rift region) // IAG Symposium on Terrestrial Gravimetry: static and mobile measurements (TG-SMM 2016) (St. Petersburg, Russia, April 12–15, 2016), The State Research Center of the Russian Federation, Concern CSRI Elektropribor, JSC, 2016. P. 159–165.
61. Tkachenko A.Y., Lobach I.A., Guskov L.N. Fiber sensor interrogator based on self-sweeping fiber // 17th International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 17) (Erlagol, Altai, Russia, June 30 – July 4, 2016). P. 348 – 351.
62. Vyatkin S.I., Pavlov S.V., Romanyuk S.A. Real-time hybrid terrain rendering // Сборник материалов Международной научно-практической Интернет – конференции «Электронные информационные ресурсы: создание, использование и доступ» [Электронный ресурс]. Винница, Украина: ВНТУ. 2016. ICD – ROM. С. 10–19. [http://conference.vntu.edu.ua/eir/eir2015/pdf/zbirnyk_eir2015.pdf]
63. Vyatkin S.I., Romanyuk A.N., Savitska L.A. Multi-level ray casting of function-based surfaces // Материалы IV Международной конференции

«Информационные технологии в промышленности и производстве», ITBI – 2016 (г. Томск, Россия, 21–23 сентября 2016). Томск, ТПУ – 2016.

[http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/itbi/programme/ITBI_2016%20%D0%A0%D1%83%D1%81_corr.pdf]

Дайджесты, тезисы, материалы семинаров и форумов

1. Абдуллина С.Р., Власов А.А., Лобач И.А., Белай О.В., Шапиро Д.А., Бабин С.А. Одночастотный иттербиевый волоконный лазер с распределенной обратной связью на основе случайной ВБР // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 53–54.
2. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Особенности исследования нелинейно-оптических материалов в терагерцовом диапазоне // X Всероссийский семинар по радиофизике миллиметровых и субмиллиметровых волн (г. Нижний Новгород, Россия, 29 февраля – 3 марта 2016). С. 22–24.
3. Анцыгин В.Д., Мамрашев А.А., Николаев Н.А., Потатуркин О.И. Терагерцовые свойства германата свинца в области фазового перехода // V Международная конференция по фотонике и информационной оптике (Москва, Россия, 4–6 февраля 2016). С. 31–32.
4. Баев С.Г., Бессмельцев В.П., Горяев Е.П., Голошевский Н.В., Кастеров В.В., Максимов М.В. Прецизионная автоматическая система лазерной резки заготовок из медной фольги мощным волоконным лазером // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 217–218.
5. Бенимецкий Ф.А. Экспериментальное исследование одиночных спазеров // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). Секция Квантовая физика. С. 53.
6. Берёза А.С. Рассеяние волны на параллельных цилиндрах в борновском приближении // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 127.
7. Берёза А.С. Рассеяние волны на параллельных цилиндрах в борновском приближении // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). С. 54.
8. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Формирование, анализ и классификация гиперспектральных изображений // XIII Международная конференция «Голография, наука и практика» «Голоэкспо–2016» (г. Ярославль, Россия, 12–15 сентября 2016). Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 381.

9. Бударных А.Е. Волоконный лазер со случайно распределенной обратной связью на основе двухсердцевинного волокна // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 10–11.
10. Васильева И.Е., Шабанова Е.В., Горячева Е.М., Соцкая О.Т., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. Сцинтилляционная дуговая атомно-эмиссионная спектроскопия и автоматизированная минералогия для определения благородных металлов в геологических пробах // XXI Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов (Верхняя Пышма, Свердловская область, 14–18 ноября 2016). С. 12.
11. Власов М.Ю. Исследования нелинейных кристаллов методом терагерцовой спектроскопии // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). Квантовая физика. С. 12.
12. Власов М.Ю. Исследования нелинейных кристаллов методом терагерцовой спектроскопии // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 13.
13. Власов М.Ю., Николаев Н.А., Меркулова И.Е. Терагерцовая спектроскопия нелинейных сред // Российско-японская конференция «Передовые материалы–2016: синтез, обработка и свойства наноструктур» (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Новосибирск, 2016. С. 39.
14. Вольф А.А., Достовалов А.В., Парыгин А.В., Зюбин В.Е., Бабин С.А. Запись ВБР для точечных и распределенных измерений фс излучением // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 206–207.
15. Гаранин В.Г., Лабусов В.А. Новые атомно-эмиссионные комплексы на основе анализаторов МАЭС для экспресс-анализа порошковых проб // II Международная Гео-аналитическая конференция «Опробование рудных месторождений: проблемы, пути решения» (Московская область, пос. Поведники, 15–17 ноября 2016). С. 17–18.
16. Гоголева А.Н., Лихачев А.В. Решение модели Стюарта – Левина методом Монте-Карло // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 31.
17. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Шадрин М.Ю. Система отображения и регистрации аудиовизуальной информации для тренажерных комплексов // Там же. С. 83.
18. Гришин М.А., Булушев Е.Д., Бессмельцев В.П. Численное моделирование импульсной лазерной абляции алюминия с учетом зависимости от температуры коэффициентов теплопроводности и объёмного поглощения // Там же. С. 1–6.

19. Донцова Е.И., Каблуков С.И., Ватник И.Д., Бабин С.А. Удвоение частоты случайного волоконного лазера с ВКР-усилением // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 138–139.
20. Достовалов А.В., Корольков В.П., Терентьев В.С., Окотруб К.А., Дульцев Ф.Н., Бабин С.А. Исследование формирования термохимических лазерно-индуцированных периодических поверхностных структур на поверхности различных металлов // Там же. С. 219–220.
21. Дробышев Р.В. Исследование динамических фазовых решеток в волоконном лазере с самосканированием частоты // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 17–18.
22. Ефремов В.Д., Харенко Д.С. Измерение хроматической дисперсии оптического волокна интерферометром белого света // Там же. С. 19.
23. Жданов И.С., Харенко Д.С., Бабин С.А., Подивиллов Е.В., Беднякова А.Е., Федорук М.П., Турицын С.К., Аполонский А.А. Генерация сильночирпованных диссипативных солитонов в полностью волоконном эрбиевом лазере с гибридным кольцевым резонатором // Там же. С. 22–23.
24. Жданов И.С., Харенко Д.С., Подивиллов Е.В., Бабин С.А., Аполонский А.А., Беднякова А.Е., Федорук М.П., Турицын С.К. Генерация чирпованных диссипативных солитонов в полностью волоконном эрбиевом лазере // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 132–133.
25. Зайцева И.В., Крылов А.С., Пугачев А.М., Малиновский В.К., Суровцев Н.В., Борздов Ю.М. Исследование влияния остаточных механических напряжений в прессованных порошках титаната бария (BaTiO₃) на параметры сегнетоэлектрического фазового перехода // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 24.
26. Заксас Н.П., Веряскин А.Ф., Лабусов В.А. Двухструйная дуговая плазма как перспективный источник возбуждения для спектрального анализа твердых проб // X Всероссийская научная конференция с международным участием «Аналитика Сибири и Дальнего востока» (г. Барнаул, Россия, 12–17 сентября 2016). Издательство Алтайского государственного университета. С. 23.
27. Заякина С.Б., Аношин Г.Н., Лабусов В.А. Развитие атомно-эмиссионного спектрального анализа по программе Импортзамещение (результаты и перспективы) // Там же. С. 41.
28. Злобина Е.А., Ватник И.Д., Каблуков С.И., Бабин С.А. Двухпиковая структура спектра генерации волоконного ВКР-лазера со случайной распределенной обратной связью // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 109–110.

29. Злобина Е.А., Каблуков С.И., Бабин С.А. Генерация линейно-поляризованного излучения в области 1,4 мкм в каскадном ВКР-лазере со случайной распределенной обратной связью // Там же. С. 107–108.
30. Каблуков С.И., Злобина Е.А., Скворцов М.И., Немов И.Н., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Непрерывная ВКР-генерация в градиентном световоде с многомодовой диодной накачкой // Там же. С. 118–119.
31. Карпегина Ю.А. Исследование замороженных криопротекторных растворов методом комбинационного рассеяния света // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). С. 64.
32. Карпегина Ю.А. Исследование криопротекторных растворов методом комбинационного рассеяния света // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 26.
33. Колоколов И.В., Лебедев В.В., Подивилов Е.В., Вергелес С.С. Теория случайного волоконного лазера // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 103–104.
34. Кузнецов А.Г., Харенко Д.С., Подивилов Е.В., Бабин С.А. Импульсный ВКР лазер с гибридной активной и пассивной синхронизацией мод // Там же. С. 140–141.
35. Кузьменко В.Д., Лихачев А.В. Разработка метода поиска границ проекций внутренних структур на рентгеновских изображениях // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 94.
36. Лабусов В.А., Бехтерев А.В., Путьмаков А.Н. Оптические спектрометры на основе анализаторов МАЭС // X Всероссийская научная конференция с международным участием «Аналитика Сибири и Дальнего востока» (г. Барнаул, Россия, 12–17 сентября 2016). Издательство Алтайского государственного университета. С. 16.
37. Лабусов В.А., Гаранин В.Г., Зарубин И.А. Новые комплексы атомно-эмиссионного спектрального анализа с анализаторами МАЭС // XXI Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов (Верхняя Пышма, Свердловская область, 14–18 ноября 2016). С. 55.
38. Лаврентьев М.М., Васючкова Т.С., Городняя Л.В., Бартош В.С.2, Белого И.В., Держо М.А., Иванчева Н.А., Федотова О.А. Вопросы и новые подходы к организации образовательного процесса в новосибирском государственном университете (НГУ) // XXVII Международная конференция «Современные информационные технологии в образовании» (г. Троицк – Москва, Россия, 28 июня 2016). С. 131–133.

39. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Применение FPGA для контроля качества видеопотока в режиме поступления // XVI Международная конференция «Супервычисления и математическое моделирование» (г. Саров, Россия, 3–7 октября 2016). С. 79–81.
40. Лаврентьев М.М., Лысаков К.Ф., Облаухов К.К., Шадрин М.Ю. Реализация алгоритма моделирования распространения цунами на базе FPGA // Там же. С. 81–82.
41. Лобач И.А., Дробышев Р.В., Фотиади А.А., Подивилов Е.В., Каблуков С.И. Динамические фазовые решетки в волоконном лазере с самосканированием частоты // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 59–60.
42. Лобач И.А., Каблуков С.И., Скворцов М.И., Подивилов Е.В., Бабин С.А., Мелькумов М.А., Дианов Е.М. Узкополосная генерация в висмутовом волоконном лазере со случайной распределенной обратной связью // Там же. С. 111–112.
43. Лобач И.А., Ткаченко А.Ю. Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 37–38.
44. Мамышева Т.Н., Лихачев А.В. Моделирование неоднородностей магнитных полей в задаче ЯМРТ // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 51.
45. Меркулова И.Е. Повышение эффективности регистрации терагерцевых пикосекундных импульсов поляризационно-оптическим методом // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016): Квантовая физика. С. 71.
46. Мешков О.И., Яценко А.С. Качественный метод анализа чистых веществ // XI конференция и X школа молодых ученых «Кремний 2016» (г. Новосибирск, Россия, 12–15 сентября 2016). С. 195.
47. Микерин С.Л., Плеханов А.И., Симанчук А.Э., Якиманский А.В. Возбужденные широкополосного терагерцевого излучения в полингированных нелинейно-оптических полимерах // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 124–125.
48. Минаков Ф.А. Программа управления системой нестационарной терагерцевой спектроскопии // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016): Инструментальные методы и техника экспериментальной физики. С. 30.

49. Минаков Ф.А. Программа управления системой нестационарной терагерцовой спектроскопии // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 34.
50. Назаров А.В. Программа обработки терагерцовых данных // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016): Инструментальные методы и техника экспериментальной физики. С. 34.
51. Насыров Р.К., Поleshук А.Г., Корольков В.П., Седухин А.Г. Применение дифракционной оптики для преобразования лазерных пучков // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 233–235.
52. Окотруб К.А., Суровцев Н.В. Спектроскопия комбинационного рассеяния света в молекулярной биологии // XXV Съезд по спектроскопии (г. Троицк, Москва, Россия, 3–7 октября 2016). С. 47–48.
53. Парыгин А.В., Зюбин В.Е., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. 2D система стабилизации положения оптического волокна // XVII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016), 2016. Программа. С. 23.
54. Пен Е.Ф., Чубаков П.А. Спектральные свойства слоистых голографических отражательных структур // XIII Международная конференция «Голография, наука и практика» «Голоэкспо–2016» (г. Ярославль, Россия, 12–15 сентября 2016). Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. С. 26.
55. Подвиллов Е.В., Штырина О.В., Машарова Д.А., Скидин А.С., Яруткина И.А., Федорук М.П. Теоретический анализ свойств излучения длинного волоконного лазера // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 136–137.
56. Сапрыкин Э.Г., Черненко А.А., Шалагин А.М. Форма резонанса насыщенного поглощения двухуровневой системы в спектроскопии однонаправленных волн // XV Международная молодежная конференция «Люминесценция и лазерная физика» (пос. Аршан, Россия, 18–24 июля 2016). Тезисы докладов. С. 169–170.
57. Симанчук А.Э., Атугов С.Н., Валишева Н.А., Микерин С.Л., Плеханов А.И., Сорокин В.А., Якиманский А.В. Электрооптические устройства на основе хромофорсодержащих полиимидов // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 232.
58. Соловьев А.А., Резник А.Л., Торгов А.В. Высокопроизводительные компьютерно-аналитические вычисления в задачах обработки случайных точечных изображений // XVII Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). С. 104.

59. Терентьев В.С., Симонов В.А. Волоконный отражательный интерферометр на поврежденном зеркале // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 162–163.
60. Терентьев В.С., Симонов В.А., Бабин С.А. Генерация на одной продольной моде в волоконном лазере с отражательным интерферометром // Там же. С. 236–237.
61. Ткаченко А.Ю. Устройство опроса волоконных сенсорных систем на базе волоконного лазера с пассивным сканированием частоты // 54-я Международная научная студенческая конференция (МНСК–2016) (г. Новосибирск, Россия, 16–20 сентября 2016). С. 54.
62. Угожаев В.Д. Перестройка периода голографической решетки путем вращения двухлучевого интерферометра // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 156–157.
63. Фрумин Л.Л., Гелаш А.А., Турицын С.К. SOFDM – солитонное мультиплексирование с ортогональным частотным разделением // Там же. С. 168–169.
64. Фрумин Л.Л., Немыкин А.В., Шапиро Д.А. Нарушение полного внутреннего отражения скрытым рассеивателем // XXV Съезд по спектроскопии: сборник тезисов (г. Троицк, Москва, Россия, 3–7 октября 2016). М.: МПГУ, 2016. С. 160–161.
65. Хаимчикова Ж.Б., Слепцова Н.С., Лихачев А.В. Моделирование рентгеновских изображений с учётом энергетического спектра источника // XVII Всероссийская конференция молодых учёных по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Новосибирск, Россия, 30 октября – 3 ноября 2016). Материалы конференции. Новосибирск: изд-во ИВТ СО РАН. С. 72.
66. Харенко Д.С., Гонта В.А., Бабин С.А. Волоконный фемтосекундный лазер с увеличенным диаметром моды и высокой энергией в импульсе // Молодежная конкурс-конференция «Фотоника и оптические технологии» (г. Новосибирск, Россия, 7–9 сентября 2016). С. 16.
67. Харенко Д.С., Кузнецов А.Г., Гонта В.А., Бабин С.А. Генерация и усиление сильночирпованных диссипативных солитонов в полностью волоконной схеме // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 78–79.
68. Шабанова Е.В., Васильева И.Е., Лабусов В.А., Неклюдов О.А., Дзюба А.А. О выборе спектрометра для определения состава минеральных фаз методом дуговой сцинтилляционной атомно-эмиссионной спектроскопии // XXI Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов (Верхняя Пышма, Свердловская область, 14–18 ноября 2016). С. 133.
69. Шалагин А.М. Когерентное пленение населенностей. Физическое содержание, исторические корни // XXV Съезд по спектроскопии

- (Москва – Троицк, Россия, 3–7 октября 2016). Сборник тезисов. С. 64–65.
70. Шапиро Д.А., Нис Д., Белай О.В., Вурм М., Нестеров В.В. Оптическое поле у входа в субволновую щель // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 34–35.
 71. Шапиро Е.Г., Шапиро Д.А. Пропускная способность линий связи с конечной нелинейной памятью // Там же. С. 172–173.
 72. Штейнберг И.Ш., Щепеткин Ю.А., Васильев Е.В., Шелковников В.В. Двухфотонные регистрирующие материалы для многослойной оптической памяти // XV Международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике (с. Аршан, Республика Бурятия, Россия, 18–24 июля 2016). С. 177–178.
 73. Якушин С.С., Достовалов А.В., Вольф А.А., Парыгин А.В., Бабин С.А. Величины и положения точечных температурных воздействий на длинные ВБР // I Всероссийская научно-практическая конференция «Оптическая рефлектометрия – 2016» (г. Пермь, Россия, 26–27 мая 2016). Сборник тезисов докладов. С. 39–40.
 74. Якушин С.С., Достовалов А.В., Вольф А.А., Парыгин А.В., Бабин С.А. Разработка схемы опроса длинных ВБР для измерения величины и положения точечных температурных воздействий // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам 2016 (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). Материалы семинара. С. 210–211.
 75. Abalmassov V.A., Pugachev A.M., Milinsky A.Yu., Baryshnikov S.V. Calorimetric studies of ferroelectric phase transition in KDP nanocrystals // The Second International Workshop “Modern Technologies” (Ekaterinbourg, Russia, August 27–29, 2016). Abstract book. P. 31.
 76. Arapov Yu.D., Korolkov V.P., Nasyrov R.K., Malyshev A.I., Ustyantsev I.M., Kas'yanov I.V. Correction of wavefront distortion in YAG:Nd active elements in oblique geometry // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). P. R4–15.
 77. Atutov S.N. Antirelaxation organic coating for optical resonant experiments // VII International Symposium “Modern problems of laser physics” – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 10.
 78. Babin S.A. New schemes and regimes of Raman fiber lasers // Там же. P. 206–207.
 79. Babin S.A. New schemes of CW and pulsed Raman fiber lasers // The International Conference on Fiber Optics and Photonics – PHOTONICS 2016 (Kanpur, India, December 4–8, 2016), Tech. Digest, p. Tu2G. 1.
 80. Babin S.A., Zlobina E.A., Kablukov S.I. Raman fiber lasers with direct pumping by high-power laser diodes // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27– July 1, 2016). P. S11.

81. Babin S.A., Zlobina E.A., Kablukov S.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V. Mode selection in high-power diode-pumped Raman fiber laser by means of fs-inscribed FBG // OSA Laser Congress 2016: ASSL, LSC, LAC (Boston, Massachusetts, USA, October 30 – November 3, 2016). ASSL Tech. Digest – OSA, 2016. P. JTu2A.16.
82. Bednyakova A.E., Kharenko D.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Apolonski A.A., Babin S.A., Turitsyn S.K. Towards generation of multi-color dissipative solitons in telecom range // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27– July 1, 2016). P. R8-5.
83. Benimetskiy F., Plekhanov A., Kuchyanov A., Parkhomenko R., Basova T. Characterization of the structure and stimulated emission of spherical and cylindrical spasers // International Conference “Days on Diffraction 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). P. 62–66.
84. Benimetskiy F.A., Plekhanov A.I., Kuchyanov A.S., Parkhomenko R.G., Basova T.V. Experimental realization of surface plasmon laser // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 123.
85. Benimetskiy F.A., Plekhanov A.I., Kuchyanov A.S., Parkhomenko R.G., Basova T.V. Experimental realization of surface plasmon laser // NFO-14 (Hamamatsu, Japan, September, 4–8, 2016). P. 338.
86. Bessmeltsev V.P., Bulushev E.D., Goloshevsky N.V., Smirnov K.K. Automated femtosecond laser workstation for high-speed fabrication of reticles and microchannels // International Symposium FLAMN-16 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). In frames of International Congress Laser & Photonics 2016. P. 98–99.
87. Dontsova E.I., Kablukov S.I., Vatik I.D., Babin S.A. Generation in visible range using second harmonic of random distributed feedback fiber laser // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27– July 1, 2016). P. R8–2.
88. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Okotrub K.A., Babin S.A. Study of optimal regimes and oxide type at formation of thermochemical LIPSS on Ti film under fs irradiation // Там же. P. WeR5-p04.
89. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Babin S.A. Comparison of TLIPPS formation on surfaces of different metals // International Symposium Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies – FLAMN 2016 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). Abstracts. P. 103.
90. Dostovalov A.V., Korolkov V.P., Terentyev V.S., Okotrub K.A., Dultsev F.N., Babin S.A. Optimal regimes of thermochemical LIPPS formation on surfaces of different metals // Progress in electromagnetic research symposium – PIERS 2016 (Shanghai, China, August 8–11, 2016). IEEE, 2016. P. 4932–4936.
91. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V., Skvortsov M.I., Yakushin S.S., Babin S.A. Femtosecond-pulse inscription of fiber Bragg

- gratings with special characteristics and their characterization // Там же. P. 4921–4925.
92. Dostovalov A.V., Wolf A.A., Parygin A.V., Skvortsov M.I., Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Femtosecond inscription of fiber Bragg and long-period gratings with special characteristics for applications in fiber lasers // Там же. P. 241–244.
 93. Galanzha E., Weingold R., Nedosekin D.A., Sarimollaoglu M., Nolan J., Harrington W., Kuchyanov A.S., Parkhomenko R.G., Watanabe F., Ni-ma Z., Biris A., Plekhanov A.I., Stockman M.I., Zharov V.P. Спазеры как биологический зонд // 7-й Российский семинар по волоконным лазерам (г. Новосибирск, Россия, 5–9 сентября 2016). С. 39.
 94. Gentshev A., Kuznetsov S., Bessmeltsev V., Baev S., Lonshakov E. Manufacturing liga-masks with laser micromachining // Synchrotron and Free electron laser Radiation: generation and application (SFR-2016) (Novosibirsk, Russia, July 4–7, 2016). Book of Abstracts Budker INP. P. 39.
 95. Gentshev A., Kuznetsov S., Goldenberg B., Baev S., Lonshakov E. Manufacturing liga-masks with laser micromachining // Там же. P. 39.
 96. Karpegina Yu.A., Okotrub K.A., Brusentsev E.Yu., Amstislavsky S.Ya., Surovtsev N.V. Raman spectroscopy study of cryoprotectant distribution in frozen straws // The Second International Workshop “Modern Technologies” (Ekaterinbourg, Russia, August 27–29, 2016). Abstract book. P. 32.
 97. Kharenko D.S., Bednyakova A.E., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Babin S.A. High-power femtosecond all-fiber oscillators: limitations and new possibilities // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 171–172.
 98. Kharenko D.S., Gonta V.A., Babin S.A. High-energy femtosecond all-fiber oscillator with increased cavity length and mode-field diameter // OSA Laser Congress 2016: ASSL, LSC, LAC (Boston, Massachusetts, USA, October 30 – November 3, 2016). ASSL Tech. Digest – OSA, 2016. P. JTh2A.23.
 99. Kharenko D.S., Gonta V.A., Babin S.A. High-energy femtosecond all-fiber oscillator // 17th International Conference “Laser Optics 2016” (St. Petersburg, Russia, June 27– July 1, 2016). P. S1A–02.
 100. Komarov A., Dmitriev A., Komarov K., Sanchez F. Fiber laser with hybridization of passive mode locking and undamped regular spikes // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 179–180.
 101. Korolkov V.P., Dostovalov A.V., Dultsev F.N. Application of thermochemical laser-induced periodical surface structures as mask for metal underlayer etching // International Symposium Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies – FLAMN 2016 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). Abstracts. P. 81.

102. Korolkov V.P., Dostovalov A.V., Khomutov V.N. In-situ measurement of probe beam diffraction pattern for finding optimal processing parameters at TLPSS formation // Там же. P. 110.
103. Krasteva A., Gateva S., Andreeva C., Alzetta G., Gozzini S., Moi L., Sarkisyan D., Nasyrov K., Cartaleva S. Dark-state resonances observed on the D2 line of Potassium // 19th International Conference and School on Quantum Electronics "Laser physics and applications" (Sozopol, Bulgaria, September 26–30, 2016). Book of abstracts. P. 71.
104. Krasteva A., Gateva S., Petrov N., Mariotti, E. Nasyrov K., Cartaleva S. Influence of Paraffin anti-relaxation coating of optical cell on the Rubidium D1 line optical pumping // Там же. P. 80.
105. Kuchyanov A.S. Highly sensitive and fast response ammonia sensor // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 184.
106. Lobach I.A., Drobyshev R.V., Fotiadi A.A., Kablukov S.I. The reflectivity measurement of a dynamically formed fiber Bragg grating inside an Yb-doped fiber // Frontiers in Optics – 2016 (Rochester, New York, USA, October 17–21, 2016), Tech. Digest – OSA. P. FTu2I.6.
107. Lobach I.A., Tkachenko A.Y., Kablukov S.I. Sweeping range management in yb-doped self-sweeping fiber laser // LPHYS'16 (Yerevan, Republic of Armenia, July 11–15, 2016). Tech. Digest, 2016, p. S8.1.4.
108. Mikerin S.L., Plekhanov A.I., Simanchuk A.E., Yakimansky A.V. Excitation of a broadband terahertz radiation by femtosecond laser pulses in poled nonlinear optical polymers // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 205.
109. Mishra V., Zlobina E.A., Kablukov S.I., Singh S.P., Varshney S.K., Babin S.A. Continuous-wave fiber optic parametric oscillators: impact of dispersion inhomogeneities // Там же. P. 206–207.
110. Nikolaev G.N. Paradox of photons discontinuous trajectories being lockated by means of "weak measurements" in the nested Max-Zehnder interferometer // Там же. P. 208–209.
111. Plekhanov A.I. Spaser as novel versatile biomedical tool // Там же. P. 71.
112. Pugachev A.M., Zaytseva I.V., Malinovsky V.K., Surovtsev N.V., Ivleva L.I., Lykov P.A. Polar nanoregions in paraelectric phase in $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_2\text{O}_6$ crystal probed by second harmonic generation // The Second International Workshop "Modern Technologies" (Ekaterinbourg, Russia, August 27–29, 2016). Abstract book. P. 11.
113. Saprykin E.G., Chernenko A.A., Shalagin A.M. Influence of spontaneous emission on working transition to the sign and structure of the nonlinear absorption resonance of two-level system in spectroscopy of the unidirectional waves // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 232.

114. Saprykin E.G., Chernenko A.A., Shalagin A.M. Resonances of electromagnetically induced transparency and electromagnetically induced absorption in spectra of magnetic scanning on transition with $J=1$ // Там же. P. 233.
115. Saprykin E.G., Chernenko A.A., Shalagin A.M. Self-saturation of two- and three-level nondegenerate transitions in spectroscopy of the unidirectional waves // Там же. P. 231.
116. Simanchuk A.E., Atutov S.N., Mikerin S.L., Plekhanov A.I., Sorokin V.A., Yakimansky A.V., Valisheva N.A. Nonlinear optical properties of poled chromophore-doped polyimides and electro-optical devices based on them // Там же. P. 235.
117. Sobolev V., Utkin E., Kashcheeva G., and Shcherbachenko A. Vibration measurement based on modulation of laser radiation // Там же. P. 236–237.
118. Steinberg I., Vasilyev E., Shelkovnikov V. Holographic photopolymer materials using forbidden singlet-triplet electronic transitions // 4th European Symposium of Photopolymer Science (Leipzig, Germany, September 11–14, 2016). P. 53.
119. Tomilin V.A., Il'ichov L.V. Elementary spectroscopic effects in a cat-state field // VII International Symposium "Modern problems of laser physics" – MPLP 2016 (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). Technical digest. P. 244–245.
120. Tsvetkov S., Gateva S., Cartaleva S., Mariotti E., Nasyrov K. Optical characterization of antirelaxation coatings // 19th International Conference and School on Quantum Electronics "Laser physics and applications" (Sozopol, Bulgaria, September 26–30, 2016). Book of abstracts. P. 72.
121. Vatnik S.M., Vedin I.A., Osipov V.V., Luk'yashin K.E., Maksimov R.N., Solomonov V.I., Kopylov Yu.L., Steinberg I.Sh., Tverdokhleb P.E., Pavlyuk A.A. High-efficiency lasing and spectroscopy of domestic Nd:YAG and Ho:YAG ceramics // 7th International Symposium and Young scientists School «Modern Problems Of Laser Physics» (Novosibirsk, Russia, August 22–28, 2016). P. 101.
122. Vatnik S.M., Vedin I.A., Osipov V.V., Luk'yashin K.E., Maksimov R.N., Solomonov V.I., Kopylov Yu.L., Steinberg I.Sh., Tverdokhleb P.E., Pavlyuk A.A. Optical properties and high-efficiency lasing of Nd:YAG and Ho:YAG ceramics // 17th International Conference "Laser Optics" – LO 2016 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). P. R19 (2 p.).
123. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Fiber core overlapping in femtosecond fiber Bragg gratings inscription // International Symposium Fundamentals of Laser Assisted Micro- & Nanotechnologies – FLAMN 2016 (June 27 – July 1, 2016, St. Petersburg, Russia), Abstracts. P. 128.
124. Wolf A.A., Dostovalov A.V., Parygin A.V., Skvortsov M.I., Yakushin S.S., Babin S.A. Direct femtosecond-pulse inscription of fiber Bragg gratings with special characteristics for sensing and laser applications // 17th International Conference "Laser Optics" – LO 2016 (St. Petersburg, Russia, June 27 – July 1, 2016). P. R59 (2 p.).

125. Zaytseva I.V., Krylov A.S., Pugachev A.M., Malinovskii V.K., Surov-tsev N.V., Borzdov Yu.M. Investigation of residual stresses in barium titanate pressed powder and their effects to the properties of the ferroelectric phase transition // The Second International Workshop “Modern Technologies” (Ekaterinbourg, Russia, August 27–29, 2016). Abstract book. P. 47.
126. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Raman fiber laser with direct diode pumping at 915 nm // Conference on Lasers and Electro-Optics – CLEO 2016 (San Jose, California, USA, June 5–10, 2016). Tech. Digest – OSA. P. JTu5A.124.
127. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Raman lasing in GRIN fibers with 915-nm diode pumping // Advanced Photonics Congress 2016 – IPR, NOMA, Sensors, Networks, SPPCom, SOF (Vancouver, Canada, July 18–20, 2016). Tech. Digest – OSA. P. JTu4A.43.
128. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. High-order linearly-polarized random Raman fiber laser for telecom applications // CLEO Focus Meeting at 42nd European Conference on Optical Communication – ECOC 2016 (Dusseldorf, Germany, September 18–22, 2016). Technical digest. P. CLEO 5.5.
129. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. High-power diode pumped Raman fiber lasers operating below 1 micron // ICONO/LAT (Minsk, Belarus, September 26–30, 2016). Technical digest. Paper LTuC2.
130. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Skvortsov M.I., Nemov I.N., Babin S.A. Short-wavelength CW generation of LD-pumped Raman fiber laser // LPHYS’16 (Yerevan, Republic of Armenia, July 11–15, 2016). Tech. Digest. P. S8.1.2.
131. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., Babin S.A. Singlemode Raman lasing in graded-index fiber pumped by high-power 915-nm laser diode // Frontiers in Optics 2016 (Rochester, New York, USA, October 17–21, 2016). Tech. Digest – OSA. P. FW5B.2.
132. Zlobina E.A., Mishra V., Kablukov S.I., Singh S.P., Varshney S.K., Babin S.A. Study of mechanisms limiting short-wavelength generation in a CW fiber OPO // LPHYS’16 (Yerevan, Republic of Armenia, July 11–15, 2016). Tech. Digest. P. S8.2.2.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Патенты

1. Атутов С.Н., Плеханов А.И., Сорокин В.А., Кучьянов А.С. Широкодиапазонный нанопозиционер сфокусированного электромагнитного излучения. Патент на изобретение № 2585928 // Официальный бюллетень Роспатента «Изобретения. Полезные модели», 2016, № 16.
2. Атутов С.Н., Плеханов А.И., Суровцев Н.В. Способ мониторинга малых примесей ацетона в выдыхаемом воздухе пациента и устройство

- для его реализации. Патент на изобретение № 2597943 // Там же, № 26.
3. Бессмельцев В.П., Катасонов Д.Н., Слуев В.А., Морозов В.В., Шевела А.И. Способ мониторинга сердечной деятельности пациента. Патент на изобретение № 2593351 // Там же, № 22.
 4. Бессмельцев В.П., Терентьев В.С. Многоканальный микроскоп (варианты). Патент на изобретение № 2574863 // Там же, № 4.
 5. Будников К.И., Курочкин А.В. Способ фильтрации потока HTTP-пакетов на основе пост-анализа запросов к Интернет-ресурсу и устройство фильтрации для его реализации. Патент на изобретение № 2599949 // Там же, № 29.
 6. Дьякова И.И., Бабин С.А., Бессмельцев В.П., Достовалов А.В. Способ изготовления многофункциональных прецизионных оптических прицельных сеток методом лазерной абляции с запуском. Патент РФ № 2591034 // Там же, № 19.
 7. Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Измайлов К.О., Максимов А.С. Способ калибровки углового датчика. Патент на изобретение № 2592734 // Там же, № 21.
 8. Котов В.Н., Власов С.В., Лубков А.А., Перебейнос С.В. Фотоэлектрическое устройство для слежения за Солнцем. Патент на полезную модель № 160483 // Там же, № 8.
 9. Пен Е.Ф. Устройство тестирования голографических светочувствительных материалов Патент на полезную модель № 165622 // Там же, № 30.
 10. Полещук А.Г., Седухин А.Г. Высокоапертурный объектив для фокусировки оптического излучения. Патент на полезную модель № 162920 // Там же, № 18.
 11. Полещук А.Г., Шиманский Р.В. Способ контроля погрешности изготовления дифракционных оптических элементов (ДОЭ). Патент на изобретение № 2587528 // Там же, № 17.
 12. Шляхова Е.В., Булушева Л.Г., Окотруб А.В., Гурова О.А., Омелянчук Л.В., Дубатолова Т.Д., Окотруб К.А., Суворцев Н.В. Способ детекции проникновения углеродных нанотрубок в биологическую ткань. Патент на изобретение № 2582286 // Там же, № 11.

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

1. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль визуализации и управления трехмерными сценами в формате fbx в среде QML // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662063, зарег. 28.10.2016.
2. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль для вывода мультимедиа данных, сформированных в среде QML // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016661561, зарег. 13.10.2016.

3. Городилов М.А., Долговесов Б.С., Артиков Т.Н. Модуль для воспроизведения мультимедиа в среде QML // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016661549, зарег. 13.10.2016.
4. Дашевский О.Ю., Козик В.И. Программа для определения характеристик тепловизионных фотоприемных устройств // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016619372, зарег. 18.08.2016.
5. Дашевский О.Ю., Козик В.И. Программа для формирования перечней файлов-изображений при оценке характеристик тепловизионных фотоприемных устройств (ПрЭВМ) // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016618013, зарег. 19.07.2016.
6. Котов К.Ю., Мальцев А.С., Соболев М.А. Программа траекторного управления полетом беспилотного летательного аппарата квадроспирального типа // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016613926, зарег. 11.04.2016.
7. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-СТАР16» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662158, зарег. 31.10.2016.
8. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-РАЗР16» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662159, зарег. 31.10.2016.
9. Резник А.Л., Торгов А.В., Соловьев А.А. Программа для ЭВМ «М-СЧИТ16» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662343, зарег. 08.11.2016.
10. Семёнов З.В. Deposition Control Simulator: Программа моделирования работы системы контроля // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016612869, зарег. 11.03.2016.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Vyatkin S.I. Using GPU for Interactive Ray Casting 3D Models Based on Perturbation Functions // Journal of Algorithms, Computer Network, and Security, v.1, № 2, March 2016. Режим доступа: [<http://www.sciencesolve.com/joacns/201602/160202.pdf>]
2. Budnikov K.I., Kurochkin A.V., Lubkov A.A., Yakovlev A.V. Regulation of access to web-resource based on post-analysis of http-requests // Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology (ITNT 2016), Samara, Russia, May 17-19, 2016. CEUR Workshop Proceedings vol. 1638. Published on CEUR-WS: 02-Aug-2016. ONLINE: [<http://ceur-ws.org/Vol-1638>].

ПУБЛИКАЦИИ, НЕ ВОШЕДШИЕ В ОТЧЕТ 2015 ГОДА

СТАТЬИ

Научные журналы

1. Вяткин С.И., Романюк А.Н., Дудник А.А. Анизотропная фильтрации текстуры в реальном времени // *Measuring and computing devices in technological processes*. Международный научно-технический журнал. Хмельницкий национальный университет. Хмельницкий. Украина, 2015, № 4. С. 217–221.

Институт автоматики и электрометрии
в 2016 году

Редактирование, компьютерная верстка, дизайн
Максимова Н.Н., Потатуркина Н.Г.

Подписано в печать 22.05.2017 г. Формат 70×108/16
Усл.-печ. л. 17,3 Тираж 120 экз. Заказ № 120

Отпечатано в Издательстве СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2 тел. (383) 330-80-50



**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; <http://www.iae.nsk.su>